

**DISEÑO BASICO DEL SISTEMA CONTRA  
INCENDIOS PARA LA BIBLIOTECA CENTRAL DE  
LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**ALEXIS ABAD GUTIERREZ  
MARTA ALEXANDRA LUNA DELGADO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO - MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2004**

**DISEÑO BASICO DEL SISTEMA CONTRA  
INCENDIOS PARA LA BIBLIOTECA CENTRAL DE  
LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**ALEXIS ABAD GUTIERREZ  
MARTA ALEXANDRA LUNA DELGADO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO - MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2004**

**DISEÑO BASICO DEL SISTEMA CONTRA  
INCENDIOS PARA LA BIBLIOTECA CENTRAL DE  
LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**ALEXIS ABAD GUTIERREZ  
MARTA ALEXANDRA LUNA DELGADO**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director  
NESTOR RAUL D'CROZ TORRES  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO - MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2004**

## DEDICATORIA

A Dios.

A mis padres, Justo José y Rubys Elena, a quienes gracias a su amor, comprensión, confianza y apoyo debo todo lo que soy.

A mis hermanos, mi razón de ser y la fuerza que me impulsa.

A mis familiares y amigos.

*Alexis Abad Gutiérrez.*

Dedico mi trabajo a Dios quien me da la fortaleza en los seres que amo, reafirmando mis capacidades y el espíritu de entrega para culminar mis metas.

A mis adorados padres, hermanos, familiares y grandes amigos, que siempre me han dado fe para seguir con mis sueños. A mi gran amor, que cree en mí y me brinda su apoyo incondicional.

*Marta Alexandra Luna Delgado.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Néstor Raúl D'Cross Torres, ingeniero mecánico, director del proyecto, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

A la Escuela de Ingeniería Mecánica y todo su cuerpo docente, por la formación brindada y colaboración.

Al cuerpo administrativo de la Biblioteca Central de la Universidad Industrial de Santander, por la confianza ofrecida y apoyo en la realización de este proyecto.

A todos nuestros compañeros y amigos.

## CONTENIDO

	<b>pág.</b>
<b>INTRODUCCION</b>	1
<b>1. CARACTERISTICAS Y COMPORTAMIENTO DEL FUEGO</b>	3
1.1. QUIMICA Y FISICA DEL FUEGO	3
1.1.1. Combustión	3
1.1.2. Principios del fuego	12
1.1.3. Fuentes de energía calorífica	22
1.2. TEORIA DEL FUEGO	30
1.2.1. El triangulo del fuego	32
1.2.2. El tetraedro del fuego	33
1.3. PRODUCTOS DE LA COMBUSTION Y SUS EFECTOS SOBRE LA SEGURIDAD DE LAS PERSONAS	34
1.3.1. Gases de la combustión	35
1.3.2. Calor	37
1.3.3. Humo	39
1.4. TEORIA DEL CONTROL DEL FUEGO	39
1.4.1. Extinción por enfriamiento	39
1.4.2. Extinción por dilución de oxígeno	41
1.4.3. Extinción por eliminación del combustible	43
1.4.4. Extinción por inhibición química de la llama	45
1.5. CLASIFICACION DEL FUEGO	47

<b>2. RIEGOS PARA LA VIDA HUMANA EN EDIFICIOS</b>	49
2.1. EVALUACION DE LA SEGURIDAD HUMANA EN EDIFICIOS	49
2.1.1. Factores de seguridad humana	49
2.1.2. Características de los ocupantes	52
2.1.3. Naturaleza de los incendios en edificios	54
2.1.4. Estrategias de seguridad	56
<b>3. SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE EDIFICIOS</b>	60
3.1. FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE EDIFICIOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE SU SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS	60
3.1.1. El proyecto y la seguridad contra incendios	61
3.1.2. Peligro de incendio en los edificios	65
3.1.3. Elementos integrantes de la seguridad contra incendios de los edificios	69
3.2. TEORIA DE SISTEMAS PARA LA SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS EN EDIFICIOS	73
3.2.1. Análisis de sistemas	73
3.2.2. Metodología de sistemas aplicada al problema de los incendios	74
3.3. CARGA COMBUSTIBLE Y NIVELES DE RIESGO	81
3.3.1. Carga combustible	81
3.3.2. Niveles de riesgo	83
3.4. PREVENCION DE INCENDIOS	84
3.5. SISTEMAS DE DETECCION Y ALARMA DE INCENDIO	85
3.5.1. Detectores automáticos de incendios	86
3.5.2. Sistemas de señalización protectora	92
3.6. SISTEMAS DE SUPRESION DE INCENDIO	96
3.6.1. Agente extintor	97

3.6.2. Elemento de descarga	99
3.6.3. Tubería de descarga	101
<b>4. ANALISIS DE NORMAS</b>	<b>104</b>
4.1. CODE FOR THE PROTECTION OF CULTURAL RESOURCES.	
NFPA 909	104
4.1.1. Prevención de incendios	104
4.1.2. Planificación para la protección al fuego	106
4.2. STANDARD FOR INSTALLATION OF SPRINKLER SYSTEMS.	
NFPA 13	107
4.2.1. Clasificación de las ocupaciones	108
4.2.2. Rociadores	109
4.2.3. Tuberías	115
4.2.4. Válvulas	115
4.2.5. Adicionales del sistema	116
4.2.6. Métodos de diseño y cálculo hidráulico	116
4.3. NATIONAL FIRE ALARM CODE. NFPA 72	120
4.3.1. Fundamentos	120
4.3.2. Sistema de alarma de incendio local	122
4.3.3. Dispositivos iniciadores	128
4.3.4. Dispositivos de notificación	132
<b>5. DISEÑO BASICO DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS</b>	<b>133</b>
5.1. DESCRIPCION DE LA BIBLIOTECA CENTRAL	133
5.1.1. Sótano	134
5.1.2. Primer piso	135
5.1.3. Segundo piso	135
5.1.4. Tercer piso	136

5.1.5. Cuarto piso	136
5.2. PREVENCIÓN DE INCENDIOS	137
5.2.1. Inspección	137
5.2.2. Medidas para el control de los peligros de incendios	140
5.3. SISTEMA DE SUPRESIÓN DE INCENDIOS	141
5.3.1. Clasificación de la ocupación	141
5.3.2. Proceso de diseño	142
5.4. SISTEMA DE DETECCIÓN DE INCENDIOS	153
5.4.1. Proceso de diseño	154
5.5. PRESUPUESTO	163
<b>6. TERMINOS DE REFERENCIA TECNICOS</b>	<b>166</b>
6.1. SISTEMA DE SUPRESIÓN	166
6.1.1. Rociadores	166
6.1.2. Gabinetes contra incendios	167
6.1.3. Bombas centrífugas	168
6.1.4. Válvula de control	171
6.1.5. Válvulas	172
6.1.6. Tuberías	172
6.2. SISTEMA DE DETECCIÓN	173
6.2.1. Detectores automáticos	173
6.2.2. Pulsadores manuales	175
6.2.3. Sirenas	175
6.2.4. Panel de control	176
6.2.5. Dispositivos auxiliares	177
6.2.6. Cable	179
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>180</b>

<b>RECOMENDACIONES</b>	181
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	183
<b>ANEXOS</b>	185

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Mezclas vapor - oxidante	10
Figura 2. Triángulo de fuego	33
Figura 3. Tetraedro de fuego	34
Figura 4. Avance del deterioro del ambiente en función de la progresión de un incendio	50
Figura 5. Representación esquemática de los productos de combustión que influyen sobre el proyecto de edificios	66
Figura 6. Ramas principales del árbol de decisiones de la seguridad contra incendios	77
Figura 7. Principio de funcionamiento de un detector de humo por ionización	89
Figura 8. Principio de funcionamiento de un detector de humo fotoeléctrico por oscurecimiento	90
Figura 9. Principio de funcionamiento de un detector de humo fotoeléctrico por dispersión	90
Figura 10. Sistema de alarma de incendio local	94
Figura 11. Sistema de alarma de incendio auxiliar	94
Figura 12. Sistema de alarma de incendio con estación remota	95
Figura 13. Sistema de propiedad particular	95
Figura 14. Rociador automático	101
Figura 15. Sistema de tuberías para rociadores	102
Figura 16. Disposiciones más comunes de sistemas de tuberías para	

rociadores	103
Figura 17. Area de cobertura por rociador	113
Figura 18. Distancia mínima a la obstrucción	114
Figura 19. Rociadores en bibliotecas con estanterías hasta el techo	115
Figura 20. Curvas área/densidad	117
Figura 21. Ubicación de detectores de calor	129
Figura 22. Espaciamiento de detectores de calor	130

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Aplicación adecuada de agente extintor	98
Tabla 2. Características de descarga de los rociadores	111
Tabla 3. Rangos de temperatura, clasificación de temperatura y código de color	112
Tabla 4. Requisitos para demanda de chorros de mangueras	117
Tabla 5. Valores de C de Hazen-Williams	118
Tabla 6. Longitudes equivalentes para tuberías de acero, Cédula 40 C = 120	118
Tabla 7. Desempeño de los circuitos de los aparatos de notificación	124
Tabla 8. Desempeño de los circuitos de los dispositivos iniciadores	125
Tabla 9. Desempeño de los circuitos de línea de señalización	126
Tabla 10. Clasificación por temperatura de los detectores de calor	128
Tabla 11. Nivel sonoro ambiental promedio	132
Tabla 12. Número de rociadores por piso	143
Tabla 13. Zonas por piso	155
Tabla 14. Número de detectores por piso	156
Tabla 15. Presupuesto sistema de supresión	163
Tabla 16. Presupuesto sistema de detección	165
Tabla 17. Presupuesto total	165

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo A. Cálculo hidráulico	185
Anexo B. Formato de inspección	246
Anexo C. Carga combustible	268
Anexo D. Cálculo de la batería para el panel de control	277
Anexo E. Catálogos	279
Anexo F. Cotizaciones	280
Anexo G. Planos	299

## GLOSARIO

**AGENTE EXTINTOR:** Sustancia (en polvo, líquido o gas) capaz de extinguir un fuego.

**ALARMA:** Sistema manual o automático visual y/o auditivo que avisa a los ocupantes de un edificio que se ha producido una emergencia.

**BARRERA DE FUEGO:** Membrana continua, vertical u horizontal, que es diseñada y construida con un valor específico de resistencia al fuego para limitar la propagación del fuego y también restringir el movimiento del humo.

**BARRERA DE HUMO:** Membrana continua, vertical u horizontal, que es diseñada y construida para restringir el movimiento de humo. Una barrera de humo puede o no tener un valor de resistencia al fuego.

**CARGA COMBUSTIBLE:** El peso de combustibles en un área de fuego o en un piso, incluyendo otros contenidos o partes del edificio, o ambos.

**COLECCIONES:** Objetos prehistóricos e históricos, obras de arte, archivos documentales, medios de comunicación de la biblioteca, y materiales culturales reunidos según algún esquema razonable y mantenidos para propósitos de preservación, investigación, estudio, exhibición, publicación, e interpretación para el beneficio público.

**DETECTOR AUTOMÁTICO:** Dispositivo transductor capaz de reaccionar frente a la presencia de humos, gases, llamas, temperatura, etc., y enviar una señal a un sistema de alarma o de comando.

**IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS:** Proceso mediante el cual se reconoce que existe un peligro y se definen sus características.

**PELIGRO DE FUEGO:** Cualquier situación, proceso, material, o condición que puede causar un fuego o explosión o puede proporcionar un suministro de combustible para aumentar la propagación o intensidad de un fuego o explosión y que plantea una amenaza a la vida o la propiedad.

**PREVENCIÓN:** Es el conjunto de actividades o medidas adoptadas o previstas con el fin de evitar o disminuir los riesgos.

**PROTECCIÓN:** Medidas y acciones tomadas para prevenir o minimizar la pérdida por fuego, incendio provocado, vandalismo, robo, y peligros similares a las personas y la propiedad.

**RIESGO DE FUEGO:** Un riesgo de fuego simplemente es la probabilidad de que un peligro se desate.

**ROCIADORES:** Sistema de boquillas expulsoras de un agente extintor que, por disparo manual o automático, protegen una determinada zona contra incendios.

## RESUMEN

### TÍTULO:

**DISEÑO BASICO DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS PARA LA BIBLIOTECA CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER \***

### AUTORES:

Alexis Abad Gutiérrez.

Marta Alexandra Luna Delgado. \*\*

### PALABRAS CLAVES:

Protección contra incendios, Prevención de incendios, Sistema de supresión, Sistema de detección.

### DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este proyecto es contribuir a los esfuerzos generados por la Universidad Industrial de Santander respecto a la preservación de la integridad física de la población estudiantil, empleados, población flotante, instalaciones y propiedades, realizando el diseño básico del sistema contra incendios para la biblioteca central de ésta universidad.

Este diseño fue realizado bajo la aplicación de las normas de la National Fire Protection Association (NFPA), organización internacional encargada de desarrollar códigos y normas de edificación y de seguridad, para la protección y prevención contra incendios. Los requisitos mínimos para la prevención, protección, y planeación de contingencia de pérdida de fuego en edificaciones culturales como bibliotecas y museos, se encuentran plasmados en la norma NFPA 909 *Code for the Protection of Cultural Resources*. El diseño consta de un sistema de supresión de incendios que utiliza rociadores automáticos y gabinetes contra incendios, este sistema fue realizado bajo los requisitos expuestos en la norma NFPA 13 *Standard for the Installation of*

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Néstor Raúl D’Croz Torres.

*Sprinkler Systems*; además cuenta con el sistema de detección automática de incendios, sistema que incluye detectores, pulsadores manuales y sirenas, asimismo con un panel de control para la supervisión de los componentes anteriores, este sistema fue diseñado utilizando las premisas consignadas en la norma NFPA 72 *National Fire Alarm Code*.

Con la futura implementación del sistema contra incendios, la biblioteca central proporcionará las medidas de seguridad mínimas preescritas por organizaciones nacionales e internacionales para la seguridad de vida humana en caso de incendio, de igual forma con estos sistemas se minimizará la propagación de cualquier fuego dentro del edificio garantizando la protección de las colecciones, la estructura y la continuidad de sus actividades.

## SUMMARY

### TITLE:

**BASIC DESIGN OF THE FIRE SYSTEM FOR THE CENTRAL LIBRARY OF THE INDUSTRIAL UNIVERSITY OF SANTANDER \***

### AUTHORS:

Alexis Abad Gutiérrez.

Marta Alexandra Luna Delgado. \*\*

### KEY WORDS:

Fire protection, Prevention of fires, Suppression system, Detection system.

### DESCRIPTION:

The objective of this project is to contribute to the efforts generated by the Industrial University of Santander regarding the preservation of the student population's, employees, floating population, physical integrity, facilities and properties, carrying out the basic design of the fire system for the central library of this university.

This design was carried out under the application of the National Fire Protection Association (NFPA) standards, international organization in charge of developing construction and security codes and standard, for the protection and fire prevention. The minimum requirements for the prevention, protection, and contingency plan of fire loss in cultural constructions as libraries and museums, are captured in the NFPA 909 code, *Code for the Protection Cultural of Resources*. The design consists of a fire suppression system that uses automatic sprinklers and fires cabinets, this system was carried out under the requirements exposed in the NFPA 13 standard, *Standard for the Installation of Sprinkler Systems*; also includes with a fire detection automatic system, this system includes detecting, manual push and sirens, also with a control panel for the supervision of the previous

---

\* Degree Work.

\*\* Physical-Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering, Eng. Néstor Raúl D'Cross Torres.

components, this system was designed using the premises consigned in the standard NFPA 72 *National Fire Alarm Code*.

With the future implementation of the fire system, the central library will provide the minimum measures of security prescribed by the national and international organizations for the security of human life in the event of fire, by the same way with these systems, the propagation of any fire will be minimized inside the building guaranteeing the protection of the collections, the structure and the continuity of its activities.

## INTRODUCCIÓN

Las actividades comunes hacen que se concentre a menudo una gran cantidad de personas, lo que crea el riesgo que se produzcan grandes pérdidas de vidas humanas si se declarara un incendio en lugares como instalaciones educativas, bibliotecas, lugares de reunión, oficinas, hoteles e instalaciones públicas y sanitarias, entre otros. Históricamente, los fuegos que han causado importantes pérdidas de vidas humanas han producido considerables cambios en las normas de edificación y de seguridad, y en las prácticas normales de protección y prevención contra incendios.

Por la importancia y acogida que poseen estructuras culturales como bibliotecas y museos y teniendo presente la cantidad y magnitud de daños que pueden ocurrir, se desarrollaron normas o códigos específicos con el fin de establecer medidas mínimas de seguridad que deben poseer estas construcciones para garantizar la vida de los usuarios, la protección de las colecciones y la continuidad de sus servicios. Estas medidas se ven reflejadas en la norma 909 de la NFPA *Code for the Protection of Cultural Resources* la cual establece los requisitos mínimos para la prevención, protección, y planeación de contingencia de pérdida de fuego para la seguridad de los edificios de la biblioteca, sus colecciones, y para la seguridad de vida de las personas que las visitan o trabajan en ellas.

Los fuegos se presentan en bibliotecas con frecuencias considerables y serios resultados. Generalmente las bibliotecas poseen un buen registro de prevención de fuego, pero ellas alojan altas cargas combustibles que pueden

originar pérdidas elevadas y catastróficas cuando ocurre un incendio si la suficiente protección de fuego no se proporciona. Es por esto necesario tener presente las posibilidades existentes para limitar la propagación del fuego (sistemas automáticos de detección y supresión de fuego, barreras de fuego, barreras de humo, etc.).

Por las razones anteriores, se desarrolló la presente tesis de grado, titulada *Diseño Básico del Sistema Contra Incendios para la Biblioteca Central de la Universidad Industrial de Santander*. Con este diseño y su futura implementación la Biblioteca Central de la Universidad Industrial de Santander proporcionará las medidas de seguridad mínimas preescritas por organizaciones nacionales e internacionales para la seguridad de vida humana en caso de incendio para instalaciones de este tipo, de igual forma con estos sistemas se minimizará la propagación de cualquier fuego dentro del edificio garantizando la protección de las colecciones, la estructura y la continuidad de sus actividades.

# 1. CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

## 1.1. QUÍMICA Y FÍSICA DEL FUEGO

Un incendio es la manifestación de una combustión incontrolada. En ella intervienen materiales combustibles que forman parte de los edificios, o una amplia gama de gases, líquidos y sólidos que se utilizan en la industria y el comercio. Estos materiales, normalmente constituidos por carbono, se agrupan bajo la denominación de sustancias combustibles. Aunque estas sustancias presentan una gran variedad en cuanto a su estado químico y físico, cuando intervienen en un incendio responden a características comunes, si bien se diferencian en la facilidad con que se inicia éste (ignición), la velocidad con que se desarrolla (propagación de la llama) y la intensidad del mismo (velocidad de liberación de calor). A medida que se profundiza en la ciencia de los incendios, cada vez es posible cuantificar y predecir con mayor exactitud el comportamiento de un incendio, lo que permite aplicar conocimientos a la prevención de los incendios en general.

### 1.1.1. Combustión.

La combustión es una reacción exotérmica autoalimentada con presencia de un combustible en fase sólida, líquida y/o gaseosa. El proceso está generalmente (aunque no necesariamente) asociado con la oxidación de un combustible por el oxígeno atmosférico con emisión de luz. Una combustión confinada con una súbita elevación de presión constituye una explosión.

❖ Reacciones oxidantes. Las reacciones oxidantes relacionadas con los incendios son exotérmicas, lo que significa que el calor es uno de sus productos. A menudo son reacciones complejas y no se conocen por completo. Sin embargo, se pueden formular algunas observaciones consideradas útiles.

Una reacción de oxidación exige la presencia de un material combustible y de un agente oxidante. Combustibles son todas aquellas sustancias que no han alcanzado su máximo estado de oxidación. La posibilidad de oxidar más un material depende de sus propiedades químicas, desde un punto de vista práctico, se puede afirmar que cualquier material formado principalmente por carbono e hidrógeno puede ser oxidado. La mayoría de los combustibles orgánicos sólidos y de los líquidos y gases inflamables contienen porcentajes importantes de carbono e hidrógeno.

El oxígeno del aire es el material oxidante más frecuente. El oxígeno constituye aproximadamente una quinta parte del aire, y el nitrógeno las cuatro quintas partes restantes. Entre los agentes oxidantes poco frecuentes pero bien conocidos que se encuentran en los incendios hay que incluir ciertos productos químicos que pueden liberar fácilmente oxígeno en condiciones favorables (por ejemplo, el nitrato sódico  $[\text{NaNO}_3]$  y el clorato potásico  $[\text{KClO}_3]$ ). Algunos materiales combustibles, como por ejemplo, el material plástico a base de piroxilina, contienen oxígeno combinado en sus moléculas de modo que pueden mantener una combustión parcial sin aportación externa de oxígeno.

También puede haber combustión en casos especiales, en atmósfera de cloro, dióxido de carbono, nitrógeno y algunos otros gases sin la presencia de

oxígeno. Por ejemplo, el polvo de circonio puede inflamarse en dióxido de carbono. Estas situaciones no son frecuentes y el ingeniero encargado de la protección contra incendios debe preocuparse principalmente de la combustión en presencia de aire.

- ♦ Ignición. Constituye el fenómeno que inicia la combustión autoalimentada. La ignición producida al introducir una pequeña llama externa, chispa o brasa incandescente, constituye la denominada ignición provocada. Si la ignición no la provoca un foco externo, se denomina auto-ignición.

La temperatura mínima que necesita alcanzar una sustancia para inflamarse representa la temperatura de ignición. Generalmente, la temperatura de ignición provocada de una sustancia es mucho menor que la temperatura de auto-ignición.

En general, para que las moléculas del combustible y del oxígeno puedan reaccionar químicamente produciendo calor, hay que excitarlas de forma que alcancen un cierto estado de actividad. Esta actividad puede provocarse mediante otras moléculas excitadas por una llama o chispa cercana, o elevando la temperatura en general. Al comenzar la reacción química, el combustible y el oxígeno producen otras moléculas excitadas, así como calor. Si la cantidad de combustible y de oxígeno es suficiente y el número de especies excitadas es también adecuado, la ignición adopta la forma de una reacción en cadena, dado que la velocidad de producción de moléculas activadas supera la tasa natural de desactivación. Una vez iniciada la ignición continuará hasta consumir todo el combustible u oxidante existente, o hasta

que las llamas se apaguen por enfriamiento, por disminución del número de moléculas excitadas o por otras causas.

En general, una ignición autoalimentada puede tener lugar sólo en situaciones capaces de mantener la combustión autoalimentada. Por ejemplo, si la presión ambiente (o la concentración ambiente del material oxidante) no es suficiente para mantener la combustión, tampoco bastará para la ignición.

Además, se puede afirmar que la reacción con llama comienza en la mayoría de los combustibles sólidos y líquidos en la fase de gas o vapor (entre las excepciones hay que mencionar el carbón puro, algunos metales y ciertos resoldos que sufren una oxidación superficial directa del sólido). La mayoría de los sólidos o líquidos necesitan previamente una cantidad de energía térmica suficiente para convertir parte del combustible en vapor y producir una mezcla de combustible en fase gaseosa. En estos casos, es posible, normalmente conocer la temperatura mínima del sólido o líquido que producirá una mezcla combustible cerca de la superficie del combustible. Esta temperatura mínima se denomina temperatura de ignición provocada, dado que se necesita un agente externo que provoque la ignición de la mezcla gaseosa (en los líquidos inflamables, es la denominada temperatura de inflamación).

En la práctica, la temperatura necesaria para provocar la ignición de sólidos y líquidos puede estar condicionada por el caudal del aire (oxidante), por el grado de calentamiento y por el tamaño y forma del sólido o líquido. Por lo tanto, las temperaturas de ignición conocidas dependen, en cierto modo, de los métodos de ensayo utilizados en cada caso.

En general, las temperaturas de ignición de las mezclas gaseosas dependen de la composición, presión ambiente, volumen de la mezcla y forma del recipiente, así como de la naturaleza y energía del agente que provoca la inflamación. Cada mezcla de aire-combustible posee una presión mínima específica y los valores inferiores a esta presión no permiten la ignición. Al aumentar la temperatura, la cantidad de energía necesaria para provocar la ignición de la mezcla es cada vez menor y, cuando la temperatura alcanza un nivel suficientemente elevado, la mezcla arde espontáneamente. Esta temperatura se denomina de auto-ignición (o inflamación espontánea).

Las temperaturas de auto-ignición, observadas en ciertas condiciones, pueden variar mucho, al cambiar las condiciones. Además de la composición y la presión, las temperaturas de auto-ignición de los líquidos y gases inflamables dependen, entre otras variables, de la forma y tamaño del espacio donde tiene lugar la ignición, del grado y duración del calentamiento, de la clase y temperatura de la fuente de ignición y de los efectos catalíticos o de otra clase ejercidos por materiales que pueden estar presentes. Dado que los métodos de ensayo presentan diferencias (por ejemplo, debido al tamaño y forma de los recipientes y métodos de calentamiento), las temperaturas de ignición señaladas para una misma sustancia pueden variar.

❖ Explosiones. Generalmente, las explosiones se producen en situaciones donde el combustible y el agente oxidante se mezclan íntimamente antes de la ignición. En consecuencia, la reacción de la combustión progresa con gran rapidez al no existir la necesidad previa de la mezcla. Si se confinan gases premezclados, su tendencia a la expansión, durante la combustión, puede provocar una súbita elevación de la presión y dar lugar a una explosión.

Por el contrario, los incendios generalmente se producen en situaciones en que la mezcla de combustible y oxidante se controla por el propio proceso de combustión. Como resultado, la velocidad de combustión por unidad de volumen es muy inferior y no se produce el rápido aumento de presión que caracteriza las explosiones.

Para que surja la ignición, la concentración de combustible en cada atmósfera oxidante tiene que ser la adecuada. Una vez iniciada ésta, se necesita la aportación continuada de combustible oxidante para que prosiga la combustión. En los casos de gases, vapores, nieblas formadas por pequeñas gotas de líquido, espumas o polvos sólidos (todos ellos combustibles) la atmósfera formada puede contener mezclas de dos clases: mezclas homogéneas y heterogéneas. La mezcla homogénea es la formada por componentes mezclados de manera íntima y uniforme de modo que una pequeña muestra representa verdaderamente la totalidad de la mezcla. La composición de la mezcla homogénea inflamable fluctúa entre los límites de la inflamabilidad del gas o vapor, niebla, espuma o polvo combustible, contenido en la atmósfera del lugar, a presión y temperatura determinada.

- ♦ Límites de inflamabilidad. Son los límites máximo y mínimo de la concentración de un combustible dentro de un medio oxidante, por lo que la llama, una vez iniciada, continúa propagándose a presión y temperatura especificadas. Por ejemplo, las mezclas de aire e hidrógeno permiten la propagación de la llama si la concentración de hidrógeno se encuentra entre el 4% y el 74% en volumen, 21 C y a presión atmosférica. La cifra menor corresponde al valor límite mínimo (mezcla pobre) y la mayor al límite máximo (mezcla rica) de la inflamabilidad. Al aumentar la temperatura de la mezcla se ensancha el margen de inflamabilidad; al disminuir la temperatura,

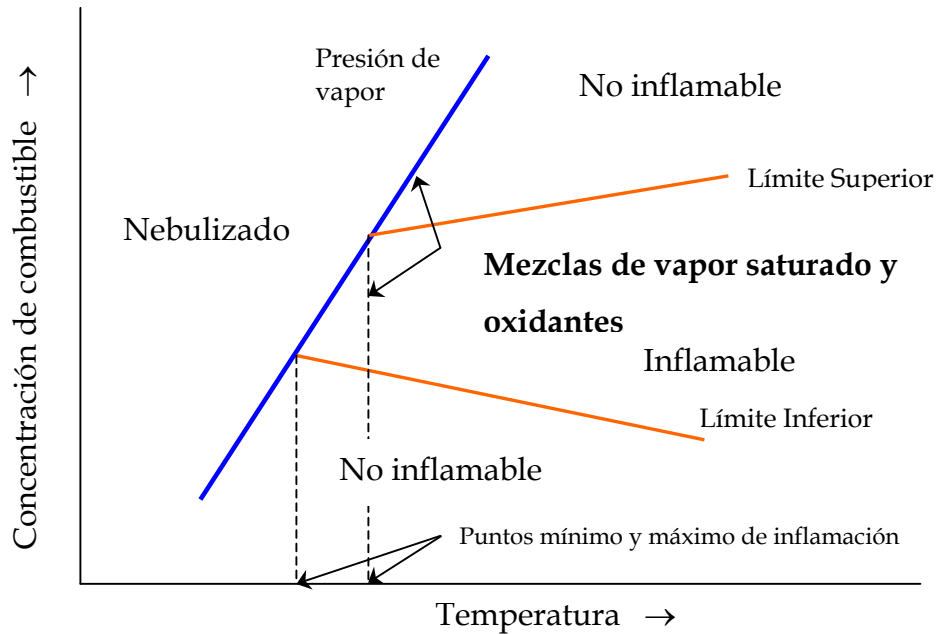
el margen se estrecha (ver Figura 1). Al disminuir la temperatura, una mezcla inflamable puede dejar de serlo, al quedar situada por encima o por debajo de los límites de inflamabilidad, según las condiciones ambientales.

Según se muestra en la Figura 1, si los combustibles líquidos están en equilibrio con sus vapores en el aire, cada combustible presenta una temperatura mínima por encima de la cual hay vapor en cantidad suficiente para formar una mezcla inflamable de vapor-aire. Asimismo, hay una temperatura máxima por encima de la cual la concentración del vapor combustible es demasiado elevada para propagar la llama. Estas temperaturas mínimas y máximas, son denominadas, respectivamente, Temperatura Mínima y Máxima de inflamación en el aire. Si las temperaturas son inferiores a la temperatura más baja de inflamación, el vapor del combustible en la fase gaseosa no es suficiente para permitir la ignición homogénea. Las temperaturas de inflamación de un líquido combustible aumentan al hacerlo la presión ambiente.

- ♦ Puntos de inflamación. La temperatura más baja que necesita un líquido contenido en un recipiente abierto para emitir vapores en proporción suficiente para permitir la combustión continuada se denomina punto de inflamación. Esta temperatura generalmente es superior en unos cuantos grados a la temperatura más baja de inflamación.

Se debe señalar que el fuego puede propagarse sobre líquidos cuyas temperaturas son muy inferiores a sus temperaturas de inflamación más bajas, si existe previamente un foco de ignición. En estos casos, el foco de ignición, o el propio fuego, calientan la superficie del líquido en la zona, de modo que aumenta su temperatura por encima del punto de inflamación.

**Figura 1.** Mezclas vapor – oxidante.



Fuente: Manual de Protección contra incendio.

❖ Catalizadores, inhibidores y contaminantes.

♦ Catalizador. Un catalizador es una sustancia cuya presencia, aún en pequeña cantidad, incrementa fuertemente la velocidad de una reacción, pero sin experimentar en sí misma ningún cambio tras la reacción.

♦ Inhibidores. También llamados estabilizadores, los inhibidores son productos químicos que pueden agregarse en pequeñas cantidades a una materia inestable para impedir una reacción vigorosa. Los materiales ignífugos actúan generalmente como inhibidores. Por ejemplo, al agregar a los materiales de plástico pequeñas cantidades de compuestos de cloro o bromo, se reduce su inflamabilidad y su capacidad para la propagación de

llamas pequeñas. A menudo, los materiales ignífugos son menos eficaces en los incendios de grandes proporciones.

- ♦ Contaminantes. Son materiales extraños que una sustancia no contiene normalmente. Algunos contaminantes (por ejemplo, la arena en el cloruro cálcico), desde el punto de vista de un incendio, quizá no represente peligro. Los contaminantes peligrosos son los que actúan como catalizadores o que pueden participar por sí mismos en una reacción potencialmente peligrosa. Algunos contaminantes inertes, mezclados en cantidad suficiente con algunos materiales plásticos, pueden reducir significativamente su capacidad de inflamación.

- ❖ Materiales estables e inestables.

- ♦ Materiales estables. Se denominan materiales estables aquellos que normalmente no experimentan cambios en su composición química aunque estén expuestos al aire, agua, calor, golpes o presiones. Sin embargo, los materiales estables pueden arder. Por ejemplo, la mayoría de los materiales sólidos pertenecen a esta categoría.

- ♦ Materiales inestables. Los materiales inestables expuestos al aire, agua, calor, golpes o presiones se polimerizan, descomponen, condensan o reaccionan por sí mismo. Por ejemplo, la descomposición del acetileno, la hidracina, o el óxido de etileno pueden originar explosiones violentas.

### **1.1.2. Principios del fuego.**

Se dispone actualmente de conocimientos técnicos importantes sobre las características de la ignición, combustión y propagación del fuego en los materiales combustibles. Sin embargo, la mayoría de los conocimientos adquiridos corresponden a distribuciones geométricas muy sencillas y, por lo tanto, no permite pronosticar adecuadamente la probabilidad de la ignición y el incendio resultante en situaciones reales. No obstante, los conocimientos derivados de estas situaciones simplificadas proporcionan una información muy útil.

En la actualidad se conoce los límites de inflamabilidad y velocidades de combustión de la mayoría de las mezclas más comunes de vapor y gas. Asimismo, los expertos pueden actualmente calcular con exactitud las velocidades de combustión de las mezclas simples de hidrocarburos y aire en función de sus múltiples reacciones químicas individuales.

Los incendios se diferencian de las explosiones en que surgen en casos donde el combustible y el oxidante no están previamente mezclados. La velocidad de combustión está entonces limitada, más por el aporte de combustible y oxidante al fuego, que por la velocidad de la reacción química básica que tiene lugar en el seno de las llamas. Esta velocidad de reacción es generalmente tan rápida, que consume todo el combustible y el material oxidante disponible para alimentar la reacción en poco tiempo. En los incendios, el proceso básico de la combustión en fase gaseosa tiene lugar en finas llamas laminares, denominadas "llamas difusoras", que separan las regiones ricas en vapores combustibles de las regiones ricas en material oxidante. El vapor combustible y el material oxidante avanzan por difusión

hacia esas llamas laminares donde se combinan y originan productos de combustión y calor que a su vez se alejan de aquéllas por difusión.

Si las llamas difusoras son pequeñas (por ejemplo, la llama de una cerilla o vela), generalmente presentan un aspecto uniforme y constante. Estas son las denominadas llamas de difusión "laminar". Si se permite que el incendio aumente, las llamas pierden estabilidad y zigzaguean en busca de más combustible u oxidante. Finalmente, al aumentar el fuego, el movimiento de las llamas alcanza características verdaderamente desordenadas, pasando a denominarse en este caso llamas de difusión "turbulenta".

Los científicos han logrado un conocimiento relativamente claro sobre pequeños fuegos con presencia de llamas de difusión laminar. Por ejemplo, pueden calcular velocidades de propagación de llamas y velocidades de combustión estacionaria de pequeños combustibles sólidos en términos de propiedades básicas de combustión de formas geométricas sencillas pero variadas (superficies planas o lisas, cilindros, etc.) En estos casos, las velocidades de combustión dependen de la transferencia del calor por las corrientes de convección desde la llama hasta el combustible sólido que, en consecuencia, se gasifica y suministra vapores combustibles a las llamas. La corriente ascendente producida por los productos calientes de la combustión al ascender suministra el oxidante a las llamas. La corriente ascendente puede, además, aumentar la transmisión de calor por convección de las llamas al combustible sólido. Si hay propagación de la llama, la velocidad de propagación depende del calor que las llamas transmiten hacia delante y los materiales combustibles que todavía no arden y que necesitan calentarse previamente para suministrar vapores combustibles a las llamas.

Los fenómenos de las llamas de difusión turbulenta en incendios importantes son menos conocidos, debido a que resulta difícil escribir el movimiento turbulento de un gas y la radiación de la llama, que es generalmente la forma dominante de transmisión del calor en estos incendios. La experiencia y las medidas que han podido tomarse demuestran el destacado papel que la radiación de la llama juega en los incendios de grandes dimensiones, alterando incluso el orden relativo de inflamabilidad de los combustibles, en comparación con el que presentan a escala inferior.

El estudio de los fuegos de grandes proporciones ocupa actualmente un lugar destacado en la investigación sobre incendios. En los últimos años, los científicos, utilizando los conocimientos adquiridos sobre los procesos del fuego, han preparado complejos modelos matemáticos mediante ordenador, capaces de pronosticar el desarrollo de un incendio desde la ignición hasta la total conflagración en una estancia determinada y su propagación a las adyacentes, o incluso a otros edificios colindantes. No obstante, estos modelos computarizados están todavía en sus estados iniciales de desarrollo.

❖ Ignición y combustión. Para describir los distintos fenómenos físicos y químicos existentes en los incendios, se analizará en primer lugar la ignición, combustión y eventual extinción de un tablón de madera en una situación típica, por ejemplo una chimenea.

1. Hay que suponer que el tablón experimenta un calentamiento inicial por radiación. Conforme la temperatura superficial se va aproximando a la temperatura de ebullición del agua, la madera empieza a desprender gases, principalmente vapor de agua. Estos gases iniciales tienen muy poco, o nulo vapor combustible, pero al incrementarse la temperatura y sobrepasar la

ebullición del agua, el proceso de “deseccación” avanza hacia el interior de la madera.

2. Al continuar el calentamiento y acercarse la temperatura a 300 C se aprecia una modificación de color, visualización de la pirólisis que se inicia, es decir, la descomposición química que sufre la materia por efecto del calor. Al pirolizarse la madera, desprende gases combustibles y deja un residuo carbonoso negro, denominado carbón vegetal. La pirólisis profundiza en el tablón de madera a medida que el calor continúa actuando.

3. Inmediatamente después de comenzar la pirólisis activa, la madera produce rápidamente suficientes gases combustibles como para alimentar una combustión en fase gaseosa. Sin embargo, para que surja la combustión hace falta una llama que la provoque o algún foco que produzca moléculas químicamente activas en cantidad suficiente para alcanzar la ignición provocada. Si no existe este agente provocador, la superficie de la madera a menudo necesita alcanzar temperaturas mucho más elevadas para que se aparezca la auto-ignición.

4. Una vez producida la ignición, una llama difusora cubre rápidamente toda la superficie pirolizada. La llama difusora evita el contacto directo entre la superficie pirolizada y el oxígeno. Entre tanto, la llama calienta la superficie del tablón y produce un aumento en la velocidad de la pirólisis. Si retiramos el foco original que proporciona el calor radiante al producirse la ignición, la combustión continúa siempre que el tablón de madera sea bastante delgado (inferior a 1,9 cm). En caso contrario, las llamas se apagan porque la superficie del tablón pierde demasiado calor por radiación térmica y por conducción hacia su interior. Si existe una superficie de madera (o material

aislante) paralela y contigua situada frente al tablón inflamado, puede captar y devolver gran parte de la pérdida de radiación superficial, de modo que el tablón inflamado continúe ardiendo aunque retiremos el foco inicial de calor. Lo dicho anteriormente explica por qué no podemos quemar un solo tronco en la chimenea, sino varios capaces de captar las pérdidas de calor radiante unos de los otros.

5. El grosor de la capa carbonizada aumenta al continuar la combustión. Dicha capa, que posee buenas propiedades de aislante térmico, limita el caudal de calor que penetra hacia el interior de la madera y, por lo tanto, tiende a reducir la intensidad de la pirólisis, la cuál disminuye también al agotarse el volumen de la madera sin pirolizar. Al disminuir la intensidad de la pirólisis hasta que no puede mantener la combustión de la fase gaseosa, el oxígeno del aire entra en contacto directo con la capa carbonizada y facilita que continúe directamente la combustión incandescente si las pérdidas de calor radiante no son demasiado elevadas.

6. El análisis anterior presupone un caudal de aire (oxidante) abundante (pero no excesivo) para alimentar la combustión. Si el caudal de oxidante no es suficiente para quemar el vapor combustible existente, los vapores sobrantes se desplazarán con él, y probablemente arderán cuando encuentren una cantidad suficiente de oxidante. Este es el fenómeno que sucede cuando los vapores combustibles se descargan por una ventana y arden en el exterior de una habitación completamente incendiada pero insuficientemente ventilada. Generalmente, los fuegos con poca ventilación generan grandes cantidades de humo y productos tóxicos. Sí, por otra parte, sometemos la superficie pirolizada a un chorro de aire a presión, el caudal oxidante puede superar la cantidad necesaria para quemar completamente los vapores

combustibles. En tal caso, el exceso de oxidante puede enfriar las llamas hasta suprimir la reacción química y extinguirlas. Esto sucede, por ejemplo, cuando soplamos sobre una cerilla o una vela. Al soplar sobre fuegos de grandes dimensiones (con producción de grandes cantidades de vapores combustibles) se incrementa la intensidad de la combustión debido al aumento de transmisión de calor desde la llama hasta la superficie del combustible, el cual aumenta a su vez la emisión de sustancias combustibles.

7. Una vez inflamada cierta parte del tablón de madera, las llamas probablemente se extenderán a la totalidad del material. Cabe considerar la propagación de la llama como una sucesión continua de ignición provocada en la que las propias llamas proporcionan el foco de calor. Es fácil observar que la propagación ascendente de las llamas es mucho más rápida que en el sentido descendente u horizontalmente. Ello es debido a que el calor de las llamas se desplaza normalmente hacia arriba, y proporcionan calor a una zona mucho mayor en sentido ascendente. Por tanto, cada sucesiva ignición ascendente agrega al fuego un volumen ardiente mucho mayor que en cualquier otra dirección. Generalmente, los materiales capaces de inflamarse fácilmente también propagan rápidamente las llamas. La inflamabilidad de un material depende de su resistencia al calentamiento (inercia térmica) y el aumento necesario de la temperatura para que comience la pirolización. Los materiales que poseen inercia térmica baja, como por ejemplo las espumas de material plástico o la madera de balsa, se calientan rápidamente al someterlos a un flujo térmico determinado. Estos materiales con frecuencia pueden inflamarse fácilmente y originar una propagación mucho más rápida de las llamas. Por otra parte, los materiales densos suelen tener inercias térmicas relativamente elevadas y la ignición es difícil.

8. Las velocidades de combustión de los mayores y más peligrosos incendios están fundamentalmente controladas por la transmisión de calor radiante desde las llamas a la superficie combustible en fase de pirolisis. Esta radiación de la llama procede principalmente de las partículas incandescentes de hollín. Los combustibles que tienden a producir abundantes cantidades de hollín o humo tienden también a intensificar los fuegos, a pesar de que los vapores del combustible se queman de forma menos completa, como lo demuestra la mayor cantidad de humo generada<sup>1</sup>.

Los fuegos con buena ventilación liberan menos humo que aquellos con ventilación deficiente. En fuegos bien ventilados el aire circundante se mezcla rápidamente con los productos combustibles no incendiados (hollín y vapores) antes de que los vapores del combustible se enfríen. Los fuegos con ventilación deficiente liberan abundante cantidad de humo y gases de la combustión incompleta, tales como CO. Los vapores del combustible no disponen de aire suficiente para su combustión completa antes de enfriarse y abandonar la zona.

Los fuegos que se producen en atmósfera ricas en oxígeno alcanzan mayores temperaturas de llama, incrementan la fracción de calor liberado por radiación y aumentan las velocidades de combustión por unidad de superficie combustible. Las mayores temperaturas de llama, generalmente, causan una mayor transformación de vapores en hollín, aumentando significativamente la velocidad de emisión de humo. Por ejemplo, un fuego de metanol, bien ventilado, arde con una típica llama azul (carencia de hollín) en aire normal. Sin embargo, en una atmósfera rica en oxígeno, la llama

---

<sup>1</sup> Browne, F.L. Theories of the Combustión of Wood and its Control, citado por Cote, Arthur. Manual de protección contra incendios. Tercera edición. Madrid. MAPFRE, 1986. p. 98 - 99.

podría ser humeante y muy luminosa. Esta sensibilidad a la concentración de oxígeno ambiental aumenta significativamente la radiación de llama, la velocidad de combustión y el consiguiente riesgo.

❖ Propiedades de inflamabilidad de combustibles sólidos y líquidos de alto punto de inflamación. Se puede resumir lo dicho anteriormente citando las propiedades de los combustibles que contribuyen a la peligrosidad del fuego en situaciones típicas de incendio:

- ♦ Calor de combustión. Es la cantidad máxima de calor liberado por la combustión completa de una unidad de masa de material combustible.

- ♦ Oxidante estequiométrico. Cantidad de oxidante necesaria para la combustión completa de una masa unidad de combustible. Los combustibles que necesitan grandes cantidades estequiométricas de oxidante, a menudo producen llamas de gran altura que representan un peligro mayor de propagación del fuego. La necesidad estequiométrica de oxidante de los combustibles usuales (orgánicos) es aproximadamente proporcional a su calor de combustión, de modo que todos los combustibles orgánicos producen más o menos la misma cantidad de calor por unidad de masa de oxidante consumido.

- ♦ Calor de gasificación. Es la cantidad de calor necesario para vaporizar la unidad de masa de combustible, cuya temperatura inicial es la ambiente. Este valor es muy importante, dado que determina la cantidad de vapor combustible aportado a un fuego en función de la cantidad de calor suministrado a la superficie pirolizada.

- ♦ Inflamabilidad. Esta propiedad es inversamente proporcional al tiempo que necesita un flujo calorífico aplicado a un material dado, para elevar su temperatura superficial hasta su temperatura de ignición provocada. Este valor es importante tanto para la ignición como para la propagación del fuego.
  
- ♦ Formación de carbón. Muchos materiales, como la madera, sufren una carbonización progresiva, a medida que el efecto de pirólisis va ganando tamaño. Las propiedades aislantes de estas capas carbonizadas pueden reducir eficazmente la intensidad de combustión al limitar el caudal de calor que actúa sobre el material aún sin pirolizar.
  
- ♦ Formación de hollín. Los combustibles cuyas llamas producen cantidades importantes de hollín son generalmente más peligrosos porque éste aumenta la radiación de la llama, que influye a su vez sobre la intensidad de la combustión. El mismo hollín contribuye también a los daños originados por el humo.
  
- ♦ Inhibidores. Las cantidades pequeñas de inhibidores químicos agregados al combustibles u oxidante pueden impedir las reacciones en la fase gaseosa. Estos inhibidores de llamas pueden retrasar eficazmente la ignición y propagación de las llamas en los incendios pequeños. Asimismo, es posible inhibir las llamas agregando aditivos a los combustibles sólidos para fomentar la carbonización, y concentraciones mayores de vapor de agua en los gases de pirólisis.

- ♦ Fusión. Los combustibles que funden resultan a menudo más peligrosos porque los materiales fundidos pueden aumentar la superficie de pirólisis. Además, el material fundido puede constituir un peligro en sí mismo.

- ♦ Toxicidad. Generalmente, el monóxido de carbono es el producto más tóxico que genera un fuego. Se encuentra presente en los gases de la pirólisis y en productos de una combustión incompleta. Algunos materiales, sobre todo aquellos que contienen elementos distintos al C, H y O (por ejemplo el cloruro de polivilino y el poliuretano), pueden originar otros componentes tóxicos.

- ♦ Geometría. La geometría de un material influye mucho sobre su posibilidad de inflamación. Los materiales de poco grosor suelen inflamarse con mayor facilidad y la propagación de las llamas es más rápida. (Además, en sentido ascendente es más veloz que en sentido horizontal o descendente). Finalmente, las distribuciones geométricas que permiten la entrada de aire abundante, aunque impiden las pérdidas de calor radiante, generalmente resultan más peligrosas.

- ❖ Principios de inflamabilidad. Para resumir, se cita a continuación los principios fundamentales de la ciencia de protección contra incendios:

1. Para que surja la combustión, se necesita un agente oxidante, un material combustible y un foco de ignición.

2. Para inflamar o permitir la propagación de la llama, hay que calentar el material combustible hasta su temperatura de ignición provocada.

3. La combustión posterior depende del calor que las llamas devuelven al combustible pirolizado o vaporizado.
4. La combustión continuará hasta que:
  - a. Se consuma el material combustible, o
  - b. La concentración del producto oxidante descienda por debajo de la necesaria para permitir la combustión, o
  - c. Haya suficiente calor eliminado o alejado del material combustible como para impedir que continúe la pirólisis del combustible, o
  - d. La utilización de productos químicos que inhiba las llamas, o la temperatura de las mismas descienda hasta un valor suficiente para impedir reacciones posteriores.

### **1.1.3. Fuentes de energía calorífica o focos de ignición.**

Como la prevención y extinción del fuego dependen del dominio que se ejerza sobre la energía calorífica, es importante conocer las formas más comunes en que se produce dicha energía. Existen básicamente cuatro fuentes de energía calorífica: química, eléctrica, mecánica, y nuclear.

#### ❖ Energía calorífica química.

Las reacciones de oxidación generalmente producen calor. Estos son los tipos de fuente de calor que constituyen el principal interés del ingeniero dedicado a la protección contra incendios.

- ◆ Calor de combustión. Es la cantidad de calor emitido durante la oxidación completa de una sustancia. El calor de combustión, denominado

comúnmente poder calorífico, depende del tipo y números de átomos de la molécula y su disposición en la misma. Generalmente, se expresa en Julios por gramo, que a veces se refleja en Btu por libra o calorías por gramo\*. En el caso de gases combustibles los poderes caloríficos suelen expresarse en Btu/ft<sup>3</sup> (KJ/m<sup>3</sup>). Los valores caloríficos se utilizan al calcular la carga de fuego, pero no indican necesariamente el riesgo relativo del incendio, ya que este depende de la velocidad de combustión y de la cantidad total de calor generado.

Resulta también interesante el hecho de que se produzca calor en las oxidaciones incompletas o parciales verificadas en algunas etapas de casi todos los fuegos accidentales y en el calentamiento espontáneo por oxidación. En casi todos los compuestos de carbono e hidrógeno, o de carbono, hidrógeno y oxígeno (donde se incluyen las sustancias vegetales y las procedentes del petróleo), el calor de oxidación, tanto si es completa como parcial, depende del oxígeno consumido. En sustancias corrientes (tales como carbón, gas natural, plásticos corrientes, madera, algodón, azúcares y aceites vegetales o minerales), el calor de oxidación alcanza aproximadamente 100 Btu/ft<sup>3</sup> (63,7 KJ/m<sup>3</sup>) de aire consumido, con independencia que la combustión sea más o menos completa. Por esta razón, el caudal de aire limita, en cada caso, el calor producido por el fuego o el calentamiento espontáneo por oxidación.

- ♦ Calentamiento espontáneo. El proceso de aumento de temperatura de un material dado sin que para ello extraiga calor de su entorno se llama calentamiento espontáneo. El calentamiento espontáneo de un material hasta

---

\* 1 Btu/lb = 2.32 J/g y 1 cal/g = 4.18 J/g.

su temperatura de ignición tiene por resultado la ignición espontánea o la combustión espontánea. Las causas fundamentales del calentamiento espontáneo son pocas, pero las condiciones bajo las cuales estos factores fundamentales operan hasta llegar a plantear una situación peligrosa son muchas y muy variadas. Hay tres circunstancias que tienen una gran relación con la peligrosidad del calentamiento originado por la reacción de oxidación, que son: la cantidad de aire disponible, la tasa de generación de calor y las propiedades aislantes del entorno inmediato.

Prácticamente todas las sustancias orgánicas expuestas a la atmósfera que sean capaces de combinarse con oxígeno se oxidan a cierta temperatura crítica con desprendimiento de calor. La tasa de oxidación a temperaturas normales es generalmente tan baja que el calor que se desprende se transfiere al entorno inmediato a la misma velocidad con que se forma, con el resultado de que no existe aumento de temperatura en el material combustible sujeto a oxidación. Sin embargo, esta afirmación no es válida para todos los materiales combustibles, puesto que ciertas reacciones de oxidación a temperaturas normales generan calor más rápidamente de lo que se puede disipar, resultando la ignición espontánea.

Para que se verifique una ignición espontánea debe disponerse de cantidad de aire suficiente para permitir la oxidación, aunque no tanta para que el calor se elimine por convección a la misma velocidad que se forma. Un trapo empapado en aceite vegetal, que podría calentarse espontáneamente estando situado en el fondo de un cubo de basura, normalmente no se calentaría si estuviera colgado en un tendedero, donde el movimiento del aire eliminaría el calor; tampoco es de esperar que se calentara si estuviera contenido en una bala de trapos firmemente comprimidos. Por el contrario, una bala que no

estuviera empaquetada de ese modo, debido a la existencia de mayor cantidad de aire y a su efecto aislante podría proporcionar las condiciones ideales para que se produjera el calentamiento. Debido a la gran cantidad de posibles combinaciones de los factores interconectados de suministro de aire y aislamiento, es imposible predecir con exactitud en qué condiciones puede calentarse espontáneamente un material.

En presencia de aire, las sustancias objeto de oxidación comienzan a formar productos de oxidación parcial que pueden actuar como catalizadores del siguiente paso de oxidación. La adición de calor puede iniciar un calentamiento espontáneo en algunos materiales combustibles que no están sujetos a este fenómeno a temperaturas ordinarias. En estos casos, el precalentamiento aumenta la tasa de oxidación lo suficiente para que el calor se produzca a más velocidad de la que se pierde.

- ♦ Calor de descomposición. Es el desprendido por la descomposición de compuestos que requieren la presencia de calor durante su formación. Como la mayor parte de los compuestos químicos se producen por reacciones exotérmicas, el calor de descomposición no es un fenómeno muy común. Los compuestos formados a partir de reacciones endotérmicas son frecuentemente inestables. Cuando comienza la descomposición por calentamiento por encima de la temperatura crítica, dicha descomposición continúa por sí sola con liberación de calor.

- ♦ Calor de disolución. Es el que se desprende al disolverse una sustancia en un líquido. La mayor parte de las materias emiten calor al disolverse, aunque su cantidad no es generalmente suficiente para que tenga algún efecto significativo en lo que respecta a la protección contra incendios. Algunos

productos químicos emiten calor en cantidades que pueden llegar a ser peligrosas. Los productos químicos que reaccionan en el agua de esta manera no son combustibles por sí mismos, pero el calor liberado puede ser suficiente para producir la ignición de algún material combustible próximo.

❖ Energía calorífica de origen eléctrico.

En el proceso del flujo de la corriente a través de un conductor, los electrones van pasando de átomo en átomo dentro del mismo con frecuentes colisiones entre las partículas atómicas que se encuentran en el camino. Los mejores conductores, como el cobre y la plata, contienen sus electrones externos más fácilmente eliminables, de modo que la fuerza o voltaje necesario para establecer o mantener una unidad de corriente eléctrica (o flujo de electrones) a través del conductor es menor que en otras sustancias compuestas de átomos con enlaces más fuertes. Así, la resistencia eléctrica de cualquier sustancia depende de sus características atómicas y moleculares y es proporcional a la energía necesaria para mover cualquier unidad de cantidad de electrones a través de la sustancia, venciendo las fuerzas de colisión y captura de electrones. Este gasto de energía aparece en forma de calor.

♦ Calentamiento por resistencia. Cuando la tasa de generación de calor es proporcional a la resistencia y al cuadrado de la corriente, se llama calentamiento por resistencia. Puesto que la temperatura del conductor resultante del calentamiento por resistencia depende de la disipación del calor a su entorno, los cables descarnados pueden aportar mayor corriente que los provistos de aislamiento sin calentarse de forma peligrosa, y los alambres individuales pueden aportar más corriente que los múltiples o los que están fuertemente agrupados.

- ♦ Calentamiento dieléctrico. Al someter los átomos a gradientes de potencial eléctrico de origen externo, la distribución del átomo sufre deformaciones y los electrones intentan trasladarse en la dirección del potencial positivo, mientras que los protones lo hacen en dirección contraria. Lo dicho anteriormente ocurre tanto si el potencial externo aplicado proceda de una batería o generador, como si es creado por un campo magnético. Por ejemplo, el calentamiento de un dieléctrico puede alcanzar niveles importantes si la frecuencia alterna del potencial externo alcanza niveles elevados.

- ♦ Calentamiento por inducción. Siempre que un conductor esté sujeto a la influencia de un campo magnético fluctuante o alterno, o entre en actividad a través de las líneas de fuerza de un campo magnético, aparecen en él diferencias de potencial que dan como resultado un flujo de corriente con calentamiento por resistencia en el conductor.

- ♦ Calentamiento originado por corrientes de fuga. Dado que los materiales aislantes existentes en la actualidad distan mucho de ser perfectos, permiten siempre que circule cierta intensidad de corriente al someter los aislantes a tensiones importantes. La corriente circulante puede denominarse corriente de fuga y, desde el punto de vista de generación de calor carece de importancia. Sin embargo, si el material aislante no es el adecuado para el cometido que realiza o si el material es muy delgado, las corrientes de fuga pueden superar los límites de seguridad y calentar al aislante, originando los desperfectos consiguientes del material y su rotura final.

- ♦ Calor debido al arco eléctrico. El arco eléctrico se produce cuando un circuito eléctrico que porta corriente se interrumpe, tanto si esta interrupción

es intencional (caso de un interruptor de cuchilla) como si es accidental (cuando se suelta un contacto o un terminal). La formación de arco eléctrico es especialmente grave cuando se produce en motores u otros circuitos inducidos. La temperatura de los arcos eléctricos es muy alta y el calor emitido puede ser suficiente para producir ignición de un material combustible o inflamable cercano. En algunos casos, el arco eléctrico puede fundir el conductor.

- ♦ Calentamiento por electricidad estática. La electricidad estática, algunas veces llamada también electricidad por fricción, corresponde a una acumulación de carga eléctrica en la superficie de dos materiales que se han unido y separado después. Las superficies se cargan entonces positiva y negativamente. Si estas sustancias no estuvieran conectadas o puestas a tierra podrían asimilar suficiente carga eléctrica para producir chispa. Los arcos estáticos tienen corta duración y no producen suficiente calor para causar la ignición de materiales ordinarios como el papel. Algunos otros, sin embargo, son capaces de causar ignición de gases o vapores inflamables o nubes de polvo combustibles.

- ♦ Calor generado por rayo. El rayo es una descarga eléctrica sobre una nube, hacia la carga opuesta de otra nube o sobre la tierra. Un rayo que pase de una nube a la tierra puede desarrollar temperaturas muy altas en cualquier material de alta resistencia que se encuentre en su camino, tal como madera o mampostería.

❖ Energía calorífica de origen mecánico.

Es la responsable de un importante número de incendios. El calor originado por fricción produce la mayor parte de estos incendios, aunque hay unos pocos y notables ejemplos de ignición por energía calorífica mecánica desprendida por compresión.

♦ Calor generado por fricción. Cualquier rozamiento produce calor. El peligro inherente depende de la energía mecánica presente, de la intensidad con que el calor se produce y del porcentaje disipado del calor.

♦ Chispas producidas por fricción. Si chocan dos superficies duras y por lo menos una es metálica, el impacto puede originar chispas. Entre los ejemplos de chispas producidas señaladas como responsables de incendios se tiene: las originadas al caer una herramienta de acero sobre piso de hormigón, las producidas al chocar herramientas con tuberías, las virutas metálicas producidas en los talleres de mecanizado.

♦ Calor por compresión. Es el que se desprende de la compresión de un gas. También se denomina efecto diesel. El hecho de que la temperatura de un gas aumente cuando se le comprime ha encontrado aplicación práctica en los motores diesel, el calor que se desprende al comprimirse el aire basta para que el aceite entre en ignición.

❖ Energía calorífica de origen nuclear.

La energía nuclear es la que despiden los núcleos de los átomos. Este núcleo se compone de materias muy unidas por grandes fuerzas, que pueden liberarse

cuando se le bombardea con partículas. La energía nuclear se desprende en forma de calor, presión y radiación nuclear. El desprendimiento instantáneo de grandes cantidades de energía calorífica nuclear da como resultado una explosión atómica, mientras que el regulado se convierte en una fuente de calor.

## 1.2. TEORIA DEL FUEGO

Se puede dar una definición mixta del fuego, derivada de la que aparece en varios diccionarios, según la cual sería *una reacción consistente en la combinación continua de un combustible (agente reductor) con ciertos elementos, entre los cuales predomina el oxígeno libre o combinado (agente oxidante)*. Esta combinación se da también con otros elementos, como el flúor y el cloro. La propiedad común a todas estas reacciones es que son exotérmicas.

El proceso de combustión tiene lugar de dos modos distintos: con llama (en el que se incluyen las explosiones) y superficial sin llama (en el que incluye la incandescencia). La combustión con llama, a pesar de su complejidad, se asocia con velocidades relativamente rápidas de combustión, expresadas en términos de liberación de energía térmica a partir de la energía química existente en los enlaces entre átomos que, en unión de la relación peso - tiempo y del calor específico de los productos gaseosos de la combustión del cuerpo emisor, determinan la temperatura de llama.

Se debe señalar que las temperaturas teóricas de las llamas de los distintos gases que arden en el aire, no varían apreciablemente, aunque haya diferencias importantes en sus calores de combustión. Por ejemplo, el hidrógeno posee un valor calorífico igual a 319 Btu/ft<sup>3</sup> (11885,94 KJ/m<sup>3</sup>) a

15,5 C y 1 atmósfera, mientras que la temperatura teórica de su llama alcanza 2.315 C aproximadamente. Las temperaturas de la mayoría de las llamas originadas por hidrocarburos (en condiciones de combustión ideal) varían entre 1.926 y 2.315 C. Para alcanzar temperaturas más elevadas, estos gases y vapores necesitan el calentamiento previo del aire y/o una atmósfera que contenga algún porcentaje elevado de oxígeno. Las condiciones normales de los incendios generan falta de aire, combustión incompleta y temperaturas un tanto más bajas de las llamas.

En condiciones de equilibrio, la energía calorífica producida y la energía calorífica transmitida al entorno (medidas ambas en un mismo tiempo tomado como base) deben ser iguales. Si la cantidad de energía calorífica producida es superior, el incendio aumentará, por el contrario, si la transmitida es superior, el incendio disminuirá. El fenómeno depende mucho del calor. Los chorros de agua, que constituyen el recurso principal de los servicios de bomberos, proporcionan realmente un método eficaz para dominar los incendios porque alteran realmente este equilibrio térmico. Se dispone de otros medios para dominar los incendios. La complejidad de los tipos de llamas ofrece posibilidades adicionales en el control de los incendios, utilizables por separado o combinadas. Esta situación es completamente opuesta a la de las superficies incandescentes sin llama, las cuales sólo pueden ser dominadas utilizando tres métodos combinados o por separado. La combustión con llama puede concebirse como un tetraedro, en el que cada uno de los cuatro lados es contiguo a los otros tres y cada uno representa uno de los cuatro requisitos básicos: combustible, temperatura, oxígeno y reacciones de combustión en cadena no inhibidas.

La combustión sin llama puede simbolizarse correctamente con el tradicional triángulo, en el que cada uno de los tres lados es contiguo a los otros dos y representa uno de los tres requisitos básicos: combustible, temperatura y oxígeno.

### **1.2.1. El triángulo del fuego.**

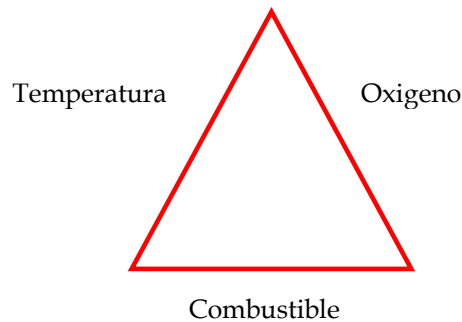
El fuego o combustión es un proceso de oxidación rápido que generalmente produce luz y calor. Anteriormente el fuego se representó por un triángulo. La teoría moderna de la combustión representa al fuego como un tetraedro, sin embargo, la teoría del *triángulo de fuego* describe adecuadamente el proceso de ignición.

El fuego requiere de tres elementos para existir, siendo cada elemento dependiente de los otros para producir la combustión. Estos tres elementos son: oxígeno o agente oxidante, combustible o agente reductor y calor. Para que el fuego se inicie es necesario que estén presentes los tres elementos en la proporción y combinación adecuadas. Por tal razón, mantener separados los tres elementos del triángulo del fuego es la base para prevenir los incendios, y remover uno o más de estos elementos del triángulo para extinguirlos.

El primer componente del triángulo del fuego es el oxígeno; que por sí mismo no arde, solamente mantiene la combustión. Para la iniciación de un incendio es necesario que la atmósfera contenga por lo menos un 16% de oxígeno, presentándose a veces en atmósferas que contienen una cantidad de oxígeno inferior al 16%; sin embargo, algunos elementos químicos o combinación de ellos pueden causar una liberación de oxígeno dentro del triángulo; estas sustancias son agentes de oxidación u oxidantes.

La segunda parte del triángulo de fuego es el combustible o agente reductor, el cual puede ser sólido, líquido o gaseoso. Cuando el combustible se encuentra en los estados sólido y líquido, debe sufrir algunos cambios para transformarse en gas e iniciar la combustión.

**Figura 2.** Triángulo de Fuego.



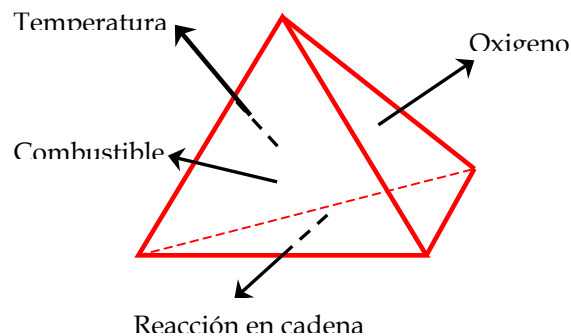
La tercera parte del triángulo es el calor, esta energía aumenta la temperatura del combustible al punto de desprender los suficientes vapores para que ocurra la ignición. El calor es también la forma de energía que causa la ignición.

### **1.2.2. El tetraedro del fuego.**

Debe existir un cuarto factor para que un incendio mantenga y aumente su tamaño. Este factor es la reacción en cadena que se produce entre el combustible y el agente oxidante. El triángulo de fuego se altera al incluir en él la reacción en cadena, formando una figura multidimensional con cuatro caras llamada tetraedro. A medida que el fuego arde, las moléculas del combustible se reducen a moléculas simples dentro de la llama. Mientras el proceso de combustión continúa, el aumento de temperatura hace que el

oxígeno adicional sea atraído al área de llama, más moléculas se rompen, entran en reacción, alcanzan su punto de ignición, empiezan a arder y aumenta la temperatura. Lo que demanda más oxígeno y continúa la reacción en cadena. Este proceso continuará hasta que las sustancias involucradas se trasladen a áreas más frías de la llama.

**Figura 3.** Tetraedro de fuego.



### 1.3. PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN Y SUS EFECTOS SOBRE LA SEGURIDAD DE LAS PERSONAS

La exposición a los productos de la combustión presenta múltiples riesgos para las personas. Entre los más importantes se encuentran los efectos del calor, visión limitada por la opacidad del humo o la irritación de los ojos, narcosis debido a la inhalación de asfixiantes e irritación de las vías respiratorias.

Estos efectos, a menudo simultáneos en un incendio, originan incapacidad física, pérdida de coordinación motriz, visión reducida, desorientación, falta de juicio y pánico. El consiguiente retraso o posibilidad de escapar, provoca

lesiones o muertes debidas a la inhalación de gases tóxicos y a las quemaduras sufridas. Los supervivientes de un incendio pueden sufrir posteriores complicaciones pulmonares y lesiones originadas por quemaduras que les produzcan la muerte.

Los efectos tóxicos inhalados dependen de la dosis recibida y ésta, a su vez, resulta influenciada por la intensidad de la respiración. Algunos componentes de los gases de la combustión dificultan la respiración mientras que otros la estimulan. En general, hay varios factores esenciales para el completo conocimiento de los efectos de los productos de la combustión sobre las personas.

### **1.3.1. Gases de la combustión.**

El humo se compone de partículas líquidas y sólidas en suspensión y gases, que se emiten cuando un material sufre pirólisis o combustión<sup>2</sup>. Los gases tóxicos suelen dividirse en tres tipos: asfixiantes, que producen narcosis (en toxicología se refiere a compuestos asfixiantes que afecta el sistema nervioso central, provocando pérdida de conocimiento y hasta la muerte); irritantes, que generan complicaciones sensoriales y pulmonares y otros gases que exhiben características tóxicas inusuales.

La gravedad de los efectos depende de la dosis recibida, es decir de la concentración y tiempo de exposición, al aumentar la dosis aumenta la severidad. Aunque en la combustión se generan muchos asfixiantes, solo se

---

<sup>2</sup> ASTM. Standard Terminology Relating to Fire Standards. ASTM E 176-82, citado por Cote, Arthur. Manual de protección contra incendios. Tercera edición. Madrid. MAPFRE, 1986. p.126.

han medido en suficiente concentración, para causar efectos tóxicos agudos, el monóxido de carbono (CO) y el cianhídrico (HCN).

❖ Monóxido de carbono. Aunque no es el más tóxico de los gases desprendidos en un incendio, si es uno de los más abundantes y constituye la mayor amenaza en la mayoría de los fuegos. En condiciones controladas de combustión, el carbono de la mayoría de los compuestos orgánicos puede oxidarse totalmente si se suministra oxígeno suficiente. Pero en las condiciones incontroladas de un incendio, el oxígeno no es el suficiente originando una oxidación incompleta que da como resultado que parte del carbono se transforme en monóxido de carbono.

La toxicidad del CO se debe fundamentalmente a su afinidad con la hemoglobina de la sangre. El monóxido de carbono se combina con la sangre para transportar oxígeno dificultando el intercambio gaseoso y disminuyendo el suministro de oxígeno a los tejidos del cuerpo (hipoxia).

Numerosas investigaciones realizadas sobre víctimas mortales por exposición a atmósferas tóxicas, demuestran que el CO era el componente principal, aproximadamente en la mitad de los casos estudiados los niveles en la sangre eran letales. En otro 30% de las víctimas, se determinó como causa de muerte la combinación de CO con enfermedades cardíacas y/o intoxicación etílica.

❖ Cianuro de hidrógeno. El cianhídrico (HCN) se genera por la combustión de materiales que contienen nitrógeno. Entre otros materiales, naturales y sintéticos, pueden citarse: lana, seda, nylon, polímeros de poliuretano y resinas ureicas. El HCN actúa rápidamente y es aproximadamente 20 veces más tóxico que el CO. No se combina con la

hemoglobina pero inhibe la asimilación de oxígeno por las células (hipoxia histotóxica).

- ❖ Anhidrido carbónico. Los incendios producen generalmente anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) en grandes cantidades. Concentraciones moderadas de  $\text{CO}_2$  aumentan el ritmo e intensidad de respiración, acelerando la inhalación de compuestos tóxicos e irritantes.

- ❖ Oxígeno insuficiente. Durante la combustión, se consume oxígeno ( $\text{O}_2$ ) de la atmósfera. Si el contenido de oxígeno baja de su nivel habitual (21%) hasta un 17%, disminuye la coordinación motriz. Si desciende hasta niveles entre el 14% y 10%, se permanece consciente pero se fatiga rápidamente y se comienza a perder el juicio. Entre 10% y 6% se pierde el conocimiento y si no se reaniman con oxígeno o aire fresco se puede morir.

- ❖ Otros productos tóxicos. El resto de productos tóxicos que se generan en un incendio dependen de muchas variables. Entre las principales: composición química del material en combustión, oxígeno disponible y temperatura. En general, los efectos producidos por estos tóxicos no han sido analizados y cuantificados para permitir una evaluación de los riesgos que supone su presencia en atmósfera de fuegos.

### **1.3.2. Calor.**

La combustión de la mayoría de los materiales es una reacción exotérmica de oxidación química. La energía generada se emite en forma de calor, por convección y radiación. Esta última representa la energía liberada que se manifiesta como llamas o luminosidad de un fuego.

El calor representa un peligro físico para las personas, provoca desde lesiones leves hasta la muerte. Las consecuencias de la exposición al aire caliente se ven amplificadas si la atmósfera del fuego contiene humedad ya que mejora la eficiencia de transmisión de calor. Ensayos realizados han revelado que 140 C es la máxima temperatura del aire respirado que permite sobrevivir durante un breve periodo de tiempo y sin presencia de humedad. Si un exceso de calor alcanza rápidamente los pulmones puede producir caída de presión y conducir a un fallo respiratorio.

El principal efecto del calor sobre el hombre son las quemaduras, las cuales suelen clasificarse como de primer, segundo o tercer grado; a medida que aumente la temperatura disminuye el tiempo necesario para producirlas, por ejemplo, si la temperatura superficial de la piel se mantiene en 71 C durante un minuto se producirán quemaduras de segundo grado, a 82 C bastan 30 segundos para producirlas y a 100 C solo 15 segundos.

La exposición a un exceso de calor también puede conducir a la muerte por hipertermia sin producir quemaduras y a un aumento del ritmo cardiaco que conlleva a una insuficiencia cardiovascular. La hipertermia se produce cuando la temperatura del cuerpo presenta un aumento considerable causando lesiones al sistema nervioso central.

Las víctimas a un incendio presentan a menudo un estado de shock, que aparece después de la exposición al calor; estas condiciones también pueden causar el aumento del ritmo cardiaco, de forma que se produzca la muerte en personas con problemas cardiovasculares.

### **1.3.3. Humo.**

El humo se compone de partículas finamente divididas y líquido atomizado. Este se genera cuando la mayor parte de los materiales arden en condiciones de combustión incompleta. Dado que el humo oscurece el paso de la luz y dificulta la visibilidad de las salidas normalmente constituye el primer riesgo que se presenta en un incendio.

Aunque frecuentemente el humo proporciona una rápida alarma, hace cundir el pánico al impedir la visión y producir efectos irritantes. Las partículas aspiradas pueden afectar el sistema respiratorio. A veces las partículas son tan pequeñas que penetran hasta los pulmones, dañándolos. No obstante, no existe ninguna relación entre el color del humo y la toxicidad de los gases presentes.

## **1.4. TEORIA DEL CONTROL DEL FUEGO Y DE LAS EXPLOSIONES**

En la combustión con llama hay cuatro modos distintos de control de fuego y las explosiones, comparado con la combustión sin llamas, en la que solo hay tres (ver Figuras 2 y 3). Nótese que el control de las explosiones, no resulta imprescindible a menos que haya gases en combustión presentes. Dichos gases podrían iniciar un fuego con llamas.

### **1.4.1. Extinción por enfriamiento.**

En caso de incendio, el agua, aplicada en chorro directo o pulverización de gran ángulo, constituye el medio más eficaz para eliminar calor de los materiales combustibles ordinarios, tales como madera, papel, cartón y otros

materiales utilizados en la construcción y mobiliario de edificios. El mecanismo de extinción depende del enfriamiento del combustible sólido, reduciéndolo y finalmente deteniendo la liberación de gases y vapores combustibles. Esta acción de enfriamiento genera vapor de agua, que diluye parcialmente la concentración de oxígeno ambiental en fuegos interiores o estructurales.

La eficacia de un agente extintor como medio de enfriamiento depende de su calor específico y calor latente, así como de su punto de ebullición. La superioridad de las propiedades extintoras del agua puede atribuirse a los valores relativamente altos de su calor específico y calor latente, y a su disponibilidad. Produce su efecto enfriador apartando el calor de las superficies sólidas que están ardiendo mediante una secuencia de acciones de conducción, evaporación y convección. Este efecto puede resumirse del siguiente modo:

1. Un galón por minuto (3,781 l/min) de agua absorbe 10.000 Btu/min (10.560 KJ/min), aplicada a 15,5 C y se sobrecalienta y vaporiza totalmente a 260 C.
2. El agua se expande a razón de 2.500:1, reduciendo sustancialmente el oxígeno en espacios cerrados.
3. El agua puede arrastrar aire, dependiendo del tipo de chorro empleado. A un ángulo de 30° y a una presión en punta de lanza de 100 Psi, por cada gpm se arrastran 9,14 m<sup>3</sup> de aire.

4. Un gpm de agua puede extinguir un fuego interior cerrado de 2,8 m<sup>3</sup> de combustibles ordinarios.

5. Por último, el agua puede ser más eficaz si se le añaden: agentes tensoactivos que empapan y penetren; espesantes que retrasen el escurrimiento; y concentrados de espuma que formen recubrimientos sobre sólidos y la mayoría de los líquidos.

Puesto que el calor se disipa continuamente por radiación, conducción y convección, solo es necesario que el agua absorba una pequeña porción del calor total generado por el fuego, para extinguirlo por enfriamiento; sin embargo el agua debe alcanzar directamente el combustible incendiado. Para conseguirlo se necesita buena visibilidad, a no ser que la descarga del agua se produzca en las primeras etapas del fuego, como ocurre con los rociadores automáticos.

#### **1.4.2. Extinción por dilución de oxígeno.**

Como se ha dicho antes, el oxígeno puede estar presente en forma de gas libre en la atmósfera, (a una concentración del 20,9% de O<sub>2</sub>; 78,1% de N<sub>2</sub>; 1% de argón, CO<sub>2</sub>, etc.), o combinado, en forma de productos tales como hipocloritos, cloratos, percloratos, nitratos, óxidos, etc. El término “dilución” sólo puede aplicarse al estado gaseoso libre, puesto que en su estado combinado el oxígeno queda bloqueado dentro de la molécula y su dilución es imposible. De aquí que los productos químicos de esta categoría presenten siempre un alto riesgo y que estos métodos no den resultado en la lucha contra incendios cuando hayan grandes concentraciones de estas materias.

El grado necesario de dilución del oxígeno para este objeto varía enormemente según el material o combinación de materiales combustibles que estén ardiendo. Más aún, los combustibles sólidos presentan su propia gama de demandas mínimas de oxígeno. Por ejemplo, se sabe que la madera continúa ardiendo en forma incandescente después de completar su etapa de combustión con llama en concentraciones de oxígeno no superiores al 4% o 5%. Por otra parte, los gases y vapores de hidrocarburos no suelen arder cuando el nivel de oxígeno está por debajo del 15%.

Los incendios que se producen en espacios cerrados consumen también, naturalmente, oxígeno; sin embargo, esta combustión del oxígeno no basta para que el fuego se apague por sí solo, porque la combustión en atmósfera con poco oxígeno, normalmente incompleta, da por resultado una copiosa producción de gases inflamables. La entrada inadvertida en un espacio cerrado que esté en estas condiciones o que tenga ventilación insuficiente constituye un peligro de explosión, o más bien “re-explosión”, como llaman los bomberos a este fenómeno.

La inundación total de espacios cerrados o semicerrados empleando dióxido de carbono para combatir un fuego, constituye un ejemplo típico de la utilización eficaz del principio de la dilución del oxígeno. Al aplicar localmente sistemas de dióxido de carbono se suprime otra característica de la llama -su velocidad- que varía según los combustibles. Un cono de descarga de dióxido de carbono arrastra aire, cuya velocidad residual y contenido de dióxido de carbono en una aplicación correcta superan desde un punto de vista dinámico la velocidad de la llama, produciendo su rápida extinción por el efecto combinado de la dilución del oxígeno y del “apagado” de la llama.

### **1.4.3. Extinción por eliminación del combustible.**

El combustible, según los químicos, es un agente reductor. Se llama agente reductor a toda sustancia que puede reducir a un agente oxidante por medio de la pérdida de uno o más de sus electrones. En este proceso, el agente oxidante absorbe los electrones correspondientes y el agente reductor se oxida. Es necesario observar que oxidación y reducción siempre tienen lugar simultáneamente, siendo estos términos puramente relativos. En presencia de agentes oxidantes suficientemente poderosos, la mayor parte de las sustancias se pueden considerar reductoras (sustancias que pueden oxidarse); por el contrario, en presencia de agentes reductores suficientemente activos, la mayor parte de las sustancias se pueden considerar oxidantes (sustancias que pueden reducirse). Por lo general, las sustancias no se clasifican como oxidantes o reductoras si sólo manifiestan estas propiedades en presencia de sustancias extremadamente activas de la clase contraria.

En la combustión con llama, los combustibles sólidos y líquidos se vaporizan previamente, para lo que los primeros se destilan pirolíticamente y los segundos, sencillamente, se evaporan. En algunos casos, como en el de los termoplásticos, las materias sólidas se funden y a continuación se evaporan. Los gases combustibles no experimentan estos cambios antes de inflamarse.

La combustión superficial sin llama no necesita gasificación, puesto que se produce directamente en la superficie de contacto del sólido con el aire. De esta forma las velocidades de combustión son bajas comparadas con las de la modalidad con llama. Ejemplos de este grupo son la madera, carbón vegetal, coque y metales combustibles.

De lo anterior se desprende que muchos materiales clasificados como combustibles poseen diferentes características que afectan al modo del control de fuego. Entre ellas se incluyen amplia gama de temperaturas de ignición, límites superior e inferior de inflamabilidad en el aire, puntos de inflamación (en el caso de los líquidos), solubilidad en agua y actividad química (descomposición). En el caso de los combustibles sólidos, otro importante factor que afecta a la intensidad del fuego, es la forma en que se presenta (polvo, astillas, viruta, troncos o tablones) y su disposición (horizontal, vertical, entibada o apilada). En cada caso, el mismo combustible presentará características de combustión totalmente diferentes.

Desde el punto de vista químico, los combustibles se clasifican de la siguiente forma:

1. Carbono y otros no metales fácilmente oxidables, como el azufre, el fósforo y el arsénico.
2. Compuestos ricos en carbono e hidrógeno (hidrocarburos).
3. Compuestos ricos en carbono e hidrógeno y oxígeno, como los alcoholes, aldehídos, ácidos orgánicos, celulosas y ligninas (materiales vegetales y de la madera).
4. Metales y aleaciones (sodio, potasio, magnesio, aluminio, cinc, zirconio y uranio).

La eliminación del combustible puede lograrse directamente, apartando del fuego el material combustible, o indirectamente, separando por algún

procedimiento los vapores del combustible en la combustión con llama o, en la que ocurre sin llama, cubriendo el combustible incandescente.

#### **1.4.4. Extinción por inhibición química de la llama.**

Los métodos de extinción por enfriamiento, por dilución del oxígeno y por separación del combustible son aplicables a todas las clases de fuegos, ya sean de combustión con llama o sin llama. La extinción por medio de la inhibición química de la llama es aplicable solamente a los casos de la combustión con llama. Lo más sobresaliente de este método es la extrema rapidez y la alta eficacia relativa con que llega a extinguir las llamas, tanto más que, si se ejecuta adecuadamente, es el único capaz de impedir que se produzca una explosión en una mezcla de gas y aire, o inclusive en una mezcla de gas y oxígeno.

Antes de entrar al tema de la inhibición de las llamas es necesario observar que las reacciones de combustión trascurren en una serie de fases muy complejas; estas fases poseen características de reacción en cadena. Tras la división de la molécula de hidrógeno, los distintos átomos de hidrógeno ( $H^*$  activos) se interactúan con las moléculas de oxígeno para producir radicales activos  $OH^*$  y  $O^*$ . Aunque ha servido de ejemplo el hidrógeno, este mismo fenómeno se produce en combustibles que contengan hidrógeno en unión química con carbono y otros elementos. Como consecuencia de intensas investigaciones, se ha hallado que la velocidad de la llama depende de la concentración de las especies  $OH^*$  activas y de la presión a la que se realiza esta reacción. En los combustibles que no contienen hidrógeno, la especie activa  $O^*$  es la que determina la velocidad de la llama.

La extinción por inhibición de la llama sólo es posible cuando no se permite a las especies activas  $\text{OH}^*$ ,  $\text{H}^*$  y  $\text{O}^*$  que cumplan su papel de mantener la llama. Se emplean para ello agentes extintores que cumplan esta función con independencia de otros métodos de extinción tales como el enfriamiento, la dilución del oxígeno o la eliminación o recubrimiento del combustible. Estos agentes extinguen las llamas con eficacia y rapidez; sin embargo, no sirven para combatir los fuegos incandescentes, excepto en ciertas condiciones especiales.

Todavía se desconoce la manera exacta en que la acción de las especies activas actúan en el proceso de extinción de la llama. Sin embargo, se sabe con seguridad que las sustancias que tienen estas propiedades se encuentran en las siguientes categorías:

1. Hidrocarburos halogenados líquidos y gaseosos, cuya eficacia aumenta con el empleo de halógenos del orden más alto.
2. Sales metálicas alcalinas cuya parte catiónica es sodio o potasio o un haluro.
3. Sales de amonio. La más importante es el monofosfato de amonio.

Al colocarse estas sustancias sobre la llama, se disocian térmicamente en sus "radicales libres" aniónico y catiónico y catalizan la unión del  $\text{OH}^-$  y el  $\text{H}^+$  "portadores de la cadena" de la reacción de la combustión, mitigando así su influencia sobre la continuación de la llama. Esta, pues, se inhibe y su extinción se produce al aplicarse suficientes cantidades de este agente. Los

agentes que actúan de esta manera se conocen también como catalizadores negativos.

## 1.5. CLASIFICACIÓN DEL FUEGO

La norma NFPA 10 *Standard for Portable Fire Extinguishers* clasifica el fuego en cuatro categorías de la siguiente forma.

- ❖ Fuegos Clase A. Fuegos de materiales combustibles ordinarios con generación de llamas y brasas (tales como madera, papel, caucho y muchos plásticos), para su extinción requieren los efectos de absorción de calor (enfriamiento) por parte del agua o algunas soluciones acuosas o los efectos de recubrimiento de determinados polvos químicos que retardan la combustión.
  
- ❖ Fuegos Clase B. Fuegos de líquidos combustibles, cuya extinción se logra eliminando el oxígeno, impidiendo la emisión de vapores combustibles o interrumpiendo la reacción en cadena de la combustión.
  
- ❖ Fuegos Clase C. Fuegos de equipos eléctricos, para su extinción han de emplearse agentes no conductores.
  
- ❖ Fuegos Clase D. Fuegos de metales combustibles (magnesio, titanio, potasio, etc.), se consideran fuegos especiales, y para su extinción se necesitan

agentes extintores específicos para cada caso que no reaccionen con los metales en combustión<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Cote, Arthur. Manual de protección contra incendios. Tercera edición. Madrid. MAPFRE, 1986. p. 1774 - 1775.

## **2. RIESGOS PARA LA VIDA HUMANA EN EDIFICIOS**

### **2.1. EVALUACION DE LA SEGURIDAD HUMANA EN EDIFICIOS**

La evaluación de la seguridad humana es el proceso que estima la calidad de la seguridad contra el fuego y sus efectos. No hay un método bien definido para evaluar la seguridad de vida en el incendio de edificios. La seguridad humana es un concepto, y ninguna fórmula puede identificar o garantizar que un edificio sea completamente seguro frente a un incendio. En primer lugar, la evaluación requiere una comprensión del concepto fundamental de la seguridad de la vida. Esto puede continuarse con una evaluación subjetiva de los parámetros que crean riesgos y aquéllos que tienden a eliminar parte de dichos riesgos. Los listados ayudan a considerar esos parámetros pero no identifican los valores relativos o la interrelación de los parámetros.

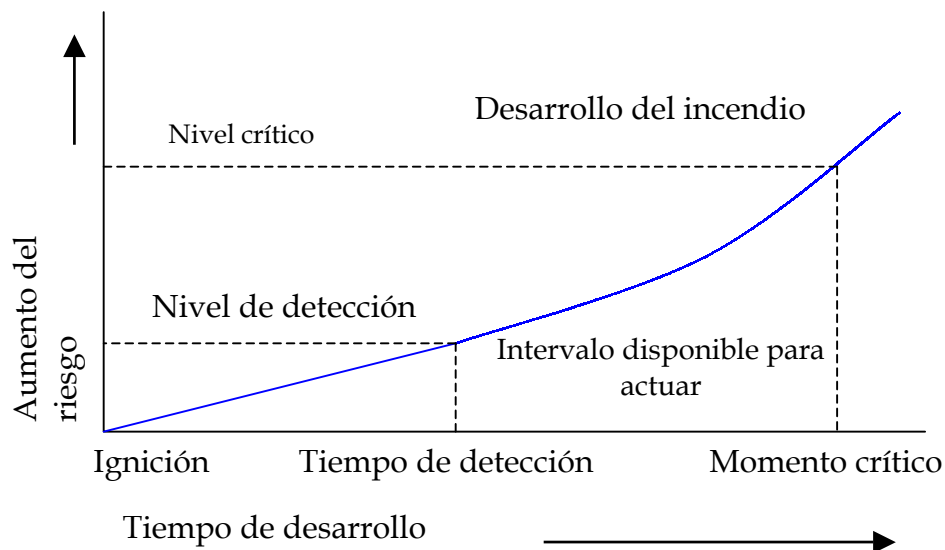
#### **2.1.1. Factores de seguridad humana.**

Uno de los elementos de la seguridad humana implica evitar la exposición de los ocupantes a un nivel peligroso de productos de la combustión. Este objetivo está condicionado por la probabilidad de alejar rápidamente a los ocupantes en peligro de los efectos nocivos del fuego. El examen detallado del desarrollo del fuego y de las características de los ocupantes expuestos determina la magnitud del riesgo. Se han de emplear medidas específicas de seguridad para reducir el riesgo. La determinación de las relaciones entre estos componentes es el primer paso para la aproximación a la seguridad humana contra incendios en los edificios.

❖ Tiempo. A medida que un incendio se desarrolla, el humo y el calor aumentan hasta crear un ambiente de gran riesgo para la vida humana. La rapidez con la cual el ambiente se puede deteriorar es difícil de predecir, ya que intervienen muchas variables. La Figura 4 es una generalización aproximada de la manera que el riesgo para la vida aumenta en función del tiempo.

En el momento de la ignición el ambiente es normal. La mayoría de los incendios se desarrollan lentamente al principio, por lo cual el riesgo es pequeño. Eventualmente, la intensidad del fuego aumenta de forma más importante, al aumentar el nivel de los productos de la combustión.

**Figura 4.** Avance del deterioro del ambiente en función de la progresión de un incendio.



A cierto nivel de acumulación de productos de la combustión, el incendio será detectado, por detectores automáticos de incendios o por detección

personal. El nivel de riesgo en el cual ocurre la detección corresponde a un tiempo específico en el transcurso del incendio, llamado tiempo de detección.

❖ Nivel crítico. Otro estudio importante en el desarrollo de un incendio es el nivel crítico, en el cual el deterioro del ambiente representa ya un peligro para la vida. Puede variar en función de los productos emitidos y de las características de las personas expuestas, que las hacen más o menos sensibles a los diversos productos de la combustión. Debido a la presencia de numerosos factores desconocidos o incontrolables en la estimación de un efecto del incendio en las personas, el nivel crítico no es fácil de identificar con precisión. Correspondiendo con el nivel crítico del riesgo surge el tiempo que tarda el incendio en producir esta situación.

El tiempo transcurrido entre la detección y el punto crítico es el tiempo disponible para que se pueda tomar cualquier acción que prevenga a los ocupantes de quedar expuestos al nivel crítico de riesgo. Esta acción puede tomar varias formas tales como la activación de un equipo automático, evacuación de los ocupantes, o ambas.

❖ Variaciones del fuego. El aumento del fuego y del riesgo no siempre se desarrollan a la misma velocidad. Si las condiciones son insuficientes para mantener un rápido desarrollo del fuego, se reduce el grado de deterioro del ambiente, resultando un descenso en la pendiente de la curva de desarrollo del fuego.

### 2.1.2. Características de los ocupantes.

El componente más difícil de evaluar en la seguridad humana es la sensibilidad de los ocupantes expuestos. Ello se debe a la enorme variedad que puede haber entre ellos. Es necesario evaluar la sensibilidad de los ocupantes al fuego y sus productos así como su capacidad para emprender y realizar hasta el final las acciones necesarias para su seguridad personal. Se pueden encontrar indicaciones de esas cualidades en las características físicas y mentales de los ocupantes, individualmente y considerados como un grupo. Los parámetros más importantes de la población son la edad, movilidad, percepción, conocimiento, densidad y disciplina.

❖ Edad. La edad es la característica que con más facilidad se identifica en un ocupante expuesto al fuego, y puede afectar directamente a otras características importantes tales como la movilidad, percepción, conocimiento y disciplina. La variación del riesgo de vida con respecto a la edad está indicada por estadísticas que muestran que los muy jóvenes y los muy viejos sufren más altos riesgos de muerte con respecto al fuego.

❖ Movilidad. La movilidad es para la mayoría de las personas una función de la edad. Las personas muy jóvenes y las de edad avanzada son menos móviles. Sin embargo, existen muchas otras clases de personas inmovilizadas o con movilidad limitada. Se encuentran minusválidos en muchos lugares, es por eso necesario considerar sus limitaciones en la apreciación del riesgo correspondiente. En los edificios hospitalarios muchas personas se encuentran incapacitadas temporalmente y sólo pueden ser desplazadas con ayuda exterior. En otras instalaciones tales como instituciones psiquiátricas o prisiones, los individuos con una agilidad

normal pueden verse restringidos. En estos casos la falta de movilidad no está necesariamente unida a la edad ni a la capacidad física.

❖ Percepción. La capacidad de percepción es otra característica que puede depender de la edad. Un factor importante consiste en que los ocupantes se encuentren despiertos y conscientes tal como en oficinas, o puedan estar dormidos como en edificios residenciales. Además, las personas que han tomado medicamentos pueden ver sus facultades de percepción limitadas. La mayor parte de las instalaciones institucionales contienen individuos con grados variables de percepción y de diferente capacidad de toma de decisión.

❖ Conocimiento. El conocimiento es quizás un término limitado para la comprensión del concepto de la autoprotección, que incluye factores tales como el instinto. Algunas de estas características son discernibles, aunque no puedan ser medidas. Los entrenamientos y ejercicios pueden elevar el nivel de autoprotección de los ocupantes. Esto puede extenderse a la autoprotección en grupo, para la cual algunas personas están preparadas o reaccionan espontáneamente ayudando a los demás. Otra indicación menos directa es el conocimiento que tienen los ocupantes de las instalaciones. Los ocupantes habituales de un determinado edificio son susceptibles de tener un mejor conocimiento de las salidas que los visitantes ocasionales.

❖ Densidad. La densidad de población, o el número de personas dadas en una determinada área, es importante con respecto a la magnitud del riesgo y al traslado seguro de los ocupantes. A mayor número de personas en un área determinada, mayor será la pérdida potencial de vidas. Diversos

estudios han demostrado la estrecha relación entre la densidad de ocupantes y la rapidez de sus movimientos<sup>4</sup>.

❖ **Disciplina.** Como la densidad, la disciplina es una característica de los ocupantes más como grupo que individualmente. La posibilidad de control se evidencia en instalaciones tales como colegios y ciertas industrias. En general, las personas normalmente acostumbradas a un control disciplinario y entrenamientos son capaces de responder a una emergencia de incendios con menos probabilidad que se comporten arriesgadamente.

### **2.1.3. Naturaleza de los incendios en edificios.**

El fuego es una reacción química. Particularmente es un proceso de oxidación con intensidad suficiente como para emitir calor y luz. Del mismo modo asociado con el fuego están el humo, generalmente de una naturaleza tal que reduce la visibilidad; y los gases de la combustión, la mayoría de los cuales son tóxicos. Los aspectos del desarrollo de un incendio que son importantes con respecto a la severidad y control del riesgo de la vida son el potencial de ignición, crecimiento del fuego y propagación del humo.

❖ **Potencial de ignición.** El proceso de ignición consiste en poner en contacto o acercar lo suficiente una fuente de calor y un combustible. La ignición es función del tiempo y de la temperatura. El combustible sometido a una alta temperatura por un periodo corto de tiempo puede no inflamarse, pero el mismo combustible puede hacerlo cuando esté sometido a una temperatura más baja pero por un periodo de tiempo más largo.

---

<sup>4</sup> Pauls, J.L. Movement of People in Building Evacuations, citado por Cote, Arthur. Manual de protección contra incendios. Tercera edición. Madrid. MAPFRE, 1986. p. 678.

❖ Crecimiento del fuego. El crecimiento del fuego es la etapa más importante con respecto a la seguridad de la vida. Es precisamente, en esta etapa de crecimiento, en que el espacio de origen del fuego eventualmente se convierte en inhabitable, es decir, se alcanza los niveles de riesgo críticos. Por lo tanto, es en esta etapa en la que debe llevarse a cabo la detección y la acción que se tome para proteger a los ocupantes del lugar de origen. Mientras que el combustible es el factor más importante en el primer momento de un incendio, las características del lugar donde se produce son fundamentales para su desarrollo. Un material en combustión cerca de una pared tendrá una mayor rapidez de desarrollo del fuego que otro situado en el centro de una habitación. Esto se debe a que la pared se calienta y refleja calor hacia el combustible, reduciendo de esta forma la pérdida de calor del sistema en combustión. De la misma manera, los fuegos situados en una esquina reciben el calor reflejado de dos paredes y crecen más rápidamente. La dimensión más importante de una habitación es la altura del techo. En efecto, cuando una llama en desarrollo alcanza el techo, se extiende entonces horizontalmente y produce una superficie ancha de llama ardiente. Esto a su vez favorece el desarrollo del fuego en los materiales en combustión e inflama los demás. Cuando un fuego se extiende por el techo, la temperatura dentro de la habitación sube hasta que se produce una ignición simultánea de la mayor parte de los demás combustibles disponibles, este fenómeno se conoce como “flashover”. En este punto del desarrollo del incendio se producen grandes cantidades de gases a alta temperatura que hacen que la zona se vuelva totalmente inhabitable. Esto marca el punto a partir del cual no se puede emprender ninguna acción razonable para evitar la muerte de los ocupantes de la habitación.

❖ Propagación del humo y del fuego. La propagación del humo y del fuego pone en peligro a los ocupantes situados más allá de la zona concreta de origen del fuego. El desarrollo de un fuego en una habitación o compartimiento genera una diferencia de presión positiva que tiende a empujar el humo fuera de la zona de origen hacia otros sectores del edificio. Aún sin esta diferencia de presión, el humo y los gases tóxicos pueden llegar hasta las partes más alejadas de una estructura. Habitualmente, los productos del incendio siguen los caminos propios del desplazamiento de los ocupantes, es decir: puertas abiertas, pasillos y escaleras. Sin embargo, existen muchos otros caminos por los cuales el humo y los gases pueden introducirse. Elementos de construcción tales como chimeneas, conducciones, rellenos, espacios huecos, trampillas e incluso ventanas exteriores puede contribuir a la propagación del fuego y del humo.

#### **2.1.4. Estrategias de seguridad.**

En teoría el diseño de edificios considera los factores de riesgo en asociación con los ocupantes y el incendio, e incluye elementos de seguridad para disminuir dicho riesgo. A continuación se sintetizan las diversas medidas de seguridad aplicables para reducir el peligro de incendio sobre los ocupantes. El mayor número de categorías de estrategias de seguridad han sido contempladas por el *Árbol de conceptos de seguridad contra incendios* como: prevención contra incendios, control de incendios y control del entorno expuesto (ocupantes).

❖ Prevención de incendios. Ningún daño se producirá por fuego, si dicho fuego no se produce. La prevención del fuego, por lo tanto, tiene el potencial de eliminar la necesidad de tomar cualquier otro tipo de medida de

seguridad. Sin embargo no se ha encontrado todavía ninguna estrategia satisfactoria para eliminar totalmente la ignición no deseada. Las consideraciones básicas de la prevención contra incendios son relativas a las fuentes de energía, los combustibles y los mecanismos por los cuales ambos pueden entrar en contacto.

Las principales fuentes posibles de ignición, tales como la energía eléctrica, pueden ser controladas mediante normativas adecuadas. Por añadidura, algunos combustibles tales como líquidos inflamables y acabados interiores pueden ser regulados por normas. Sin embargo no todas las fuentes de ignición ni todos los combustibles pueden estar regulados.

❖ Control de incendios. Ya que es funcionalmente imposible eliminar todas las igniciones, son muy importantes las medidas de seguridad contra el fuego. Las técnicas de las estrategias para el control del fuego pueden ser contempladas como métodos para reducir el desarrollo del fuego. Eso significa: control de la velocidad de producción de humo y calor por modificación del combustible o del ambiente, control del proceso de combustión por extinción manual o automática, y/o control de los productos de la combustión por ventilación y/o confinamiento.

La modificación del combustible o del ambiente para reducir la producción de productos peligrosos en caso de incendio es altamente deseable, pero difícil de llevar a la práctica. El principal obstáculo es de orden económico.

Los sistemas de extinción deberán ser evaluados en términos de su capacidad para controlar el desarrollo del fuego antes que los productos de la combustión alcancen niveles críticos. Los sistemas de control de los humos

deben ser considerados como sistemas de seguridad para la vida humana. El diseño de los sistemas de control del fuego es objetivo de continuas investigaciones.

Los objetivos de la estrategia para el control del incendio son reducir los riesgos en relación con el crecimiento del fuego, reducir éste y la propagación del humo. Unidas estas reducciones, disminuyen el impacto de un incendio en los ocupantes de un edificio.

❖ Control del entorno expuesto. Esta estrategia de seguridad es la más compleja, ya que se debate entre los factores de riesgo del incendio y de las personas. El control, aquí, abarca el tomar una acción adecuada de emergencia contra el esperado desarrollo del fuego, dependiendo de las características de la edificación así como de las características de los ocupantes.

Para iniciar la acción de control de los ocupantes, debe haber en primer lugar las actividades de detección y alarma. Estas funciones pueden ser realizadas por equipos automáticos o por los ocupantes de la edificación. Las acciones para controlar las personas expuestas incluyen evacuación, refugio o rescate. La evacuación es la actitud más usual donde los ocupantes estén alerta y con movilidad. En otros casos, se emplean lugares para protegerlos contra el fuego y el humo.

Los sistemas de salidas de seguridad deben ser evaluados en términos de su adecuación y confiabilidad. La adecuación se refiere a los componentes estructurales que determinan la capacidad para evacuar parte o la totalidad de un edificio en un lapso de tiempo seguro. La credibilidad considera con

qué eficacia será utilizada la capacidad de salida. Los factores de credibilidad incluyen mensajes de alerta e instrucciones, señalización, luces de emergencia y protección de las vías de evacuación contra el fuego, humo y gases tóxicos.

### **3. SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS**

#### **3.1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO DE EDIFICIOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE SU SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS**

Durante el último siglo, las técnicas de diseño y construcción de edificios han variado sustancialmente. Hace cien años el acero para estructura no se conocía y el hormigón armado no se había empleado todavía como elemento estructural. El ejercicio de la arquitectura ha sufrido grandes modificaciones, existiendo hoy día, a disposición de los ingenieros, técnicas de análisis y de diseño totalmente desconocidas hace un siglo. El proyecto de edificios se ha convertido en un proceso muy complejo, que integra en su sistema muchas especialidades, materiales y tecnologías muy avanzadas.

La ingeniería de protección contra incendios, como profesión, ha avanzado a grandes pasos, de forma paralela a otras actividades relacionadas con la industria de la construcción. Al aumentar los conocimientos sobre el comportamiento del fuego, y al mejorar las técnicas de cálculo y diseño, se logró contener los incendios en edificios afectados inicialmente, evitando la pérdida de toda una manzana o de zonas mayores. Luego, se continuó progresando en este campo, de modo que ya el incendio se podía contener en el piso donde se había iniciado. Actualmente, existen conocimientos suficientes para permitir confinar un incendio en el local donde se origina o incluso en subdivisiones espaciales menores de un edificio.

Hoy en día se está desarrollando una gran actividad con respecto al diseño de los edificios protegidos contra incendios. El conocimiento en el campo de protección contra incendios y su continuo desarrollo y reorganización permitirá que los edificios sean diseñados de una manera más racional y eficiente, con respecto a su propia seguridad frente a incendios.

### **3.1.1. El proyecto y la seguridad contra incendios.**

El análisis integral y consciente de la seguridad contra incendios en edificios debe formar parte del proceso de confección del proyecto arquitectónico para que sea efectivo y económico. Todos los miembros del equipo de proyecto tradicional deben incluir en sus campos de acción específicos la consideración de las condiciones de emergencia que pueden crear los incendios. Cuanto antes se conozcan y establezcan los objetivos de seguridad contra incendio y se tomen las medidas de cálculo y diseño respectivas, más eficaces y económicos serán los resultados.

Los proyectistas suelen conceder una atención mínima a la incorporación eficaz de elementos de seguridad contra incendios en el diseño de las edificaciones y, más aún que los arquitectos e ingenieros se limitan, al igual que sus clientes, al cumplimiento mínimo de las normas de seguridad contenidas en las ordenanzas municipales o nacionales; muy a menudo, tantos unos como otros, suponen incorrectamente que las ordenanzas recogen medidas de seguridad totalmente adecuadas, cuando en realidad establecen tan sólo las exigencias mínimas aconsejables. En otros casos, los propietarios y los ocupantes de los edificios conciben los incendios como algo que nunca les sucederá y se enfrentan al riesgo de incendio sin una protección completa, considerando que las medidas de seguridad pueden ser costosas, o que el

fuego es un riesgo adecuadamente cubierto por la existencia de una póliza de seguro o que tendrán a su disposición una protección pública contra el incendio.

Las circunstancias que se derivan de éstas actitudes no deben existir ni muchos menos continuar. Existe información suficiente al alcance del profesional que permite incorporar, en mayor medida, a los proyectos la protección contra incendios. Pero, para eso es preciso que los diversos miembros del equipo de proyecto reconozcan que las condiciones de seguridad contra incendios constituye un aspecto legal de sus responsabilidades como proyectistas.

❖ Objetivos de la seguridad contra incendios en el diseño de edificios. Antes de que el diseñador pueda tomar decisiones concretas acerca de la seguridad contra incendios, será necesario que identifique claramente las necesidades específicas del cliente respecto a la función del edificio. El proyectista debe preparar un cuestionario exhaustivo y evaluar las condiciones generales y específicas que han de incorporarse en el edificio.

Este cuestionario gira alrededor de las decisiones relativas a éstas tres áreas:

♦ Seguridad humana. A menudo se considera que al diseñar edificios basta con cumplir las normas de los reglamentos locales de construcción para proteger debidamente la actividad humana. Esta protección de la seguridad de los ocupantes puede o no ser suficiente, según el cometido al que esté destinado el edificio y las actividades que en él se desarrollen.

El primer paso en el proyecto de la seguridad humana es identificar las características de los ocupantes del edificio. ¿Cuáles son las capacidades físicas y mentales de los ocupantes?, ¿Cuál es el alcance de sus actividades y ubicaciones durante los siete días de la semana?, ¿Se precisan consideraciones especiales para ciertos períodos del día o de la semana?. Resumiendo, el proyectista deberá anticipar las necesidades especiales para la seguridad humana de todos los ocupantes, durante todo el período de tiempo que vivan en el edificio.

La identificación de los objetivos de seguridad humana no es, normalmente, difícil, pero sí requiere un esfuerzo consciente. Además requiere considerar el tiempo y extensión que los productos de combustión pueden tener cuando recorran el edificio. Lo que determina el nivel de riesgo que posee el edificio, es la relación que existe entre la respuesta del edificio frente al fuego, y las actividades de sus ocupantes durante la emergencia.

El proyecto para asegurar vidas humanas puede referirse a una, o a la combinación de tres alternativas. Estas alternativas son: evacuar a los ocupantes, defender a los ocupantes en el mismo lugar del incendio, o facilitar una zona de refugio efectiva. Estas alternativas podrán ser consideradas teniendo en cuenta que los espacios del edificio serán soportables por un período de tiempo que tome el esperado nivel de seguridad. Los criterios de que estos espacios sean soportables se convierten en una importante parte del proyecto.

El proyecto para la evacuación de un edificio, recoge dos componentes principales; uno de ellos es la disponibilidad de un camino o caminos que sean aceptables, y por los cuales se pueda producir el escape; el segundo es el

de poseer unos sistemas de alarma efectivos para que los ocupantes tengan el suficiente tiempo como para llegar a las salidas antes de que ciertos segmentos del camino hacia la salida se conviertan en insoportables.

El segundo proyecto alternativo en relación con la seguridad humana, es defender a cada individuo que se encuentra en el edificio. Ello puede ser muy adecuado en edificios tales como hospitales, prisiones, y otras instituciones. El proyecto debe defender a las personas en el lugar donde ocurra el incendio, también utiliza un criterio de actuación, teniendo en cuenta los niveles de tiempo y que todas las zonas permanezcan a niveles soportables. El criterio de actuación en relación con el tiempo puede establecer que todos los espacios del edificio deberían ser considerados como sostenibles por “x” minutos después de comienzo del incendio. La duración que se da a “x” puede ser identificada como un período mucho más largo que la duración total de cualquier posible incendio. La definición de la soportabilidad puede ser completamente diferente a aquélla que sea aceptable para proceder a la evacuación.

La tercera alternativa es proyectar una zona de refugio. Esto se refiere al movimiento de los ocupantes a través del edificio, hacia los lugares proyectados como refugio. Este tipo de proyecto es más difícil que las otras dos alternativas, ya que comprenden los principales aspectos del proyecto de cada una de ellas. En ciertas clases de edificios, ésta podrá ser una alternativa razonable; sin embargo, la evaluación de la efectividad del proyecto y su probabilidad de éxito son extremadamente importantes.

- ♦ Protección de los bienes. La propiedad de algunos objetos que tengan un alto valor monetario o de cualquier otro tipo, debe ser identificada con el

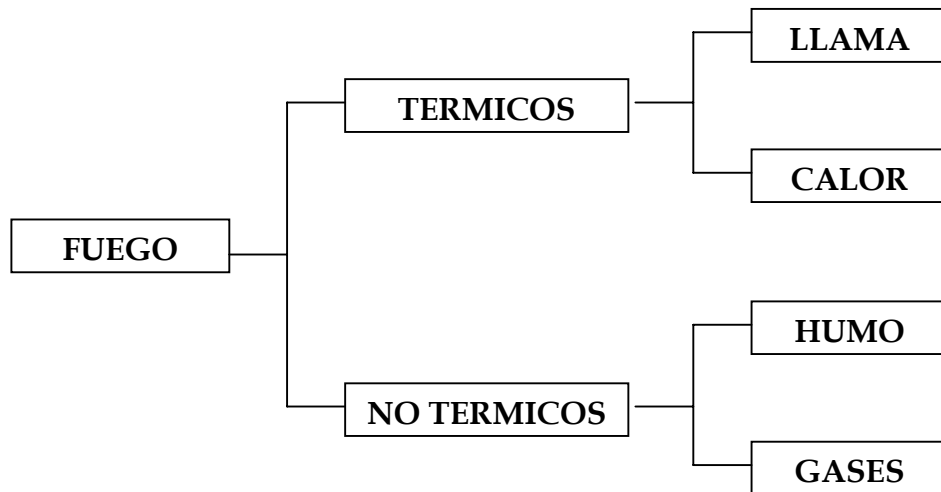
fin de protegerlos adecuadamente en caso de incendio. Algunas veces, se precisa de zonas especialmente protegidas. En otros casos, pueden considerarse adecuado tener otro lugar donde depositar un duplicado de los datos más importantes; sin embargo, el proyectista debería asegurarse de sí el usuario del edificio tiene pertenencias que requieren una protección especial contra incendios.

- ♦ Continuidad de las actividades. En tercer lugar, el proyectista tiene que preocuparse de que se mantenga la continuidad de las actividades después de un incendio. El propietario tiene que indicar cuánto tiempo puede soportar la inactividad sin que sus ingresos sufran gravemente. A menudo, hay ciertas operaciones o localizaciones en el edificio que son más importantes que otras para la continuidad del negocio. El proyectista tiene que identificar esas zonas especialmente importantes, a fin de proteger debidamente las operaciones cruciales para la vida comercial de la compañía. Con frecuencia, estas zonas necesitan más atención que el resto del edificio.

### **3.1.2. Peligro de incendio en los edificios.**

Los productos de combustión que debe tener en cuenta el proyectista pueden dividirse en llamas, calor, humo y gases, como se representa esquemáticamente en la Figura 5. Un proyecto efectivo permitirá proteger a las personas y a los bienes expuestos a los peligros que representan estos elementos. Es tarea del proyectista reconocer estos peligros e incorporar en el proyecto las medidas preventivas correspondientes.

**Figura 5.** Representación esquemática de los productos de combustión que influyen sobre el proyecto de edificios.



❖ Humo y gases. La experiencia ha demostrado que el peligro más grave y más común para las personas involucradas en un incendio proviene del humo y de los gases tóxicos. Casi las tres cuartas partes de las muertes derivadas del incendio de edificios guardan una relación directa con estos productos, no térmicos, de la combustión.

El humo, además de los gases tóxicos e irritantes que lo acompañan, contribuye indirectamente al gran número de muertes. El humo denso limita la visibilidad e irrita los ojos. En consecuencia, los ocupantes de un edificio incendiado tienen dificultad en identificar las vías de escape o valerse de ellas.

❖ Calor y llamas. Suele suponerse erróneamente que las quemaduras causadas por el calor y las llamas son la causa principal de las muertes y lesiones debidas al fuego. No obstante, aunque las lesiones causadas por las temperaturas elevadas no resisten cuantitativamente la comparación con las

causadas por la inhalación de humos y gases tóxicos, hay que reconocer que son dolorosas, graves y causan shock. Estadísticamente, los productos térmicos de la combustión son responsables de casi el 25% de las muertes por incendio.

❖ Elementos y contenidos de los edificios. Los bienes también resultan afectados por los productos de combustión, térmicos y no térmicos. Los daños por humo afectan, a menudo, a aquellas pertenencias situadas a grandes distancias de los focos de calor y de las llamas. Los incendios que no se extinguen con rapidez dan como resultado, la mayoría de las veces, el que se ocasionen grandes daños por agua que afectan a los contenidos y al edificio, a no ser que se hayan incorporado medidas especiales que prevengan estos daños.

El derrumbamiento de los elementos estructurales representa también un peligro muy grave. Aunque estadísticamente no aparece como causa de muchas muertes o lesiones a los ocupantes, supone un peligro notorio para los bomberos. Aunque muchos de estos derrumbes son consecuencia de errores de diseño o ejecución de la obra, otros se deben a reformas o renovaciones de edificios existentes que afectan, aunque no se aprecie a su integridad estructural.

El desarrollo rápido de las llamas que afecta al acabado de los materiales o a los contenidos de un edificio, y la propagación vertical del incendio, son temas muy importantes. La capacidad de servicio para contener o extinguir un incendio disminuye significativamente si el fuego se propaga verticalmente a dos o más pisos. Teniendo en cuenta que existe un potencial dado para el crecimiento del incendio, la prevención de la propagación

vertical del fuego se ve influenciada principalmente por las decisiones arquitectónicas y estructurales tomadas, abarcando detalles de compartimentación.

❖ Riesgos de propagación del incendio. La velocidad y posibilidad de propagación y desarrollo de un incendio dentro de las habitaciones puede variar mucho. Sus contenidos y acabados interiores ofrecen bastante seguridad en algunos casos, haciendo improbable que el fuego, una vez iniciado, pueda aumentar hasta afectar toda la habitación. En otras, sin embargo, el decorado interior presenta grandes peligros que, al producirse un incendio, permiten con casi absoluta certeza, su propagación a la totalidad de la habitación.

Al señalar los riesgos, se ha recurrido tradicionalmente a las cargas de combustibles que reflejan las clases de utilización y ocupación. Se ha preferido clasificar los tipos de edificios en lugar de las habitaciones contenidas en ellos. Por ejemplo, los edificios utilizados con fines residenciales y educativos se consideran de bajo riesgo porque contienen, normalmente, cargas de combustibles relativamente pequeñas en las habitaciones; los edificios mercantiles, normalmente, son de riesgo moderado, mientras que ciertos edificios industriales y almacenes pueden considerarse peligrosos por contener grandes cantidades de materiales combustibles.

Este tipo de clasificación constituye el fundamento de las normas de los códigos de construcción. Los riesgos de propagación del incendio representan una base útil tanto para proyectar las medidas de extinción como para calcular los problemas de seguridad humana.

Las características de combustión en el interior de la habitación constituyen el fundamento para analizar los peligros de propagación del incendio. Este análisis comprende los siguientes aspectos:

- ♦ Carga de combustible – tipo de materiales y su distribución.
- ♦ Acabado interior de la habitación.
- ♦ Suministro de aire.
- ♦ Tamaño y forma de la habitación.

### **3.1.3. Elementos integrantes de la seguridad contra incendios de los edificios.**

La seguridad contra incendios de los edificios puede lograrse mediante la prevención de incendios, restringiendo sus efectos por medio de un diseño adecuado. La prevención de incendios se logra separando las fuentes de ignición de los materiales combustibles. Aunque éste es un aspecto importante dentro del contexto global de la seguridad contra incendios, la experiencia demuestra que la seguridad contra incendios no puede basarse totalmente en la prevención.

El proyecto del edificio y los elementos de su construcción que influyen en su seguridad competen a la toma de decisiones del equipo de proyectistas, basándose en que los objetivos de seguridad contra incendios están claramente definidos por la dirección, los propietarios u otros miembros responsables, públicos y privados.

❖ Prevención de incendios. Los responsables de prevenir incendios, no son los mismos que los del proyecto de un edificio. Las decisiones que conciernen a estos elementos están generalmente bajo el control del propietario del edificio, de sus ocupantes o de ambos.

❖ Extinción automática en incendios de edificios. Durante más de cien años, el rociador automático ha sido el más importante sistema individual para controlar automáticamente los incendios en edificios. Muchos de los elementos estéticos y funcionales de los edificios pueden afectar a la seguridad contra incendios de los mismos y, sin embargo, el potencial de riesgo del crecimiento de un incendio puede ser protegido mediante la instalación de un sistema, correctamente proyectado, de rociadores automáticos.

De entre las grandes ventajas que tienen los rociadores automáticos, se encuentra el hecho de que actúan directamente sobre el fuego y no se ven afectados por el humo, ni por los gases tóxicos, ni por una reducida visibilidad. Además, se gasta mucho menos agua, ya que solamente actúan los rociadores automáticos que se ponen en marcha debido al calor, particularmente si el edificio está dividido en compartimentos.

Otros sistemas automáticos de extinción (dióxido de carbono, productos químicos secos, agentes de halón, espuma de alta expansión), puede utilizarse también para facilitar la protección de ciertas zonas del edificio, o cualquier otra clase de ocupación, para las cuales están diseñados particularmente. El método más utilizado para dominar automáticamente los incendios es el sistema de rociadores automáticos.

❖ Ventilación. La ventilación es una operación importante en la lucha contra incendios. Comprende el alejamiento de los humos, gases, y calor de los edificios. La ventilación de los espacios de un edificio da como resultado las siguientes importantes funciones:

- ♦ Protección de las vidas humanas, alejando o desviando los gases tóxicos y humos de los lugares donde los ocupantes del edificio deberán encontrar refugio temporal.
- ♦ Control de la propagación o dirección del fuego, instalando corrientes de aire que dirigirán el incendio en la dirección deseada. De esta manera, los ocupantes o pertenencias valiosas podrán ser protegidas más rápidamente.
- ♦ Tomar las debidas medidas para alejar los gases combustibles que no han ardido, antes de que éstos adquieran una combinación inflamable, evitando contracorrientes o explosiones de humo.

Es por tanto necesario proporcionar los medios efectivos que faciliten las prácticas de ventilación, siempre que sea posible. Esto puede incluir la instalación de paneles de acceso, ventanas móviles, claraboyas, o cualquier otro espacio que pueda ser abierto rápidamente en caso de emergencia.

❖ Suministros de agua y utilización. El agua es el principal agente utilizado para extinguir incendios en edificios. A pesar de que, ocasionalmente, puedan emplearse otros agentes (dióxido de carbono, productos químicos secos y otros), el agua permanece como principal elemento para la extinción de incendios.

Normalmente el agua es suministrada al edificio por conductos que forman parte del sistema de distribución de la misma. Muy pocas ciudades pueden suministrar una cantidad suficiente de agua, con la presión requerida, a cada extremo de la ciudad. Por ello, el agua suministrada a los hidrantes, a las tomas de agua, o rociadores automáticos, deberá ser ayudada por bombas.

❖ Barreras. Las barreras, tales como los tabiques y los suelos, separan los espacios de un edificio. Estas barreras demoran o impiden que el fuego se propague de un lugar a otro. La efectividad de una barrera depende de su inherente resistencia al fuego, de los detalles de su construcción, y de los huecos que tenga, tales como ventanas, puertas, conductos, tuberías, tendidos eléctricos y parrillas. La mayor función de las barreras es prevenir cualquier ignición en las habitaciones adyacentes.

❖ Desplome del edificio. Se debe considerar la posibilidad de desplome del edificio. La relación entre la gravedad de un incendio y su resistencia frente a él, hasta desplomarse, son los principales factores a tener en cuenta.

El desplome de un edificio se asocia más con las deficiencias habidas en su construcción. Estas deficiencias no se evidencian en el uso normal y diario del edificio. Se convierten en un problema cuando el incendio debilita los elementos de soporte y se inicia un desplome progresivo.

❖ Protección de las personas. El proyecto arquitectónico de un edificio tiene una significativa influencia en su capacidad de seguridad frente a un incendio. Su disposición interior, los modelos de circulación, acabado de materiales y los servicios del edificio, son todos factores importantes en la seguridad frente al fuego.

La protección humana es condición primordial de la seguridad contra incendios en edificios. Abarca las complejas y mutuas relaciones existentes entre el incendio, el edificio y los ocupantes. El primero incluye su tamaño, propagación y duración, así como el desplazamiento del humo producido. El diseño del edificio incluye los sistemas para avisar a los ocupantes en caso de incendio, así como para proporcionarles refugios temporales hasta que puedan abandonarlo o se consiga extinguir el incendio. El tiempo es el elemento que tienen en común todos estos compuestos.

## **3.2. TEORIA DE SISTEMAS PARA LA SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS EN EDIFICIOS**

### **3.2.1. Análisis de sistemas.**

Un sistema es un conjunto interdependiente de componentes; la descripción de un sistema es la descripción de sus componentes y de las interacciones existentes entre ellos. La expresión "análisis de sistemas" describe un procedimiento cuidadoso, metódico y perfectamente documentado para resolver problemas. El análisis de sistemas abarca los pasos o etapas siguientes:

1. Llevar al papel una descripción exacta del problema que se desea resolver.
2. Definir y redactar la descripción del sistema en estudio.
3. Preparar una lista de todos los supuestos o hipótesis formuladas acerca del sistema y el problema.

4. Recopilar la documentación referente a los datos y fuentes de información.
5. Revisar los métodos y procedimientos que han de utilizarse en el análisis.
6. Ejecutar el análisis señalado.
7. Documentar convenientemente los resultados obtenidos.
8. Extraer conclusiones derivadas de los resultados y documentarlas.

La disciplina del análisis de sistemas exige documentar cada etapa para permitir la revisión posterior. Con frecuencia, habrá que realizar algunas etapas varias veces para obtener resultados satisfactorios. Por ejemplo, tal vez debe repetirse la descripción exacta del problema que se desea resolver para enunciarlo claramente. Además, los métodos y procedimientos utilizados en el análisis quizás exijan construir modelos y utilizar procedimientos simulados mediante ordenador.

### **3.2.2. Metodología de sistemas aplicada al problema de los incendios.**

Existen tres métodos para incorporar la seguridad contra incendios dentro del proyecto de un edificio. El primero consiste en exigir que el proyecto y la construcción cumplan los requisitos fijados por los códigos y normas de construcción. Estos se fundamentan en análisis y experiencias de incendios y, tradicionalmente, son pocos flexibles y admiten escasas desviaciones.

La segunda metodología nace como solución para superar la rigidez de los códigos de especificaciones técnicas, se ha centrado la atención sobre la redacción de códigos de aplicación práctica. Su principal inconveniente es que los componentes de los edificios suelen considerarse según su función arquitectónica. Resulta difícil obtener la concepción del comportamiento, en relación con la seguridad contra incendios de cada componente por separado, así como medir dicho comportamiento. Además, al estudiar la totalidad del edificio como un sistema o un conjunto, el comportamiento físico satisfactorio de los distintos componentes no garantiza el nivel de seguridad deseado del edificio en conjunto.

El tercer camino para obtener un sistema de diseño de edificios ajustado a las necesidades de la seguridad contra incendios entiende dicha seguridad como un subsistema integrado en el edificio de modo semejante a los subsistemas estéticos, funcionales, estructurales, eléctricos o mecánicos. Cabe proyectar la seguridad contra incendios de los edificios utilizando la metodología de la ingeniería en lugar del mero cumplimiento de estricto de los códigos. Este enfoque exige la aplicación de una tecnología profesional, ofreciendo, además, la obtención probable de un nivel más alto de economía y eficacia en su utilización.

De igual modo, para conocer debidamente el nivel de seguridad contra incendios en cada caso, y formular las recomendaciones adecuadas para mejorarla, es necesario poder evaluar el impacto de cada cambio en la estructura, dentro del contexto de todos los demás atributos de aquella. Por ejemplo, si al renovar un edificio, hay que adaptarlo al nivel del código, ¿habrá que cumplir estrictamente sus requerimientos o existen otros medios para conseguir el mismo nivel de seguridad? Al ampliar la lógica del

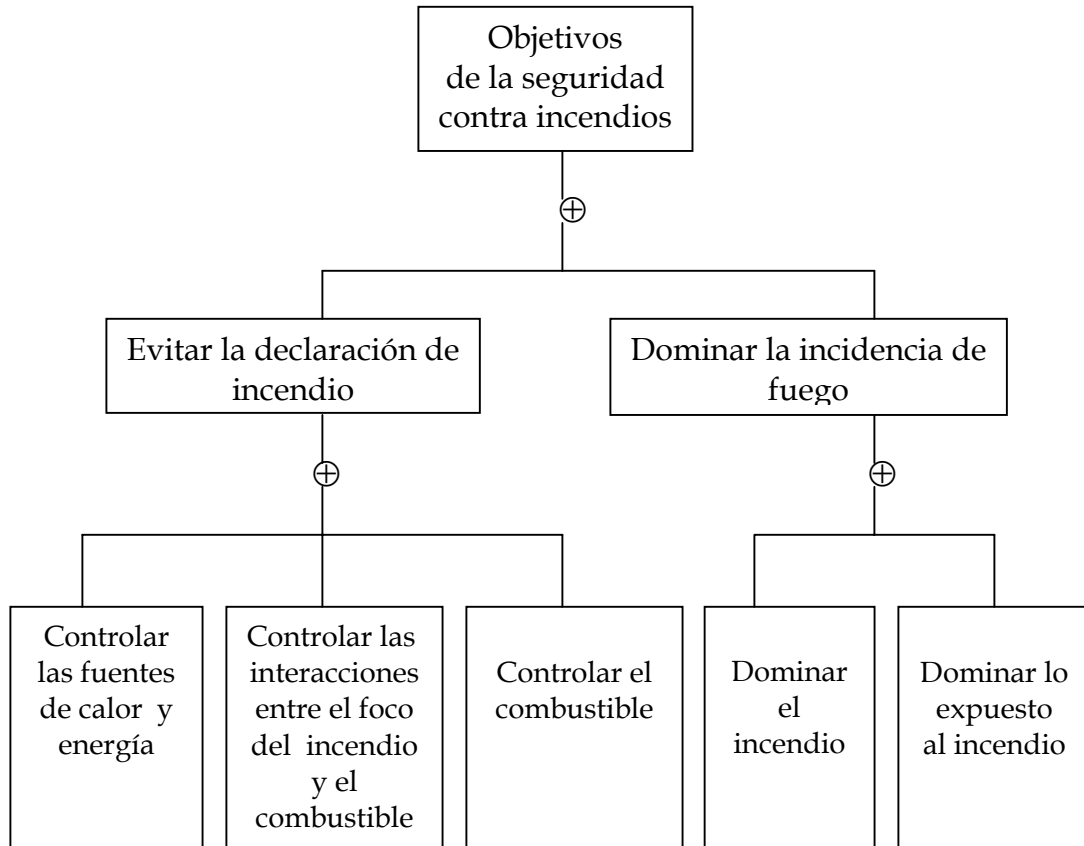
razonamiento se observa que resulta también conveniente calcular hasta qué punto el cambio en el código o la norma puede influir sobre el nivel de la seguridad, teniendo en cuenta los demás factores sobre el “sistema de seguridad contra incendios”. Por lo tanto, resultaría muy conveniente en previsión de incendios, calcular el impacto de los procedimientos y materiales actuales sobre el nivel de seguridad contra incendios obtenido al cumplir un código o norma determinada.

En la década de los 60 comenzó a tomarse conciencia de que los modernos edificios de gran altura proyectados con observancia de los códigos y normas de la construcción contenían puntos débiles en relación a su seguridad contra incendios. Varios investigadores y distintos organismos determinaron algunos de esos puntos débiles.

Simultáneamente, la NFPA decidió crear un comité para el estudio de las estructuras de edificios de gran altura el cual, decidió que su contribución no debía reducirse a desarrollar normas para estos edificios, sino que tenía que dirigirse hacia la definición de sistemas de seguridad contra incendios para cualquier tipo de construcción. Después de numerosos cambios surgió finalmente el Árbol de decisiones de seguridad contra incendios.

❖ Árbol de decisiones de la seguridad contra incendios. El árbol de decisiones de la seguridad contra incendios resume el consenso de la comisión de la NFPA sobre teorías de sistemas para la protección contra incendios de estructuras. Pero no es, ni pretende ser, el único medio para reunir todos los factores que participan en la seguridad contra incendios.

**Figura 6.** Ramas principales del árbol de decisiones de la seguridad contra incendios.



Fuente: Manual de protección contra incendios

El árbol de decisiones describe los elementos que deben tenerse en cuenta para determinar la seguridad contra incendios de los edificios y la interrelación que existe entre ellos. Permite el análisis de un edificio o proyecto, avanzando progresivamente por los diferentes niveles de intervención de una manera lógica. Su éxito depende de la exhaustividad con que se realice el análisis de cada nivel de intervenciones. Sin embargo, los niveles inferiores no deben menospreciarse, ya que constituyen un medio para alcanzar el nivel inmediato superior. Además se puede consultar la

norma NFPA 550 Guide to the Fire Safety Concepts Tree, con el fin de obtener un detallado método para usar dicho árbol.

- ♦ Objetivos de la seguridad contra incendios. El empleo de este árbol de decisiones exige que los objetivos de la seguridad contra incendios estén claramente definidos. Estos objetivos expresan el grado de protección que el edificio ha de proporcionar a sus ocupantes, a su contenido y a sus vecinos.

El objetivo de la seguridad humana, por ejemplo, puede establecer que todos los ocupantes deben estar protegidos contra los efectos intolerables o insoportables del fuego. Puede establecerse más adelante que todo el personal de emergencia que se encuentren en las zonas consideradas demasiado peligrosas para los ocupantes quede protegido contra el derrumbamiento inesperado o contra la posibilidad de quedar atrapado. Los objetivos de la protección humana varían ampliamente según el empleo, uso o destino específico del edificio de que se trate.

Para establecer los objetivos de protección de los bienes, debe hacerse una multitud de preguntas. Por ejemplo, ¿Existe en el edificio algún objeto de gran valor?, ¿Qué clase de bien, objeto o artículo, es irremplazable, o cuál cuya destrucción significaría la interrupción de las actividades?, ¿Existen funciones específicas en el edificio que son vitales para la continuación de las actividades?. Más aún, ¿existen funciones que puedan realizarse en otros lugares en caso de emergencia?. La correcta determinación de este tipo de factores permite realizar un diseño que recoja las necesidades del cliente.

- ♦ Evitar la declaración del incendio o Dominar la incidencia del fuego. El árbol suministra la rama lógica necesaria para conseguir la seguridad contra

incendios, es decir, crea las condiciones que permiten cumplir los objetivos de la misma, pero no fija la condición mínima necesaria para lograr dichos objetivos. Así, según el árbol estas metas pueden conseguirse si la ignición se previene o si, en caso de producirse, se controla el fuego. Esta función lógica (O) está representada en dicho árbol por el símbolo “+”.

La rama “Evitar la declaración de incendios” constituye, esencialmente, un código de prevención de incendios. La mayor parte de las intervenciones descritas en ellas exigen una vigilancia continua para que tengan éxito. Consecuentemente, la responsabilidad de alcanzar con éxito el objetivo de evitar el incendio es esencialmente responsabilidad del ocupante y de los propietarios. Sin embargo, debe incorporarse en el diseño del edificio ciertas características que ayuden a esta tarea.

Es prácticamente imposible impedir totalmente la declaración de un incendio en un edificio. Por lo tanto, para alcanzar el objetivo general, desde el punto de vista del proyecto, hace falta que la rama “Dominar la incidencia del fuego” asuma un papel importante y tenga muchas probabilidades de éxito. Esta rama puede ser considerada en esencia como un código de la edificación. Declarado un incendio, todas las consideraciones pertinentes para cumplir los objetivos de seguridad conciernen a esta rama.

Los efectos del fuego pueden dominarse (según la lógica del árbol), tanto por la vía titulada “Dominar el incendio” como por la titulada “Dominar lo expuesto al incendio” (ver Figura 6). La puerta “O” indican que los objetivos pueden alcanzarse por cualquiera de ellas, y que no es necesario seguir ambas, siempre que la vía escogida se cumpla completamente. Como es

lógico, nada impide acometer ambas simultáneamente, lo que aumenta la probabilidad de éxito.

❖ Utilización del árbol de decisiones. El árbol de decisiones puede utilizarse para funciones diferentes. El carácter descriptivo de los requisitos más importantes de los códigos constituyen uno de los aspectos más útiles del mismo.

♦ Prevención de incendios. La rama “Evitar la declaración del incendio” es, fundamentalmente, un código de prevención de incendios. Describe y presenta las relaciones recíprocas entre las características esenciales de un código de esta clase.

La rama “Dominar la incidencia del fuego” constituye fundamentalmente un código de construcción. Una característica importante de los códigos de construcción es el tema de las alternativas o “soluciones de compromiso”. Las soluciones alternativas pueden usarse únicamente en las áreas correspondientes a los factores situados por debajo de una puerta “O” en el árbol de decisiones. Los factores situados por debajo de una puerta “Y” son necesarios y, por lo tanto, no admiten soluciones alternativas.

♦ Análisis de edificios. El árbol de decisiones constituye una buena base para los análisis de seguridad contra incendios. En todo caso, antes de actuar, es imprescindible que se establezcan y se acuerden los objetivos. Una vez que los objetivos fundamentales de seguridad contra incendios de un edificio han quedado identificados y definidos, se puede analizar el proyecto pasando progresivamente por los diversos niveles de intervención, evaluando las redundancias, superposiciones y deficiencias. A menudo, los fallos son tan

claros que es fácil hallar, con arreglo a criterios de economía, soluciones efectivas y específicas.

El análisis de edificios, basado en el árbol de decisiones, tiene, entre otras, la ventaja de que permite examinar separadamente las consideraciones de prevención de incendios y los requisitos necesarios para dominar los efectos del fuego en caso de que éste se produzca.

- ♦ Diseño de edificios. El árbol de decisiones puede emplearse efectivamente en el diseño de edificios. Si se aplica durante la fase preliminar de la planificación del proyecto, será posible tomar más eficazmente muchas decisiones importantes. Por ejemplo, en esta etapa puede decidirse sobre la evacuación o el refugio temporal y sobre sus implicaciones respectivas para las funciones del edificio. De este modo, se reconocen las necesidades específicas que afectan a la decisión tomada.

### **3.3. CARGA COMBUSTIBLE Y NIVELES DE RIESGO**

#### **3.3.1. Carga combustible.**

Los conceptos originales de la gravedad de un incendio y de su carga son muy importantes. Estos conceptos forman la base para poder llevar a cabo muchos de los requisitos contra incendios de los códigos de edificación y para las agencias gubernamentales. La interrelación entre gravedad de incendio y carga combustible, se utilizó como el primer método desarrollado para poder predecir la gravedad de un incendio que podría tener lugar en varias habitaciones. La decoración y más particularmente el inmobiliario, juegan un papel cada vez más importante en las pérdidas humanas por incendio.

El mobiliario es muy difícil de controlar y de reglamentar como un peligro frente a un incendio, ya que no está unido o forma parte de la construcción del edificio ni de los materiales de acabados interiores. El mobiliario se mueve, se restaura, y se vuelve a colocar; sin embargo, hay un procedimiento de prueba para la medición de la combustibilidad del mobiliario y es la carga combustible.

La carga combustible define la cantidad de calor por metro cuadrado que puede ser liberada en una edificación como resultado de la combustión de los materiales existentes. La carga combustible permite evaluar el nivel de riesgo, la cantidad de calor generado, el tiempo de la combustión, la resistencia estructural necesaria y las necesidades de agua.

La carga combustible mide el calor máximo que producirían todos los combustibles incendiados en una zona dada. El calor máximo desprendido representa la suma del producto del peso de cada combustible multiplicado por su calor de combustión. La carga combustible suele expresarse como un promedio, que equivale al peso del combustible en términos de madera dividido por la superficie del fuego. El procedimiento para obtener la carga combustible es el siguiente:

$$\text{Cantidad de calor [J]} = \text{Peso del material [Kg]} * \text{Calor de combustión [J/Kg]}$$

$$\text{Peso en términos de madera [Kg]} = \frac{\text{Cantidad de calor [J]}}{18608 \text{ [J/Kg]}^*}$$

---

\* Calor de combustión de la madera.

$$\text{Carga combustible [Kg/m}^2\text{]} = \frac{\text{Peso en términos de madera [Kg]}}{\text{Área [ m}^2\text{]}}$$

### 3.3.2. Niveles de riesgo.

En cuanto a niveles de riesgo la norma NPFA 101 Life Safety Code establece tres categorías ocupacionales así:

- Peligrosidad baja
- Peligrosidad ordinaria
- Peligrosidad alta

Categorías que también están contempladas en la norma ICONTEC 1669 Código para el suministro y distribución de agua para la extinción de incendios, su diferencia recae principalmente en la utilización del término “riesgo” por “peligrosidad”.

❖ Riesgo Leve (I). Ocupaciones donde la cantidad de materiales presentes son de baja combustibilidad lo que supone la imposibilidad de una propagación del fuego. Como consecuencia, el único riesgo probable que pueda requerir la utilización de salidas de emergencia es el pánico, el humo o eventualmente el fuego procedente de otra zona. El valor de la carga combustible debe ser menor de 35 Kg/m<sup>2</sup> en términos de madera.

❖ Riesgo Moderado (II). Estas ocupaciones pueden tener una velocidad moderada de combustión con producción de un volumen importante de humo, pero no se emiten gases tóxicos ni se pueden generar explosiones. El

valor de la carga combustible se encuentra entre 35 y 75 Kg/m<sup>2</sup> en términos de madera.

❖ Riesgo Alto (III). Estas ocupaciones pueden producir incendios de desarrollo muy rápido o producir vapores tóxicos o explosiones, por lo tanto existe mayor riesgo para la vida. El valor de la carga combustible debe ser mayor de 75 Kg/m<sup>2</sup> en términos de madera.

### **3.4. PREVENCIÓN DE INCENDIOS**

La prevención de incendios incluye todas las actividades que tienden a hacer disminuir la incidencia de un incendio. Normalmente, entre los métodos más utilizados se incluyen la inspección, la educación sobre seguridad y la investigación de incendios.

La inspección constituye el medio más eficaz para descubrir y corregir deficiencias que representen una amenaza a las personas y propiedades. Las inspecciones ayudan a asegurar que las condiciones de una estructura sean seguras. Estas incluyen la comprobación de las condiciones de las salidas y acabados interiores, el funcionamiento de las puertas de salida, luces de emergencia, señalización de salidas y equipos de protección contra incendio, condiciones de zonas de almacenamiento así como el mantenimiento y funcionamiento de las instalaciones del edificio. Las inspecciones pretenden que no se produzcan incendios mediante la identificación de los peligros de incendio que pueden provocar un fuego, ni permitir que un fuego se desarrolle o propague una vez desencadenado.

La educación se emplea para informar e instruir al público en general acerca del peligro de los incendios y de las formas de actuación seguras en caso de incendio. La investigación de incendios ayuda determinando la causa del incendio, el descubrimiento de las causas de los incendios es la base para el establecimiento de prioridades en un programa de prevención, llevándose a cabo programas adecuados dirigidos a problemas concretos. Las prácticas de ingeniería, otro método de prevención, contribuye poderosamente a disponer de protecciones apropiadas que ayuden a evitar que se desencadenen fuegos, también contribuyen a limitar la propagación del incendio si éste comienza.

El principal objetivo de un programa de prevención de incendios es reducir o eliminar la probabilidad de incendio en el lugar de trabajo, mediante una mayor conciencia de la necesidad de seguridad de todos los empleados. Mientras que la promulgación, enseñanza y supervisión de los planes de prevención de incendio suelen ser responsabilidad de una sola persona, el objetivo principal del programa es ofrecer a todos los empleados la información necesaria para saber cuando existe peligro de incendio y para tomar las medidas adecuadas a fin de que tal situación no desemboquen en un incendio. De este objetivo se derivan otros que, en conjunto, servirán para alcanzar el objetivo final de la seguridad.

### **3.5 SISTEMAS DE DETECCIÓN Y ALARMA DE INCENDIO**

Un aspecto clave en la protección contra incendios radica en identificar oportunamente el fuego que se está desarrollando, además de alertar a los ocupantes del edificio y bomberos. Tal es el papel de los sistemas de detección y alarma de incendio. Según sea el escenario previsto para el incendio, el edificio y el tipo de uso, la cantidad y el tipo de ocupantes y el

carácter vital del contenido y la misión, estos sistemas pueden realizar diversas funciones.

En primer lugar, constituyen un medio para identificar el desarrollo de un incendio, por métodos manuales o automáticos y, en segundo lugar, avisan a los ocupantes respecto de un incendio y de la necesidad de evacuar el edificio. Otra función habitual consiste en transmitir una señal de alarma al departamento de bomberos u otra organización de emergencia. Pueden asimismo detener los equipos eléctricos y de manejo del aire o las operaciones de procesos especiales, además de iniciar sistemas automáticos de supresión. A continuación se describen los distintos detectores automáticos de incendio y sus principios de funcionamiento como también las características operacionales de los diferentes tipos de sistemas de señalización protectora.

### **3.5.1. Detectores automáticos de incendios.**

Desde el momento en que inicia un fuego aparecen múltiples cambios ambientales mediante los cuales puede detectarse su presencia. Los seres humanos son excelentes detectores debido a sus cualidades sensoriales de olfato, vista y tacto. También poseen la capacidad de comparar sensaciones con conocimientos y experiencias previas, ayudándoles esto a diferenciar entre fuegos inofensivos y fuegos peligrosos. Pero puesto que los sentidos humanos no son infalibles se han desarrollado una serie de dispositivos para la detección de los cambios ambientales generados por el fuego.

Los elementos más comunes generados por un incendio que pueden ser detectados son el cambio de temperatura en el aire, el humo y la radiación luminosa. El tema se complica por el hecho de que no todos los incendios

generan todos los elementos y que situaciones sin incendio pueden producir condiciones ambientales similares. Es por lo tanto misión del ingeniero de protección contra incendios diferenciar cuáles de los elementos producidos por un fuego pueden ser debidos a incendios y que condiciones ambientales similares derivan de situaciones sin incendio.

❖ Detectores térmicos. Constituyen los más antiguos detectores automáticos de incendio. Responden a la energía calorífica transportada por convección, la respuesta se produce cuando el elemento de detección alcanza una temperatura fija predeterminada o cuando se llega a una velocidad específica de cambio de temperatura.

♦ Detectores termostáticos. Se diseñan para dar la alarma cuando la temperatura del elemento operacional alcanza un valor específico. La temperatura del aire en el momento de inicio de la alarma es generalmente mayor que la temperatura de regulación debido a que se necesita un cierto tiempo para que el aire eleve la temperatura del elemento operacional hasta el valor fijado. A este fenómeno se le denomina inercia térmica.

♦ Detectores termovelocimétricos. Como se mencionó anteriormente uno de los efectos que el fuego produce en el área que lo rodea es el rápido incremento de la temperatura del aire. Los detectores de temperatura fija no inician la alarma hasta que la temperatura del aire no supera la de diseño. El detector de velocidad de aumento de temperatura (termovelocimétrico) funciona cuando la velocidad de incremento excede un valor fijado, alrededor de 7-8 C por minuto. Se diseñan para compensar los cambios normales en la temperatura ambiente que se producen en condiciones habituales.

- ♦ Detectores combinados. Contienen más de un elemento para responder al fuego. Un ejemplo es un detector térmico que funciona según los principios de temperatura fija y de velocidad de aumento de temperatura. La ventaja consiste en que el elemento termovelocimétrico actúa con prontitud a un fuego de rápido desarrollo y el termostático responde a otro de desarrollo lento.

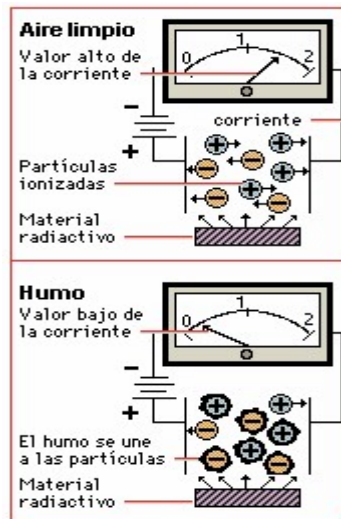
- ❖ Detectores de humo. Un detector de humo actúa con mucha más rapidez que uno térmico en la mayoría de los incendios. Se identifican según su principio de funcionamiento en detectores de ionización y fotoeléctricos. Los que funcionan según el principio fotoeléctrico responden con más rapidez al humo generado por fuegos de poca energía, ya que generalmente se producen partículas de mayor tamaño. Los que actúan según el principio de ionización poseen una respuesta algo más rápida a fuegos de alta energía (con llamas), donde se producen elevadas cantidades de partículas de menor tamaño.

- ♦ Detectores de ionización. Contienen una pequeña cantidad de material radioactivo que ioniza el aire en una cámara, convirtiéndolo en conductor y permitiendo que pase una corriente entre dos electrodos cargados. Esto proporciona a la cámara una conductancia eléctrica bastante efectiva. Cuando las partículas de humo penetran en la zona de ionización, disminuye la conductancia del aire, el detector responde cuando la conductancia baja a un nivel fijado.

- ♦ Detectores fotoeléctricos. La presencia de partículas de humo en suspensión generadas durante el proceso de combustión, afecta a la propagación de un haz luminoso a través del aire. Esto puede emplearse para

detectar la presencia de un fuego de dos formas, una por oscurecimiento de la intensidad luminosa a medida que pasa el haz y la otra por dispersión del haz luminoso.

**Figura 7.** Principio de funcionamiento de un detector de humo por ionización.



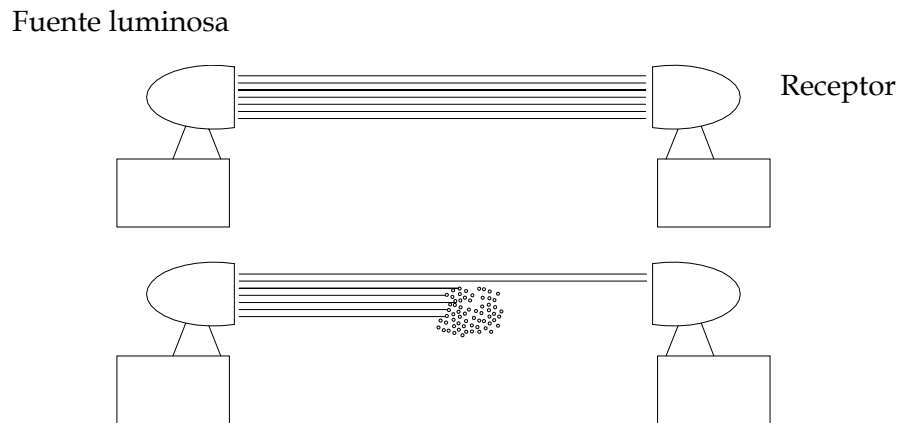
Fuente: Enciclopedia Encarta 2003

✦ Principio de oscurecimiento. Los detectores de humo que operan según este principio incorporan una fuente luminosa, un sistema de alineación del haz de luz y un dispositivo fotosensible. Cuando las partículas de humo penetran en el haz, la luz que alcanza el dispositivo fotosensible se reduce y la alarma se activa. La fuente es generalmente un diodo emisor de luz (LED). El dispositivo fotosensible puede ser del tipo fotovoltaico, fotorresistivo o fotodiódico.

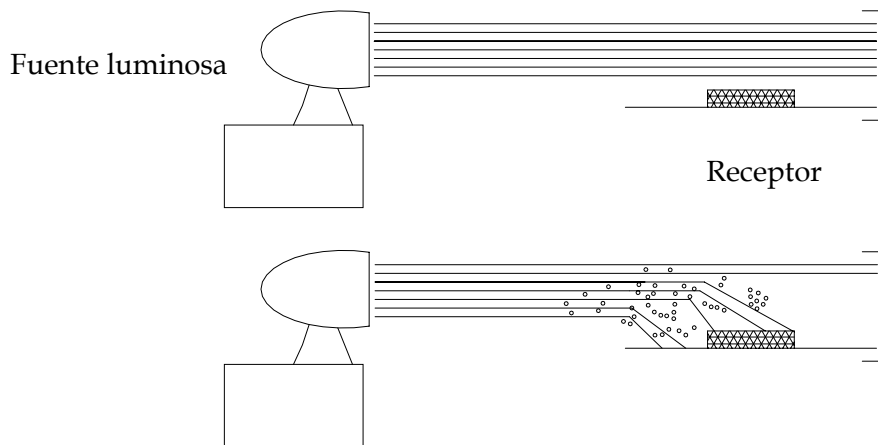
✦ Principio de dispersión. Cuando las partículas de humo penetran en el haz, se produce dispersión de luz. Los detectores que emplean este principio contienen la fuente luminosa y el dispositivo fotosensible dispuestos de tal

forma que los rayos luminosos no inciden normalmente en el segundo. Cuando las partículas entran en el haz de luz, esta se dispersa sobre el dispositivo fotosensible, provocando la respuesta del detector.

**Figura 8.** Principio de funcionamiento de un detector de humo fotoeléctrico por oscurecimiento.



**Figura 9.** Principio de funcionamiento de un detector de humo fotoeléctrico por dispersión.



❖ Detectores de llama. Estos dispositivos reaccionan ante el surgimiento de energía radiante infrarroja o ultravioleta. Son sensibles a brasas incandescentes y llamas que radian energía de suficiente intensidad y naturaleza espectral para motivar la reacción del detector.

♦ Detector de infrarrojos. Consta básicamente de un sistema de filtros y lentes que se emplea para apantallar longitudes de ondas indeseables y focalizar la energía incidente en una célula fotovoltaica o fotorresistiva sensible a la energía infrarroja.

♦ Detector de ultravioletas. Detectan la radiación ultravioleta que emana de las llamas. Emplean generalmente como elemento sensible un dispositivo en estado sólido.

Al planificar un sistema de detección de incendios, los detectores deben elegirse según el tipo de fuegos potenciales que puedan producirse. También deben considerarse el tipo y cantidad de combustible presente, las posibles fuentes de ignición, las condiciones ambientales y el valor de la propiedad a proteger.

En general, los detectores térmicos poseen el más bajo costo y tasa de falsas alarmas, pero son los más lentos de respuesta. Tienen su mejor aplicación en la protección de espacios confinados o en áreas donde se esperen fuegos con llamas. La temperatura de funcionamiento debe ser al menos 14 C superior a la máxima temperatura ambiente esperada en la zona protegida. Los detectores de humo son más costosos que los térmicos, pero responden más rápidamente a los incendios. Son más adecuados para la protección de grandes espacios abiertos. Los detectores de humo de ionización son útiles

cuando se producen incendios con llamas, los fotoeléctricos tienen una mejor utilización en lugares que tengan posibilidad de ser afectados por incendios de brasas. Los detectores de llama ofrecen una respuesta extremadamente rápida, pero se activan con cualquier fuente de radiación dentro de su campo de sensibilidad. Si se aplican inadecuadamente la tasa de falsas alarmas pueden ser elevadas. Debe cuidarse que no sean bloqueados por equipos o materiales almacenados. Su sensibilidad está en función del tamaño de la llama y distancia de ésta al detector. Son idóneos para proteger áreas con presencia de polvos o vapores explosivos o inflamables.

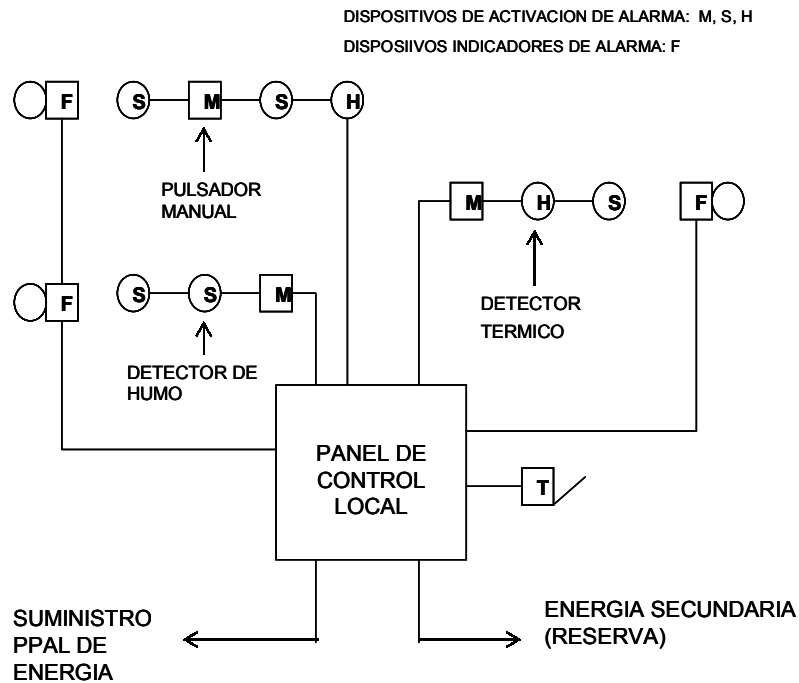
### **3.5.2 Sistemas de señalización protectora.**

Un sistema de alarma contra incendios es un elemento clave en la protección de cualquier edificio. Este sistema, si se diseña e instala apropiadamente, puede contribuir en gran medida a limitar las pérdidas por incendio, independientemente del tipo de propiedad. Estos sistemas se clasifican de acuerdo con las funciones que realizarán. Entre los elementos básicos de cada sistema se encuentran una unidad de control, un suministro de energía primaria, un suministro de energía secundaria, uno o más circuitos con dispositivos iniciadores, donde se conectan los detectores automáticos de incendio, los pulsadores manuales contra incendio y cualquier otro dispositivo iniciador de alarmas, y uno o más circuitos de dispositivos indicadores de alarma, donde se conectan campanas, bocinas, altavoces y cualquier otro dispositivo indicador de alarmas.

❖ Tipos de sistemas.

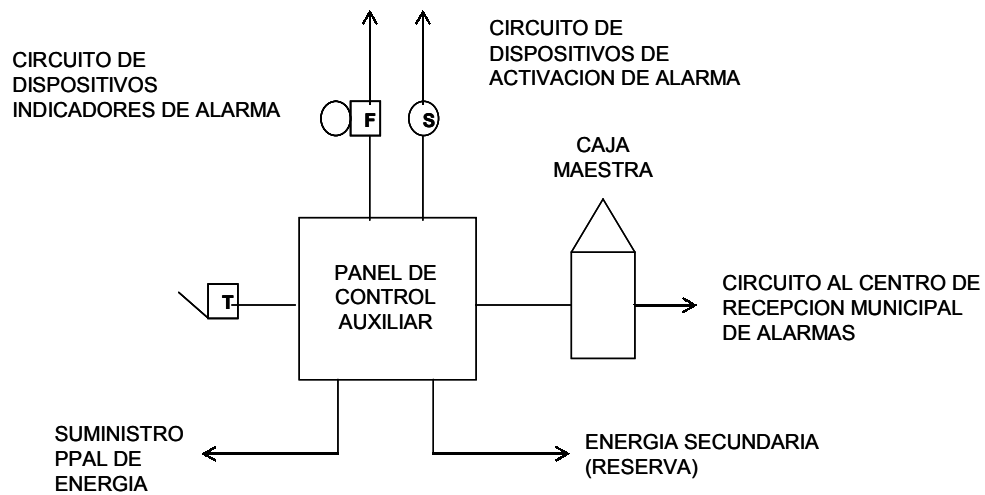
- ♦ Sistemas de alarma de incendio local. Sistemas que activan una alarma en la instalación protegida como resultado de la operación manual de una estación manual de alarma de incendio o por la activación de equipos o sistemas automáticos, tales como detectores de humo, detectores de calor, sistemas de rociadores de agua, o sistemas de descarga de agentes de extinción. Estos sistemas tienen el propósito de notificar a los ocupantes la presencia de un incendio para que los mismos puedan evacuar el lugar.
  
- ♦ Sistemas de alarma de incendio auxiliares. Sistemas conectados al sistema municipal de alarma de incendio para transmitir una alarma de incendio al centro de comunicaciones de servicio de incendio público. Estos sistemas además de notificar a los ocupantes la presencia de un incendio también notifican la presencia del incendio directamente a los departamentos de bomberos municipales o locales.
  
- ♦ Sistemas de alarma de incendio con estación de supervisión remota. Sistemas instalados para transmitir señales de alarma, supervisión y falla desde uno o más locales protegidos a un lugar remoto en el cual se toma una acción de respuesta apropiada.
  
- ♦ Sistemas de alarma de incendio para supervisión en la propiedad. Sistemas que sirven a propiedades contiguas o no contiguas de un mismo dueño y que transmite las señales de alarma, supervisión y falla a una estación de supervisión del mismo propietario ubicada en la propiedad protegida, atendida en todo momento por personal capacitado y competente.

**Figura 10.** Sistema de alarma de incendio local.



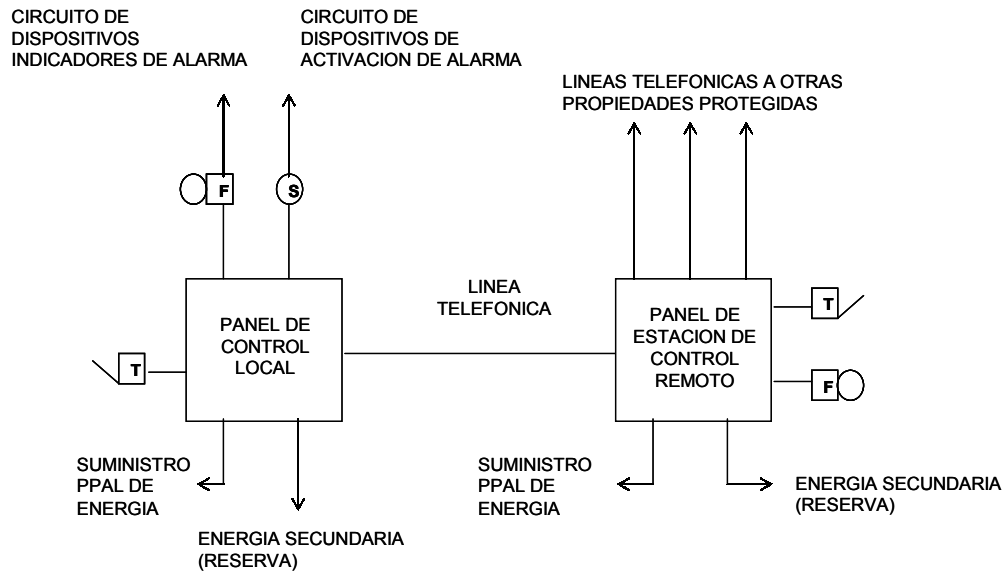
Fuente: Manual de protección contra incendios.

**Figura 11.** Sistema de alarma de incendio auxiliar.



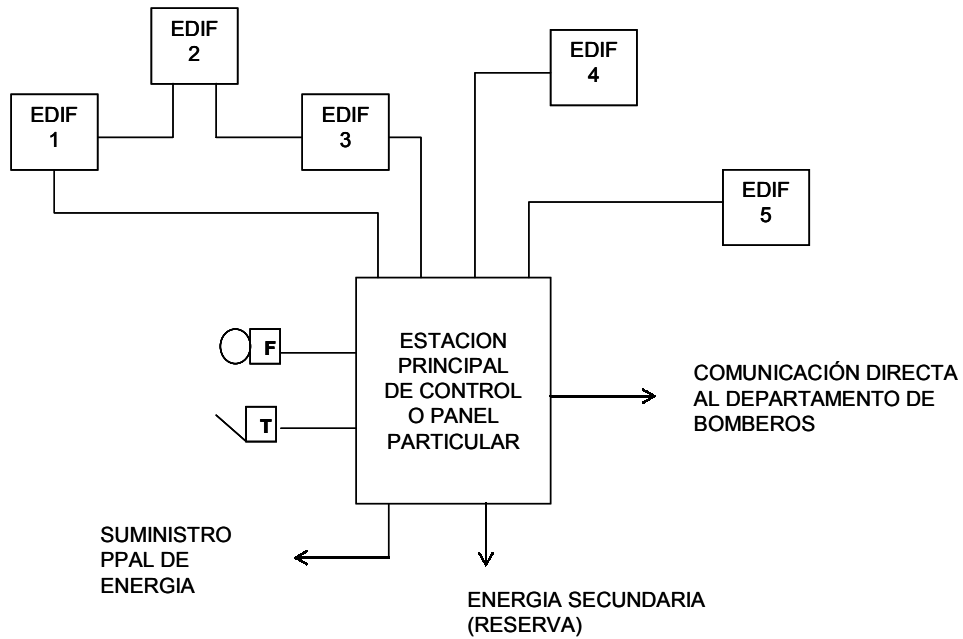
Fuente: Manual de protección contra incendios.

**Figura 12.** Sistema de alarma de incendio con estación remota.



Fuente: Manual de protección contra incendios.

**Figura 13.** Sistema de propiedad particular.



Fuente: Manual de protección contra incendios.

❖ Tipos de señales.

♦ Señal de falla. Se da cuando se produce un fallo en un circuito o dispositivo supervisado de un sistema de protección. Los circuitos que normalmente se supervisan incluyen el suministro de energía primario y los dispositivos indicadores y activadores de alarma.

♦ Señal de alarma. Cuando se detecta un fuego, se produce una alarma al ser operado un dispositivo activador manual o automático. Generalmente son señales acústicas a través del edificio.

♦ Señal de supervisión. Señal que indica la necesidad de acción en relación con los equipos o sistemas para la supresión de incendios, o las características de mantenimiento de los sistemas relacionados.

♦ Señales visuales. Debido a que los edificios son accesibles a personas disminuidas, los sistemas de alarma deben incluir señales visuales para aquellas personas con problemas de oído.

Las alarmas de incendio, las señales de supervisión y las señales indicadoras de falla deberán ser anunciadas distintivas y descriptivamente.

### **3.6 SISTEMAS DE SUPRESIÓN DE INCENDIOS**

Un sistema de supresión está conformado por un agente extintor con sus respectivos tanques de almacenamiento, una tubería fija para conducir el agente y elementos de descarga con un flujo determinado (rociadores automáticos, boquillas, toberas, etc.).

### 3.6.1 Agente extintor.

El agua es y ha sido durante mucho tiempo, el agente más común en la extinción de incendios, su principal característica de extinción es su alto poder de absorción de calor, sin embargo se han desarrollado otros agentes extintores que se emplean en usos específicos cumpliendo satisfactoriamente con la supresión de fuego, entre los más comunes se encuentran los polvos químicos, las espumas y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

- ♦ Dióxido de carbono. El CO<sub>2</sub> se ha venido empleando para la extinción de fuegos de líquidos inflamables, gases, aparatos eléctricos bajo tensión y, en menor medida, contra fuegos de combustibles sólidos, tales como papel, tejidos y otros materiales celulósicos. Sus limitaciones están relacionadas con el método de aplicación y con el propio riesgo; aunque el CO<sub>2</sub> es sólo ligeramente tóxico puede producir pérdida de conocimiento e incluso la muerte cuando se encuentra en concentraciones que son necesarias en las operaciones de lucha contra fuegos. Por lo tanto, el CO<sub>2</sub> no deberá ser utilizado en lugares normalmente ocupados a no ser que se tomen las debidas medidas para garantizar la evacuación antes de que se produzca la descarga.

- ♦ Productos químicos secos. El polvo seco es una mezcla de polvos que se emplean como agente extintor; se aplica por medio de extintores portátiles, mangueras o sistemas fijos. Se les reconoce su extraordinaria eficacia para la extinción de fuegos de líquidos inflamables, igualmente pueden usarse contra fuegos de algunos tipos de equipo eléctrico; solamente cuando no es previsible la reignición puede emplearse este método, puesto que la acción extintora es transitoria. Los ingredientes que se emplean actualmente en los polvos químicos no son tóxicos, sin embargo, la descarga de grandes

cantidades puede causar dificultades temporales en la respiración durante e inmediatamente después de la descarga, y pueden interferir gravemente con la visibilidad.

- ♦ Espumas. Consiste en una masa de burbujas que se produce mezclando un concentrado espumante con agua en concentración adecuada, es utilizada para la extinción de fuegos causados por derrames de líquidos inflamables o combustibles, o fuegos en depósitos, mediante la formación de una capa coherente refrigerante, las soluciones de espumas son conductoras y, por ello, no son recomendables para fuegos de tipo eléctrico; la utilización de este agente extintor origina pérdida de visibilidad y dificultades de respiración debido a la presencia de burbujas de espuma en el aire representado un riesgo de muerte y lesiones.

**Tabla 1.** Aplicación adecuada de agente extintor.

Agente extintor	Clases de fuego			
	A	B	C	D
Agua	***	*		
Polvos químicos		***	**	
Dióxido de carbono	*	**	*	
Espumas	**	***		

\*\*\* Muy Adecuado

\*\* Adecuado

\* Aceptable

### 3.6.2 Elemento de descarga.

El principal elemento de descarga en sistemas de supresión con agua son los rociadores automáticos; estos elementos descargan agua sobre el punto incendiado en cantidad suficiente para extinguirlo totalmente o impedir su propagación. La descarga de agua de los rociadores automáticos se impide por medio de una caperuza que se mantiene rígidamente unida contra el orificio de descarga por medio de un sistema de palancas y enlaces que la oprimen y la retienen. Existen dos clases de rociadores automáticos de acuerdo a su principio básico de funcionamiento.

- ♦ Rociadores automáticos de enlace fusible: Este rociador actúa al fundirse una aleación metálica cuyo punto de fusión está predeterminado.
- ♦ Rociadores automáticos de ampolla: Tiene como elemento funcional un bulbo frágil o ampolla. El bulbo contiene un líquido pero no está totalmente lleno, puesto que queda atrapada en su interior una pequeña burbuja de aire. Al expandirse el líquido a causa del calor, la burbuja se comprime y finalmente el líquido la absorbe. Tan pronto como desaparece la burbuja, la presión aumenta y el bulbo se rompe soltando la caperuza. La temperatura de activación se regula graduando la cantidad de líquido y el tamaño de la burbuja en el momento de sellarse el bulbo.

Según su instalación, los rociadores se definen como sigue.

- ♦ Rociador montante. Rociadores diseñados para ser instalados de tal forma que la descarga de agua se dirija hacia arriba, contra el deflector.

- ♦ Rociador colgante. Rociadores diseñados para ser instalados de tal manera que la descarga de agua se dirija hacia abajo, contra el deflector.
  
- ♦ Rociador Empotrado. Rociadores en los cuales todo el cuerpo o parte de él, excluyendo el extremo donde se fija el deflector, se encuentra montado dentro de un alojamiento empotrado.
  
- ♦ Rociador Oculto. Rociadores empotrados, provistos de tapas.
  
- ♦ Rociador Montado al ras. Rociadores en los que todo el cuerpo o parte de él, incluyendo el extremo donde se fija el deflector, se encuentra montado por encima del plano inferior del cielorraso.
  
- ♦ Rociador de pared o lateral. Rociadores con deflectores especiales, diseñados para descargar la mayor parte del agua lejos de la pared donde están montados.

Existen también otros elementos de descarga como son las boquillas, toberas y lanzas; estas últimas descargan el agente extintor a través del eje de una espiral con diámetro interno en disminución. El empleo de estos elementos de descarga tiene mayor aplicación para agentes extintores como el CO<sub>2</sub>, polvos químicos secos y espumas.

**Figura 14.** Rociador automático



### **3.6.3. Tubería de descarga.**

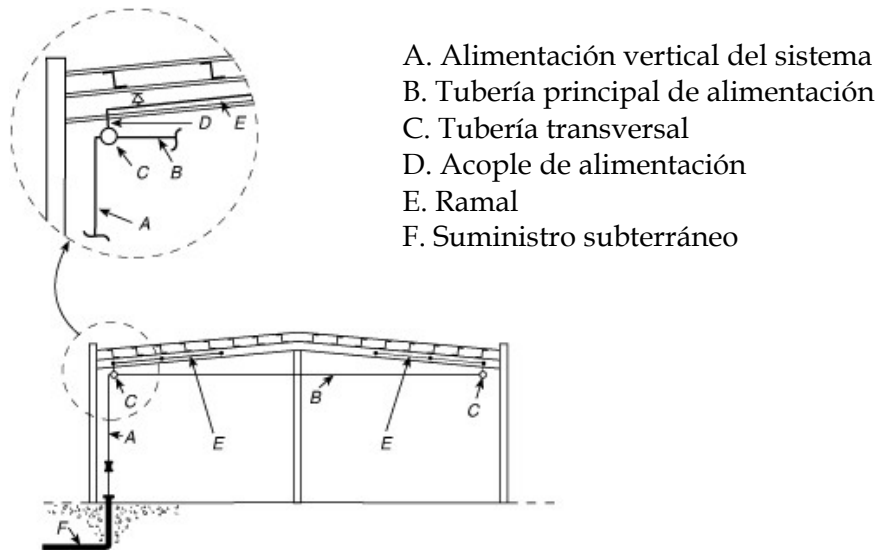
Existen tres tipos fundamentales de sistemas de tubería de descarga que son: red húmeda, red seca y de preacción. Con el agua como agente extintor, se puede emplear cualquiera de estos sistemas de tubería; para los otros agentes extintores es mejor utilizar sistemas de tubería de preacción ya que las propiedades de los agentes extintores pueden deteriorar la tubería.

- ♦ Red húmeda. En este sistema el agua se mantiene constantemente dentro de la tubería de los rociadores, cuando se activa un rociador el agua se descarga de manera inmediata.
- ♦ Red seca. En este sistema las tuberías se llenan con aire o nitrógeno a presión en vez de agua. El aire mantiene cerrada una válvula que se conoce como válvula de red seca. Ésta impide que el agua entre en las tuberías hasta que un incendio haga que uno o más rociadores comiencen a funcionar. Cuando esto ocurre, el aire escapa y la válvula de red seca se abre, y el agua ingresa a la tubería.

- ♦ **Preacción.** Este sistema emplea el concepto básico de un sistema de red seca, ya que comúnmente no hay agua dentro de la tubería. La diferencia radica en que el agua permanece apartada de la tubería por una válvula electrónica conocida como válvula de preacción. La operación de esta última es controlada por el sistema de detección. Deben suceder dos acontecimientos por separado para que se inicie la descarga. Primero el sistema de detección tiene que identificar el desarrollo de un incendio y luego abrir la válvula de preacción de manera que el agua ingrese a la tubería.

El tendido de tuberías para rociadores debe planificarse e instalarse de acuerdo con la norma NFPA 13 *Standard for Installation of Sprinkler Systems*. Las líneas de tuberías a las que se acoplan directamente los rociadores se llaman ramales, las tuberías que alimentan directamente a los ramales se denominan tuberías transversales, y las tuberías que alimentan a estas últimas se denominan tuberías principales de alimentación.

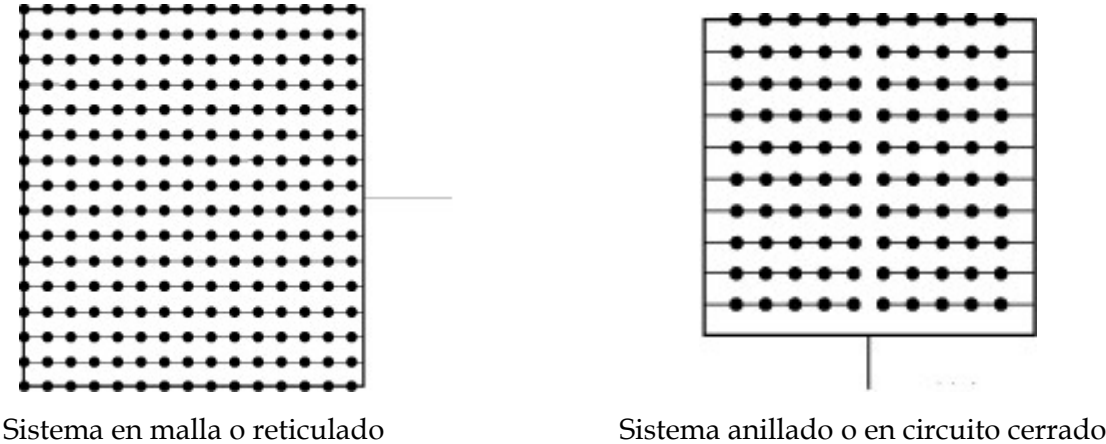
**Figura 15.** Sistema de tuberías para rociadores.



Fuente: NFPA 13 Standard for Installation of Sprinkler Systems.

La Figura 16 ilustra las disposiciones más comunes de sistemas de tuberías para rociadores.

**Figura 16.** Disposiciones más comunes de sistemas de tuberías para rociadores



Fuente: NFPA 13 Standard for Installation of Sprinkler Systems.

## **4. ANALISIS DE NORMAS**

### **4.1. CODE FOR THE PROTECTION OF CULTURAL RESOURCES. NFPA 909**

El propósito de éste código es el de establecer los requisitos mínimos para la prevención y protección del fuego, con el fin de proporcionar una adecuada seguridad contra incendios a propiedades culturales y sus contenidos, así como seguridad a las personas que las visitan o trabajan en ellas.

#### **4.1.1. Prevención de incendios.**

Para un amplio programa de prevención de incendios, éste código recomienda las siguientes premisas:

- ❖ Las puertas interiores deben permanecer cerradas cuando el edificio no está ocupado.
- ❖ Escaleras, corredores, puertas, y cualquier otro medio de salida deben estar libres de combustibles, recipientes de basura, y otros materiales.
- ❖ Los cuartos eléctricos y mecánicos deben permanecer libres de combustibles y cerrados.
- ❖ La basura debe ser recogida y deshacerse de ella al final de cada día de trabajo y más a menudo si es necesario.

- ❖ Fumar debe estar prohibido en todos los lugares de almacenamiento dentro del edificio excepto en las áreas designadas para tal fin.
- ❖ Trabajo en caliente (operaciones de corte, soldadura, soplete, etc.) no debe ser permitido, a menos que no haya ninguna otra alternativa viable. Un permiso de trabajo en caliente debe ser emitido para autorizar el trabajo con cualquier dispositivo de llama abierta utilizado en corte, soldadura, etc.
- ❖ Los aparatos eléctricos portátiles deben ser conectados a un circuito eléctrico del edificio que este protegido con un circuito interruptor de falla de arco.
- ❖ Los equipos y aparatos eléctricos, incluyendo las instalaciones temporales, deben cumplir con la norma NFPA 70 *National Fire Alarm Code* o códigos locales.
- ❖ Un sistema de protección de rayo debe ser diseñado e instalado.
- ❖ Las utilidades que apoyan la supresión y detección de incendios, no deben atravesar los espacios para almacenamiento de la colección, a excepción de aquellas utilidades que sirvan directamente a tales espacios.
- ❖ Los controles para las utilidades que sirven el espacio de almacenamiento de la colección deben ser localizados afuera de esta, para que el acceso a los controles no requiera la entrada dentro del espacio de almacenamiento de las colecciones.

#### 4.1.2. Planificación para la protección al fuego.

❖ Plan de protección contra el fuego. Este código recomienda para una adecuada seguridad contra incendios desarrollar un plan de protección contra el fuego, plan que debe ser desarrollado por los responsables de la institución, partiendo de unos objetivos de seguridad claros y realizando de antemano un completo estudio para determinar los peligros de incendios potenciales y existentes. Este plan debe incluir un procedimiento de inspección anual con documentación y procesos de acciones correctivas.

♦ Sistema de alarma y detección de incendios. Los sistemas de alarma y detección de incendios deben ser diseñados e instalados de acuerdo con los requisitos de la norma NFPA 72 *National Fire Alarm Code*. Los detectores automáticos deben ser instalados en cada área y espacio donde las condiciones ambiente lo permitan.

♦ Sistemas automáticos de supresión. Los sistemas automáticos de supresión deben ser diseñados e instalados de acuerdo a normas o códigos correspondientes de la NFPA. Se debe proporcionar un sistema de supresión de fuego automático en las áreas de almacenamiento de colección mayores de 46.25 m<sup>2</sup>.

❖ Plan de evacuación. Se debe desarrollar e implementar un plan de manejo de emergencias, y realizarse por lo menos un ejercicio anual para asegurar el manejo del plan por parte del personal. Este plan también debe incluir lo siguiente:

- ♦ Precauciones de seguridad de fuego para eventos especiales y celebraciones, cuando las condiciones normales de operación se cambian substancialmente.
- ♦ Ejercicios para adaptación de circunstancias y visitas grandes que pueden crearse por los eventos y exhibiciones especiales.
- ❖ Entrenamiento. Las directivas de la edificación deben asegurar que todo el personal, incluyendo voluntarios e internos, reciban entrenamiento periódico y regular pertinente a sus responsabilidades asignadas en la facilidad, éste debe ser reforzado por ejercicios anuales; y debe involucrar entrenamiento en:
  - ♦ Plan de protección de fuego.
  - ♦ Plan de evacuación de emergencia.
  - ♦ Protección de fuego y sistemas de detección, incluyendo el uso apropiado de extintores portátiles.

#### **4.2. STANDARD FOR INSTALLATION OF SPRINKLER SYSTEMS. NFPA 13**

Esta norma proporciona los requisitos mínimos para el diseño e instalación de sistemas de rociadores automáticos contra incendios; incluyendo el carácter y adecuación de las fuentes de abastecimiento de agua y la selección de rociadores, tuberías, válvulas y todos los materiales y accesorios.

El objeto de esta norma es proporcionar un grado de protección contra incendios razonable, para la vida humana y los bienes materiales, a través de la normalización de los requisitos de diseño, instalación y ensayo de estos sistemas, basado en principios de ingeniería confiables, información proveniente de ensayos y experiencias de campo.

#### **4.2.1. Clasificación de las ocupaciones.**

En esta norma, la clasificación de las ocupaciones se refiere únicamente a la instalación de rociadores y a su abastecimiento de agua. No es una clasificación general de los riesgos de ocupación.

❖ Ocupaciones de Riesgo Leve. Ocupaciones o partes de otras ocupaciones, donde la cantidad y/o combustibilidad de los contenidos es baja, y se esperan incendios con bajo índice de liberación de calor.

❖ Ocupaciones de Riesgo Ordinario.

◆ Riesgo Ordinario Grupo 1. Ocupaciones o parte de otras ocupaciones donde la combustibilidad es baja, la cantidad de combustibles es moderada, las pilas de almacenamiento de combustibles no superan 2.4 metros de altura, y se esperan incendios con un índice de liberación de calor moderado.

◆ Riesgo Ordinario Grupo 2. Ocupaciones o parte de otras ocupaciones donde la combustibilidad es baja, la cantidad de combustibles es de moderada a alta, las pilas de almacenamiento de combustibles no superan 3.7 metros de altura, y se esperan incendios con índices de liberación de calor moderados a altos.

❖ Ocupaciones de Riesgo Extra. Ocupaciones o parte de otras ocupaciones donde la cantidad y combustibilidad de los contenidos es muy alta y están presentes líquidos inflamables o combustibles, polvo u otros materiales, que introducen la probabilidad de existencia de incendios con un rápido desarrollo y elevados índices de liberación de calor.

♦ Riesgo Extra Grupo 1. Incluyen las ocupaciones descritas anteriormente con la presencia de poco o ningún líquido inflamable o combustible.

♦ Riesgo Extra Grupo 2. Incluyen las ocupaciones descritas anteriormente con cantidades moderadas a considerables de líquidos inflamables o combustibles, o donde se resguarden cantidades importantes de productos combustibles.

#### **4.2.2. Rociadores.**

❖ Características generales. Las características de un rociador que definen su capacidad para controlar o extinguir un incendio son:

♦ Sensibilidad Térmica. Esto corresponde a la rapidez con que funciona el elemento térmico. Una medida de esta característica es el índice de tiempo de respuesta (RTI).

♦ Temperatura de Activación.

♦ Diámetro del orificio de descarga.

- ♦ Orientación de la instalación.
- ♦ Características de la distribución de agua.

Según sus características de diseño y funcionamiento, los rociadores se definen como sigue:

- ♦ Rociador Estándar (SR). Tipo de rociador que posee un elemento térmico con índice de tiempo de respuesta mayor o igual a  $80 \text{ (m/s)}^{1/2}$ .
- ♦ Rociador de Respuesta Rápida (QR). Tipo de rociador que posee un elemento térmico con índice de tiempo de respuesta menor o igual a  $50 \text{ (m/s)}^{1/2}$ .
- ♦ Rociador de Supresión Temprana y Respuesta Rápida (ESFR). Tipo de rociador de respuesta rápida, que posee un elemento térmico con índice de tiempo de respuesta menor o igual a  $50 \text{ (m/s)}^{1/2}$  y listado por su capacidad de proporcionar supresión de incendios para tipos específicos de incendio de alto riesgo.
- ♦ Rociador de Respuesta Rápida y Supresión Temprana (QRES). Tipo de rociador de respuesta rápida, que posee un elemento térmico con índice de tiempo de respuesta menor o igual a  $50 \text{ (m/s)}^{1/2}$  y listado por su capacidad de proporcionar supresión para incendios en riesgos de incendio específicos.
- ♦ Rociadores de Gota Grande. Tipo de rociador que es capaz de producir gotas de agua grandes, y listado por su capacidad de proporcionar control en incendios específicos de alto riesgo.

- ♦ Rociador Residencial. Tipo de rociador de respuesta rápida, y listado para uso en protección de unidades habitacionales.
- ♦ Rociador de Pulverización. Tipo de rociador listado por su capacidad de proporcionar control de incendios para un amplio rango de riesgos de incendio.
- ♦ Rociadores Abiertos. Rociadores que no poseen accionadores ni elementos de respuesta al calor.
- ♦ Boquillas. Dispositivos que se utilizan en aplicaciones que requieren patrones de descarga de agua especiales, pulverización direccional u otras características inusuales de descarga.
- ❖ Características de descarga. El factor K y la descarga relativa de los rociadores dependiendo del tamaño de su orificio de descarga debe estar de acuerdo con la Tabla 2.

**Tabla 2.** Características de descarga de los rociadores.

Diámetro nominal del orificio		Factor K	Porcentaje de descarga	Tipo de rosca
Pulgadas	Milímetros			
1/4	6,4	1,3 - 1,5	25	1/2" NPT
5/16	8	1,8 - 2,0	33,3	1/2" NPT
3/8	9,5	2,6 - 2,9	50	1/2" NPT
7/16	11	4,0 - 4,4	75	1/2" NPT
1/2	12,7	5,3 - 5,8	100	1/2" NPT
17/32	13,5	7,4 - 8,2	140	1/2" o 3/4" NPT
5/8	15,9	11,0 - 11,5	200	1/2" o 3/4" NPT
3/4	19	13,5 - 14,5	250	3/4" NPT

Fuente: NFPA 13. Standard for installation of sprinkler systems.

❖ Características de temperatura. En la Tabla 3 se indica la temperatura de activación normalizada de los rociadores automáticos.

**Tabla 3.** Rangos de temperatura, clasificación de temperatura y código de color.

Temperatura máxima del techo		Ámbito de temperatura		Clasificación de temperatura	Color de ampolla de vidrio
F	C	F	C		
100	38	135 a 170	57 a 77	Ordinaria	Naranja o Rojo
150	66	175 a 225	79 a 107	Intermedia	Amarillo o Verde
225	107	250 a 300	121 a 149	Alta	Azul
300	149	325 a 375	163 a 191	Extra Alta	Violeta
375	191	400 a 475	204 a 246	Extra Muy Alta	Negro
475	246	500 a 575	260 a 302	Ultra Alta	Negro
625	329	650	343	Ultra Alta	Negro

Fuente: NFPA 13. Standard for installation of sprinkler systems.

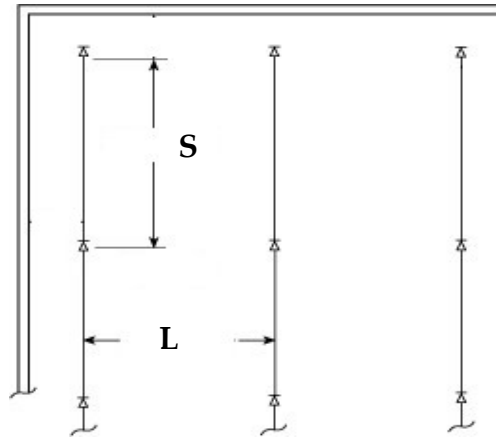
❖ Posición, Ubicación y Espaciamiento de los rociadores.

♦ Área de protección por rociador. El área de cobertura por rociador ( $A_s$ ) se determina multiplicando la separación existente entre rociadores a lo largo de los ramales (S) y entre ramales (L).

$$A_s = S * L$$

El área máxima de protección de cobertura para un rociador estándar no puede superar los 225 pies<sup>2</sup> (21 m<sup>2</sup>), para riesgo leve.

**Figura 17.** Área de cobertura por rociador.

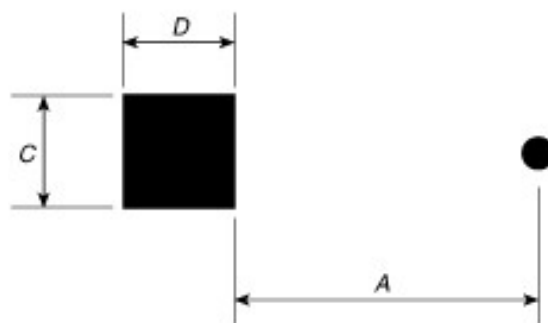


Fuente: NFPA 13. Standard for installation of sprinkler systems.

- ♦ Posición del deflector. Los deflectores de los rociadores deben alinearse paralelos a los cielorrasos, techos y paralelos a la inclinación de las escaleras.
- ♦ Distancia máxima entre rociadores. La distancia máxima permitida entre rociadores debe basarse en la distancia entre líneas centrales de los rociadores ubicados sobre el mismo ramal o ramales adyacentes.
- ♦ Distancia mínima entre rociadores. Debe mantenerse una distancia mínima entre rociadores para evitar que los rociadores en funcionamiento humedezcan rociadores adyacentes y de esta forma evitar que no se activen estos rociadores.
- ♦ Distancia máxima a la pared. La distancia entre los rociadores y las paredes no debe ser mayor a la mitad de la distancia máxima permitida entre rociadores.

- ♦ Distancia mínima a la pared. Los rociadores deben ubicarse a una distancia mínima de 4 pulgadas (102 mm) de la pared.
- ♦ Obstrucciones a la descarga del rociador.
- ✧ Espacio libre respecto del almacenamiento. El espacio libre entre el deflector y la parte superior del almacenamiento debe ser mayor o igual a 18 pulgadas (457 mm).
- ✧ Obstrucciones al desarrollo del patrón de descarga. Cuando existan obstrucciones continuas o discontinuas ubicadas a una distancia menor a 18 pulgadas (457 mm) por debajo del deflector del rociador, estos deben ubicarse de tal manera que se encuentren a una distancia tres veces mayor a la dimensión máxima de la obstrucción (vigas, tubos, columnas, etc.), hasta un máximo de 24 pulgadas (609 mm).

**Figura 18.** Distancia mínima a la obstrucción.

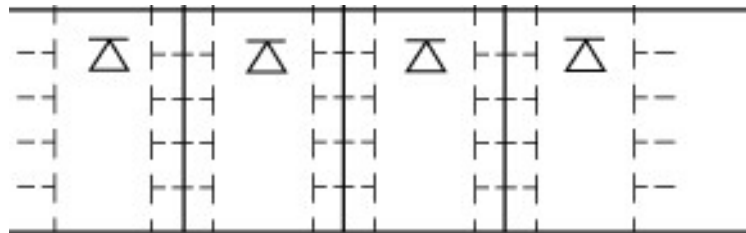


$$A \geq 3C \text{ o } 3D$$

Fuente: NFPA 13. Standard for installation of sprinkler systems.

❖ Bibliotecas con estanterías hasta el techo. Cuando se presenta esta situación deben instalarse rociadores en cada pasillo y sobre cada módulo de estantes, respetando una distancia no mayor a 12 pies (3,6 m) entre los rociadores ubicados a lo largo de los pasillos.

**Figura 19.** Rociadores en bibliotecas con estanterías hasta el techo.



Fuente: NFPA 13. Standard for installation of sprinkler systems.

#### 4.2.3. Tuberías.

Las tuberías utilizadas en sistemas para rociadores deben ser de un tipo que pueda resistir una presión de trabajo no inferior a 175 PSI (1207 KPa). Entre los diferentes materiales aceptados por la NFPA se encuentran Acero Negro, Acero Galvanizado, Acero Forjado, Hierro Galvanizado y Tubería de Cobre. Toda la tubería interior se instala por medio de uniones roscadas, embridadas y juntas mecánicas o acoplamientos soldados o flexibles.

#### 4.2.4. Válvulas.

Todo sistema debe estar provisto de una válvula indicadora, localizada en una posición accesible, ubicada de modo que controle todas las fuentes automáticas de suministro de agua.

#### **4.2.5. Adicionales del sistema.**

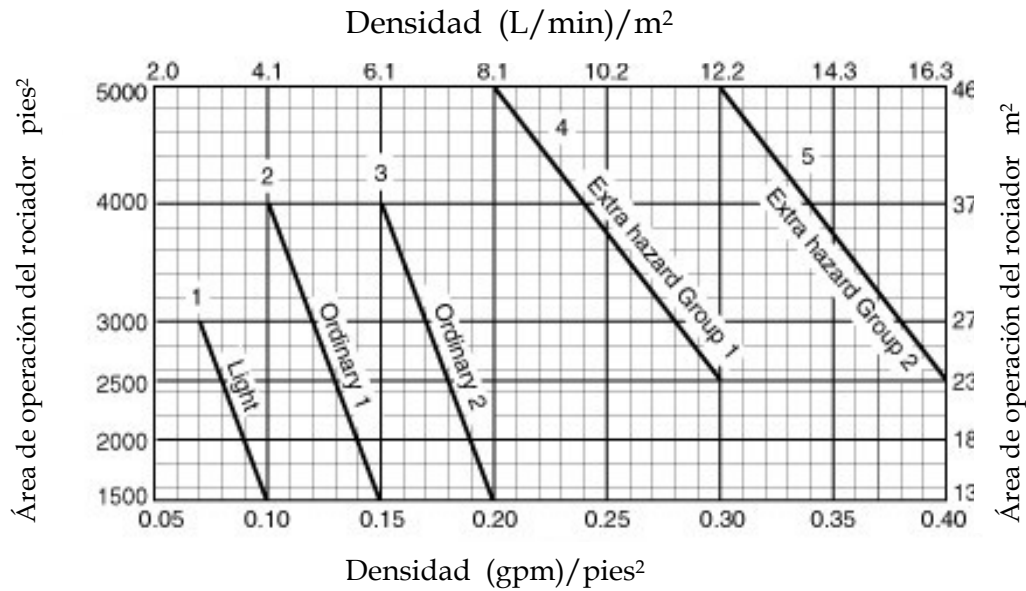
- ❖ Drenaje. Toda la tubería y accesorios de los rociadores deben ser instalados de forma tal que el sistema pueda ser drenado. Para sistemas de tubería húmeda, las tuberías pueden instalarse a nivel.
  
- ❖ Conexiones para el departamento de bomberos. En todo sistema de rociadores se debe proporcionar una conexión para el departamento de bomberos.
  
- ❖ Manómetros. Se deben instalar manómetros en cada tubería vertical de alimentación del sistema.

#### **4.2.6. Métodos de diseño y cálculo hidráulico.**

Para ocupaciones de riesgo leve deben utilizarse rociadores de respuesta rápida (QR).

- ❖ Método de cálculo hidráulico. El suministro de agua requerida exclusivamente para rociadores debe calcularse a partir de las curvas área/densidad de la Figura 20. Los cálculos deben satisfacer cualquier punto individual ubicado sobre la curva correspondiente. A esta cantidad de agua habrá que adicionarle la demanda para mangueras determinada según la Tabla 4.

**Figura 20.** Curvas área/densidad.



Fuente: NFPA 13. Standard for installation of sprinkler systems.

**Tabla 4.** Requisitos para demanda de chorros de mangueras.

Clasificación de la ocupación	Mangueras Interiores (gpm)	Duración (min)
Riesgo Leve	0, 50, ó 100	30
Riesgo Ordinario	0, 50, ó 100	60 - 90
Riesgo Extra	0, 50, ó 100	90 - 120

Fuente: NFPA 13. Standard for installation of sprinkler systems.

❖ Pérdidas por fricción. Para determinar las pérdidas por fricción en las tuberías debe utilizarse la fórmula de Hazen-Williams.

$$p = \frac{4.52 * Q^{1.85}}{C^{1.85} * D^{4.87}}$$

Donde:

$p$  = resistencia por fricción, en PSI/pie.

$Q$  = flujo, en gpm.

$D$  = diámetro interior real de la tubería, en pulgadas.

$C$  = coeficiente de pérdida por fricción.

**Tabla 5.** Valores de  $C$  de Hazen-Williams.

Tubería	C
Fundición de hierro o fundición dúctil sin recubrimiento interior	100
Acero negro (sistemas de tubería seca)	100
Acero negro (sistemas de tubería húmeda)	120
Galvanizada (toda)	120
Plástico	150
Cobre o acero inoxidable	150
Fundición de hierro o fundición dúctil revestida de cemento	140

Fuente: NFPA 13. Standard for installation of sprinkler systems.

❖ Longitudes de tubería equivalente para accesorios. Para determinar la longitud equivalente de tubería para accesorios y dispositivos debe utilizarse la Tabla 6.

**Tabla 6.** Longitudes equivalentes para tuberías de acero, Cédula 40.  $C = 120$

Accesorios	Accesorios expresados en pies equivalentes de tubería									
	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6
Codo a 45°	1	1	1	2	2	3	3	4	5	7
Codo a 90°	2	2	3	4	5	6	7	10	12	14
Codo largo a 90°	1	2	2	2	3	4	5	6	6	8
Té o Cruz	4	5	6	8	10	12	5	20	25	30

Fuente: NFPA 13. Standard for installation of sprinkler systems.

- ❖ Procedimiento de diseño.
  - ♦ El área de diseño debe ser el área de mayor demanda hidráulica.
  - ♦ Las tuberías del sistema deben ser diseñadas hidráulicamente utilizando densidades de diseño y áreas de operación de acuerdo con las curvas área/densidad.
  - ♦ La densidad debe calcularse sobre la base del área de operación de los rociadores. El área cubierta por cualquier rociador utilizado en el diseño y cálculo hidráulico, debe ser la resultante de multiplicar las distancias horizontales medidas entre los rociadores del ramal y entre los ramales.
  - ♦ Cada rociador en el área de diseño y en el resto del sistema diseñado hidráulicamente, debe descargar a una tasa de flujo por lo menos igual al mínimo de aplicación de agua estipulada multiplicado por el área de operación de los rociadores. Los cálculos deben comenzar en el rociador hidráulicamente más remoto. La descarga de cada rociador debe basarse en la presión calculada en ese rociador.
  - ♦ Calcular las pérdidas por accesorios, basándose en la longitud equivalente de la tubería del tramo donde este incluido el accesorio.
  - ♦ Debe excluirse la pérdida por fricción de los accesorios conectados directamente a un rociador.

### 4.3 NATIONAL FIRE ALARM CODE. NFPA 72

Este código abarca la aplicación, instalación, desempeño y mantenimiento de los sistemas de alarma de incendio y sus componentes.

#### 4.3.1. Fundamentos.

❖ Suministro de energía. Los sistemas de alarma de incendio deberán contar con al menos dos fuentes de suministro independientes y confiables, una primaria y una secundaria, cada una de las cuales deberá poseer la capacidad adecuada para la aplicación.

Bajo la máxima carga normal, la alimentación secundaria deberá poseer una capacidad suficiente para operar un sistema de alarma local o un sistema en la propiedad durante 24 horas; o un sistema de estación auxiliar o remota durante 60 horas; y, al final de dicho periodo, deberá ser capaz de accionar todos los aparatos de notificación de alarma usados para la evacuación durante 5 minutos.

❖ Desempeño y limitaciones. Los equipos deberán estar diseñados de manera que puedan ejecutar las funciones para las que fueron previstos bajo las siguientes condiciones:

- ♦ Con el 85% y el 110% de los voltajes nominales de alimentación primaria y secundaria.
- ♦ Temperatura ambiental de 0 C y 49 C.

- ♦ Humedad relativa del 85% y una temperatura ambiental de 30 C.
- ❖ Zonificación. Para la señalización de alarma cada piso del edificio será considerado una zona independiente.
- ❖ Monitoreo de la integridad de los conductores de la instalación.
- ♦ Todos los medios empleados para interconectar equipos, dispositivos y aparatos y sus conexiones de cableado deberán ser monitoreados para verificar la integridad de los conductores de interconexión, de modo que la ocurrencia de una única condición de falla sea indicada.
- ♦ Los medios de interconexión en un circuito de dispositivos iniciadores deberán estar dispuestos de manera que una única falla de apertura o una única falla a tierra no provoque una señal de alarma.
- ♦ Una falla de apertura, falla a tierra o cortocircuito de los conductores de un circuito de aparatos de notificación de alarmas no deberá afectar la operación de ningún otro circuito de notificación de alarmas.
- ♦ La ocurrencia de una falla de cortocircuito entre conductores en cualquier circuito de aparatos de notificación de alarmas deberá provocar una señal de falla.
- ❖ Monitoreo de la integridad del suministro eléctrico. Todas las alimentaciones eléctricas primarias y secundarias deberán ser monitoreadas para detectar la presencia de voltaje en el punto de conexión al sistema. La falla de cualquiera de los suministros deberá provocar una señal de falla.

#### 4.3.2. Sistema de alarma de incendio local.

Los sistemas de alarma de incendio local incluyen una o más de las siguientes características:

1. Inicio manual de la señal de alarma.
  2. Inicio automático de la señal de alarma.
  3. Monitoreo de condiciones anormales.
  4. Activación de sistemas de supresión de incendio.
  5. Activación de funciones de seguridad contra incendio.
  6. Activación de aparatos de notificación de alarma.
  7. Activación de señales fuera del predio.
- ❖ Desempeño e integridad del sistema. Los circuitos de los dispositivos iniciadores, de los aparatos de notificación y los circuitos de línea de señalización deberán ser denominados por su clase o estilo, o ambos, dependiendo de la capacidad del circuito para continuar operando durante las condiciones de falla especificadas.
- ♦ Clase. Los circuitos de los dispositivos iniciadores de los aparatos de notificación y los circuitos de línea de señalización pueden denominarse clase A o clase B, dependiendo de la capacidad del circuito para transmitir señales de alarma y de falla durante condiciones de falla no simultáneas en un único circuito. Los circuitos capaces de transmitir una señal de alarma durante una apertura única o una falla a tierra única no simultánea en un conductor del circuito se denominarán clase A. los circuitos incapaces de transmitir una

alarma más allá de la ubicación de las condiciones de falla especificadas anteriormente se denominarán clase B.

- ♦ Estilo. Los circuitos de los dispositivos iniciadores de los aparatos de notificación y los circuitos de línea de señalización también pueden denominarse por su estilo, dependiendo de su capacidad para transmitir señales de alarma y de falla durante condiciones especificadas de fallas simultáneas de circuitos múltiples, además de las condiciones de falla de un único circuito consideradas para la denominación de los circuitos por su clase.

- ✧ Los circuitos de dispositivos de notificación pueden ser designados Estilo W, X, o Z, dependiendo de su capacidad para cumplir con los requisitos de desempeño en caso de alarma o falla indicados en la Tabla 7, durante una condición de falla de apertura única, falla a tierra única y cortocircuito entre conductores.

- ✧ Los circuitos de dispositivos iniciadores pueden ser designados Estilo A, B, C, D, o E, dependiendo de su capacidad para cumplir con los requisitos de desempeño en caso de alarma o falla mostrados en la Tabla 8, durante una condición de falla de apertura única, falla a tierra única y cortocircuito entre conductores.

- ✧ Los circuitos de línea de señalización pueden ser designados Estilo 0.5, 1, 2, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6 o 7, dependiendo de su capacidad para cumplir con los requisitos de desempeño en caso de alarma o falla mostrados en la Tabla 9, durante una condición de falla de apertura única, falla a tierra única, cortocircuito entre conductores, falla a tierra y cortocircuito entre conductores

simultáneos, apertura y falla a tierra simultánea y apertura y cortocircuito entre conductores simultáneos.

**Tabla 7.** Desempeño de los circuitos de los aparatos de notificación.

Clase	B		B		B		A	
Estilo	W		X		Y		Z	
R = Capacidad requerida X = Indicación requerida	Indicación de falla en el predio protegido	Capacidad de alarma durante condiciones anormales	Indicación de falla en el predio protegido	Capacidad de alarma durante condiciones anormales	Indicación de falla en el predio protegido	Capacidad de alarma durante condiciones anormales	Indicación de falla en el predio protegido	Capacidad de alarma durante condiciones anormales
Apertura única	X		X	X	X		X	X
Falla a tierra única	X		X		X	X	X	X
Cortocircuito entre conductores	X		X		X		X	

Fuente: NFPA 72. National Fire Alarm Code.

**Tabla 8.** Desempeño de los circuitos de los dispositivos iniciadores.

Clase	B			B			B			A			A		
Estilo	A			B			C			D			E		
R = Capacidad requerida X = Indicación requerida	Alarma	Falla	Capacidad de recibir alarma durante condición anormal	Alarma	Falla	Capacidad de recibir alarma durante condición anormal	Alarma	Falla	Capacidad de recibir alarma durante condición anormal	Alarma	Falla	Capacidad de recibir alarma durante condición anormal	Alarma	Falla	Capacidad de recibir alarma durante condición anormal
Apertura única		X			X			X			X	X		X	X
Falla a tierra única		R			X	R		X	R		X	R		X	R
Cortocircuito entre conductores	X			X				X		X				X	

Fuente: NFPA 72. National Fire Alarm Code.

**Tabla 9.** Desempeño de los circuitos de línea de señalización.

Clase	B			B			A			B			B		
Estilo	0,5			1			2			3			3,5		
R = Capacidad requerida X = Indicación requerida M = Puede ser capaz de dar alarma con cortocircuito entre conductores	Alarma	Falla	Capacidad de recibir alarma durante condición anormal	Alarma	Falla	Capacidad de recibir alarma durante condición anormal	Alarma	Falla	Capacidad de recibir alarma durante condición anormal	Alarma	Falla	Capacidad de recibir alarma durante condición anormal	Alarma	Falla	Capacidad de recibir alarma durante condición anormal
Apertura única		X			X			X	R		X			X	
Falla a tierra única		X			X	R		X	R		X	R		X	
Cortocircuito entre conductores									M		X			X	
Cortocircuito conductores y apertura									M		X			X	
Cortocircuito conductores y falla a tierra								X	M		X			X	
Apertura y falla a tierra								X	R		X			X	

Fuente: NFPA 72. National Fire Alarm Code.

**Tabla 9.** Desempeño de los circuitos de línea de señalización. Continuación

Clase	B			B			A			A			A		
Estilo	4			4,5			5			6			7		
R = Capacidad requerida X = Indicación requerida M = Puede ser capaz de dar alarma con cortocircuito entre conductores	Alarma	Falla	Capacidad de recibir alarma durante condición anormal	Alarma	Falla	Capacidad de recibir alarma durante condición anormal	Alarma	Falla	Capacidad de recibir alarma durante condición anormal	Alarma	Falla	Capacidad de recibir alarma durante condición anormal	Alarma	Falla	Capacidad de recibir alarma durante condición anormal
Apertura única		X			X	R		X	R		X	R		X	R
Falla a tierra única		X	R		X			X	R		X	R		X	R
Cortocircuito entre conductores		X			X			X			X			X	R
Cortocircuito conductores y apertura		X			X			X			X			X	
Cortocircuito conductores y falla a tierra		X			X			X			X			X	
Apertura y falla a tierra		X			X			X			X	X		X	R

Fuente: NFPA 72. National Fire Alarm Code.

### 4.3.3. Dispositivos iniciadores.

- ❖ Detectores de calor.
  - ♦ Clasificación por temperatura. Los detectores de calor tipo temperatura fija y tipo velocidad de aumento se clasificarán de acuerdo con su temperatura de funcionamiento y se marcarán con el código de color apropiado.

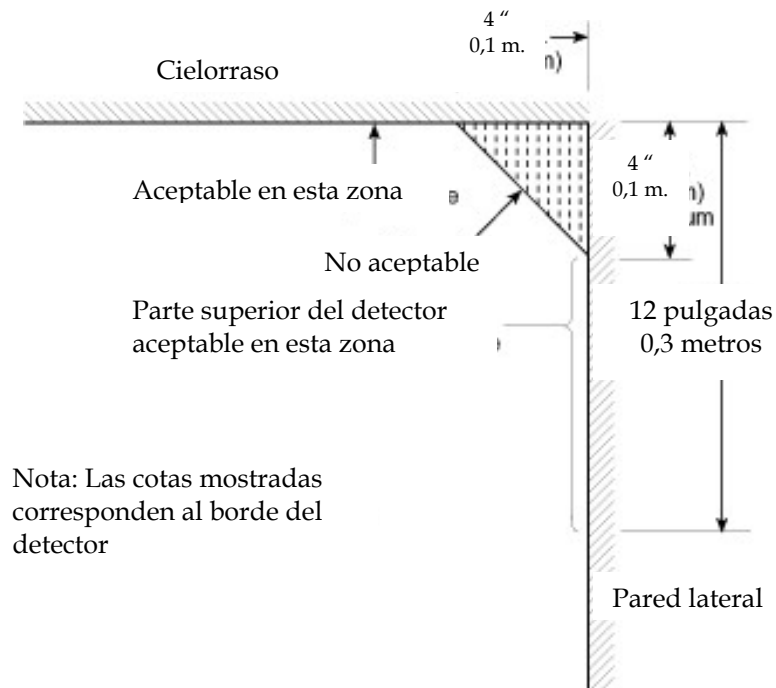
**Tabla 10.** Clasificación por temperatura de los detectores de calor.

Clasificación por temperatura	Rango de temperatura nominal (C)	Máxima temperatura del techo (C)	Código de color
Baja	39 - 57	11 por debajo*	Sin color
Común	58 - 79	38	Sin color
Intermedia	80 - 121	66	Blanco
Elevada	122 - 162	107	Azul
Muy elevada	163 - 204	149	Rojo
Extra elevada	205 - 259	191	Verde
Ultra elevada	260 - 302	246	Naranja

\* La máxima temperatura del techo debe estar 11 C por debajo de la temperatura del detector  
Fuente: NFPA 72. National Fire Alarm Code.

- ♦ Ubicación. Los detectores de calor deberán estar ubicados sobre el techo a no menos de 4 pulgadas (100 mm) de las paredes laterales, o sobre las paredes laterales a una distancia de entre 4 y 12 pulgadas (100 y 300 mm).

**Figura 21.** Ubicación de detectores de calor.



Fuente: NFPA 72. National Fire Alarm Code.

- ◆ Espaciamiento en techos planos.
- ✧ La distancia entre los detectores no deberá exceder su espaciamiento certificado, deberá haber detectores dentro de una distancia igual a  $\frac{1}{2}$  del espaciamiento certificado, medida en ángulo recto, a partir de todos los muros o particiones que se extiendan hasta 18 pulgadas (460 mm) del techo.
- ✧ Deberá haber un detector a una distancia igual a 0.7 veces el espaciamiento certificado desde cualquier punto del techo.



✧ En los techos planos todos los puntos del techo deben tener un detector ubicado a una distancia igual a 0.7 veces el espaciamiento seleccionado. (Ver Figura 22).

◆ Consideraciones especiales.

✧ Los detectores de humo deben instalarse en áreas donde sea poco probable que las condiciones ambientales normales superen los siguientes rangos:

1. Una temperatura de 38 C o una temperatura de 0 C.
2. Una humedad relativa del 93%.
3. Una velocidad del aire de 1,5 m/s.

✧ En los espacios servidos por sistemas de manejo de aire, los detectores no se deben ubicar donde el aire de los difusores de suministro pueda disolver el humo antes que llegue a los detectores. Es recomendable ubicarlos a más de 1 metro de cualquier difusor.

❖ Pulsadores manuales.

◆ Montaje. Cada estación manual de alarma de incendio debe estar firmemente montada. La parte operable de cada estación manual de alarma de incendio debe estar a no menos de 1,1 metros y no más de 1,37 metros por encima del nivel del piso.

◆ Distribución. Las estaciones manuales de alarma de incendio deben distribuirse en la totalidad del área protegida de forma que estén libres de

obstrucciones y sean fácilmente accesibles. Deben estar ubicadas en el paso de salida normal del área, con una estación manual en cada una de las salidas de cada piso.

#### 4.3.4. Dispositivos de notificación.

- ❖ Requisitos generales.
  - ♦ Los aparatos de señalización audibles deben poseer un nivel sonoro de no menos de 75 dBA a 3 metros y no más de 120 dBA en el punto más cercano desde donde se escucha la señal de los aparatos audibles.
  - ♦ Para garantizar que las señales audibles se escuchen claramente, éstas deben poseer un nivel sonoro de al menos 15 dBA por encima del nivel sonoro ambiental promedio.
- ❖ Ubicación. Cuando la altura del techo lo permita, la parte superior de los aparatos montados sobre los muros debe estar a una altura de no menos de 2,3 metros por encima de la superficie del piso y no menos de 15,2 centímetros por debajo del nivel del techo.

**Tabla 11.** Nivel sonoro ambiental promedio.

Ubicaciones	Nivel sonoro ambiente promedio
Dependencias comerciales	55 dBA
Dependencias educativas	45 dBA
Dependencias industriales	80 dBA
Dependencias institucionales	50 dBA
Dependencias residenciales	35 dBA

Fuente: NFPA 72. National Fire Alarm Code.

## 5. DISEÑO BÁSICO DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS

### 5.1 DESCRIPCIÓN DE LA BIBLIOTECA CENTRAL

La biblioteca central de la Universidad Industrial de Santander es uno de los centros de información más importante en la ciudad de Bucaramanga, reconocido por sus completos y variados recursos bibliográficos. Este reconocimiento conlleva a que sus instalaciones sean visitadas con frecuencia por una gran cantidad de personas, tanto miembros de nuestra comunidad universitaria, como personas ajenas a ella.

La biblioteca central cuenta con un recurso humano de 39 empleados y es visitada diariamente por 4941 personas; entre los elementos bibliográficos que posee actualmente se encuentran 67.453 volúmenes de libros, 3.947 títulos de publicaciones seriadas en papel, 7.284 fotocopias de artículos y patentes, 17.325 tesis de grado, 740 mapas geológicos y geográficos, 217.172 revistas y 2'828.272 referenciales en formato electrónico, avaluados en un monto de \$658'082.344\*, valor que no tiene en cuenta las tesis de grado; los muebles, enseres y computadores que posee la biblioteca están valorados por \$606'070.000\*\*.

Las instalaciones de la biblioteca central se encuentran ubicadas dentro del campus universitario, limitando por el norte con el edificio de Humanidades y la cafetería central, por el sur con el edificio de la escuela de Ingeniería

---

\* Datos ofrecidos por la Biblioteca Central de la Universidad Industrial de Santander. 2002

\*\* Dato ofrecido por la sección de Tesorería de la Universidad Industrial de Santander.

Mecánica, por el oriente con el Gimnasio de la institución, y por el occidente con el lago artificial de la escuela de Biología.

La construcción del edificio que aloja a la biblioteca se realizó en la década de los 70`s, con estructura de hormigón y un área física de 5700 m<sup>2</sup>, cuenta con cinco plantas donde funcionan las distintas dependencias que la conforman. En su interior existen divisiones de madera con el fin de separar espacios, estas divisiones van del piso al techo, las puertas principales de cada piso y los ventanales son de vidrio común, posee cielorraso en fibra de vidrio a excepción de algunas zonas del primer piso donde es de icopor, además se cuenta con una azotea en el último piso donde está ubicado un tanque de almacenamiento de agua.

#### **5.1.1. Sótano.**

En el sótano están ubicadas las secciones de canje bibliográfico, el archivo histórico regional, una cafetería para uso exclusivo de los empleados del edificio y el cuarto de máquinas, área donde están localizados los equipos de aire acondicionado y dos transformadores para suplir el sistema eléctrico de la biblioteca y otros edificios de la universidad, así como las necesidades del sistema del aire acondicionado de la biblioteca, con capacidades nominales de 315 KVA cada uno. Las zonas de canje bibliográfico y el archivo histórico regional son de libre acceso al público. El sótano cuenta con baños para uso de empleados y usuarios. En este piso también se encuentran las instalaciones de la Librería UIS y Teleuis, zonas independientes de la biblioteca. El área total de este piso es de 745 m<sup>2</sup>.

### **5.1.2. Primer piso.**

El acceso a la biblioteca se realiza por este piso, en él están localizadas las secciones de libros de reserva, zona de préstamo y las oficinas administrativas (secretaría, dirección, sala de juntas, etc.), áreas que son de acceso restringido a estudiantes y visitantes. Se encuentra también una zona de lectura para servicio público. En este piso también está ubicada la UPS del sistema de cómputo de la biblioteca y una máquina de fotocopiado.

A la entrada del edificio se encuentran dos terminales de consulta bibliográfica. Como antesala de la sección de lectura general, se encuentran las escaleras de ascenso a los niveles superiores. El área total de este piso es de 1320 m<sup>2</sup>.

### **5.1.3. Segundo piso.**

En el segundo piso se encuentran ubicadas la colección de libros y revistas de ciencias básicas, la base de datos de la biblioteca donde se emplean 14 computadores para el servicio público, y cubículos de uso personal para el servicio de lectura. También se encuentran dos terminales para consulta bibliográfica. En este piso como en los siguientes, se tienen dos zonas claramente definidas en el área de colección de libros y revistas, una zona de almacenamiento y otra zona de lectura. El área total de este piso es de 1400 m<sup>2</sup>.

#### **5.1.4. Tercer piso.**

En el tercer piso está ubicada la colección de libros y revistas de ciencias aplicadas y tesis de grado, una sala de conferencias con capacidad para 75 personas y cubículos para lectura privada al igual que en el segundo piso.

Se encuentra también la videoteca de la universidad y sus cabinas de proyección, cada una de ellas con capacidad para máximo tres personas. Además en este piso encontramos una fotocopiadora y mesas de lectura formal. El área total de este piso es de 1500 m<sup>2</sup>.

#### **5.1.5. Cuarto piso.**

En el cuarto piso se localiza la colección de libros y revistas de ciencias sociales y humanidades. Se encuentra una puerta que da acceso a la azotea del edificio. El área total de este piso es de 725 m<sup>2</sup>.

En todos los pisos existe un cuarto donde están ubicados los equipos del sistema de acondicionamiento de aire (unidad manejadora), los cuales permanentemente están cerrados con llave y no están localizados en zonas de acceso para estudiantes y visitantes. Además en cada piso se cuentan con baños para el servicio de los usuarios de la biblioteca, a excepción del primero.

El edificio posee dos ascensores, uno para el servicio de los usuarios de la biblioteca, y el otro para uso exclusivo de empleados de la biblioteca que se desplazan desde el sótano al cuarto piso; los motores de los ascensores se encuentran en la placa del cuarto piso.

Los equipos de seguridad contra incendio que posee actualmente la biblioteca son extintores manuales que se encuentran dispuestos en el edificio de la siguiente manera, en el sótano 8 extintores, en el primer piso 6, segundo piso 4, tercer piso 3 y en el cuarto piso 4. La seguridad del edificio es reforzada con la localización de un hidrante de la red contra incendios de la universidad ubicado a 36 metros del costado sur del mismo.

## **5.2 PREVENCIÓN DE INCENDIOS**

### **5.2.1. Inspección.**

Con el objetivo de lograr identificar los peligros de incendio presentes en la biblioteca se realizó una inspección a la edificación piso por piso, para tal fin fue diseñado un formato de inspección teniendo en cuenta los siguientes factores\*:

- ❖ Características de los ocupantes.
- ❖ Almacenamiento de combustibles líquidos y sólidos.
- ❖ Orden y limpieza.
- ❖ Instalaciones eléctricas.
- ❖ Políticas de seguridad.
- ❖ Equipos eléctricos.

---

\* Ver Anexo B.

De esta inspección se encontró lo siguiente en forma general:

- ✓ La mayoría de los ocupantes de la instalación son personas que poseen buena movilidad, percepción y con capacidades físicas no reducidas.
- ✓ No se encontró dentro del edificio almacenamiento de líquidos combustibles.
- ✓ A excepción del papel y la madera representados en forma de libros y muebles no se encontró otro tipo de combustible sólido.
- ✓ En la sección de Archivo Histórico ubicada en el sótano, las pilas de almacenamiento van hasta el techo, situación que no se presenta en ninguna otra sección del edificio.
- ✓ Los cables del sistema eléctrico en la mayoría del edificio se encuentra en mal estado y deteriorado.
- ✓ Los cables eléctricos del sistema de iluminación, se encuentran extendidos sobre el cielorraso sin protección alguna en todos los pisos y poseen empalmes con mal aislamiento.
- ✓ Se encuentran cables eléctricos sobre las divisiones de madera, sin cajas conduit.
- ✓ Algunos cables eléctricos se encuentran cercanos al material bibliográfico.

- ✓ Instalaciones eléctricas que sirven a otros edificios atraviesan las áreas de almacenamiento sin cajas conduit.
- ✓ No todos los equipos eléctricos son desconectados al finalizar la jornada.
- ✓ Existe cableado eléctrico, telefónico y de redes fuera de servicio sin ser retirados de su ubicación.
- ✓ Algunos extintores se encontraron en el suelo y otro estaba oculto por un revistero de madera.
- ✓ El edificio queda sin ninguna protección en el momento de recarga de los extintores, debido a que todos son retirados al mismo tiempo y llevados fuera de la universidad durante su recarga.
- ✓ El edificio no cuenta con ningún tipo de señalización (salidas de emergencias, localización de extintores, prohibido fumar, etc.)
- ✓ No se cuenta con planes de evacuación.
- ✓ El edificio no cuenta con brigadas contra incendios, sin embargo la universidad tiene cuerpos de este tipo, al cual pertenece un empleado de la biblioteca.

De la inspección realizada se concluye que la fuente de ignición más probable encontrada en la biblioteca es la energía eléctrica, fuente que representa un mayor peligro debido al mal estado en que se encuentran los cables de

conducción de la red de suministro del edificio, ya que esta red no se ha renovado desde la construcción de la biblioteca, presenta un estado de desgaste, malos empalmes, pésima ubicación e instalación, pudiéndose presentar fácilmente un cortocircuito y generar un incendio debido al contacto directo que existe entre el cableado y el cielorraso que es de fibra de vidrio.

### **5.2.2. Medidas para el control de los peligros de incendios.**

De acuerdo a los resultados de la inspección realizada y con base en la norma de la NFPA 909 *Code for the protection of cultural resources* se proponen las siguientes recomendaciones para el control de los peligros de incendios de la biblioteca.

- ✓ Renovar totalmente el cableado eléctrico de la biblioteca, rediseñándolo e instalándolo bajo las normas adecuadas para las instalaciones eléctricas.
- ✓ Desconectar al final del día todos los equipos eléctricos del edificio con el propósito de evitar cortocircuitos durante la noche.
- ✓ Prohibir el uso de aparatos eléctricos portátiles (cafeteras, termos, etc.)
- ✓ Diseño adecuado del plan de recarga de los extintores con el fin de evitar dejar al edificio sin protección alguna.
- ✓ Mantener escaleras, corredores, puertas, y cualquier otro medio de salida libres de combustibles, recipientes de basura, y otros materiales.

- ✓ Conservar los cuartos eléctricos y mecánicos libres de combustibles y cerrados.
- ✓ El fumar debe estar prohibido en todos los lugares de almacenamiento dentro del edificio y se debe proveer señales de advertencia.
- ✓ El trabajo en caliente (operaciones de corte, soldadura, soplete, etc.) no debe ser permitido, a menos que no haya ninguna otra alternativa viable. Cuando sea inevitable debe realizarse con todas las medidas de seguridad.

### **5.3 SISTEMA DE SUPRESION DE INCENDIOS**

#### **5.3.1. Clasificación de la ocupación.**

La norma NFPA 13 *Standard for installation of sprinkler systems*, en la clasificación que hace sobre las ocupaciones incluye instalaciones que poseen condiciones similares a la biblioteca central dentro de ocupaciones de riesgo leve. Sin embargo en la realización de este proyecto se efectuó el cálculo de la carga combustible de la biblioteca central, obteniéndose como resultado de este cálculo\* un nivel de riesgo leve, lo que reafirma la ubicación de instalaciones como ésta dentro del nivel de riesgo leve hecha por la NFPA.

Debido a la clasificación de la instalación como riesgo leve se omite la existencia de fuegos simultáneos entre los diferentes pisos.

---

\* Ver Anexo C.

### 5.3.2 Proceso de diseño.

Para la realización de este diseño se seleccionó como agente extintor agua debido a las ventajas que presenta. Para el proceso de diseño del sistema de supresión se tuvo en cuenta los requerimientos de la norma NFPA 13 *Standard for installation of sprinkler systems* analizada en el capítulo 4. Los cálculos del diseño hidráulico del sistema contra incendio se encuentran en el Anexo A.

#### ❖ Sistema de rociadores.

♦ Selección del rociador. El primer paso para el diseño del sistema de supresión es la selección del rociador a utilizar, la norma NFPA 13 *Standard for installation of sprinkler systems*, establece que para ocupaciones de riesgo leve los rociadores deben ser de respuesta rápida (QR).

Luego es necesario establecer el rango de temperatura de activación del rociador, rango que depende de las características de la edificación; teniendo en cuenta que la biblioteca no presenta sistemas de calefacción, tubería de vapor ni otros elementos que transmitan calor al ambiente y las recomendaciones dadas por la norma, se establece un rango de temperatura de activación ordinaria, clasificación que está comprendida entre 55 a 77 C (ver Tabla 3).

♦ Instalación y localización de los rociadores. El tipo más adecuado de rociador para el diseño del sistema de supresión es el rociador tipo colgante por sus características de montaje. Un criterio importante para la instalación de los rociadores es el espaciamiento mínimo que debe existir entre el

deflector y la parte superior del almacenamiento, la NFPA recomienda mantener un espacio libre de 457 mm o más para evitar obstrucciones en la descarga, en la biblioteca la distancia que se tiene entre el cielorraso y el almacenamiento es de 480 mm, lo que limita que el rociador sobresalga como máximo una distancia de 23 mm por debajo del cielorraso.

Para el espaciamiento máximo de los rociadores y el área protegida por rociador, la norma establece un espaciamiento máximo de 4,57 m entre rociadores y un área protegida de 20,9 m<sup>2</sup> para ocupaciones de riesgo leve.

Se tuvo en cuenta para la ubicación de los rociadores la disposición de los ductos y rejillas del sistema de aire acondicionado así como la disposición de los elementos del sistema de iluminación y las columnas de la edificación, cumpliéndose con los requerimientos de distanciamiento entre los rociadores y entre los rociadores y la pared, expuestos en el capítulo 4.

La cantidad de rociadores obtenidos en cada piso fue la siguiente:

**Tabla 12.** Número de rociadores por piso.

Piso	Numero de rociadores
Cuarto	48
Tercero	87
Segundo	78
Primero	86
Sótano	62

Para la localización de los rociadores en los diferentes pisos ver planos anexos.

De acuerdo a las necesidades y requerimientos establecidos anteriormente se seleccionó como rociador a utilizar el siguiente *Automatic Quick Response Recessed Pendent sprinklers, model H - 1/2" orifice \* 1/2" NPT.* de Kidde Fire Fighting, cuyas especificaciones técnicas se citan a continuación.

- ✓ Modelo: Automatic Quick Response Recessed Pendent sprinklers, model H - 1/2" orifice \* 1/2" NPT.
- ✓ Factor K: 5,6
- ✓ Número de identificación: Pendent AS5651.
- ✓ Rango de temperatura de activación: Ordinaria (57 C)
- ✓ Fabricante: Kidde Fire Fighting

Se anexa catálogo para más especificaciones.

Los rociadores utilizados en la sala de máquinas son de tipo pulverizador, selección hecha teniendo en cuenta las recomendaciones dadas por la NFPA para protección a transformadores en el *Manual de protección contra incendios*, los requisitos de instalación, distribución y localización de este tipo de rociadores son los mismos expuestos en la norma NFPA 13 *Standard for installation of sprinkler systems*, el siguiente fue el rociador que se seleccionó.

- ✓ Modelo: Boquilla Pulverizadora Modelo M - orificio 1/2" \* 1/2" NPT
- ✓ Factor K: 5,5

- ✓ Número de identificación: VK 702.
- ✓ Rango de temperatura de activación: Ordinaria (57 C)
- ✓ Ángulo de descarga: 120°
- ✓ Fabricante: Viking Corporation

Se anexa catálogo para más especificaciones.

- ◆ Diseño de la red de tubería.
- ◇ Diseño de ramales y transversales. La disposición seleccionada para el sistema de rociadores en la biblioteca es el sistema en malla o reticulado, debido a las ventajas que ofrece en confiabilidad y seguridad. El diseño de los ramales y transversales es decisivo para lograr una uniformidad en la descarga. Esta sólo se consigue al tener la presión en los rociadores lo más parecida posible. Por lo tanto las pérdidas por fricción en las tuberías deben reducirse al máximo. La velocidad de flujo en la tubería debe ser baja, por tal razón se puede diseñar considerando únicamente la cabeza piezométrica, es decir despreciando la cabeza de velocidad en la ecuación de energía.

La selección de los diámetros de la tubería en las diferentes partes del sistema es un proceso de prueba y error. Se supone un diámetro (empezando por el menor diámetro comercial) y se calculan las pérdidas; si las pérdidas son aceptables el diámetro es el adecuado, de lo contrario se prueba con el siguiente diámetro comercial. Se deben establecer criterios de uniformidad en la descarga para poder establecer si las pérdidas son aceptables, para este

diseño se tomó como criterio de uniformidad en la descarga una diferencia del 20% entre los rociadores de menor y mayor descarga.

El diseño hidráulico del sistema contra incendio se encuentra en el Anexo A. Para este sistema, se utilizó tubería de hierro galvanizado, toda la tubería deberá instalarse por medio de uniones roscadas.

✧ Diseño de la tubería de alimentación (montante). La tubería de alimentación es la encargada de suministrar agua a los rociadores, el diseño solo implica el cálculo de pérdida para el posterior cálculo de la cabeza de la bomba y de la presión de diseño. La distribución y localización de esta tubería fue sometida a revisión por parte de los departamentos de Planta Física y Planeación de la Universidad Industrial de Santander, obteniéndose visto bueno por parte de estas divisiones.

Un sistema contra incendio posee otros elementos aparte de los rociadores como por ejemplo los gabinetes contra incendio, elementos tenidos en cuenta en este diseño. El diseño más viable económicamente consistiría en utilizar la misma tubería de alimentación para los diferentes elementos del sistema contra incendio; sin embargo por las condiciones de diseño requeridas por los diferentes elementos no se pudo utilizar esta alternativa.

✧ Diseño de la tubería de succión. Para garantizar el buen funcionamiento de la bomba debe evitarse la cavitación, para ello deben seguirse ciertas recomendaciones como las siguientes:

1. El diámetro de la tubería debe ser como mínimo un tamaño comercial mayor al de la succión de la bomba.

2. La conexión a la bomba se realizará mediante un acople excéntrico.
  3. Debe conectarse la bomba con la fuente de abastecimiento en la forma más directa posible.
  4. Todas las juntas deben ser herméticas para impedir la entrada de aire.
  5. Cada bomba debe tener su tubería de succión separada e individual.
- ♦ Selección de la bomba. La selección de la bomba es un factor determinante en el costo de funcionamiento. Las bombas se seleccionan básicamente por cabeza y caudal; el caudal para su selección es la suma de los caudales de descarga de los rociadores. La cabeza de la bomba será la suma de la cabeza de trabajo de los rociadores, de las pérdidas por fricción desde el rociador más lejano hasta la succión y de las diferencias de nivel.

Para la selección de la bomba, debido a la no existencia de simultaneidad de fuego entre pisos, se tuvo en cuenta cada piso como un sistema independiente.

Las características de la bomba seleccionada son las siguientes:

- ✓ Modelo: D-824 Monobloc
- ✓ Dimensiones Succión/Descarga: 2 ½ "/1 ½ " Rosca NPT
- ✓ Capacidad: 166 gpm

- ✓ TDH: 265 pies
  - ✓ Eficiencia: 62,6 %
  - ✓ Velocidad: 3550 rpm
  - ✓ NPSH<sub>R</sub>: 11,7 pies
  - ✓ Diámetro del impulsor: 8"
  - ✓ Potencia: 20 HP
  - ✓ Fabricante: Worthington
- ◆ Selección de la bomba jockey. La función de esta bomba es mantener el sistema presurizado compensando posibles pérdidas que puedan originarse y evitando la puesta en marcha de la bomba principal. Son bombas de bajo caudal y alta cabeza.

Las características de la bomba seleccionada son las siguientes:

- ✓ Modelo: PK 200 Monobloc
- ✓ Dimensiones Succión/Descarga: 1"/1" Rosca NPT
- ✓ Capacidad: 1,3 gpm
- ✓ TDH: 279 pies

- ✓ Velocidad: 3550 rpm
- ✓ NPSH<sub>R</sub>: 3,9 pies
- ✓ Potencia: 2 HP
- ✓ Fabricante: Pedrollo
  
- ◆ Válvula de control. Las válvulas de control son el regulador básico en cualquier proceso que se manejen corrientes de fluidos. Su selección incluye muchos factores entre los cuales hay que tener en cuenta como mínimo el tipo de válvula, capacidades de presión y de temperatura de operación. Los sistemas de distribución de agua contra incendios deben disponer de este tipo de válvulas para regular el caudal según lo exijan las circunstancias.

Las características de la válvula para control de flujo seleccionada son las siguientes:

- ✓ Modelo: Válvula de mariposa. Serie 20
- ✓ Diámetro: 1 ½"
- ✓ Cuerpo: Hierro fundido
- ✓ Disco y vástago: Acero inoxidable tipo 316
- ✓ Asiento: EPDM

- ✓  $C_{V_{\min}}$ : 4,5 @ 23 °
- ✓  $C_{V_{\max}}$ : 87 @ 70 °
- ✓ Presión de trabajo: 150 PSI
- ✓ Fabricante: Bray Controls
- ✓ Actuador: Eléctrico
- ♦ Válvulas de corte. Las válvulas de corte del sistema y las de cada piso fueron seleccionadas tipo compuerta con extremos roscados.
- ♦ Drenaje. El diámetro de la tubería de drenaje es de 1 pulgada, de hierro galvanizado. Las válvulas de paso a la tubería de drenaje son de tipo bola con extremos roscados.
- ♦ Accesorios para tubería. Las conexiones roscadas tales como codos, reducciones y tes, son del mismo material de la tubería. Para unir tramos de tuberías se utilizarán bujes o copas según el caso.
- ♦ Conexiones para el departamento de bomberos. Su función es permitir un suministro adicional de agua al sistema. Es de uso exclusivo del cuerpo de bomberos quienes inyectan a través de ella el agua necesaria al sistema. Se instalará una siamesa de 2,5 X 2,5 X 3 pulgadas, fabricada en bronce. Su localización será en la fachada del costado sur de la biblioteca, y descargará directamente al tanque de alimentación del sistema.

❖ Selección gabinetes.

♦ Clase de gabinete. La NFPA recomienda para instalaciones de riesgo leve gabinetes contra incendios Clase II, gabinetes destinados al uso de los ocupantes del edificio; las mangueras son de 1½ pulgada de diámetro con una longitud de 30 metros de largo. Los requerimientos para este nivel de riesgo son de 100 gpm a una presión no menor de 65 PSI y no mayor de 100 PSI a la entrada del gabinete. La norma NTC 1669 denomina esta misma clase de gabinete como gabinete Clase I, designación con que se conoce a nivel nacional.

♦ Ubicación. Fue ubicado un gabinete por cada piso, a excepción del sótano donde se situaron dos gabinetes. Para la altura de localización de los gabinetes, la NFPA recomienda entre 0,9 a 1,5 metros por encima del piso. En este diseño se tomó como altura 0,9 metros desde el piso hasta la parte inferior del gabinete.

♦ Diseño de la red de tubería.

❖ Diseño de la tubería de alimentación. La NFPA establece un diámetro mínimo de 2 pulgadas para la tubería de alimentación de los gabinetes. El diseño solo implica el cálculo de pérdida para el posterior cálculo de la cabeza de la bomba y de la presión de diseño. La distribución y localización de esta tubería fue sometida a revisión por parte de los departamentos de Planta Física y Planeación de la Universidad Industrial de Santander, obteniéndose visto bueno por parte de estas divisiones.

✧ Diseño de la tubería de succión. Para la tubería de succión hay que tener en cuenta las recomendaciones hechas anteriormente para esta tubería.

◆ Selección de la bomba. Las características de la bomba seleccionada son las siguientes:

✓ Modelo: D-824 Monobloc

✓ Dimensiones Succión/Descarga: 2 ½ " / 1 ½ " Rosca NPT

✓ Capacidad: 100 gpm

✓ TDH: 215 pies

✓ Eficiencia: 53,7 %

✓ Velocidad: 3550 rpm

✓ NPSH<sub>R</sub>: 7,1 pies

✓ Diámetro del impulsor: 7,3"

✓ Potencia: 15 HP

✓ Fabricante: Worthington

◆ Válvulas de corte. La válvula de corte es de tipo compuerta con extremos roscados.

❖ Fuente de alimentación. Para el sistema contra incendio tanto rociadores como gabinetes, utilizarán como única fuente de alimentación un tanque subterráneo que cumpla con los requerimientos de caudal, que a su vez será alimentado por la red de suministro local.

♦ Ubicación. La ubicación se debe hacer lo más cerca posible a la localización de las bombas para evitar problemas de cavitación. El sitio que se seleccionó como lugar de ubicación de este tanque se encuentra al costado sur de la biblioteca central. La localización de este tanque fue sometida a revisión por parte de los departamentos de Planta Física y Planeación de la Universidad Industrial de Santander, obteniéndose visto bueno por parte de estas divisiones.

♦ Dimensiones. El tanque de alimentación tendrá unas dimensiones de 5 X 3 X 3 metros, obteniéndose un volumen total de 45 m<sup>3</sup>.

#### **5.4 SISTEMA DE DETECCION DE INCENDIOS**

Para el proceso de diseño del sistema de detección de incendios se tuvo en cuenta los requerimientos de la norma NFPA 72 *National Fire Alarm Code* analizada en el capítulo 4. Para este proyecto se diseñó un sistema de alarma de tipo local.

#### 5.4.1. Proceso de diseño.

- ❖ Dispositivos iniciadores.
  - ♦ Selección y localización de detectores. Al planificar un sistema de detección de incendios, los detectores deben elegirse según el tipo de fuegos potenciales que puedan producirse. También deben considerarse el tipo y cantidad de combustible presente, las posibles fuentes de ignición y las condiciones ambientales.

Para la localización y espaciado entre detectores se tuvo en cuenta las recomendaciones hechas por la NFPA y fabricantes, utilizándose como distancia máxima entre detectores 9 m y entre los detectores y las paredes 0,1 m como mínimo y 4,5 m como máximo. Con el fin de ubicar rápidamente el lugar de una señal de alarma es recomendado zonificar la edificación, asignando las zonas de acuerdo a la distribución física del edificio o a criterio del encargado del diseño.

En las zonas de almacenamiento, zonas de lectura y oficinas, se determinó utilizar detectores automáticos del tipo de detección de humo fotoeléctricos, empleando detectores convencionales e inteligentes, debido a las ventajas que presentan estos detectores sobre las demás clases. Para las zonas de almacenamiento y de lectura de todos los pisos (a excepción del sótano), se asignaron detectores de humo fotoeléctrico de tipo convencional ya que estos espacios representan físicamente una sola zona en cada piso. Para las oficinas, sótanos y demás recintos se optó por utilizar detectores de humo fotoeléctrico inteligentes.

En los cuartos donde están ubicados los equipos del sistema de acondicionamiento de aire se estableció emplear detectores de tipo térmico termovelocimétrico, debido a las altas velocidades que presenta el aire en estos sitios y la cantidad de material particulado.

En la siguiente tabla se muestran las zonas determinadas para el sistema de detección en cada piso.

**Tabla 13.** Zonas por piso.

<b>Piso</b>	<b>Zona</b>
Cuarto	Zona de almacenamiento y lectura
	Zona libros de vitrina.
	Zona hall y escaleras internas
	Zona cuarto de máquinas
Tercero	Zona de almacenamiento y lectura oriental
	Zona de almacenamiento y lectura occidental
	Zona hall y escaleras internas
	Zona cuarto de máquinas
	Zona auditorio
Segundo	Zona de almacenamiento y lectura oriental
	Zona de almacenamiento y lectura occidental
	Zona hall y escaleras internas
	Zona cuarto de máquinas
	Zona base de datos
	Zona hall de entrada
Primero	Zona de lectura
	Zona hall y escaleras internas
	Zona cuarto de máquinas
	Zona oficinas dirección
	Zona adquisiciones y procesos técnicos

**Tabla 13.** Zonas por piso. Continuación.

<b>Piso</b>	<b>Zona</b>
Primero	Zona préstamo y reserva
Sótano	Zona archivo histórico
	Zona canje bibliográfico
	Zona hall y escaleras internas
	Zona cuarto de máquinas
	Zona cafetería

El número de detectores obtenidos en cada piso fue el siguiente:

**Tabla 14.** Número de detectores por piso.

<b>Piso</b>	<b>Numero de detectores</b>
Cuarto	13
Tercero	23
Segundo	24
Primero	34
Sótano	16

Para la localización de los detectores en los diferentes pisos ver planos anexos.

Las características de cada uno de los detectores utilizados son las siguientes:

- ◇ Detector de humo fotoeléctrico convencional.
- ✓ Modelo: 2451
- ✓ Voltaje nominal de operación: 12 - 24 VDC

- ✓ Corriente en stand by: 120  $\mu$ A
- ✓ Máxima corriente en alarma: 10 mA
- ✓ Fabricante: Notifier Fire Systems.
- ✧ Detector de humo fotoeléctrico inteligente.
- ✓ Modelo: FSP - 751
- ✓ Voltaje nominal de operación: 15 - 32 VDC
- ✓ Corriente en stand by: 360  $\mu$ A @ 24 VDC
- ✓ Máxima corriente en alarma: 6,5 mA @ 24 VDC
- ✓ Fabricante: Notifier Fire Systems.
- ✧ Detector térmico inteligente.
- ✓ Modelo: FST - 751R
- ✓ Voltaje nominal de operación: 15 - 28 VDC
- ✓ Corriente en stand by: 300  $\mu$ A @ 24 VDC
- ✓ Máxima corriente en alarma: 6,5 mA @ 24 VDC

- ✓ Fabricante: Notifier Fire Systems.
  
- ◆ Selección de pulsadores. Los pulsadores manuales se localizaron en el paso de salida normal de cada piso, ubicándose un pulsador por piso. Las características del pulsador manual seleccionado son las siguientes:
  - ✓ Modelo: NBG-12LSP
  
  - ✓ Voltaje nominal de operación: 24 VDC
  
  - ✓ Corriente en stand by: 375  $\mu$ A @ 24 VDC
  
  - ✓ Fabricante: Notifier Fire Systems.
  
- ❖ Dispositivos notificadores. Para garantizar que las señales audibles se escuchen claramente éstas deben poseer un nivel sonoro de no menos de 75 dBA a 3 metros y no más de 120 dBA en el punto más cercano desde donde se escucha la señal. Los aparatos de notificación se ubicarán a 2,3 m por encima de la superficie del piso, situándose una sirena por piso. Para su localización ver planos anexos. Las características del elemento seleccionado son las siguientes:
  - ✓ Modelo: MA 24
  
  - ✓ Voltaje nominal de operación: 24 VDC
  
  - ✓ Máxima corriente en alarma: 38 mA @ 24 VDC

- ✓ Fabricante: Notifier Fire Systems.
  
- ❖ Panel de control. De acuerdo a la cantidad de dispositivos iniciadores (detectores y pulsadores) y de notificación (sirenas) utilizados, y a las funciones asignadas al panel se realiza la selección de éste. El panel de control es el encargado de supervisar constantemente los dispositivos del sistema de detección, monitoreando condiciones anormales y activando los aparatos de notificación en caso de alarma.

El panel seleccionado posee las siguientes especificaciones:

- ✓ Modelo: APF - 200
  
- ✓ Fuente de alimentación principal: 120 VAC, 3 A.
  
- ✓ Potencia total de salida: 24 VDC, 5 A.
  
- ✓ Carga de la batería: 18 AH\*
  
- ✓ Fabricante: Notifier Fire Systems.

Este panel de control tiene capacidad de 198 dispositivos (99 detectores inteligentes más 99 módulos monitores y de control), además posee la capacidad de utilizar dispositivos de detección convencionales, asimismo tiene capacidad para 99 zonas programables. La comunicación con los detectores y los módulos monitores y de control se hace a través de un circuito de línea de señalización (SLC) utilizando cableado Estilo 4 (Clase B), Estilo 6 (Clase A) o Estilo 7 (Clase A).

---

\* Ver Anexo D.

Para la ubicación del panel de control se seleccionó un sitio donde solo puedan ingresar personal autorizado y cercano a los sitios de trabajo de los empleados de la biblioteca, ver planos para su localización.

❖ Dispositivos auxiliares.

♦ Módulo monitor FZM - 1. Se utilizan para conectar detectores convencionales a dos hilos, al lazo de un sistema analógico, identificándolos el panel de control como una zona de detección. Se pueden conectar hasta un máximo de 20 detectores convencionales de cualquier tipo, por módulo de zona. Puede ser cableado Estilo B (Clase B) o Estilo D (Clase A). El módulo FZM - 1 presenta las siguientes especificaciones:

✓ Modelo: FZM - 1

✓ Voltaje nominal de operación: 15 - 32 VDC

✓ Corriente en stand by: 300  $\mu$ A @ 24 VDC

✓ Máxima corriente en alarma: 7,5 mA @ 24 VDC

✓ Fabricante: Notifier Fire Systems.

♦ Módulo aislador ISO X. Son equipos que proporcionan un aislamiento automático de una zona afectada por una falla de cortocircuito. Se colocan en el lazo de un sistema analógico inteligente entre grupos de hasta 25 detectores o módulos direccionables. Los módulos aisladores abren automáticamente el lazo cuando la tensión en el lazo es inferior a 4 voltios, quedando sólo fuera

de servicio la zona afectada comprendida entre los módulos aisladores. El módulo ISO X presenta las siguientes especificaciones:

- ✓ Modelo: ISO X
  - ✓ Voltaje nominal de operación: 15 - 32 VDC
  - ✓ Corriente en stand by: 400  $\mu$ A @ 24 VDC
  - ✓ Máxima corriente en alarma: 5 mA @ 24 VDC
  - ✓ Fabricante: Notifier Fire Systems.
- ◆ Módulo de control FCM - 1. Módulo de control programable para la activación de dispositivos de notificación a través de la línea de detección inteligente. Puede ser cableado Estilo Y (Clase B) o Estilo Z (Clase A). El módulo FCM - 1 presenta las siguientes especificaciones:

- ✓ Modelo: FCM - 1.
- ✓ Voltaje nominal de operación: 15 - 32 VDC
- ✓ Corriente en stand by: 390  $\mu$ A @ 24 VDC
- ✓ Máxima corriente en alarma: 5,1 mA @ 24 VDC
- ✓ Fabricante: Notifier Fire Systems.

- ❖ Desempeño e integridad del sistema.
  - ♦ La comunicación entre el panel de control y los detectores análogos y los diferentes módulos se realizó a través de un circuito de línea de señalización (SLC) utilizando un cableado Estilo 4 (Clase B), cableado que ofrece las siguientes características:
    - ✓ Señal de falla durante una condición de apertura única, falla a tierra única, cortocircuito entre conductores, falla a tierra y cortocircuito entre conductores simultáneos, apertura y falla a tierra simultánea y apertura y cortocircuito entre conductores simultáneos. Con capacidad de dar alarma con una condición de falla a tierra única.
  - ♦ Los detectores de humo fotoeléctricos convencionales conectados al módulo monitor FZM - 1, fueron cableados empleando un circuito Estilo B (Clase B). Ofreciendo las siguientes características:
    - ✓ Señal de falla durante una condición de apertura única y falla a tierra única. Con capacidad de dar alarma con una condición de falla a tierra única.
  - ♦ Los dispositivos de notificación conectados al módulo de control FCM-1, fueron cableados empleando un circuito Estilo Y (Clase B). Ofreciendo las siguientes características:
    - ✓ Señal de falla durante una condición de apertura única, falla a tierra única y cortocircuito entre conductores. Con capacidad de dar alarma con una condición de falla a tierra única.

- ♦ El cable necesario para la conexión entre los diferentes dispositivos del sistema de detección de incendio es de tipo 16 AWG Belden 9575 WPW 991.

Se anexan catálogos de todos los dispositivos para mayores especificaciones.

## 5.5 PRESUPUESTO

**Tabla 15.** Presupuesto sistema de supresión.

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Valor total
Rociadores Kidde Quick Response Recessed Pendent sprinklers, model H - 1/2" orifice * 1/2" NPT	351	\$ 16.339	\$ 5.734.989
Rociadores Vicker Modelo M - orificio 1/2" * 1/2" NPT VK 702	10	\$ 97.735	\$ 977.350
Gabinete contra incendio	6	\$ 389.101	\$ 2.334.606
Bomba Worthington D 824 2 1/2"X1 1/2"X8"	1	\$ 3.240.000	\$ 3.240.000
Bomba Worthington D 824 2 1/2"X1 1/2"X7,3"	1	\$ 2.860.000	\$ 2.860.000
Bomba Pedrollo PK 200 1"X1"	1	\$ 932.000	\$ 932.000
Siamesa de 2,5 x 2,5 x 3"	1	\$ 560.000	\$ 560.000
Tubería hierro galvanizado roscada 3/4"	22	\$ 6.358	\$ 139.876
Tubería hierro galvanizado roscada 1"	22	\$ 9.269	\$ 203.918
Tubería hierro galvanizado roscada 1 1/4"	56	\$ 11.644	\$ 652.064
Tubería hierro galvanizado roscada 1 1/2"	1002	\$ 15.221	\$ 15.251.442
Tubería hierro galvanizado roscada 2"	560	\$ 18.968	\$ 10.622.080
Tubería hierro galvanizado roscada 2 1/2"	136	\$ 28.922	\$ 3.933.392
Tubería hierro galvanizado roscada 3"	89	\$ 35.289	\$ 3.140.721
Tubería hierro galvanizado roscada 4"	44	\$ 50.468	\$ 2.220.592
Codo hierro galvanizado roscado 3/4"	6	\$ 846	\$ 5.076
Codo hierro galvanizado roscado 1"	2	\$ 1.314	\$ 2.628
Codo hierro galvanizado roscado 1 1/4"	18	\$ 2.034	\$ 36.612
Codo hierro galvanizado roscado 1 1/2"	114	\$ 2.697	\$ 307.458
Codo hierro galvanizado roscado 2"	98	\$ 4.046	\$ 396.508
Codo hierro galvanizado roscado 2 1/2"	27	\$ 8.273	\$ 223.371
Codo hierro galvanizado roscado 3"	35	\$ 11.463	\$ 401.205
Codo hierro galvanizado roscado 4"	11	\$ 24.571	\$ 270.281

**Tabla 15.** Presupuesto sistema de supresión. Continuación.

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Valor total
Te hierro galvanizado roscada 3/4"	3	\$ 550	\$ 1.650
Te hierro galvanizado roscada 1"	8	\$ 1.836	\$ 14.688
Te hierro galvanizado roscada 1 1/4"	18	\$ 2.802	\$ 50.436
Te hierro galvanizado roscada 1 1/2"	315	\$ 3.664	\$ 1.154.160
Te hierro galvanizado roscada 2"	113	\$ 5.052	\$ 570.876
Te hierro galvanizado roscada 2 1/2"	31	\$ 11.463	\$ 355.353
Te hierro galvanizado roscada 3"	5	\$ 16.046	\$ 80.230
Te hierro galvanizado roscada 4"	1	\$ 28.992	\$ 28.992
Válvula de Bola 1"	5	\$ 16.700	\$ 83.500
Válvula de Compuerta 2"	5	\$ 115.000	\$ 575.000
Válvula de Compuerta 2 1/2"	1	\$ 218.000	\$ 218.000
Válvula de Compuerta 3"	1	\$ 310.000	\$ 310.000
Válvula Cheque 2"	1	\$ 146.200	\$ 146.200
Válvula Cheque 3"	1	\$ 337.500	\$ 337.500
Válvula de pie 4"	2	\$ 301.600	\$ 603.200
Válvula de Control "	1	\$ 4.500.000	\$ 4.500.000
Bujes de 3/4" a 1/2"	3	\$ 1.160	\$ 3.480
Bujes de 1" a 1/2"	5	\$ 1.533	\$ 7.665
Bujes de 1 1/4" a 1/2"	18	\$ 2.478	\$ 44.604
Bujes de 1 1/2" a 1/2"	314	\$ 2.898	\$ 909.972
Bujes de 2" a 1/2"	13	\$ 4.013	\$ 52.169
Bujes de 2 1/2" a 1/2"	8	\$ 11.088	\$ 88.704
Bujes de 1" a 3/4"	2	\$ 1.333	\$ 2.666
Bujes de 1 1/2" a 3/4"	2	\$ 2.382	\$ 4.764
Bujes de 1 1/2" a 1"	3	\$ 2.382	\$ 7.146
Bujes de 1 1/2" a 1 1/4"	2	\$ 2.382	\$ 4.764
Bujes de 2" a 3/4"	2	\$ 3.978	\$ 7.956
Bujes de 2" a 1 1/4"	11	\$ 3.978	\$ 43.758
Bujes de 2" a 1 1/2"	105	\$ 3.972	\$ 417.060
Bujes de 2 1/2" a 1 1/2"	24	\$ 8.088	\$ 194.112
Bujes de 2 1/2" a 2"	13	\$ 8.088	\$ 105.144
Arrancador estrella triangulo Siemens 3RA 1426	1	\$ 1.270.000	\$ 1.270.000
Arrancador estrella triangulo Siemens 3RA 1436	1	\$ 1.540.000	\$ 1.540.000
Arrancador directo Laumayer MBR 9/P.7,5	1	\$ 270.000	\$ 270.000
Presóstatos	3	\$ 35.000	\$ 105.000
			\$ 68.554.918

**Tabla 16.** Presupuesto sistema de detección.

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Valor total
Detector de humo fotoeléctrico FSP - 751	42	\$ 187.920	\$ 7.892.640
Detector de humo fotoeléctrico 2451	60	\$ 109.620	\$ 6.577.200
Detector térmico FST - 751R	8	\$ 135.720	\$ 1.085.760
Panel de control AFP-200	1	\$ 4.909.410	\$ 4.909.410
Pulsador manual NBG -12LSP	5	\$ 75.690	\$ 378.450
Sirena MA - 24 D	6	\$ 127.890	\$ 767.340
Módulo ISO-X	3	\$ 161.820	\$ 485.460
Módulo FZM-1	6	\$ 271.440	\$ 1.628.640
Módulo FCM-1	5	\$ 195.750	\$ 978.750
Base B-401	60	\$ 23.490	\$ 1.409.400
Base B-501	50	\$ 27.144	\$ 1.357.200
Base SB-10	5	\$ 28.710	\$ 143.550
Batería 18 AH - 12 V	2	\$ 211.410	\$ 422.820
Cable 16 AWG Belden X carrete 305 m	4	\$ 903.000	\$ 3.612.000
			\$ 31.648.620

**Tabla 17.** Presupuesto total.

Descripción	Valor
Sistema de supresión	\$ 68.554.918
Sistema de detección	\$ 31.648.620
Sub Total	\$ 100.203.538
I.V.A.	\$ 16.032.566
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 116.236.104</b>

## **6. TERMINOS DE REFERENCIA TECNICOS**

El contratista podrá ofrecer un modelo diferente de equipo y/o accesorio al establecido en estas especificaciones, siempre y cuando cumpla con los requerimientos de las mismas.

En general, todos los equipos y componentes a ser usados deben ser de marcas ampliamente reconocidas en el país y que además estén respaldadas por la representación de una empresa establecida y responsable, con capacidad para garantizar un servicio de post-venta satisfactorio (asesoría, mantenimiento y repuestos).

### **6.1. SISTEMA DE SUPRESION**

#### **6.1.1. Rociadores.**

❖ Rociadores para las zonas de almacenamiento, de lectura y oficinas. Los rociadores automáticos a ser instalados en las zonas de almacenamiento, de lectura y oficinas serán del tipo colgante, orificio de 1/2", con rosca de 1/2 " NPT, de ampolla, con una temperatura de activación de 57 C (135 F), acabado normal, respuesta rápida (Quick Response), aprobados por UL. Las especificaciones técnicas son las siguientes:

❖ Modelo: Automatic Quick Response Recessed Pendent Sprinklers, Model H - 1/2" orifice \* 1/2" NPT.

- ✧ Número de identificación (SIN): Pendent AS 5651
  
- ✧ Fabricante: Kidde Fire Fighting.
  
- ❖ Rociadores para el cuarto de máquinas. Los rociadores automáticos a ser instalados en el cuarto de máquinas serán del tipo pulverizadores colgante, orificio de 1/2", con rosca de 1/2 " NPT, de ampolla, con una temperatura de activación de 57 C (135 F), ángulo de descarga de 120°, acabado en bronce, aprobados por UL. Las especificaciones técnicas son las siguientes:
  - ✧ Modelo: Boquilla Pulverizadora Automática Modelo M - orificio 1/2" \* 1/2" NPT.
  
  - ✧ Número de identificación (SIN): VK 702.
  
  - ✧ Fabricante: Viking Corporation.

### **6.1.2. Gabinetes contra incendios.**

Los gabinetes contra incendio a utilizar serán del tipo Clase I (designación ICONTEC) con dimensiones de 77 \* 77 \* 22 cm, con válvula de globo de un diámetro de 1 1/2", manguera de diámetro 1 1/2" con una longitud de 30 metros de largo. De fabricación nacional.

### 6.1.3. Bombas centrífugas.

❖ Bomba principal del sistema de rociadores. Se instalará una bomba centrífuga tipo monobloc accionada con motor eléctrico de 20 HP a 3600 rpm a 220 V/60 Hz, factor de servicio de 1.15 y arranque automático por caída de presión, con las siguientes características:

- ❖ Modelo: D-824 Monobloc
- ❖ Dimensiones Succión/Descarga: 2 ½ "/1 ½ " Rosca NPT
- ❖ Capacidad: 166 gpm
- ❖ TDH: 265 pies
- ❖ Eficiencia: 62,6 %
- ❖ Velocidad: 3550 rpm
- ❖ NPSH<sub>R</sub>: 11,7 pies
- ❖ Diámetro del impulsor: 8"
- ❖ Potencia: 20 HP
- ❖ Flujo mínimo: 39,6 gpm
- ❖ Fabricante: Worthington

- ✧ Arrancador: Arrancador tipo Estrella-Triángulo 3RA 1436-4E Siemens.
  
- ❖ Bomba Jockey. Se instalará una bomba centrífuga tipo monobloc accionada con motor eléctrico de 2 HP a 3600 rpm a 220 V/60 Hz, factor de servicio de 1.15 y arranque automático por caída de presión, con las siguientes características:
  - ✧ Modelo: PK 200 Monobloc
  - ✧ Dimensiones Succión/Descarga: 1"/1" Rosca NPT
  - ✧ Capacidad: 1,3 gpm
  - ✧ TDH: 279 pies
  - ✧ Velocidad: 3550 rpm
  - ✧ NPSH<sub>R</sub>: 3,9 pies
  - ✧ Potencia: 2 HP
  - ✧ Fabricante: Pedrollo
  - ✧ Arrancador: Arrancador directo MBR 9/P.7,5 Lovato Electric.
  
- ❖ Bomba del sistema de gabinetes. Se instalará una bomba centrífuga tipo monobloc accionada con motor eléctrico de 15 HP a 3600 rpm a 220 V/60 Hz,

factor de servicio de 1.15 y arranque automático mediante la utilización de presóstato, con las siguientes características:

- ✧ Modelo: D-824 Monobloc
- ✧ Dimensiones Succión/Descarga: 2 ½ " / 1 ½ " Rosca NPT
- ✧ Capacidad: 100 gpm
- ✧ TDH: 215 pies
- ✧ Eficiencia: 53,7 %
- ✧ Velocidad: 3550 rpm
- ✧ NPSH<sub>R</sub>: 7,1 pies
- ✧ Diámetro del impulsor: 7,3"
- ✧ Potencia: 15 HP
- ✧ Flujo mínimo: 36,1 gpm
- ✧ Fabricante: Worthington
- ✧ Arrancador: Arrancador tipo Estrella-Triángulo 3RA 1426-4D Siemens.

#### 6.1.4. Válvula de control.

- ✧ Modelo: Válvula de mariposa. Serie 20
- ✧ Diámetro: 1 ½"
- ✧ Cuerpo: Hierro fundido
- ✧ Disco y vástago: Acero inoxidable tipo 316
- ✧ Asiento: EPDM
- ✧  $C_{V_{min}}$ : 4,5 @ 23 °
- ✧  $C_{V_{max}}$ : 87 @ 70 °
- ✧ Presión de trabajo: 150 PSI
- ✧ Fabricante: Bray Controls
  
- ✧ Actuador: Eléctrico con tarjeta electrónica para control proporcional. Señal de control de 4 a 20 mA y alimentación a 120 V AC. Fabricado por Bray Controls.

### **6.1.5. Válvulas.**

Todas las válvulas del sistema, deberán identificarse con carteles de plástico rígido o de metal resistente a la corrosión. Se indicará el área o equipo que protege o su función. Su diámetro será el especificado en los planos.

❖ Válvulas de compuerta. El material de las válvulas de compuerta será bronce con extremos roscados, rosca NPT, y presión de trabajo no menor a 150 PSI.

❖ Válvulas de cheque. El material del cuerpo y demás componentes de la válvula cheque será bronce con extremos roscados, rosca NPT, y presión de trabajo no menor a 150 PSI.

❖ Válvulas de bola. En bronce con extremos roscados, rosca NPT, y presión de trabajo no menor a 150 PSI.

❖ Válvulas de pie. En bronce con extremos roscados, tuerca y resorte en acero inoxidable, rosca NPT, y presión de trabajo no menor a 150 PSI.

### **6.1.6. Tubería.**

Toda la tubería será de hierro galvanizado, Cédula 40, con costura, debe resistir una presión de trabajo no inferior a 175 PSI (1207 KPa). Toda la tubería se instalará por medio de uniones roscadas, embridadas y juntas mecánicas o acoplamientos soldados o flexibles.

## 6.2. SISTEMA DE DETECCION

### 6.2.1. Detectores automáticos.

❖ Detector de humo fotoeléctrico convencional. Los detectores de humo fotoeléctricos convencionales serán instalados utilizando un cableado Estilo B (Clase B). Las especificaciones técnicas de estos detectores serán las siguientes:

- ❖ Modelo: 2451
- ❖ Voltaje nominal de operación: 12 - 24 VDC
- ❖ Corriente en stand by: 120  $\mu$ A
- ❖ Máxima corriente en alarma: 10 mA
- ❖ Rango de humedad: 10 - 93 %
- ❖ Base de montaje: B - 401
- ❖ Fabricante: Notifier Fire Systems.

❖ Detector de humo fotoeléctrico inteligente. Los detectores de humo fotoeléctricos inteligentes serán instalados utilizando un cableado Estilo 4 (Clase B). Las especificaciones técnicas de estos detectores serán las siguientes:

- ✧ Modelo: FSP - 751
- ✧ Voltaje nominal de operación: 15 - 32 VDC
- ✧ Corriente en stand by: 360  $\mu$ A @ 24 VDC
- ✧ Máxima corriente en alarma: 6,5 mA @ 24 VDC
- ✧ Rango de humedad: 10 - 93 %
- ✧ Base de montaje: B - 501
- ✧ Fabricante: Notifier Fire Systems.
  
- ❖ Detector térmico inteligente. Los detectores térmicos inteligentes serán instalados utilizando un cableado Estilo 4 (Clase B). Las especificaciones técnicas de estos detectores serán las siguientes:
  - ✧ Modelo: FST - 751R
  - ✧ Voltaje nominal de operación: 15 - 28 VDC
  - ✧ Corriente en stand by: 300  $\mu$ A @ 24 VDC
  - ✧ Máxima corriente en alarma: 6,5 mA @ 24 VDC
  - ✧ Rango de humedad: 10 - 93 %

- ✧ Base de montaje: B - 501
- ✧ Temperatura de operación: -20 a 38 C
- ✧ Fabricante: Notifier Fire Systems.

**6.2.2. Pulsadores manuales.** Serán instalados al circuito de dispositivos iniciadores utilizando un cableado Estilo 4 (Clase B). Manubrio de EMPUJE/HALE HACIA ABAJO enclavando la posición de abajo para indicar claramente que la estación ha sido activada. Con etiqueta en inglés y español. Montados sobre la superficie.

- ✧ Modelo: NBG-12LSP
- ✧ Voltaje nominal de operación: 24 VDC
- ✧ Corriente en stand by: 375  $\mu$ A @ 24 VDC
- ✧ Base de montaje: SB - 10
- ✧ Fabricante: Notifier Fire Systems.

### **6.2.3. Sirenas.**

- ✧ Modelo: MA 24
- ✧ Voltaje nominal de operación: 24 VDC

- ✧ Máxima corriente en alarma: 38 mA @ 24 VDC
- ✧ Fabricante: Notifier Fire Systems.

**6.2.4. Panel de control.** Será un panel de tipo inteligente (analógico y direccionable), con capacidad para un solo lazo de dispositivos inteligentes y de monitoreo o control direccionales. Será configurable de acuerdo con los requerimientos de la instalación. Estará listado por UL, aprobado por FM y deberá satisfacer los requerimientos de la norma NFPA 72 *National Fire Alarm Code*.

El Panel será el AFP 200. Panel inteligente fabricado por Notifier Fire Systems.

Las características principales son las siguientes:

- ✧ Capacidad para 198 dispositivos inteligentes (99 detectores análogos y 99 módulos monitores y de control).
- ✧ Ajuste manual de sensibilidad.
- ✧ Auto-comprobación de detectores.
- ✧ Fichero histórico de 650 eventos de capacidad en memoria no volátil.
- ✧ Diferentes códigos de ritmo de sirenas.

- ✧ Programable directamente desde el panel o a través de PC, con clave de acceso y posibilidad de auto programación.
- ✧ Pantalla de despliegue alfanumérica de 80 caracteres, con retro iluminación.
- ✧ Fuente de alimentación principal: 120 VAC, 3 A.
- ✧ Potencia total de salida: 24 VDC, 5 A.
- ✧ Carga de la batería: 18 AH

#### **6.2.5. Dispositivos auxiliares.**

❖ Módulo monitor FZM - 1. Serán usados para monitorear circuitos de dispositivos iniciadores de alarma con contactos normalmente abiertos. Se instalarán en donde se indique en los planos. Se alimentarán directamente desde el tablero de control a través de los dos cables del lazo de detección.

El módulo de monitoreo será el modelo FZM - 1 fabricado por Notifier Fire Systems. Sus características principales son las siguientes:

- ✧ Voltaje nominal de operación: 15 - 32 VDC
- ✧ Corriente en stand by: 300  $\mu$ A @ 24 VDC
- ✧ Máxima corriente en alarma: 7,5 mA @ 24 VDC

❖ Módulo aislador ISO X. Este módulo se utiliza para proteger el sistema contra corto circuito entre los conductores de un circuito de detección. Se colocan en el lazo de un sistema analógico inteligente entre grupos de hasta 25 detectores o módulos direccionables.

El módulo aislador será el modelo ISO X fabricado por Notifier Fire Systems. Sus características principales son:

- ❖ Voltaje nominal de operación: 15 - 32 VDC
- ❖ Corriente en stand by: 400  $\mu$ A @ 24 VDC
- ❖ Máxima corriente en alarma: 5 mA @ 24 VDC

❖ Módulo de control FCM - 1. Tendrán por función la de accionar diferentes dispositivos comandados por el panel de control, se usarán para la activación de los dispositivos de notificación.

El módulo de control será el modelo FCM - 1 fabricado por Notifier Fire Systems. Sus características principales son las siguientes:

- ❖ Voltaje nominal de operación: 15 - 32 VDC
- ❖ Corriente en stand by: 390  $\mu$ A @ 24 VDC
- ❖ Máxima corriente en alarma: 5,1 mA @ 24 VDC

**6.2.6. Cable.** El cable para la conexión entre los diferentes elementos del sistema de detección será de tipo 16 AWG Belden 9575 WPW 991. Para el tendido del cableado del sistema de detección de incendios se deberá instalar una red de tubería conduit. Tanto los tubos como las cajas y accesorios a instalarse deberán ser nuevos, sin costuras cortantes ni muestras de deterioro, y en general deberán estar en perfecto estado.

## CONCLUSIONES

- ☛ Actualmente la biblioteca no presenta planes de protección contra incendios.
- ☛ Los materiales combustibles presentes en la biblioteca son madera y papel representados en muebles y material bibliográfico.
- ☛ La principal fuente de ignición es la corriente eléctrica, fuente que se ve aumentada debido al estado de los cables.
- ☛ La distribución del sistema de supresión incluye todas las áreas internas del edificio.
- ☛ El diseño del sistema de supresión de incendios cumple con los requisitos de descarga uniforme.
- ☛ La distribución del sistema de detección incluye todas las áreas internas del edificio.

## RECOMENDACIONES

- ☠ Evaluar y renovar totalmente el cableado eléctrico de la biblioteca, rediseñándolo e instalándolo bajo las normas adecuadas para las instalaciones eléctricas.
  
- ☠ Desconectar al final del día todos los equipos eléctricos del edificio con el propósito de evitar cortocircuitos durante la noche.
  
- ☠ Todos los extintores de la biblioteca deberán estar en un lugar visible y de fácil acceso e instalados sobre la pared.
  
- ☠ Conservar los cuartos eléctricos y mecánicos libres de combustibles y cerrados.
  
- ☠ El fumar debe estar prohibido en todos los lugares de almacenamiento dentro de la biblioteca y se debe proveer señales de advertencia.
  
- ☠ Proveer señales visuales que indiquen vías de evacuación, prohibido fumar, localización de extintores portátiles y gabinetes.
  
- ☠ Diseñar planes de protección de fuego, planes de evacuación y manejo de emergencias en caso de incendio.
  
- ☠ Diseñar un plan adecuado de recarga de los extintores con el fin de evitar dejar al edificio sin ningún tipo de protección.

- ☛ Entrenar a todo el personal de la biblioteca (incluyendo voluntarios) en el uso adecuado de extintores portátiles y mangueras de gabinetes contra incendio.
  
- ☛ Instalar un sistema de iluminación de emergencia.
  
- ☛ Instalar una bomba con motor a combustión adicional al sistema de rociadores, con las mismas características de la bomba principal, para que actúe en calidad de bomba emergente.

## BIBLIOGRAFÍA

**Bombas. Selección, uso y mantenimiento.** Kenneth McNaughton. México. 1992. 373 p.

**Code for the Protection of Cultural Resources. NFPA 909.** National Fire Protection Assotiation. Quincy. 2001. 253 p.

**Código eléctrico nacional. NTC 2050.** Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Santa Fe de Bogotá. 1998. 1042 p.

**Código para el suministro y distribución de agua para extinción de incendios en edificaciones. NTC 1669.** Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Santa Fe de Bogotá. 1981. 20 p.

**Dispositivos de alarma de incendio ESL.** Sentrol Inc [en línea]. Disponible en Internet desde [www.centry.com.ar/Geinterlogix/Aplicaciones/Incendio.pdf](http://www.centry.com.ar/Geinterlogix/Aplicaciones/Incendio.pdf)

**Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Incendios.** Organización Internacional del trabajo [en línea]. Disponible en Internet desde [www.mtas.es/Publica/enciclo/general/contenido/tomo2/41.pdf](http://www.mtas.es/Publica/enciclo/general/contenido/tomo2/41.pdf)

**EPANET 2.0 en español.** Universidad Politécnica de Valencia [en línea]. Disponible en Internet desde [www.idmh.upv.es](http://www.idmh.upv.es)

**Higiene y seguridad. Detectores automáticos de incendio. Instalación y localización. NTC 1868.** Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Santa Fe de Bogotá. 1983. 23 p.

**Inspección y prevención de incendios.** Antonio Peinado Moreno [en línea]. Disponible en Internet desde [www.dipualba.es/publicaciones](http://www.dipualba.es/publicaciones)

**Life Safety Code. NFPA 101.** National Fire Protection Assotiation. Quincy. 2000. 520 p.

**Manual de preservación de bibliotecas y archivos. NEDCC.** Centro Nacional de Conservación y restauración. Santiago de Chile. 2000. 371 p.

**Manual de protección contra incendios NFPA.** MAPFRE. Madrid. 1986. 1942 p.

**Material de seguridad y lucha contra incendios. Terminología. NTC 1478.** Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Santa Fe de Bogotá. 1979. 22 p.

**National Fire Alarm Code. NFPA 72.** National Fire Protection Assotiation. Quincy. 1999. 288 p.

**Standard for the Installation of Sprinkler Systems. NFPA 13.** National Fire Protection Assotiation. Quincy. 1999. 148 p.

**Válvulas. Selección, uso y mantenimiento.** Richard Greene. México. 1992. 278 p.

## ANEXO A. CÁLCULO HIDRÁULICO

Para la realización de los cálculos hidráulicos se utilizó el software EPANET 2.0, programa desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, software que realiza simulaciones del comportamiento hidráulico en redes de suministro a presión y hace posible incorporar a la simulación de tuberías, bombas de velocidad fija y velocidad variable, válvulas de estrangulación, válvulas reductoras de presión y tanques de cabeza constante o variable.

El programa utiliza el método del gradiente para la solución matemática de la red. El cálculo de las pérdidas por fricción puede realizarse mediante las ecuaciones de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach o Chézy-Manning. Este software es de libre acceso y la versión en español puede conseguirse en la siguiente página web [www.idmh.upv.es](http://www.idmh.upv.es). El método del gradiente es explicado al final de este Anexo.

Para determinar las pérdidas por fricción en las tuberías se utilizó la fórmula de Hazen-Williams.

$$p = \frac{4.52 * Q^{1.85}}{C^{1.85} * D^{4.87}}$$

Donde:

p = resistencia por fricción, en psi/pie.

Q = flujo, en gpm.

D = diámetro interior real de la tubería, en pulgadas.

C = coeficiente de pérdida por fricción.

Para el diseño hidráulico del sistema contra incendio, se utilizó tubería de hierro galvanizado la cual tiene un valor de C igual a 120. Además para los diámetros comerciales se emplearon los siguientes diámetros internos y las siguientes longitudes equivalentes para los diferentes accesorios.

**Tabla 18.** Diámetro interno para tubería comercial. Cédula 40.

Diámetro nominal (in)	Diámetro interno (in)
1/2	0.622
3/4	0.826
1	1.049
1 1/4	1.380
1 1/2	1.610
2	2.067
2 1/2	2.469
3	3.068
3 1/2	3.548
4	4.026

Fuente: Manual de protección contra incendios.

**Tabla 19.** Longitudes equivalentes para tuberías de acero, Cédula 40 C = 120.

Accesorios	Accesorios expresados en pies equivalentes de tubería									
	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6
Codo a 45°	1	1	1	2	2	3	3	4	5	7
Codo a 90°	2	2	3	4	5	6	7	10	12	14
Codo largo a 90°	1	2	2	2	3	4	5	6	6	8
Té o Cruz	4	5	6	8	10	12	5	20	25	30

Fuente: NFPA 13. Standard for installation of sprinkler systems.

## A.1 SISTEMA DE ROCIADORES

❖ Ubicación de rociadores. La distribución de los rociadores se hizo teniendo en cuenta las recomendaciones hechas por la NFPA en cuanto espaciamiento entre rociadores, rociadores y paredes, distanciamiento a obstrucciones (columnas), disposición de ductos y rejillas del sistema de aire acondicionado y lámparas. Para ver la ubicación de los rociadores en los diferentes pisos se pueden consultar lo planos anexos.

La cantidad de rociadores obtenidos en cada piso fue la siguiente:

**Tabla 20.** Número de rociadores por piso.

Piso	Numero de rociadores
Cuarto	48
Tercero	87
Segundo	78
Primero	86
Sótano	62

❖ Cálculo del área de diseño. Para la determinación del área de diseño se tuvo en cuenta las recomendaciones hechas por la norma NFPA 13 *Standard for installation of sprinkler systems*, la cual establece como área mínima de diseño para riesgo leve 139 m<sup>2</sup> (1500 ft<sup>2</sup>), área que se utilizó para el cálculo hidráulico ya que abarca una superficie considerable del área total de almacenamiento por piso de la biblioteca.

❖ Determinación de la densidad de descarga en el área de diseño. Utilizando la curva área/densidad (ver figura 20) se obtiene el valor de la densidad de descarga para el área de diseño.

$$\varphi = 0.1 \text{ gpm/ft}^2 = 1.076 \text{ gpm/m}^2$$

❖ Número de rociadores a actuar. Para determinar el número de rociadores a actuar, se tomó un área de cobertura del rociador promedio.

$$A_s = 3.8 \text{ m} * 3.8 \text{ m} = 14.44 \text{ m}^2.$$

$$\begin{aligned} \text{Rociadores totales a calcular} &= \frac{\text{Área de diseño}}{A_s} \\ &= \frac{139 \text{ m}^2}{14.44 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$\text{Rociadores totales a calcular} \cong 10$$

Tomando cinco rociadores por ramal y dos ramales para limitar el área de diseño.

❖ Descarga mínima por rociador.

$$\begin{aligned} Q &= \varphi * A_s \\ &= 1.076 \text{ gpm/m}^2 * 14.44 \text{ m}^2 \\ &\cong 16 \text{ gpm.} \end{aligned}$$

❖ Diseño de tubería en ramales y transversales y determinación del área más remota hidráulicamente. La selección de los diámetros de la tubería es un

proceso de prueba y error. Se supone un diámetro (empezando por el menor diámetro comercial) y se calculan las pérdidas; si las pérdidas son aceptables el diámetro es el adecuado, de lo contrario se prueba con el siguiente diámetro comercial, con el fin de obtener el criterio de uniformidad en la descarga.

Para el diseño de la tubería y para el cálculo del área más remota hidráulicamente se utilizó el software EPANET, simulando para toda la red 10 rociadores actuando en un área cuadrada, realizando todas las combinaciones posibles en cada piso, observando el área que necesitaba mayor requerimiento de presión en el punto de entrada a la red para obtener la descarga deseada y así determinar el área más remota del piso; para los diferentes pisos se obtuvieron los siguientes resultados. Para la identificación de los rociadores ver planos al final del anexo.

- ♦ Cuarto piso.

**Tabla 21.** Rociadores en el área más remota hidráulicamente. Cuarto piso.

Identificación de rociador	Caudal de descarga del rociador (gpm)	Presión (PSI)
Nudo 44	16	8,16
Nudo 45	16,04	8,21
Nudo 43	16,07	8,23
Nudo 37	16,13	8,29
Nudo 36	16,18	8,35
Nudo 38	16,22	8,39
Nudo 46	16,4	8,58
Nudo 42	16,54	8,73

**Tabla 21.** Rociadores en el área más remota hidráulicamente. Cuarto piso.  
Continuación.

Identificación de rociador	Caudal de descarga del rociador (gpm)	Presión (PSI)
Nudo 39	16,61	8,8
Nudo 35	16,64	8,83

**Tabla 22.** Estado de los nodos de la red. Cuarto piso.

ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)	ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)
Nudo 1	0	14,21	Nudo 26	0	14,1
Nudo 2	0	14,33	Nudo 27	0	14,3
Nudo 3	0	14,45	Nudo 28	0	12,68
Nudo 4	0	14,56	Nudo 29	0	12,7
Nudo 5	0	14,67	Nudo 30	0	12,73
Nudo 6	0	14,85	Nudo 31	0	12,76
Nudo 7	0	14,23	Nudo 32	0	12,78
Nudo 8	0	14,34	Nudo 33	0	11,21
Nudo 9	0	14,47	Nudo 34	0	10,1
Nudo 10	0	14,6	Nudo 35	16,64	8,83
Nudo 11	0	14,73	Nudo 36	16,18	8,35
Nudo 12	0	14,9	Nudo 37	16,13	8,29
Nudo 13	0	14,21	Nudo 38	16,22	8,39
Nudo 14	0	14,46	Nudo 39	16,61	8,8
Nudo 15	0	14,7	Nudo 40	0	11,27
Nudo 16	0	14,95	Nudo 41	0	10
Nudo 17	0	15,19	Nudo 42	16,54	8,73
Nudo 18	0	14,06	Nudo 43	16,07	8,23
Nudo 19	0	14,43	Nudo 44	16	8,16
Nudo 20	0	14,8	Nudo 45	16,04	8,21

**Tabla 22.** Estado de los nodos de la red. Cuarto piso. Continuación.

ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)	ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)
Nudo 21	0	15,17	Nudo 46	16,4	8,58
Nudo 22	0	15,53	Nudo 47	0	18,3
Nudo 23	0	13,49	Nudo 48	0	18,3
Nudo 24	0	13,7	Nudo X	-162.82	23,62
Nudo 25	0	13,9			

**Tabla 23.** Estado de las líneas de la red. Cuarto piso.

ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)	ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)
48-U	1 ¼	0	0	G-33	1 ½	40,69	6,41
47-48	1 ¼	0	0	C-13	1 ½	-17,04	2,69
47-T	1 ¼	0	0	B-7	1 ½	-11,9	1,88
U-S	1 ¼	0	0	A-1	1 ½	-11,36	1,79
S-T	1 ¼	0	0	F-28	1 ½	-5,13	0,81
36-37	1 ½	7,88	1,24	E-23	1 ½	-15,41	2,43
35-36	1 ½	24,06	3,79	D-18	1 ½	-21,26	3,35
34-35	1 ½	40,69	6,41	20-21	1 ½	-21,26	3,35
40-41	1 ½	41,4	6,52	19-20	1 ½	-21,26	3,35
43-44	1 ½	8,79	1,39	18-19	1 ½	-21,26	3,35
42-43	1 ½	24,86	3,92	24-25	1 ½	-15,41	2,43
41-42	1 ½	41,4	6,52	23-24	1 ½	-15,41	2,43
28-29	1 ½	-5,13	0,81	21-22	1 ½	-21,26	3,35
26-27	1 ½	-15,41	2,43	16-17	1 ½	-17,04	2,69
25-26	1 ½	-15,41	2,43	10-11	1 ½	-11,9	1,88
29-30	1 ½	-5,13	0,81	9-10	1 ½	-11,9	1,88
33-34	1 ½	40,69	6,41	8-9	1 ½	-11,9	1,88
31-32	1 ½	-5,13	0,81	15-16	1 ½	-17,04	2,69
30-31	1 ½	-5,13	0,81	14-15	1 ½	-17,04	2,69

**Tabla 23.** Estado de las líneas de la red. Cuarto piso. Continuación.

ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)	ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)
45-46	1 ½	-23,25	3,66	13-14	1 ½	-17,04	2,69
44-45	1 ½	-7,21	1,14	E-F	2	76,97	7,36
32-O	1 ½	-5,13	0,81	D-E	2	61,56	5,89
46-Q	1 ½	-39,65	6,25	J-K	2	-23,26	2,22
37-38	1 ½	-8,24	1,3	F-G	2	82,1	7,85
39-P	1 ½	-41,07	6,47	A-B	2	11,36	1,09
38-39	1 ½	-24,46	3,86	S-R	2	0	0
11-12	1 ½	-11,9	1,88	C-D	2	40,3	3,85
6-I	1 ½	-11,36	1,79	B-C	2	23,26	2,22
5-6	1 ½	-11,36	1,79	P-Q	2	39,65	3,79
12-J	1 ½	-11,9	1,88	N-O	2	85,85	8,21
27-N	1 ½	-15,41	2,43	G-H	2	41,4	3,96
22-L	1 ½	-21,26	3,35	O-P	2	80,73	7,72
17-K	1 ½	-17,04	2,69	M-N	2	101,26	9,68
2-3	1 ½	-11,36	1,79	K-L	2	-40,3	3,85
1-2	1 ½	-11,36	1,79	I-J	2	-11,36	1,09
H-40	1 ½	41,4	6,52	L-M	2	-61,56	5,89
7-8	1 ½	-11,9	1,88	R-X	2 ½	-162,82	10,91
4-5	1 ½	-11,36	1,79	M-R	2 ½	-162,82	10,91
3-4	1 ½	-11,36	1,79				

- ♦ Tercer piso.

**Tabla 24.** Rociadores en el área más remota hidráulicamente. Tercer piso.

Identificación de rociador.	Caudal de descarga del rociador (gpm)	Presión (PSI)
Nudo 64	16	8,16
Nudo 65	16,04	8,21
Nudo 63	16,1	8,27
Nudo 62	16,54	8,73
Nudo 73	16,55	8,74
Nudo 72	16,6	8,79
Nudo 74	16,66	8,85
Nudo 66	16,81	9,01
Nudo 71	16,95	9,17
Nudo 75	17,24	9,47

**Tabla 25.** Estado de los nodos de la red. Tercer piso.

ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)	ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)
Nudo 1	0	17,37	Nudo 45	0	16,45
Nudo 2	0	17,42	Nudo 46	0	14,94
Nudo 3	0	17,46	Nudo 47	0	14,99
Nudo 4	0	17,51	Nudo 48	0	15,04
Nudo 5	0	17,55	Nudo 49	0	15,08
Nudo 6	0	17,62	Nudo 50	0	15,13
Nudo 7	0	17,67	Nudo 51	0	13,68
Nudo 8	0	17,72	Nudo 52	0	13,49
Nudo 9	0	17,37	Nudo 53	0	13,3
Nudo 10	0	17,41	Nudo 54	0	13,11
Nudo 11	0	17,45	Nudo 55	0	12,92

**Tabla 25.** Estado de los nodos de la red. Tercer piso. Continuación.

ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)	ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)
Nudo 12	0	17,49	Nudo 56	0	12,6
Nudo 13	0	17,54	Nudo 57	0	12,4
Nudo 14	0	17,6	Nudo 58	0	12,19
Nudo 15	0	17,67	Nudo 59	0	12,31
Nudo 16	0	17,73	Nudo 60	0	11,12
Nudo 17	0	17,35	Nudo 61	0	9,92
Nudo 18	0	17,4	Nudo 62	16,54	8,73
Nudo 19	0	17,45	Nudo 63	16,1	8,27
Nudo 20	0	17,51	Nudo 64	16	8,16
Nudo 21	0	17,56	Nudo 65	16,04	8,21
Nudo 22	0	17,66	Nudo 66	16,81	9,01
Nudo 23	0	17,72	Nudo 67	0	9,97
Nudo 24	0	17,78	Nudo 68	0	12,43
Nudo 25	0	17,32	Nudo 69	0	11,34
Nudo 26	0	17,45	Nudo 70	0	10,25
Nudo 27	0	17,58	Nudo 71	16,95	9,17
Nudo 28	0	17,71	Nudo 72	16,6	8,79
Nudo 29	0	17,85	Nudo 73	16,55	8,74
Nudo 30	0	18,1	Nudo 74	16,66	8,85
Nudo 31	0	17,29	Nudo 75	17,24	9,47
Nudo 32	0	17,67	Nudo 76	0	22,27
Nudo 33	0	18,05	Nudo 77	0	22,27
Nudo 34	0	18,44	Nudo 78	0	22,27
Nudo 35	0	18,82	Nudo 79	0	22,27
Nudo 36	0	16,83	Nudo 80	0	22,27
Nudo 37	0	17,15	Nudo 81	0	22,27
Nudo 38	0	17,47	Nudo 82	0	22,27
Nudo 39	0	17,79	Nudo 83	0	22,27
Nudo 40	0	18,11	Nudo 84	0	22,27

**Tabla 25.** Estado de los nodos de la red. Tercer piso. Continuación.

ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)	ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)
Nudo 41	0	15,97	Nudo 85	0	22,27
Nudo 42	0	16,09	Nudo 86	0	22,27
Nudo 43	0	16,21	Nudo 87	0	22,27
Nudo 44	0	16,33	Nudo B"	-165.49	26,02

**Tabla 26.** Estado de las líneas de la red. Tercer piso.

ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)	ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)
68-69	1 ½	39,1	6,16	13-14	1 ½	-6,69	1,05
69-70	1 ½	39,1	6,16	21-22	1 ½	-7,73	1,22
70-71	1 ½	39,1	6,16	6-7	1 ½	-7,05	1,11
67-U	1 ½	-40,37	6,36	7-8	1 ½	-7,05	1,11
64-65	1 ½	-7,52	1,18	9-10	1 ½	-6,69	1,05
65-66	1 ½	-23,56	3,71	4-5	1 ½	-7,05	1,11
66-67	1 ½	-40,37	6,36	1-2	1 ½	-7,05	1,11
75-V	1 ½	-44,9	7,08	2-3	1 ½	-7,05	1,11
A-1	1 ½	-7,05	1,11	3-4	1 ½	-7,05	1,11
B-9	1 ½	-6,69	1,05	18-19	1 ½	-7,73	1,22
74-75	1 ½	-27,67	4,36	19-20	1 ½	-7,73	1,22
71-72	1 ½	22,15	3,49	20-21	1 ½	-7,73	1,22
72-73	1 ½	5,55	0,87	17-18	1 ½	-7,73	1,22
73-74	1 ½	-11,01	1,73	10-11	1 ½	-6,69	1,05
58-T	1 ½	15,26	2,4	11-12	1 ½	-6,69	1,05
51-52	1 ½	15,26	2,4	12-13	1 ½	-6,69	1,05
52-53	1 ½	15,26	2,4	40-Q	1 ½	-20,22	3,19
57-58	1 ½	15,26	2,4	41-42	1 ½	-11,87	1,87
50-S	1 ½	-7,14	1,13	42-43	1 ½	-11,87	1,87
55-56	1 ½	15,26	2,4	39-40	1 ½	-20,22	3,19

**Tabla 26.** Estado de las líneas de la red. Tercer piso. Continuación.

ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)	ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)
56-57	1 ½	15,26	2,4	36-37	1 ½	-20,22	3,19
61-62	1 ½	41,12	6,48	37-38	1 ½	-20,22	3,19
62-63	1 ½	24,58	3,87	38-39	1 ½	-20,22	3,19
63-64	1 ½	8,48	1,34	47-48	1 ½	-7,14	1,13
60-61	1 ½	41,12	6,48	48-49	1 ½	-7,14	1,13
53-54	1 ½	15,26	2,4	49-50	1 ½	-7,14	1,13
54-55	1 ½	15,26	2,4	46-47	1 ½	-7,14	1,13
59-60	1 ½	41,12	6,48	43-44	1 ½	-11,87	1,87
85-j	1 ½	0	0	44-45	1 ½	-11,87	1,87
b-78	1 ½	-0,01	0	45-R	1 ½	-11,87	1,87
78-79	1 ½	-0,01	0	32-33	1 ½	-22,24	3,51
84-85	1 ½	0	0	30-O	1 ½	-12,53	1,98
86-87	1 ½	0	0	31-32	1 ½	-22,24	3,51
87-k	1 ½	0	0	34-35	1 ½	-22,24	3,51
e-84	1 ½	0	0	33-34	1 ½	-22,24	3,51
81-82	1 ½	0	0	35-P	1 ½	-22,24	3,51
d-80	1 ½	0	0	Q-R	2	89,03	8,51
a-b	1 ½	0	0	O-P	2	-34	3,25
80-81	1 ½	0	0	L-M	2	-7,05	0,67
79-h	1 ½	0	0	M-N	2	-13,74	1,31
82-83	1 ½	0	0	c-d	2	0	0
83-i	1 ½	0	0	b-c	2	0	0
G-41	1 ½	-11,87	1,87	e-f	2	0	0
H-46	1 ½	-7,14	1,13	d-e	2	0	0
I-51	1 ½	15,26	2,4	U-V	2	44,9	4,29
F-36	1 ½	-20,22	3,19	A-B	2	7,05	0,67
C-17	1 ½	-7,73	1,22	R-S	2	77,15	7,38
D-25	1 ½	-12,53	1,98	S-T	2	70,01	6,69

**Tabla 26.** Estado de las líneas de la red. Tercer piso. Continuación.

ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)	ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)
E-31	1 ½	-22,24	3,51	N-O	2	-21,47	2,05
76-77	1 ½	0	0	P-W	2	-56,25	5,38
77-g	1 ½	0	0	H-I	2	95,48	9,13
f-86	1 ½	0	0	G-H	2	88,34	8,45
a-76	1 ½	0	0	J-K	2	39,1	3,74
J-59	1 ½	41,12	6,48	I-J	2	80,22	7,67
K-68	1 ½	39,1	6,16	D-E	2	34	3,25
5-6	1 ½	-7,05	1,11	C-D	2	21,47	2,05
27-28	1 ½	-12,53	1,98	F-G	2	76,47	7,31
28-29	1 ½	-12,53	1,98	E-F	2	56,25	5,38
15-16	1 ½	-6,69	1,05	i-j	2	0	0
26-27	1 ½	-12,53	1,98	h-i	2	0	0
22-23	1 ½	-7,73	1,22	W-Q	2	109,25	10,45
23-24	1 ½	-7,73	1,22	j-k	2	0	0
25-26	1 ½	-12,53	1,98	B-C	2	13,74	1,31
8-L	1 ½	-7,05	1,11	T-U	2	85,27	8,15
16-M	1 ½	-6,69	1,05	g-h	2	0	0
24-N	1 ½	-7,73	1,22	X-B"	2 ½	165,49	11,09
29-30	1 ½	-12,53	1,98	W-X	2 ½	-165,49	11,09
14-15	1 ½	-6,69	1,05	x-c	2 ½	0	0

- ♦ Segundo piso.

**Tabla 27.** Rociadores en el área más remota hidráulicamente. Segundo piso.

Identificación de rociador.	Caudal de descarga del rociador (gpm)	Presión (PSI)
Nudo 54	16	8,16
Nudo 53	16,06	8,23
Nudo 55	16,08	8,25
Nudo 56	16,45	8,63
Nudo 52	17,05	9,27
Nudo 63	17,21	9,44
Nudo 64	17,24	9,48
Nudo 62	17,31	9,55
Nudo 65	17,64	9,93
Nudo 61	17,85	10,16

**Tabla 28.** Estado de los nodos de la red. Segundo piso.

ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)	ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)
Nudo 1	0	18,87	Nudo 41	0	16,6
Nudo 2	0	18,93	Nudo 42	0	14,78
Nudo 3	0	18,99	Nudo 43	0	14,61
Nudo 4	0	19,05	Nudo 44	0	14,45
Nudo 5	0	19,11	Nudo 45	0	14,28
Nudo 6	0	18,88	Nudo 46	0	14,11
Nudo 7	0	18,94	Nudo 47	0	13,93
Nudo 8	0	19	Nudo 48	0	13,75
Nudo 9	0	19,06	Nudo 49	0	13,57
Nudo 10	0	19,12	Nudo 50	0	13,19
Nudo 11	0	18,84	Nudo 51	0	11,99

**Tabla 28.** Estado de los nodos de la red. Segundo piso. Continuación.

ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)	ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)
Nudo 12	0	18,93	Nudo 52	17,05	9,27
Nudo 13	0	19,01	Nudo 53	16,06	8,23
Nudo 14	0	19,09	Nudo 54	16	8,16
Nudo 15	0	19,18	Nudo 55	16,08	8,25
Nudo 16	0	19,32	Nudo 56	16,45	8,63
Nudo 17	0	18,8	Nudo 57	0	10,64
Nudo 18	0	19	Nudo 58	0	11,57
Nudo 19	0	19,2	Nudo 59	0	13,15
Nudo 20	0	19,4	Nudo 60	0	11,65
Nudo 21	0	19,59	Nudo 61	17,85	10,16
Nudo 22	0	18,63	Nudo 62	17,31	9,55
Nudo 23	0	18,97	Nudo 63	17,21	9,44
Nudo 24	0	19,3	Nudo 64	17,24	9,48
Nudo 25	0	19,63	Nudo 65	17,64	9,93
Nudo 26	0	19,97	Nudo 66	0	11,21
Nudo 27	0	18,17	Nudo 67	0	23,44
Nudo 28	0	18,47	Nudo 68	0	23,44
Nudo 29	0	18,77	Nudo 69	0	23,44
Nudo 30	0	19,08	Nudo 70	0	23,44
Nudo 31	0	19,38	Nudo 71	0	23,44
Nudo 32	0	17,31	Nudo 72	0	23,44
Nudo 33	0	17,4	Nudo 73	0	23,44
Nudo 34	0	17,61	Nudo 74	0	23,44
Nudo 35	0	17,83	Nudo 75	0	23,44
Nudo 36	0	17,91	Nudo 76	0	23,44
Nudo 37	0	16,23	Nudo 77	0	23,44
Nudo 38	0	16,32	Nudo 78	0	23,44
Nudo 39	0	16,42	Nudo B"	-168.9	28,56
Nudo 40	0	16,51			

**Tabla 29.** Estado de las líneas de la red. Segundo piso.

ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)	ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)
78-k	1 ¼	0	0	B-6	1 ½	-8,32	1,31
77-78	1 ¼	0	0	1-2	1 ½	-8,13	1,28
71-72	1 ¼	0	0	2-3	1 ½	-8,13	1,28
72-73	1 ¼	0	0	3-4	1 ½	-8,13	1,28
f-77	1 ¼	0	0	9-10	1 ½	-8,32	1,31
e-75	1 ¼	0	0	10-M	1 ½	-8,32	1,31
76-j	1 ¼	0	0	C-11	1 ½	-9,72	1,53
75-76	1 ¼	0	0	6-7	1 ½	-8,32	1,31
d-71	1 ¼	0	0	7-8	1 ½	-8,32	1,31
67-68	1 ¼	0	0	8-9	1 ½	-8,32	1,31
a-67	1 ¼	0	0	30-31	1 ½	-19,63	3,09
b-69	1 ¼	0	0	35-36	1 ½	-10,73	1,69
68-g	1 ¼	0	0	29-30	1 ½	-19,63	3,09
74-i	1 ¼	0	0	H-37	1 ½	-10,35	1,63
73-74	1 ¼	0	0	28-29	1 ½	-19,63	3,09
70-h	1 ¼	0	0	33-34	1 ½	-10,73	1,69
69-70	1 ¼	0	0	34-35	1 ½	-10,73	1,69
46-47	1 ½	14,22	2,24	32-33	1 ½	-10,73	1,69
J-50	1 ½	42,43	6,69	31-Q	1 ½	-19,63	3,09
47-48	1 ½	14,22	2,24	G-32	1 ½	-10,73	1,69
49-T	1 ½	14,22	2,24	25-26	1 ½	-20,63	3,25
48-49	1 ½	14,22	2,24	E-22	1 ½	-20,63	3,25
45-46	1 ½	14,22	2,24	24-25	1 ½	-20,63	3,25
41-S	1 ½	-10,35	1,63	22-23	1 ½	-20,63	3,25
36-R	1 ½	-10,73	1,69	23-24	1 ½	-20,63	3,25
39-40	1 ½	-10,35	1,63	F-27	1 ½	-19,63	3,09
40-41	1 ½	-10,35	1,63	27-28	1 ½	-19,63	3,09
43-44	1 ½	14,22	2,24	37-38	1 ½	-10,35	1,63

**Tabla 29.** Estado de las líneas de la red. Segundo piso. Continuación.

ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)	ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)
44-45	1 ½	14,22	2,24	26-P	1 ½	-20,63	3,25
I-42	1 ½	14,22	2,24	38-39	1 ½	-10,35	1,63
42-43	1 ½	14,22	2,24	c-d	2	0	0
50-51	1 ½	42,43	6,69	e-d	2	0	0
61-62	1 ½	28,56	4,5	g-h	2	0	0
62-63	1 ½	11,26	1,77	f-e	2	0	0
59-60	1 ½	46,41	7,31	a-b	2	0	0
60-61	1 ½	46,41	7,31	b-c	2	0	0
63-64	1 ½	-5,95	0,94	h-i	2	0	0
66-V	1 ½	-40,84	6,44	i-j	2	0	0
A-1	1 ½	-8,13	1,28	j-k	2	0	0
64-65	1 ½	-23,19	3,65	T-U	2	80,05	7,65
65-66	1 ½	-40,84	6,44	R-S	2	76,19	7,28
53-54	1 ½	9,32	1,47	U-V	2	40,84	3,9
54-55	1 ½	-6,68	1,05	B-C	2	16,45	1,57
51-52	1 ½	42,43	6,69	A-B	2	8,13	0,78
52-53	1 ½	25,38	4	P-W	2	-62,35	5,96
55-56	1 ½	-22,77	3,59	L-M	2	-8,13	0,78
58-U	1 ½	-39,22	6,18	W-Q	2	106,54	10,19
K-59	1 ½	46,41	7,31	Q-R	2	86,91	8,31
56-57	1 ½	-39,22	6,18	O-P	2	-41,73	3,99
57-58	1 ½	-39,22	6,18	C-D	2	26,17	2,5
14-15	1 ½	-9,72	1,53	J-K	2	46,41	4,44
15-16	1 ½	-9,72	1,53	I-J	2	88,85	8,49
16-N	1 ½	-9,72	1,53	S-T	2	65,84	6,29
11-12	1 ½	-9,72	1,53	M-N	2	-16,45	1,57
12-13	1 ½	-9,72	1,53	N-O	2	-26,17	2,5
13-14	1 ½	-9,72	1,53	F-G	2	81,98	7,84

**Tabla 29.** Estado de las líneas de la red. Segundo piso. Continuación.

ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)	ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)
19-20	1 ½	-15,56	2,45	E-F	2	62,35	5,96
20-21	1 ½	-15,56	2,45	D-E	2	41,73	3,99
21-O	1 ½	-15,56	2,45	H-I	2	103,06	9,85
D-17	1 ½	-15,56	2,45	G-H	2	92,71	8,86
17-18	1 ½	-15,56	2,45	X-B"	2 ½	168,9	11,32
18-19	1 ½	-15,56	2,45	W-X	2 ½	-168,9	11,32
4-5	1 ½	-8,13	1,28	x-c	2 ½	0	0
5-L	1 ½	-8,13	1,28				

- ♦ Primer piso.

**Tabla 30.** Rociadores en el área más remota hidráulicamente. Primer piso.

Identificación de rociador.	Caudal de descarga del rociador (gpm)	Presión (PSI)
Nudo 72	16	8,17
Nudo 71	16,06	8,23
Nudo 73	16,11	8,27
Nudo 74	16,52	8,7
Nudo 70	16,99	9,2
Nudo 80	17,05	9,27
Nudo 81	17,08	9,31
Nudo 79	17,15	9,37
Nudo 82	17,49	9,76
Nudo 78	17,7	9,99

**Tabla 31.** Estado de los nodos de la red. Primer piso.

ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)	ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)
Nudo 1	0	18,85	Nudo 45	0	18,05
Nudo 2	0	18,88	Nudo 46	0	18,35
Nudo 3	0	18,98	Nudo 47	0	18,64
Nudo 4	0	19	Nudo 48	0	18,93
Nudo 5	0	19,1	Nudo 49	0	19,22
Nudo 6	0	19,14	Nudo 50	0	17,09
Nudo 7	0	18,85	Nudo 51	0	17,19
Nudo 8	0	18,88	Nudo 52	0	17,38
Nudo 9	0	18,92	Nudo 53	0	17,57
Nudo 10	0	18,96	Nudo 54	0	17,65
Nudo 11	0	18,99	Nudo 55	0	16,02
Nudo 12	0	19,03	Nudo 56	0	16,11
Nudo 13	0	19,09	Nudo 57	0	16,19
Nudo 14	0	19,14	Nudo 58	0	16,27
Nudo 15	0	18,8	Nudo 59	0	16,35
Nudo 16	0	18,84	Nudo 60	0	14,61
Nudo 17	0	18,89	Nudo 61	0	14,43
Nudo 18	0	18,93	Nudo 62	0	14,25
Nudo 19	0	18,97	Nudo 63	0	14,07
Nudo 20	0	19,02	Nudo 64	0	13,88
Nudo 21	0	19,07	Nudo 65	0	13,69
Nudo 22	0	19,13	Nudo 66	0	13,51
Nudo 23	0	19,18	Nudo 67	0	13,33
Nudo 24	0	18,75	Nudo 68	0	13,09
Nudo 25	0	18,79	Nudo 69	0	11,8
Nudo 26	0	18,84	Nudo 70	16,99	9,2
Nudo 27	0	18,88	Nudo 71	16,06	8,23
Nudo 28	0	18,95	Nudo 72	16	8,17
Nudo 29	0	19,06	Nudo 73	16,11	8,27

**Tabla 31.** Estado de los nodos de la red. Primer piso. Continuación.

ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)	ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)
Nudo 30	0	19,1	Nudo 74	16,52	8,7
Nudo 31	0	19,23	Nudo 75	0	11,15
Nudo 32	0	19,28	Nudo 76	0	13,04
Nudo 33	0	18,74	Nudo 77	0	11,51
Nudo 34	0	18,93	Nudo 78	17,7	9,99
Nudo 35	0	19,16	Nudo 79	17,15	9,37
Nudo 36	0	19,36	Nudo 80	17,05	9,27
Nudo 37	0	19,69	Nudo 81	17,08	9,31
Nudo 38	0	20	Nudo 82	17,49	9,76
Nudo 39	0	18,63	Nudo 83	0	10,93
Nudo 40	0	19,01	Nudo 84	0	23,54
Nudo 41	0	19,28	Nudo 85	0	23,54
Nudo 42	0	19,66	Nudo 86	0	23,54
Nudo 43	0	20	Nudo B"	-168.14	29,56
Nudo 44	0	20,32			

**Tabla 32.** Estado de las líneas de la red. Primer piso.

ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)	ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)
84-85	1	0	0	20-21	1 ½	-6,85	1,08
85-c	1	0	0	14-N	1 ½	-6,18	0,97
a-b	1	0	0	24-25	1 ½	-7,04	1,11
b-84	1	0	0	25-26	1 ½	-7,04	1,11
e-86	1	0	0	26-27	1 ½	-7,04	1,11
a-e	1	0	0	D-24	1 ½	-7,04	1,11
d-c	1	0	0	23-O	1 ½	-6,85	1,08
86-d	1	0	0	B-7	1 ½	-6,18	0,97
58-59	1 ½	-9,42	1,48	C-15	1 ½	-6,85	1,08

**Tabla 32.** Estado de las líneas de la red. Primer piso. Continuación.

ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)	ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)
59-U	1 ½	-9,42	1,48	4-5	1 ½	-5,85	0,92
J-60	1 ½	14,53	2,29	7-8	1 ½	-6,18	0,97
55-56	1 ½	-9,42	1,48	8-9	1 ½	-6,18	0,97
56-57	1 ½	-9,42	1,48	5-6	1 ½	-5,85	0,92
57-58	1 ½	-9,42	1,48	1-2	1 ½	-5,85	0,92
63-64	1 ½	14,53	2,29	2-3	1 ½	-5,85	0,92
64-65	1 ½	14,53	2,29	3-4	1 ½	-5,85	0,92
65-66	1 ½	14,53	2,29	9-10	1 ½	-6,18	0,97
60-61	1 ½	14,53	2,29	15-16	1 ½	-6,85	1,08
61-62	1 ½	14,53	2,29	16-17	1 ½	-6,85	1,08
62-63	1 ½	14,53	2,29	17-18	1 ½	-6,85	1,08
I-55	1 ½	-9,42	1,48	13-14	1 ½	-6,18	0,97
47-48	1 ½	-18,66	2,94	10-11	1 ½	-6,18	0,97
48-49	1 ½	-18,66	2,94	11-12	1 ½	-6,18	0,97
49-S	1 ½	-18,66	2,94	12-13	1 ½	-6,18	0,97
G-45	1 ½	-18,66	2,94	33-34	1 ½	-16,22	2,56
45-46	1 ½	-18,66	2,94	40-41	1 ½	-21,34	3,36
46-47	1 ½	-18,66	2,94	41-42	1 ½	-21,34	3,36
52-53	1 ½	-10,1	1,59	E-33	1 ½	-16,22	2,56
53-54	1 ½	-10,1	1,59	42-43	1 ½	-21,34	3,36
54-T	1 ½	-10,1	1,59	35-36	1 ½	-16,22	2,56
H-50	1 ½	-10,1	1,59	38-Q	1 ½	-16,22	2,56
50-51	1 ½	-10,1	1,59	34-35	1 ½	-16,22	2,56
51-52	1 ½	-10,1	1,59	39-40	1 ½	-21,34	3,36
66-67	1 ½	14,53	2,29	F-39	1 ½	-21,34	3,36
81-82	1 ½	-23,28	3,67	27-28	1 ½	-7,04	1,11
82-83	1 ½	-40,78	6,43	32-P	1 ½	-7,04	1,11
83-Z	1 ½	-40,78	6,43	44-R	1 ½	-21,34	3,36

**Tabla 32.** Estado de las líneas de la red. Primer piso. Continuación.

ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)	ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)
78-79	1 ½	27,99	4,41	43-44	1 ½	-21,34	3,36
79-80	1 ½	10,85	1,71	31-32	1 ½	-7,04	1,11
80-81	1 ½	-6,2	0,98	T-U	2	75,91	7,26
36-37	1 ½	-16,22	2,56	H-I	2	92,23	8,82
37-38	1 ½	-16,22	2,56	S-T	2	86,01	8,22
X-a	1 ½	0	0	Q-R	2	-42,13	4,03
29-30	1 ½	-7,04	1,11	G-H	2	82,13	7,85
30-31	1 ½	-7,04	1,11	R-W	2	-63,47	6,07
28-29	1 ½	-7,04	1,11	F-G	2	63,47	6,07
77-78	1 ½	45,69	7,2	W-S	2	104,67	10,01
69-70	1 ½	41,43	6,53	C-D	2	18,87	1,8
70-71	1 ½	24,45	3,85	B-C	2	12,03	1,15
71-72	1 ½	8,38	1,32	A-B	2	5,85	0,56
67-V	1 ½	14,53	2,29	O-P	2	-18,87	1,8
K-68	1 ½	41,43	6,53	U-V	2	66,49	6,36
68-69	1 ½	41,43	6,53	J-K	2	87,13	8,33
75-Y	1 ½	-40,24	6,34	K-L	2	45,69	4,37
L-76	1 ½	45,69	7,2	N-O	2	-12,03	1,15
76-77	1 ½	45,69	7,2	P-Q	2	-25,91	2,48
72-73	1 ½	-7,62	1,2	D-E	2	25,91	2,48
73-74	1 ½	-23,73	3,74	E-F	2	42,13	4,03
74-75	1 ½	-40,24	6,34	I-J	2	101,65	9,72
22-23	1 ½	-6,85	1,08	V-Y	2	81,02	7,75
A-1	1 ½	-5,85	0,92	M-N	2	-5,85	0,56
6-M	1 ½	-5,85	0,92	Y-Z	2	40,78	3,9
21-22	1 ½	-6,85	1,08	X-B"	2 ½	-168,14	11,27
18-19	1 ½	-6,85	1,08	W-X	2 ½	-168,14	11,27
19-20	1 ½	-6,85	1,08				

- ◆ Sótano.

**Tabla 33.** Rociadores en el área más remota hidráulicamente. Sótano.

Identificación de rociador.	Caudal de descarga del rociador (gpm)	Presión (PSI)
Nudo 1	16	8,16
Nudo 2	16	8,16
Nudo 6	16,02	8,18
Nudo 3	16,05	8,22
Nudo 7	16,1	8,27
Nudo 8	16,3	8,48
Nudo 4	16,66	8,85
Nudo 9	17,06	9,28
Nudo 5	17,29	9,53
Nudo 10	17,54	9,81

**Tabla 34.** Estado de los nodos de la red. Sótano.

ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)	ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)
Nudo 1	16	8,16	Nudo 33	0	21,29
Nudo 2	16	8,16	Nudo 34	0	21,29
Nudo 3	16,05	8,22	Nudo 35	0	21,29
Nudo 4	16,66	8,85	Nudo 36	0	21,29
Nudo 5	17,29	9,53	Nudo 37	0	21,29
Nudo 6	16,02	8,18	Nudo 38	0	21,29
Nudo 7	16,1	8,27	Nudo 39	0	21,29
Nudo 8	16,3	8,48	Nudo 40	0	21,29
Nudo 9	17,06	9,28	Nudo 41	0	21,29
Nudo 10	17,54	9,81	Nudo 42	0	22,05
Nudo 11	0	19,81	Nudo 43	0	22,05

**Tabla 34.** Estado de los nodos de la red. Sótano. Continuación.

ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)	ID Nudo	Caudal (gpm)	Presión (PSI)
Nudo 12	0	19,81	Nudo 44	0	22,05
Nudo 13	0	19,81	Nudo 45	0	22,05
Nudo 14	0	19,81	Nudo 46	0	22,05
Nudo 15	0	19,81	Nudo 47	0	22,05
Nudo 16	0	19,81	Nudo 48	0	22,05
Nudo 17	0	19,81	Nudo 49	0	17,08
Nudo 18	0	19,81	Nudo 50	0	17,08
Nudo 19	0	19,81	Nudo 51	0	17,08
Nudo 20	0	19,81	Nudo 52	0	17,08
Nudo 21	0	19,81	Nudo 53	0	24,11
Nudo 22	0	19,81	Nudo 54	0	24,11
Nudo 23	0	19,81	Nudo 55	0	24,11
Nudo 24	0	19,81	Nudo 56	0	24,11
Nudo 25	0	19,81	Nudo 57	0	24,11
Nudo 26	0	19,81	Nudo 58	0	24,11
Nudo 27	0	19,81	Nudo 59	0	24,11
Nudo 28	0	19,81	Nudo 60	0	24,11
Nudo 29	0	21,29	Nudo 61	0	24,11
Nudo 30	0	21,29	Nudo 62	0	24,11
Nudo 31	0	21,29	Nudo B"	-165.02	25,95
Nudo 32	0	21,29			

**Tabla 35.** Estado de las líneas de la red. Sótano.

ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)	ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)
51-52	1 ¼	0	0	61-62	1 ½	0	0
52-c	1 ¼	0	0	d*-59	1 ½	0	0
b-49	1 ¼	0	0	59-60	1 ½	0	0

**Tabla 35.** Estado de las líneas de la red. Sótano. Continuación.

ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)	ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)
a-50	1 ¼	0	0	60-i*	1 ½	0	0
49-d	1 ¼	0	0	g*-h*	2	0	0
hh-a	1 ¼	0	0	h*-i*	2	0	0
50-51	1 ¼	0	0	k*-d*	2	0	0
d-c	1 ¼	0	0	c*-k*	2	0	0
b-hh	1 ¼	0	0	i*-j*	2	0	0
5-I	1 ½	-70,71	11,14	f*-g*	2	0	0
20-M	1 ½	0	0	b*-c*	2	0	0
16-L	1 ½	0	0	a*-b*	2	0	0
45-46	1 ½	0	0	3-4	2	-36,76	3,52
26-O	1 ½	0	0	d*-e*	2	0	0
G-23	1 ½	0	0	Z-Y	2	0	0
F-21	1 ½	0	0	32-33	2	0	0
b*-55	1 ½	0	0	33-34	2	0	0
55-56	1 ½	0	0	31-32	2	0	0
D-13	1 ½	0	0	35-Q	2	0	0
54-f*	1 ½	0	0	30-31	2	0	0
E17	1 ½	0	0	39-40	2	0	0
a*-53	1 ½	0	0	40-41	2	0	0
53-54	1 ½	0	0	38-39	2	0	0
48-Z	1 ½	0	0	34-35	2	0	0
T-36	1 ½	0	0	37-38	2	0	0
47-48	1 ½	0	0	aa-W	2	0	0
U-42	1 ½	0	0	4-5	2	-53,42	5,11
42-43	1 ½	0	0	V-aa	2	0	0
43-44	1 ½	0	0	41-R	2	0	0
44-Y	1 ½	0	0	aa-U	2	0	0
22-N	1 ½	0	0	A-B	2 ½	-11,29	0,76

**Tabla 35.** Estado de las líneas de la red. Sótano. Continuación.

ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)	ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)
28-P	1 ½	0	0	C-D	2 ½	0	0
H-27	1 ½	0	0	A-1	2 ½	11,29	0,76
ff-hh	1 ½	0	0	B-6	2 ½	-11,29	0,76
S-29	1 ½	0	0	7-8	2 ½	-43,41	2,91
46-47	1 ½	0	0	8-9	2 ½	-59,71	4
V-45	1 ½	0	0	9-10	2 ½	-76,77	5,14
12-K	1 ½	0	0	1-2	2 ½	-4,71	0,32
13-14	1 ½	0	0	2-3	2 ½	-20,71	1,39
25-26	1 ½	0	0	6-7	2 ½	-27,3	1,83
24-25	1 ½	0	0	dd-N	2 ½	0	0
27-28	1 ½	0	0	R-Q	2 ½	0	0
62-j*	1 ½	0	0	M-dd	2 ½	0	0
11-12	1 ½	0	0	N-O	2 ½	0	0
29-30	1 ½	0	0	O-P	2 ½	0	0
17-18	1 ½	0	0	gg-ff	2 ½	-165,02	11,06
15-16	1 ½	0	0	bb-ee	2 ½	0	0
14-15	1 ½	0	0	dd-cc	2 ½	0	0
18-19	1 ½	0	0	S-ee	2 ½	0	0
23-24	1 ½	0	0	ee-T	2 ½	0	0
21-22	1 ½	0	0	G-H	2 ½	0	0
19-20	1 ½	0	0	K-L	2 ½	0	0
I-gg	1 ½	-70,71	11,14	F-G	2 ½	0	0
c*-57	1 ½	0	0	D-E	2 ½	0	0
57-58	1 ½	0	0	E-F	2 ½	0	0
gg-J	1 ½	94,31	14,86	cc-ff	2 ½	165,02	11,06
C-11	1 ½	0	0	L-M	2 ½	0	0
56-g*	1 ½	0	0	cc-bb	2 ½	-165,02	11,06
10-J	1 ½	-94,31	14,86	W-N*	3	165,02	7,16

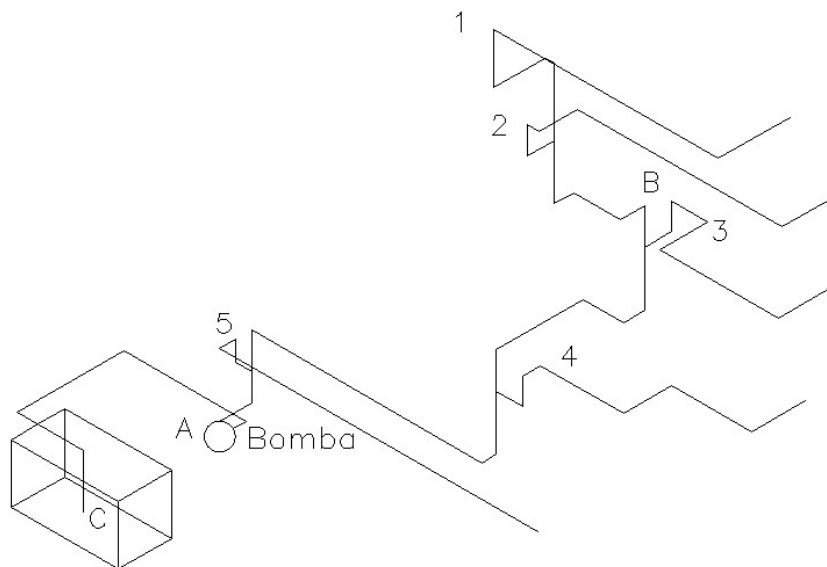
**Tabla 35.** Estado de las líneas de la red. Sótano. Continuación.

ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)	ID Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Caudal (gpm)	Velocidad (pies/s)
58-h*	1 ½	0	0	N*-B''	3	-165,02	7,16
36-37	1 ½	0	0	N*-K*	3	0	0
e*-61	1 ½	0	0	bb-W	3	165,02	7,16

El diseño de la redes propuestas ofrecen para el área más remota hidráulicamente y para toda la red una descarga uniforme, cumpliendo así con los requerimientos de diseño.

❖ Diseño de la tubería de alimentación. La distribución y localización de la tubería de alimentación fue realizada y sometida después a revisión por parte de los departamentos de Planta Física y Planeación de la Universidad Industrial de Santander, obteniéndose visto bueno por parte de estas divisiones.

**Figura 23.** Isométrico tubería de alimentación del sistema de rociadores.



La presión en los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 de la figura anterior son las presiones en los puntos de entrada a las redes de los diferentes pisos obtenidas por medio del software EPANET.

- ◆ Cuarto piso.

$Q_{\text{entrada}} = 163 \text{ gpm.}$

**Tabla 36.** Longitud equivalente de la tubería de alimentación. Cuarto piso.

Tramo	Diámetro nominal (pulg.)	Longitud (pies)	Accesorios	Longitud equivalente (pies)	Pérdidas por fricción (PSI)
1-B	2 ½	39,7	2 Tes	100,7	9,83
			6 Codos		
			1 Vál. compuerta		
B-A	2	82,18	4 Tes	209,18	48,53
			9 Codos		
			1 Vál. compuerta		
			1 Vál. cheque		
			1 Vál. de control		

**Tabla 37.** Presión en los puntos de la tubería de alimentación. Cuarto piso.

Punto	Presión (PSI)
1	23,82
B	42,81
A	104,34

- ♦ Tercer piso.

$Q_{\text{entrada}} = 166 \text{ gpm.}$

**Tabla 38.** Longitud equivalente de la tubería de alimentación. Tercer piso.

Tramo	Diámetro nominal (pulg.)	Longitud (pies)	Accesorios	Longitud equivalente (pies)	Pérdidas por fricción (PSI)
2-B	2 ½	29,1	2 Tes	90,1	9,1
			6 Codos		
			1 Vál. compuerta		
B-A	2	82,18	4 Tes	237,18	50,19
			9 Codos		
			1 Vál. compuerta		
			1 Vál. cheque		
			1 Vál. de control		

**Tabla 39.** Presión en los puntos de la tubería de alimentación. Tercer piso.

Punto	Presión (PSI)
2	26,24
B	39,67
A	102,87

- ♦ Segundo piso.

$Q_{\text{entrada}} = 169 \text{ gpm.}$

**Tabla 40.** Longitud equivalente de la tubería de alimentación. Segundo piso.

Tramo	Diámetro nominal (pulg.)	Longitud (pies)	Accesorios	Longitud equivalente (pies)	Pérdidas por fricción (PSI)
3-A	2	83	5 Tes	249	54,81
			9 Codos		
			2 Vál. compuerta		
			1 Vál. cheque		
			1 Vál. de control		

**Tabla 41.** Presión en los puntos de la tubería de alimentación. Segundo piso.

Punto	Presión (PSI)
3	28,78
A	96,1

- ♦ Primer piso.

$Q_{\text{entrada}} = 168 \text{ gpm.}$

**Tabla 42.** Longitud equivalente de la tubería de alimentación. Primer piso.

Tramo	Diámetro nominal (pulg.)	Longitud (pies)	Accesorios	Longitud equivalente (pies)	Pérdidas por fricción (PSI)
4-A	2	53,64	4 Tes	189,64	39,65
			5 Codos		
			2 Vál. de compuerta		
			1 Vál. cheque		
			1 Vál. de control		

**Tabla 43.** Presión en los puntos de la tubería de alimentación. Primer piso.

Punto	Presión (PSI)
4	27,87
A	86,94

- ♦ Sótano.

$Q_{\text{entrada}} = 165 \text{ gpm.}$

**Tabla 44.** Longitud equivalente de la tubería de alimentación. Sótano.

Tramo	Diámetro nominal (pulg.)	Longitud (pies)	Accesorios	Longitud equivalente (pies)	Pérdidas por fricción (PSI)
5-A	2	13,61	3 Tes	129,61	24,11
			3 Codos		
			2 Vál. de compuerta		
			1 Vál. cheque		
			1 Vál. de control		

**Tabla 45.** Presión en los puntos de la tubería de alimentación. Sótano.

Punto	Presión (PSI)
5	52,47
A	79,05

- ❖ Diseño de la tubería de succión.

**Tabla 46.** Longitud equivalente de la tubería de succión.

Tramo	Diámetro nominal (pulg.)	Longitud (pies)	Accesorios	Longitud equivalente (pies)
A-C	4	63,65	1 Te	199,65
			5 Codos	
			1 Vál. de pie	

**Tabla 47.** Pérdidas por fricción en la succión.

Piso	Caudal (gpm)	Pérdidas por fricción (PSI)
Cuarto	163	1,8
Tercero	166	1,86
Segundo	169	1,93
Primero	168	1,91
Sótano	165	1,84

- ♦ Cálculo de NPSH. Para el cálculo del NPSH se utiliza el valor de las pérdidas por fricción para el mayor caudal.

$$NPSH = \frac{P_a}{\rho * g} - \frac{P_v}{\rho * g} + Z_s - h_{fs}$$

Donde,

$P_a = 91,992 \text{ KPa}$

$P_{v@20C} = 2,339 \text{ KPa}$

$Z_s = -1 \text{ m}$

$h_{fs} = 1,93 \text{ PSI} = 1,36 \text{ m.c.a}$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Obteniéndose el siguiente resultado:

$$NPSH_d = \frac{91992}{9800} - \frac{2339}{9800} - 1 - 1,36$$

$$NPSH_d = 6,79 \text{ m} = 22,27 \text{ pies}$$

❖ Cálculo de la cabeza dinámica total. ( $H_T$ )

$$H_T = H_{\text{estática}} + H_{\text{dinámica}}$$

$$H_{\text{estática}} = Z_{\text{descarga}} + P_{\text{descarga}} - Z_{\text{succión}}$$

$$H_{\text{dinámica}} = h_f \text{ succión} + h_f \text{ descarga}$$

Se realizó el cálculo de la cabeza dinámica total para todos los pisos obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 48.** Cabeza dinámica total por piso.

Piso	Caudal (gpm)	$Z_{\text{descarga}}$ (m)	$Z_{\text{succión}}$ (m)	$P_{\text{descarga}}$ (m)	$h_f \text{ descarga}$ (m)	$h_f \text{ succión}$ (m)	$H_T$ (m)
Cuarto	163	15,6	-1	16,76	41,06	1,27	75,69
Tercero	166	12,2	-1	18,46	41,72	1,31	74,69
Segundo	169	8,8	-1	20,25	38,56	1,36	69,97
Primero	168	5,4	-1	27,87	27,89	1,34	63,5
Sótano	165	1,75	-1	36,91	16,96	1,29	57,91

❖ Selección de la bomba. Para la selección de la bomba se realizaron las curvas del sistema para los diferentes pisos y se tomaron como criterios de selección los requerimientos de cabeza y caudal presentados en el tercer piso.

Las características de la bomba seleccionada son las siguientes:

- ✓ Modelo: D-824 Monobloc
- ✓ Dimensiones Succión/Descarga: 2 ½ " / 1 ½ " Rosca NPT
- ✓ Capacidad: 166 gpm
- ✓ TDH: 265 pies
- ✓ Eficiencia: 62,6 %
- ✓ Velocidad: 3550 rpm
- ✓ NPSH<sub>R</sub>: 11,7 pies
- ✓ Diámetro del impulsor: 8"
- ✓ Potencia: 20 HP

Figura 24. Curvas del sistema. Sistema de rociadores.

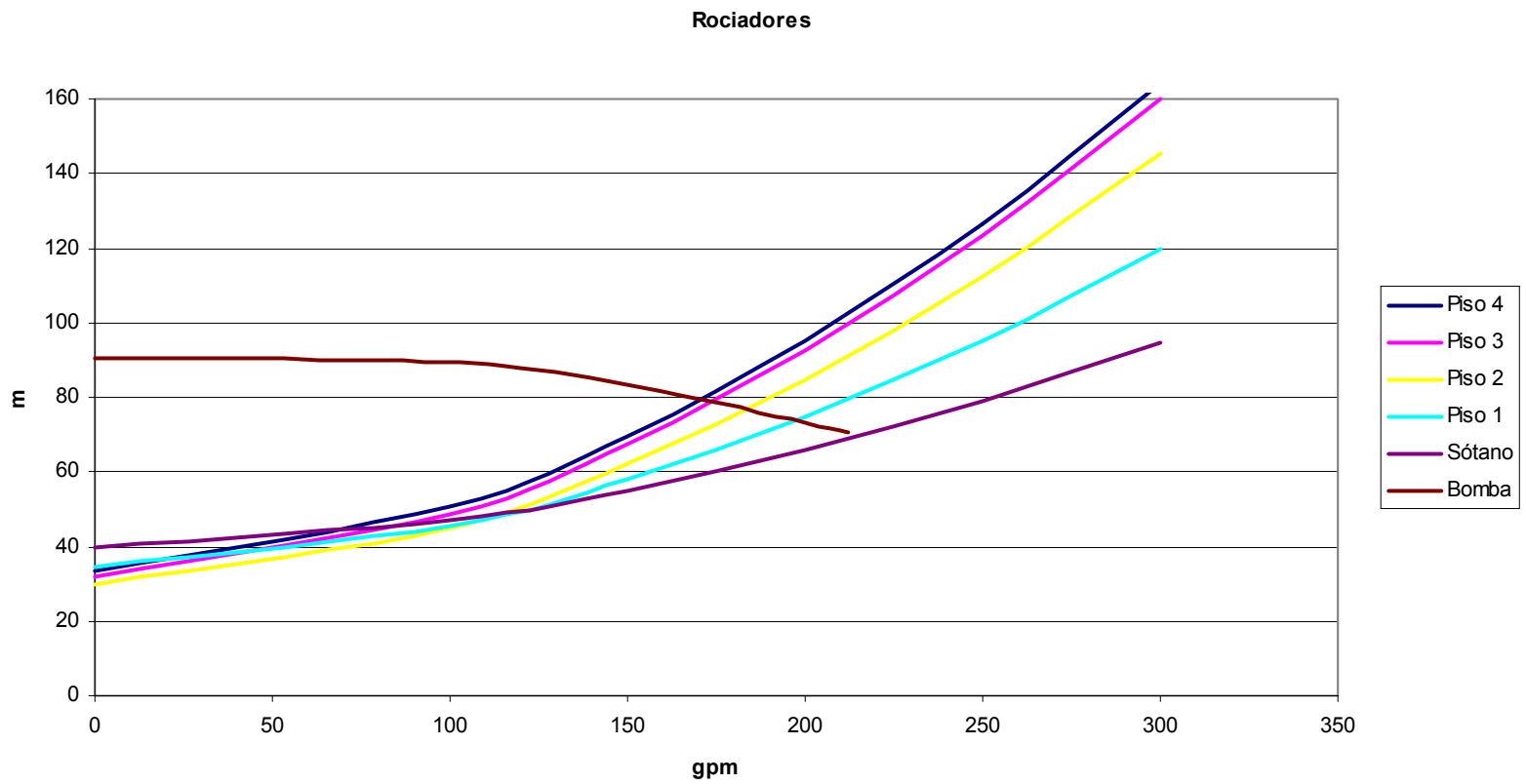
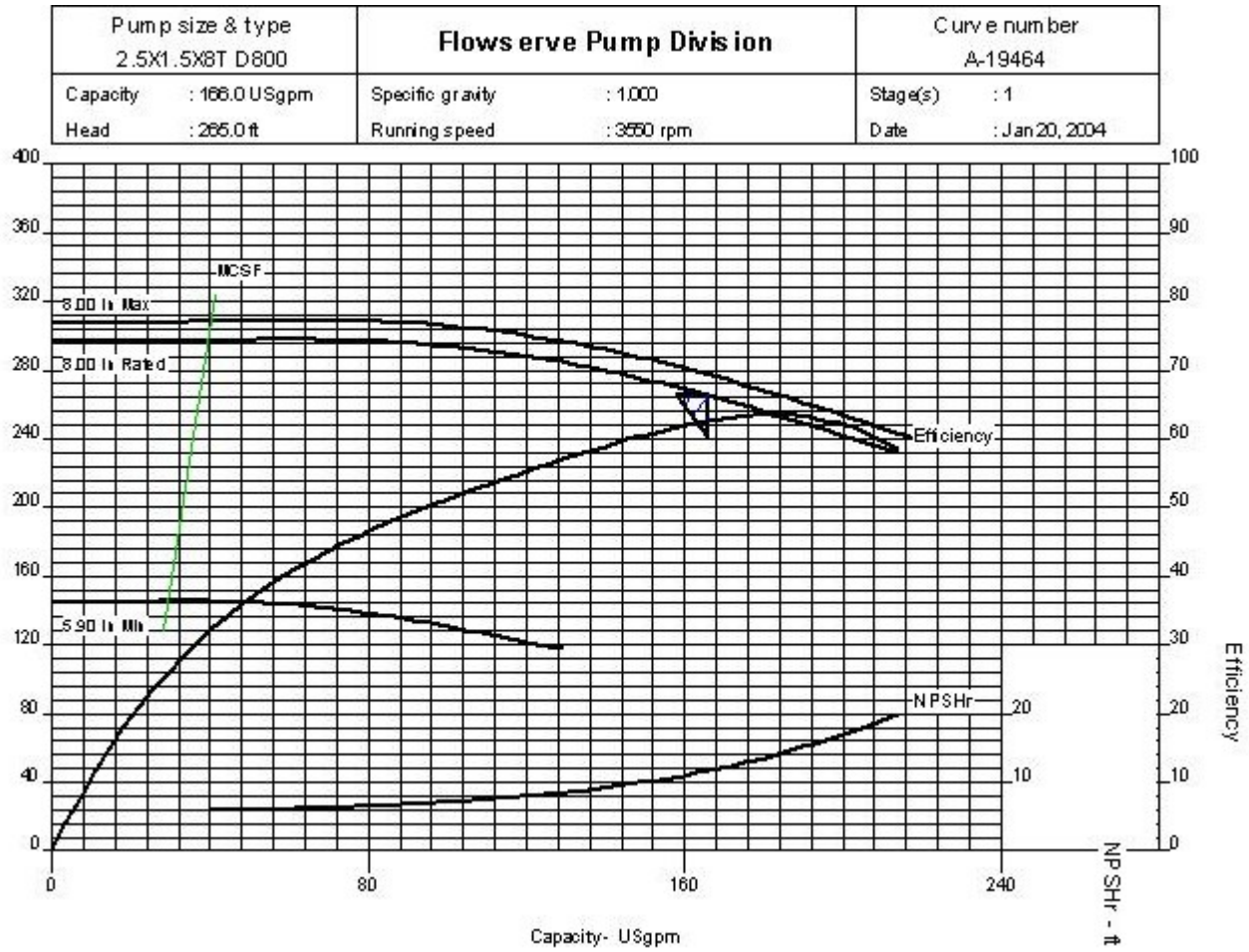


Figura 25. Curvas de desempeño de la bomba D-824 2 1/2 "X1 1/2 "X8" .



- ❖ Selección de bomba jockey.
- ✓ Modelo: PK 200 Monobloc
- ✓ Dimensiones Succión/Descarga: 1"/1" Rosca NPT
- ✓ Capacidad: 1,3 gpm
- ✓ TDH: 279 pies
- ✓ Velocidad: 3550 rpm
- ✓ NPSH<sub>R</sub>: 3,9 pies
- ✓ Potencia: 2 HP
  
- ❖ Arranque y control. Para la bomba principal del sistema de rociadores se debe instalar un arrancador tipo estrella-triángulo, y para la bomba jockey un arrancador directo. Deben ubicarse cerca y a la vista del motor que controlan.

Los circuitos de control tendrán un suiche actuado por presión (presóstato) con posibilidades de calibrar los puntos de alta y baja separadamente, para los efectos de arranque automático por caída de presión. Cada bomba tendrá su línea sensora de presión individual.

Los puntos de encendido y apagado para la bomba principal son 100 PSI y 130 PSI respectivamente, y para la bomba jockey 110 PSI y 130 PSI.

❖ Selección de la válvula de control. El método más aceptado para determinar el tamaño de la válvula de control es calcular el coeficiente de flujo de la válvula ( $C_v$ ).

♦ Cálculo de  $C_v$ . Este coeficiente depende de las dimensiones internas, del tipo, diámetro y grado de apertura de la válvula. La fórmula básica del cálculo de  $C_v$  para líquidos es:

$$C_v = \frac{Q}{\sqrt{\Delta P/S}}$$

donde:

Q = Caudal en gpm

$\Delta P$  = Pérdida de carga en la válvula en PSI

S = Densidad relativa a 15 C

Para la selección de la válvula de control se realizó el cálculo del  $C_{v \text{ máx}}$  y  $C_{v \text{ mín}}$  de acuerdo a los caudales máximo y mínimo a los que trabajará el sistema, que serían respectivamente 40 y 170 gpm.

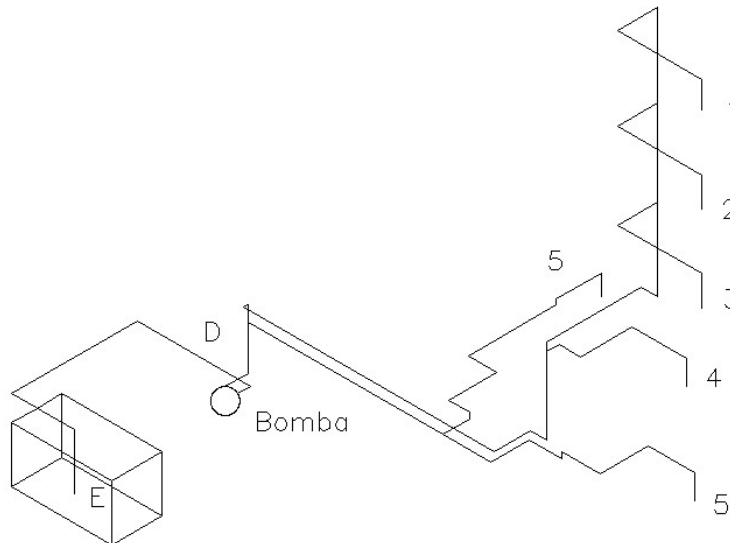
$$C_{v \text{ mín}} = \frac{40}{\sqrt{128 - 60}} = 4,85$$

$$C_{v \text{ máx}} = \frac{170}{\sqrt{115 - 109}} = 69,4$$

## A.2 SISTEMA DE GABINETES

❖ Ubicación de los gabinetes. Fue ubicado un gabinete por cada piso, a excepción del sótano donde se situaron dos gabinetes. Para ver la localización de los gabinetes en los diferentes pisos se pueden consultar los planos anexos.

**Figura 26.** Isométrico tubería de alimentación del sistema de gabinetes.



❖ Diseño de la tubería de alimentación. La distribución y localización de la tubería de alimentación fue realizada y sometida después a revisión por parte de los departamentos de Planta Física y Planeación de la Universidad Industrial de Santander, obteniéndose visto bueno por parte de estas divisiones.

La presión en los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 de la figura anterior son las presiones en los puntos de entrada a los gabinetes en los diferentes pisos, establecidas por las diferentes normas de diseño.

- ◆ Cuarto piso.

$Q_n = 100$  gpm.

**Tabla 49.** Longitud equivalente de la tubería de alimentación. Cuarto piso.

Tramo	Diámetro nominal (pulg.)	Longitud (pies)	Accesorios	Longitud equivalente (pies)	Pérdidas por fricción (PSI)
1-D	3	128,67	4 Tes	289,67	3,98
			12 Codos		
			1 Vál. compuerta		
			1 Vál. cheque		

**Tabla 50.** Presión en los puntos de la tubería de alimentación. Cuarto piso.

Punto	Presión (PSI)
1	65
D	84,76

- ◆ Tercer piso.

$Q_n = 100$  gpm.

**Tabla 51.** Longitud equivalente de la tubería de alimentación. Tercer piso.

Tramo	Diámetro nominal (pulg.)	Longitud (pies)	Accesorios	Longitud equivalente (pies)	Pérdidas por fricción (PSI)
2-D	3	118,17	4 Tes	272,17	3,74
			11 Codos		
			1 Vál. compuerta		
			1 Vál. cheque		

**Tabla 52.** Presión en los puntos de la tubería de alimentación. Tercer piso.

Punto	Presión (PSI)
2	65
D	84,68

- ♦ Segundo piso.

$Q_n = 100$  gpm.

**Tabla 53.** Longitud equivalente de la tubería de alimentación. Segundo piso.

Tramo	Diámetro nominal (pulg.)	Longitud (pies)	Accesorios	Longitud equivalente (pies)	Pérdidas por fricción (PSI)
3-D	3	107,02	3 Tes	246,02	3,38
			11 Codos		
			1 Vál. compuerta		
			1 Vál. cheque		

**Tabla 54.** Presión en los puntos de la tubería de alimentación. Segundo piso.

Punto	Presión (PSI)
3	65
D	79,5

- ♦ Primer piso.

$Q_n = 100$  gpm.

**Tabla 55.** Longitud equivalente de la tubería de alimentación. Primer piso.

Tramo	Diámetro nominal (pulg.)	Longitud (pies)	Accesorios	Longitud equivalente (pies)	Pérdidas por fricción (PSI)
4-D	3	82,25	2 Tes	199,25	2,73
			10 Codos		
			1 Vál. compuerta		
			1 Vál. cheque		

**Tabla 56.** Presión en los puntos de la tubería de alimentación. Primer piso.

Punto	Presión (PSI)
4	65
D	74,01

- ♦ Sótano.

Qn = 100 gpm.

**Tabla 57.** Longitud equivalente de la tubería de alimentación. Sótano.

Tramo	Diámetro nominal (pulg.)	Longitud (pies)	Accesorios	Longitud equivalente (pies)	Pérdidas por fricción (PSI)
5-D	3	73,1	2 Tes	183,1	2,51
			9 Codos		
			1 Vál. compuerta		
			1 Vál. cheque		

**Tabla 58.** Presión en los puntos de la tubería de alimentación. Sótano.

Punto	Presión (PSI)
5	65
D	68,95

- ❖ Diseño de la tubería de succión.

**Tabla 59.** Longitud equivalente de la tubería de succión.

Tramo	Diámetro nominal (pulg.)	Longitud (pies)	Accesorios	Longitud equivalente (pies)
D-E	4	72,5	5 Codos	188,5
			1 Vál. de pie	

**Tabla 60.** Pérdidas por fricción en la succión.

Caudal (gpm)	Pérdidas por fricción (PSI)
100	0,69

- ♦ Cálculo de NPSH.

$$NPSH = \frac{Pa}{\rho * g} - \frac{Pv}{\rho * g} + Zs - h_{fs}$$

Donde,

$$Pa = 91,992 \text{ KPa}$$

$$Pv_{@20C} = 2,339 \text{ KPa}$$

$$Zs = -1 \text{ m}$$

$$h_{fs} = 0,69 \text{ PSI} = 0,48 \text{ m.c.a}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Obteniéndose el siguiente resultado:

$$NPSH_d = \frac{91992}{9800} - \frac{2339}{9800} - 1 - 0,48$$

$$NPSH_d = 7,67 \text{ m} = 25,16 \text{ pies}$$

- ❖ Cálculo de la cabeza dinámica total. ( $H_T$ )

$$H_T = H_{\text{estática}} + H_{\text{dinámica}}$$

$$H_{\text{estática}} = Z_{\text{descarga}} + P_{\text{descarga}} - Z_{\text{succión}}$$

$$H_{\text{dinámica}} = h_{f \text{ succión}} + h_{f \text{ descarga}}$$

Se realizó el cálculo de la cabeza dinámica total para todos los pisos obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 61.** Cabeza dinámica total por piso.

Piso	Caudal (gpm)	$Z_{\text{descarga}}$ (m)	$Z_{\text{succión}}$ (m)	$P_{\text{descarga}}$ (m)	$h_{f \text{ descarga}}$ (m)	$h_{f \text{ succión}}$ (m)	$H_T$ (m)
Cuarto	100	14,62	-1	45,73	2,8	0,48	64,63
Tercero	100	11,22	-1	45,73	2,63	0,48	61,06
Segundo	100	7,82	-1	45,73	2,38	0,48	57,41
Primero	100	4,42	-1	45,73	1,92	0,48	53,56
Sótano	100	1,02	-1	45,73	1,76	0,48	50

- ❖ Selección de la bomba. Para la selección de la bomba se realizaron las curvas del sistema para los diferentes pisos y se tomaron como criterios de selección los requerimientos de cabeza y caudal presentados en el cuarto piso.

Las características de la bomba seleccionada son las siguientes:

- ✓ Modelo: D-824 Monobloc

- ✓ Dimensiones Succión/Descarga: 2 ½ "/1 ½ " Rosca NPT
- ✓ Capacidad: 100 gpm
- ✓ TDH: 215 pies
- ✓ Eficiencia: 53,7 %
- ✓ Velocidad: 3550 rpm
- ✓ NPSH<sub>R</sub>: 7,1 pies
- ✓ Diámetro del impulsor: 7,3"
- ✓ Potencia: 15 HP
- ❖ Arranque y control. Para la bomba del sistema de gabinetes se debe instalar un arrancador tipo estrella-triángulo. Debe ubicarse cerca y a la vista del motor.

El circuito de control tendrá un suiche actuado por presión (presóstato) con posibilidades de calibrar los puntos de alta y baja separadamente, para los efectos de arranque automático por caída de presión.

Los puntos de encendido y apagado para la bomba son 80 PSI y 100 PSI respectivamente.

Figura 27. Curvas del sistema. Sistema de gabinetes.

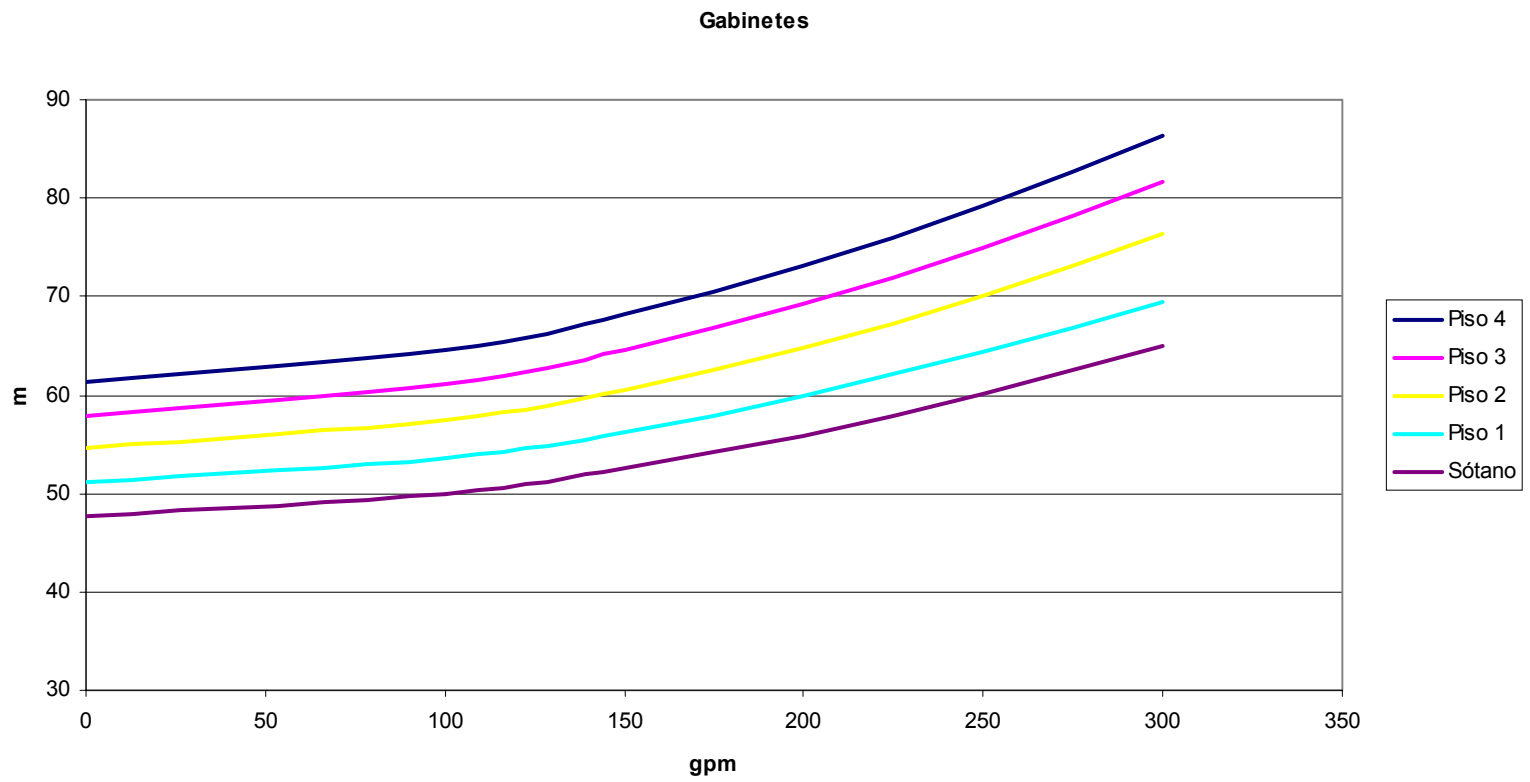
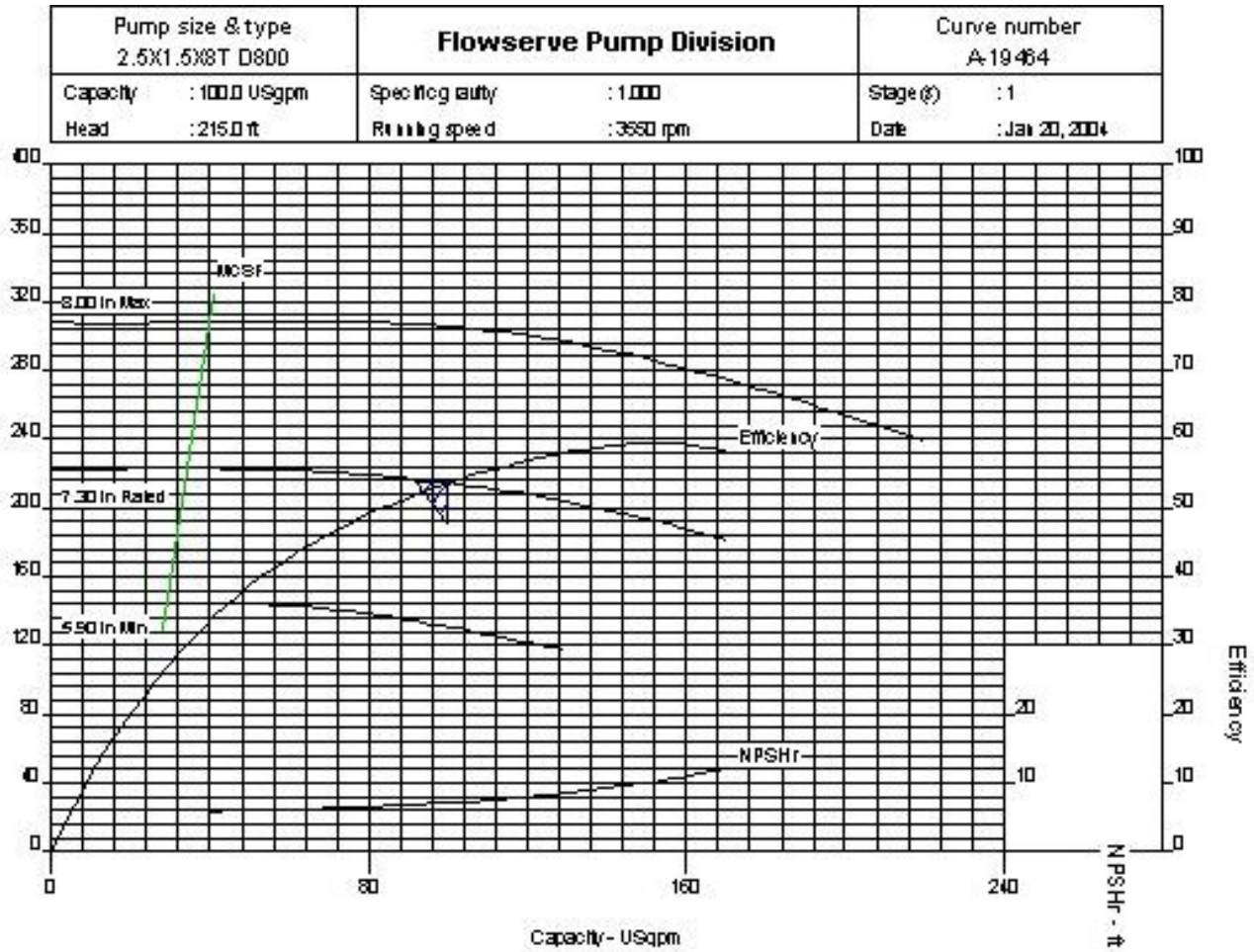


Figura 28. Curvas de desempeño de la bomba D-824 2 1/2 "X1 1/2 "X7,3".



### A.3 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

El procedimiento para el cálculo del volumen del tanque es el siguiente:

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= Q_{\text{rociadores}} + Q_{\text{gabinete}} \\ &= 169 + 100 = 269 \cong 300 \text{ gpm} \end{aligned}$$

Requisito de demanda para riesgo leve (t) = 30 min.

$$\begin{aligned} V_{\text{requerido}} &= Q * t \\ &= 300 * 30 \\ &= 9000 \text{ galones} = 34 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Para cumplir con los requerimientos de demanda se propone un tanque de almacenamiento de las siguientes dimensiones:

Ancho: 3 m.

Largo: 5 m.

Alto: 3 m.

Obteniéndose un volumen total de 45 m<sup>3</sup>.

### A.4 METODO DEL GRADIENTE

- ♦ Descripción matemática. El método del gradiente para el cálculo de redes de distribución de agua está basado en el hecho de que al tenerse un flujo permanente se garantiza que se cumplan las ecuaciones de conservación de la masa en cada uno de los nodos de la red y la ecuación de conservación

de la energía en cada uno de los circuitos de ésta. Por consiguiente, el método se basa en las siguientes dos condiciones:

- ♦ En cada nodo se debe cumplir la ecuación de continuidad:

$$\sum_{j=1}^{NTj} Q_{ij} - Q_{Di} + Q_{ei} = 0$$

- ♦ Debe haber relación no lineal entre las pérdidas por fricción y el caudal para cada uno de los tubos que conforman la red:

$$h_f = \alpha Q^n + \beta Q + \gamma$$

donde:

$h_f$  = pérdida de carga.

$Q$  = caudal.

$n$  = exponente que depende de la ecuación de fricción utilizada.

$\alpha, \beta, \gamma$  = parámetros característicos de la tubería, válvulas y bombas.

Para el método del gradiente hidráulico se hacen las siguientes definiciones adicionales:

NT = número de tuberías en la red.

NN = número de nodos con cabeza piezométrica desconocida.

[A12] = matriz de conectividad, asociada a cada uno de los nodos de la red.

Su dimensión es NT X NN con solo dos elementos diferentes de cero en la  $i$ -ésima fila:

-1 en la columna correspondiente al nodo inicial del tramo  $i$ .

1 en la columna correspondiente al nodo final del tramo  $i$ .

NS = número de nodos de cabeza fija o conocida.

[A10] = matriz topológica tramo a nodo para los NS nodos de cabeza fija. Su dimensión es NT X NS.

Teniendo en cuenta las anteriores definiciones, la pérdida de cabeza en cada tramo de tubería que conecte dos nodos de la red es:

$$[A11] [Q] + [A12] [H] = - [A10] [H_0]$$

donde:

[A11] = matriz diagonal de NT x NT definida como sigue:

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 Q_1^{(n1-1)} + \beta_1 + \frac{\gamma_1}{Q_1} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_2 Q_2^{(n2-1)} + \beta_2 + \frac{\gamma_2}{Q_2} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3 Q_3^{(n3-1)} + \beta_3 + \frac{\gamma_3}{Q_3} & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \alpha_{NT} Q_{NT}^{(nNT-1)} + \beta_{NT} + \frac{\gamma_{NT}}{Q_{NT}} \end{bmatrix}$$

[Q] = vector de caudales con dimensión NT x 1

[H] = vector de cabezas piezométricas desconocidas con dimensión NN x 1

[H<sub>0</sub>] = vector de cabezas piezométricas fijas con dimensión NS x 1

Es evidente que la ecuación anterior es una ecuación de conservación de energía. La ecuación de continuidad para todos los nodos de la red es:

$$[A21] [Q] = [q]$$

donde:

$[A21]$  = matriz transpuesta de  $[A12]$

$[q]$  = vector de consumo (demanda) o de entrada (oferta) en cada nodo de la red, con dimensión  $NN \times 1$

En forma compacta, las ecuaciones anteriores se pueden expresar en términos matriciales:

$$\begin{bmatrix} [A11] & [A12] \\ [A21] & [0] \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} [Q] \\ [H] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -[A10] & [H_0] \\ & [q] \end{bmatrix}$$

En esta última ecuación, la parte superior corresponde a la relación Q versus H y la parte inferior corresponde a la conservación de la masa en cada uno de los nodos. Dado que la parte superior es no lineal, la ecuación anterior no puede ser resuelta en forma directa. Es necesario utilizar algún algoritmo iterativo. El método del gradiente consiste en hacer una expansión truncada de Taylor. Al operar simultáneamente sobre el campo  $([Q], [H])$  y aplicar el operador gradiente se obtiene:

$$\begin{bmatrix} [N][A11] & [A12] \\ [A21] & [0] \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} [dQ] \\ [dH] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [dE] \\ [dq] \end{bmatrix} \quad (1)$$

donde:

$[N]$  = matriz diagonal  $(n1, n2, \dots, nNT)$  con dimensión  $NT \times NT$

$[A11]'$  = matriz con dimensión  $NT \times NT$  definida como:

$$[A11]' = \begin{bmatrix} \alpha_1 Q_1^{(n1-1)} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_2 Q_2^{(n2-1)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3 Q_3^{(n3-1)} & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \alpha_{NT} Q_{N1}^{(nNT-1)} \end{bmatrix}$$

En cualquier iteración  $i$ ,  $[dE]$  representa el desbalance de energía por unidad de peso (cabeza) en cada tubo y  $[dq]$  representa el desbalance de caudal en cada nodo. Estos desbalances están dados, respectivamente, por las siguientes ecuaciones:

$$[dE] = [A11] [Q] + [A12] [H] + [A10] [H_0]$$

y:

$$[dq] = [A21] [Q] - [q]$$

El objetivo del método del gradiente es solucionar el sistema descrito mediante la ecuación 1, teniendo en cuenta que para cada iteración es evidente que:

$$[dQ] = [Q_{i+1}] - [Q]$$

y:

$$[dH] = [H_{i+1}] - [H] \quad (2)$$

Obviamente, la solución puede calcularse resolviendo el siguiente sistema (teniendo en cuenta la ecuación 1):

$$\begin{bmatrix} [dQ] \\ [dH] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [N][A11] & [A12] \\ [A21] & [0] \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} [dE] \\ [dq] \end{bmatrix}$$

Recurriendo al álgebra matricial es posible calcular en forma explícita la matriz inversa del sistema representado en la ecuación anterior. Si se procede de esta manera y se introducen las ecuaciones anteriores, es posible demostrar que la solución de la ecuación 2 está dada por las siguientes dos ecuaciones:

$$[Q_{i+1}] = \{ [I] - ([N][A11]') - [A11] \} [Q_i] - \{ ([N][A11]')^{-1} ([A12][H_{i+1}] + [A10][H_0]) \}$$

$$[H_{i+1}] = \{ [A21] ([N][A11]')^{-1} [A12] \}^{-1} \{ [A21] ([N][A11]')^{-1} ([A11][Q_i] + [A10][H_0]) - ([A21][Q] - [q]) \} \quad (3)$$

Es posible describir la ecuación anterior como un sistema de ecuaciones lineales para las cabezas desconocidas  $[H_{i+1}]$  en la siguiente forma:

$$\{ [A21] ([N][A11]')^{-1} [A12] \} [H_{i+1}] = - \{ [A21] ([N][A11]')^{-1} ([A11][Q_i] + [A10][H_0]) - ([A21][Q] - [q]) \} \quad (4)$$

El planteamiento del método del gradiente es el sistema descrito mediante la ecuación 1. Los sistemas descritos por las ecuaciones 3 y 4 conforman la solución al problema.

- ♦ Descripción del proceso iterativo. Las ecuaciones 3 y 4 representan un sistema acoplado que debe ser resuelto en forma iterativa. El paso más complicado en cada iteración es la solución del sistema representado

mediante la ecuación 4, ya que se trata de un sistema de ecuaciones disperso, simétrico, lineal y definido positivamente con NN incógnitas: las cabezas piezométricas desconocidas  $[H_{i+1}]$  en los nodos de la red. Una vez se conoce este vector es posible calcular  $[Q_{i+1}]$  en forma explícita, mediante la ecuación 3. El proceso de solución se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Se suponen unos caudales iniciales en cada uno de los tubos de la red (no necesariamente balanceados, lo cual implica ahorro de tiempo).
2. Se resuelve el sistema representado por la ecuación 4 utilizando un método estándar para la solución de ecuaciones lineales simultáneas.
3. Con  $[H_{i+1}]$  calculado se utiliza la ecuación 3 para determinar  $[Q_{i+1}]$ .
4. Con este  $[Q_{i+1}]$  se vuelve a ensamblar el sistema 4 para encontrar un nuevo  $[H_{i+1}]$ .
5. El proceso se repite hasta que en dos iteraciones sucesivas  $[H_{i+1}] \approx [H_i]$ .

A partir de la segunda iteración, los sistemas representados por las ecuaciones 3 y 4 se simplifican, ya que se tendría lo siguiente:

$$([A21] [Q] - [q]) = 0$$

♦ Características especiales del método del gradiente. A continuación se presentan algunas de las características especiales que hacen del método del gradiente el mejor método de cálculo de redes, el cual podría ser incluido en un programa de diseño óptimo de este tipo de sistemas de tuberías. Algunas de dichas características se plantean comparándolas con las correspondientes al método de la teoría lineal, el método de cálculo de redes más ampliamente utilizado.

1. Se puede implementar un método de cálculo eficiente basado en el algoritmo del gradiente conjugado preconditionado con la factorización incompleta de Cholesky y el tratamiento de matrices dispersas.

2. El método de cálculo anterior garantiza la solución en máximo  $NN$  iteraciones.

3. La manipulación de las matrices dispersas típicas del método del gradiente reduce la memoria requerida y el tiempo de cálculo en el computador.

4. Todo lo anterior no es posible en el método de la teoría lineal ya que en éste el sistema que tiene que ser resuelto no es simétrico.

5. El método del gradiente resuelve un sistema de dimensión  $NN \times NN$ , mientras que el método de la teoría lineal resuelve un sistema de  $NT \times NT$ . Debido a que todos los casos  $NN < NT$ , el método del gradiente es más veloz y requiere menos memoria en el computador, aun utilizando el mismo algoritmo de solución. El sistema de ecuaciones que se monta puede llegar a ser un 50% menor en el caso de redes grandes.

6. El método del gradiente calcula y ajusta simultáneamente los caudales y las cabezas, ya que es el método más eficiente, esto reduce el número de iteraciones con respecto al método de la teoría lineal.

7. El método del gradiente no requiere la definición de caminos de energía o circuitos, lo cual implica que el número de datos que el usuario debe proporcionar al computador es menor, facilitándose así el manejo de los mismos.

Figura 29. Plano identificación rociadores. Cuarto piso.

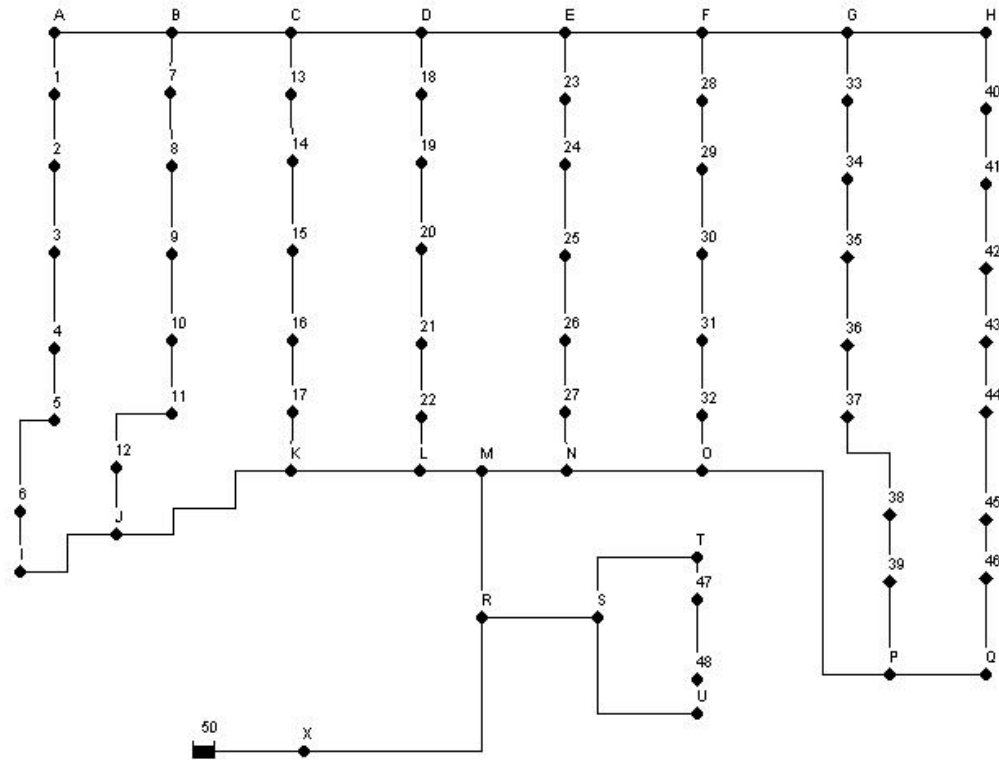


Figura 30. Plano identificación rociadores. Tercer piso.

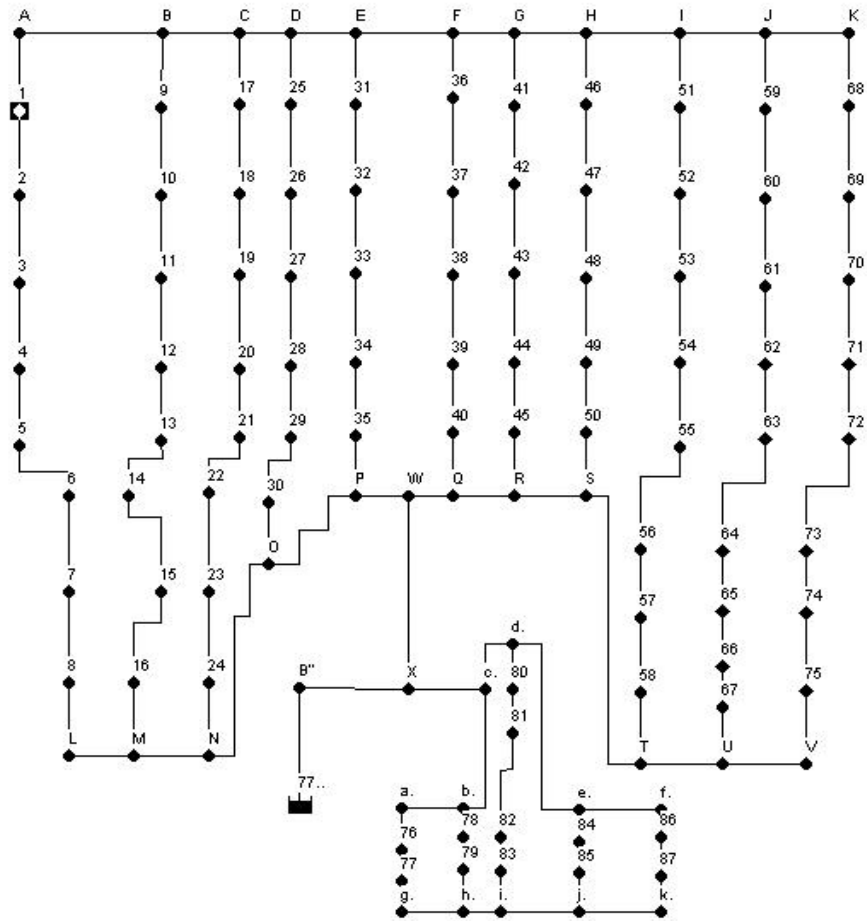


Figura 31. Plano identificación rociadores. Segundo piso.

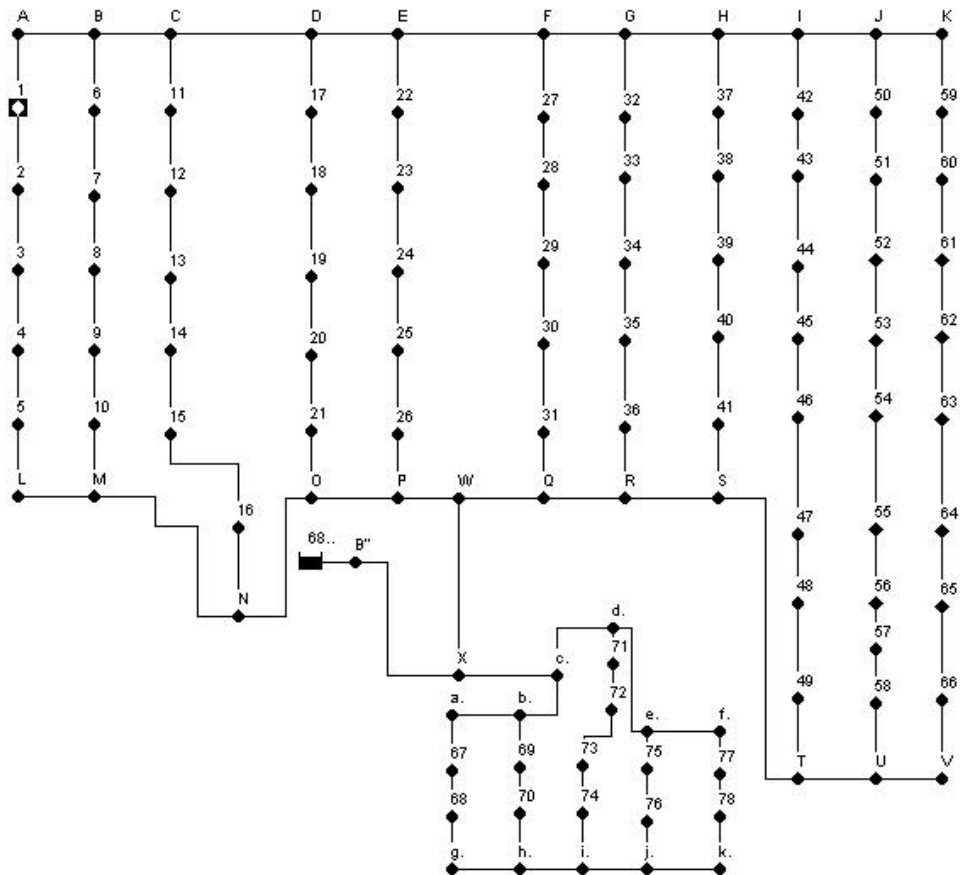


Figura 31. Plano identificación rociadores. Primer piso.

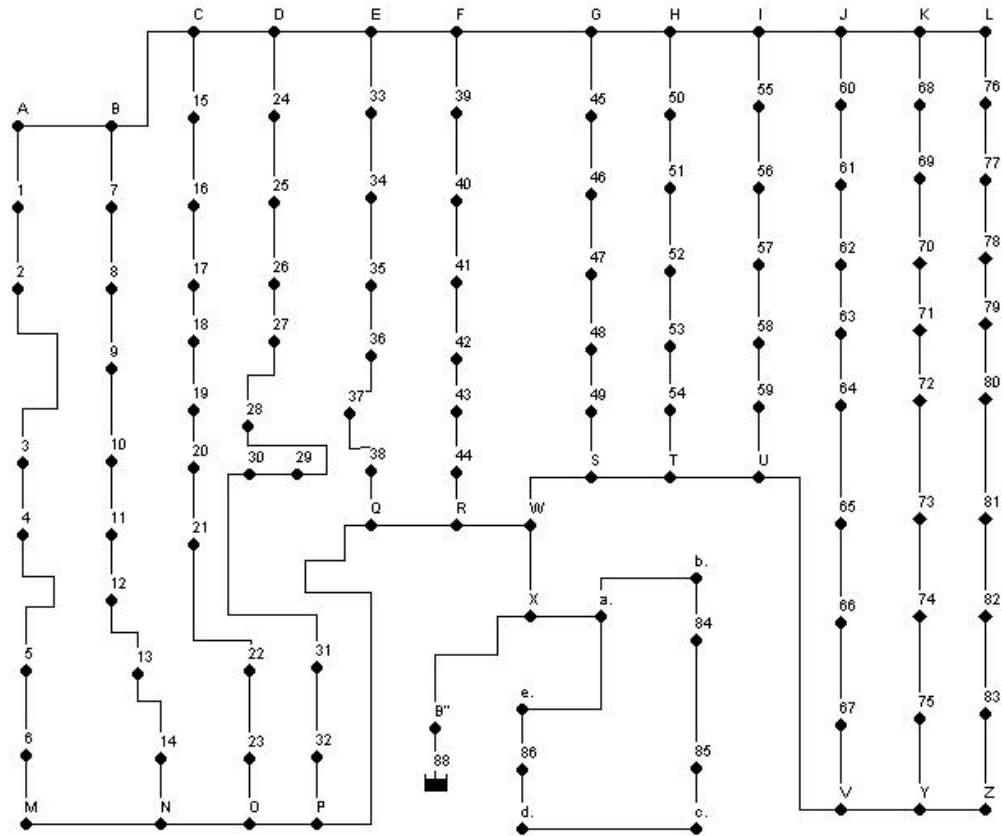
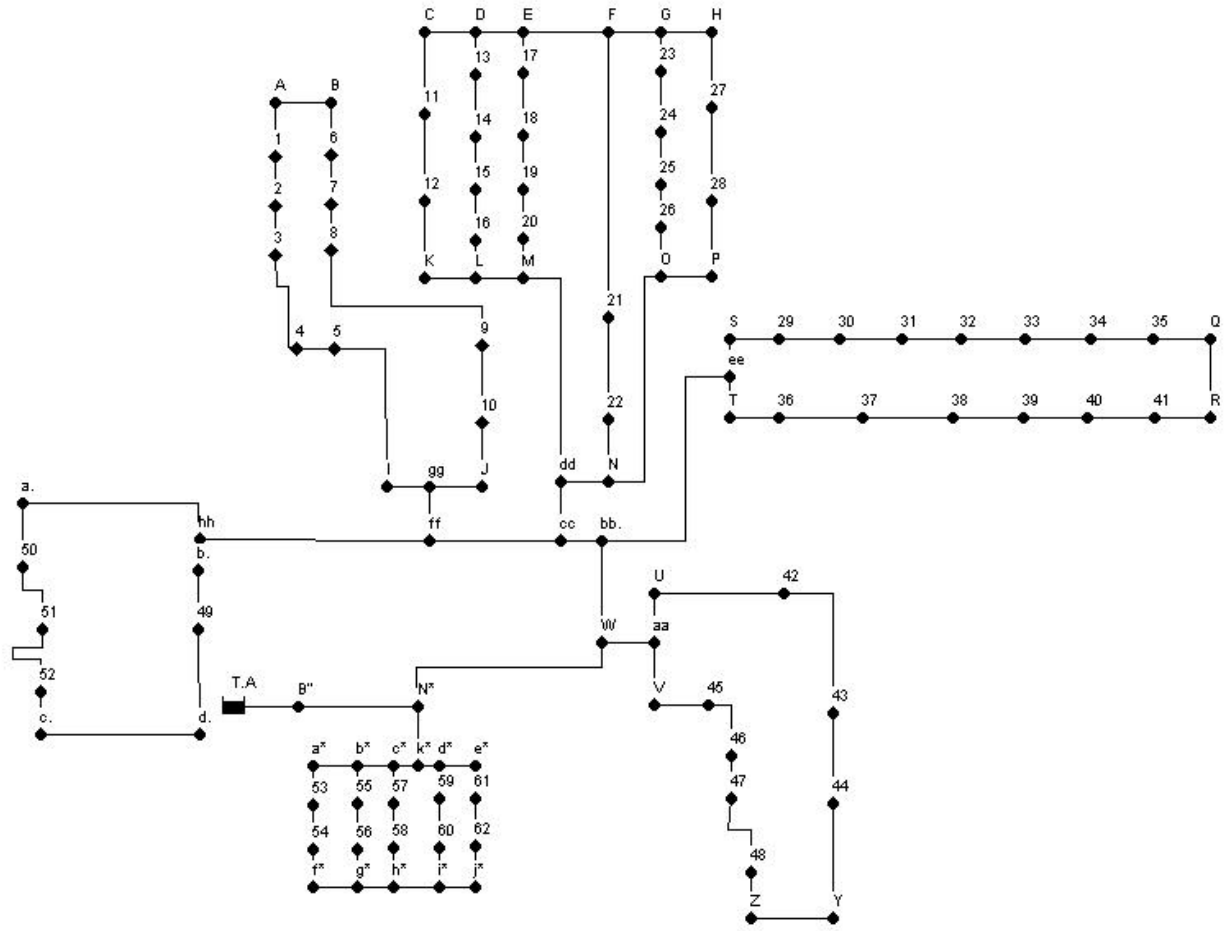


Figura 32. Plano identificación rociadores. Sótano.



## ANEXO B. FORMATO DE INSPECCION

<b>Piso</b> Sótano	<b>Área</b> 745 m <sup>2</sup>
<b>Zonas</b>	
1 <u>Canje bibliográfico</u>	6 _____
2 <u>Archivo histórico</u>	7 _____
3 <u>Cafetería</u>	8 _____
4 <u>Cuarto de máquinas</u>	9 _____
5 _____	10 _____
<b>Zona 1</b> Canje bibliográfico	
Uso <u>Almacenamiento de libros, tesis, periódicos y revistas.</u>	
<b>Contenido</b>	
<u>Estantes</u>	Cantidad <u>82</u>
<u>Sillas</u>	Cantidad <u>11</u>
<u>Escritorios</u>	Cantidad <u>5</u>
<u>Mesas</u>	Cantidad <u>3</u>
<u>Computador</u>	Cantidad <u>1</u>
<u>Máquina empacadora al vacío</u>	Cantidad <u>1</u>
<u>Archivador</u>	Cantidad <u>1</u>
_____	Cantidad _____
_____	Cantidad _____
_____	Cantidad _____
<b>Material de construcción</b>	
Puertas <u>Madera</u>	Ventanas <u>Vidrio común</u>
<b>Compartimentación</b>	<b>Número de Extintores</b>
Si <u>X</u> No _____	<u>4</u>
	<b>Altura techo-mat almacenado</b>
	<u>0.70</u> m
<b>Al final del día</b>	
Puertas cerradas	Luces apagadas
Si <u>X</u> No _____	Si <u>X</u> No _____
Basura eliminada	Equipo e' desconectado
Si _____ No <u>X</u>	Si <u>X</u> No _____
<b>Observaciones</b> <u>Cables eléctricos muy cerca del material almacenado sin protección.</u>	
<u>Existen cables eléctricos que atraviesan la zona de almacenamiento y sirven a otros edificios.</u>	

<b>Piso</b>	Sótano		
<b>Zona 2</b>	Archivo histórico.		
<b>Uso</b>	Almacenamiento de folios y expedientes.		
<i>Contenido</i>			
	Estantes	Cantidad	135
	Sillas	Cantidad	18
	Máquinas de microfilms	Cantidad	9
	Mesas	Cantidad	6
	Computador	Cantidad	2
	Escáner	Cantidad	1
	Impresora	Cantidad	1
		Cantidad	
		Cantidad	
		Cantidad	
<i>Material de construcción</i>			
	Puertas	Metálicas	Ventanas -
<i>Compartimentación</i>			
	Número de Extintores		Altura techo-mat almacenado
Si	X	No	2 0 m
<i>Al final del día</i>			
	Puertas cerradas	Luces apagadas	Basura eliminada
	Si X No	Si X No	Si No X
			Equipo e' desconectado
			Si X No
<i>Observaciones</i>			
El almacenamiento va hasta el techo. Existe hacinamiento entre los estantes. Existen láminas del cielorraso caídas y todo el cableado eléctrico está extendido sobre él sin cajas conduit. Se utiliza una lámpara portátil cuyo cable atraviesa la zona de almacenamiento. Cableado eléctrico en mal estado. Utilización de extensiones eléctricas las cuales están en contacto directo con material de almacenamiento.			





<b>Piso</b> Primero	<b>Área</b> 1320 m <sup>2</sup>
<b>Zonas</b>	
1 <u>Zona de lectura</u>	6 <u>Zona de acceso y entrega de libros</u>
2 <u>Oficinas administrativas</u>	7 <u>Cuarto aire acondicionado</u>
3 <u>Procesos técnicos y cuarto de Rack</u>	8 _____
4 <u>Zona de préstamo</u>	9 _____
5 <u>Zona de libros de reserva</u>	10 _____
<b>Zona 1</b> Zona de lectura	
Uso <u>Zona de estudio y lectura</u>	
<b>Contenido</b>	
<u>Sillas de madera</u>	Cantidad <u>430</u>
<u>Mesas de madera</u>	Cantidad <u>137</u>
<u>Fotocopiadora</u>	Cantidad <u>1</u>
_____	Cantidad _____
_____	Cantidad _____
_____	Cantidad _____
_____	Cantidad _____
_____	Cantidad _____
_____	Cantidad _____
_____	Cantidad _____
_____	Cantidad _____
<b>Material de construcción</b>	
Puertas <u>Vidrio común</u>	Ventanas <u>Vidrio común</u>
<b>Compartimentación</b>	<b>Número de Extintores</b>
Si <u>X</u> No _____	<u>1</u>
<b>Al final del día</b>	
Puertas cerradas	Luces apagadas
Si <u>X</u> No _____	Si <u>X</u> No _____
Basura eliminada	Equipo e' desconectado
Si _____ No <u>X</u>	Si <u>X</u> No _____
<b>Observaciones</b> <u>La separación con las otras zonas del mismo piso son divisiones de madera. El cielorraso es de icopor.</u>	

**Piso** Primero

**Zona 2** Oficinas administrativas  
Uso oficinas

*Contenido*

<u>Sillas</u>	<u>Cantidad</u>	<u>21</u>
<u>Escritorios</u>	<u>Cantidad</u>	<u>16</u>
<u>Archivadores</u>	<u>Cantidad</u>	<u>14</u>
<u>Estantes</u>	<u>Cantidad</u>	<u>10</u>
<u>Computadores</u>	<u>Cantidad</u>	<u>7</u>
<u>Mesas</u>	<u>Cantidad</u>	<u>5</u>
<u>Impresoras</u>	<u>Cantidad</u>	<u>4</u>
<u>Ventiladores</u>	<u>Cantidad</u>	<u>3</u>
<u>Equipo de sonido</u>	<u>Cantidad</u>	<u>1</u>
<u>Cafetera</u>	<u>Cantidad</u>	<u>1</u>
<u>Fax</u>	<u>Cantidad</u>	<u>1</u>

*Material de construcción*

Puertas Madera Ventanas Vidrio común

**Compartimentación** **Número de Extintores** **Altura techo-mat almacenado**  
Si X No        2       

*Al final del día*

**Puertas cerradas** **Luces apagadas** **Basura eliminada** **Equipo e' desconectado**  
Si X No        Si X No        Si        No X Si        No X

*Observaciones* Se encuentran cables eléctricos sobre las divisiones de madera, sin cajas conduit. Existe cableado eléctrico, telefónico y de redes fuera de servicio sin ser retirados de su ubicación. Las divisiones de separación entre las diferentes oficinas son de madera Tomacorrientes sin tapa.





**Piso** Primero

**Zona 5** Zona de libros de reserva

Uso Almacenamiento de libros

*Contenido*

<u>Estantes</u>	Cantidad	<u>7</u>
<u>Sillas</u>	Cantidad	<u>3</u>
<u>Ventiladores</u>	Cantidad	<u>2</u>
<u>Computadores</u>	Cantidad	<u>1</u>
<u>Impresoras</u>	Cantidad	<u>1</u>
<u>Lector de barras</u>	Cantidad	<u>1</u>
<u>Sensibilizador de libros</u>	Cantidad	<u>1</u>
<u>Escritorios</u>	Cantidad	<u>1</u>
	Cantidad	
	Cantidad	
	Cantidad	

*Material de construcción*

Puertas Madera Ventanas Vidrio común

Compartimentación          Número de Extintores          Altura techo-mat almacenado  
Si X No                                 0.54 m

*Al final del día*

Puertas cerradas          Luces apagadas          Basura eliminada          Equipo e' desconectado  
Si X No                 Si X No                 Si        No X          Si X No       

*Observaciones* \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_





<b>Piso</b> Segundo	<b>Área</b> 1400 m <sup>2</sup>
<b>Zonas</b>	
1 Zona de libros	6
2 Base de datos	7
3 Cubículos	8
4 Cuarto aire acondicionado	9
5	10
<b>Zona 1</b> Zona de libros	
Uso <u>Almacenamiento de libros, publicaciones periódicas y tesis</u>	
<b>Contenido</b>	
<u>Estantes metálicos</u>	Cantidad <u>226</u>
<u>Sillas de madera</u>	Cantidad <u>110</u>
<u>Mesas de madera</u>	Cantidad <u>59</u>
<u>Archivadores metálicos</u>	Cantidad <u>12</u>
<u>Escritorios metálicos</u>	Cantidad <u>9</u>
<u>Sillas modulares</u>	Cantidad <u>5</u>
<u>Computadores</u>	Cantidad <u>4</u>
<u>Ventilador</u>	Cantidad <u>1</u>
	Cantidad
	Cantidad
<b>Material de construcción</b>	
Puertas <u>1 madera - 1 vidrio común</u>	Ventanas <u>Vidrio común</u>
<b>Compartimentación</b>	
Si <u>X</u> No	Número de Extintores <u>3</u>
	Altura techo-mat almacenado <u>0.49</u> m
<b>Al final del día</b>	
Puertas cerradas Si <u>X</u> No	Luces apagadas Si <u>X</u> No
Basura eliminada Si No <u>X</u>	Equipo e' desconectado Si No <u>X</u>
<b>Observaciones</b> <u>Un extintor se encuentra en el suelo sin ninguna clase de sujeción.</u>	
<u>Algunos tomacorrientes se encuentran sin tapa. El cielorraso es de fibra de vidrio. Los cables eléctricos se encuentran extendidos sobre el cielorraso en todas las zonas del piso sin protección alguna, y poseen empalmes con mal aislamiento.</u>	









**Piso** Tercero

**Zona 2** Cubículos y videoteca

Uso Cuartos de lectura y estudio

*Contenido*

<u>Mesas de madera</u>	Cantidad	<u>26</u>
<u>Sillas de madera</u>	Cantidad	<u>22</u>
<u>Estantes metálicos</u>	Cantidad	<u>8</u>
<u>Lector de microfilms</u>	Cantidad	<u>7</u>
<u>Televisor</u>	Cantidad	<u>3</u>
<u>VHS</u>	Cantidad	<u>3</u>
<u>Grabadora</u>	Cantidad	<u>3</u>
<u>Archivadores metálicos</u>	Cantidad	<u>2</u>
<u>Equipo para diapositivas</u>	Cantidad	<u>1</u>
<u>Computador</u>	Cantidad	<u>1</u>

*Material de construcción*

Puertas Madera Ventanas Vidrio común

Compartimentación                      Número de Extintores                      Altura techo-mat almacenado

Si X No                             -                            

*Al final del día*

Puertas cerradas                      Luces apagadas                      Basura eliminada                      Equipo e' desconectado  
Si X No                             Si X No                             Si        No X                      Si        No X

*Observaciones* \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_





<b>Piso</b>	Cuarto	<b>Área</b>	725 m <sup>2</sup>
<b>Zonas</b>			
1	Zona de libros	6	
2	Libros vitrina	7	
3	Cuarto aire acondicionado	8	
4		9	
5		10	
<b>Zona 1</b> Zona de libros			
Uso <u>Almacenamiento de libros, publicaciones periódicas y tesis</u>			
<b>Contenido</b>			
	Estantes metálicos	Cantidad	200
	Sillas de madera	Cantidad	85
	Mesas de madera	Cantidad	47
	Computadores	Cantidad	3
	Escritorios metálicos	Cantidad	5
	Vitrinas metálicas	Cantidad	3
	Archivadores metálicos	Cantidad	3
	Sillas modulares	Cantidad	2
	Estante de madera	Cantidad	1
		Cantidad	
<b>Material de construcción</b>			
	Puertas <u>1 madera - 1 vidrio común</u>	Ventanas	<u>Vidrio común</u>
<b>Compartimentación</b>			
Si	<u>X</u>	No	
<b>Número de Extintores</b>		<b>Altura techo-mat almacenado</b>	
	<u>4</u>		<u>0.48</u> m
<b>Al final del día</b>			
Puertas cerradas	Luces apagadas	Basura eliminada	Equipo e' desconectado
Si <u>X</u> No	Si <u>X</u> No	Si No <u>X</u>	Si <u>X</u> No
<b>Observaciones</b> <u>Un extintor está detrás de un estante, no es visible y no se puede tener acceso fácilmente a él. Otro extintor se encuentra ubicado en el suelo junto a la puerta principal sin ninguna clase de sujeción. El cielorraso es de fibra de vidrio. Los cables eléctricos se encuentran extendidos sobre el cielorraso en todas las zonas del piso sin protección alguna, y poseen empalmes con mal aislamiento.</u>			





## ANEXO C. CÁLCULO DE LA CARGA COMBUSTIBLE.

Para obtener el cálculo de la carga combustible de la biblioteca central es necesario determinar el peso del combustible (kg.) que almacena el edificio; para esto se tomó como material combustible los libros, tesis, publicaciones periódicas, folios, periódicos y expedientes, ya que representan la mayor parte del contenido de la edificación.

Se utilizó el método estadístico de muestreo aleatorio estratificado con el fin de lograr determinar con exactitud la cantidad del peso combustible dentro de la biblioteca.

### ❖ Método estadístico de muestreo aleatorio estratificado.

El muestreo aleatorio estratificado, denominado también muestreo aleatorio restringido, es un método que permite una selección más eficiente cuando la característica que se investiga es de gran variabilidad. En una muestra aleatoria estratificada la población a investigar se divide en grupos relativamente homogéneos con relación a la característica en estudio. Estos grupos se denominan estratos, los estratos pueden o no estar compuestos del mismo número de unidades, por tal razón la fracción de muestreo puede variar de un estrato a otro.

Para el cálculo, en el muestreo aleatorio estratificado se utilizan varios métodos.

1. Muestras de igual tamaño, denominado también asignación igual y consiste en establecer el mismo número de unidades para cada estrato.
2. Muestras de asignación proporcional, donde los tamaños muestrales de cada estrato tendrán un número de unidades en forma proporcional a la de los estratos poblacionales.
3. Muestras de asignación óptima, cuyo tamaño estará determinado por los costos y el grado de variabilidad, en tal forma que el error de estimación sea mínimo para un costo total dado.

Se seleccionó como método a utilizar el de asignación proporcional debido a que el material almacenado en la biblioteca se podía clasificar fácilmente en estratos.

- ♦ Método de asignación proporcional.
- ✓ Tamaño de la muestra. Se define como el número de unidades que han de ser incluidas dentro de la muestra, de tal manera que los estimativos logrados presenten el menor sesgo posible, es decir, que los resultados sean casi iguales a los obtenidos si se calcularán tomando todas las unidades de la población o universo.

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}}$$

$$n_0 = \frac{Z^2 * \sum W_i * S_i^2}{d^2}$$

$$S^2 = \frac{\sum x^2 - (m * \bar{x}^2)}{m - 1}$$

$$W = \frac{m}{N}$$

Donde:

N: Tamaño poblacional.

n: Tamaño muestral.

$n_0$ : Primera aproximación.

d: Error de muestreo.

$S^2$ : Varianza poblacional.

Z: Nivel de confianza o riesgo.

W: Peso relativo.

x: variable a medir.

m: Tamaño del estrato.

Para aquellos casos en los cuales la varianza poblacional no se conoce se hace necesario estimarla mediante un premuestreo, sistema que consiste en la realización de una pequeña encuesta, cuyo tamaño por lo general se toma en forma arbitraria.

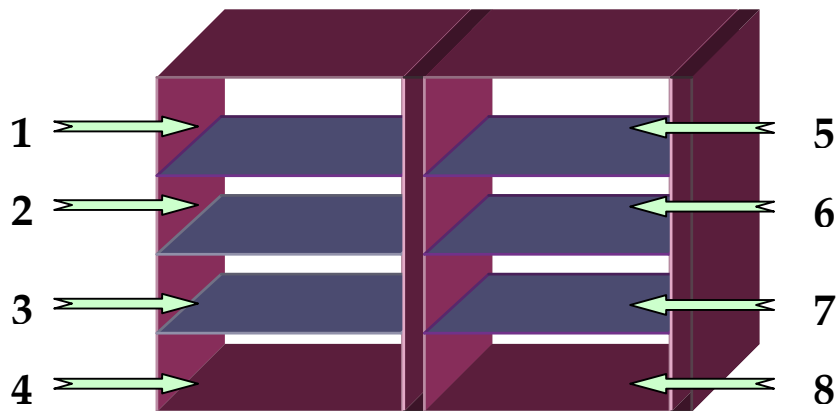
Para determinar el tamaño de la muestra por estrato ( $n_{e_i}$ ), se realiza la siguiente operación.

$$n_{e_i} = W_i * n$$

- ❖ Proceso de cálculo de la carga combustible.

En primera instancia, se enumeró cada una de las divisiones de los estantes utilizados en el almacenamiento del material bibliográfico piso por piso, como se muestra en la figura 33.

**Figura 33.** Esquema de numeración por estantes.



En total, se enumeraron 7166 divisiones de estantes que almacenan material en todo el edificio.

Con el objetivo de ser más representativos con el cálculo de la carga combustible por cada piso se clasificó el material de acuerdo a sus características físicas por estratos como se muestra en la Tabla 59 y se obtuvo el número de divisiones de estantes que correspondían a cada estrato, es decir, el tamaño del estrato (m).

**Tabla 62.** Material almacenado por piso.

<b>Piso</b>	<b>Estrato de Almacenamiento</b>	<b>Divisiones de estantes correspondientes (m)</b>
4to.	Libros	1063
	Tesis	59
	Publicaciones Periódicas	460
3ro.	Libros	1787
	Tesis	349
2do.	Libros	1509
	Tesis	30
	Publicaciones Periódicas	182
1ro.	Libros	45
Sótano	Libros	690
	Tesis	260
	Periódicos	92
	Folios	159
	Expedientes	482

Al aplicar el método estadístico elegido se inicia con un muestreo; el propósito es obtener el número de divisiones de estantes que se pesarán en el muestreo. El número de muestras utilizadas para el muestreo fue de 50 muestras por piso tomadas aleatoriamente, a excepción de la zona de reserva del primer piso debido a su bajo número de divisiones de estantes; para cada estrato de almacenamiento se asignó un número de muestras dependiendo del porcentaje de divisiones de estantes que representa el estrato en cada piso, con lo que se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 63.** Datos del muestreo.

Piso	Estrato de Almacenamiento	Porcentaje por estrato	Nro. de divisiones de estantes a pesar	Peso promedio de Premuestra (Kg.)
4to.	Libros	67%	33	13.9
	Publicaciones Periódicas	29%	15	16.6
	Tesis	4%	2	27
3ro.	Libros	84%	42	19.8
	Tesis	16%	8	24.1
2do.	Libros	88%	44	20.7
	Publicaciones Periódicas	10%	5	27.4
	Tesis	2%	1	23
1ro.	Libros	-	12	12.32
Sótano	Libros	41%	20	31.15
	Expedientes	29%	16	44.87
	Tesis	15%	7	27
	Folios	9%	4	26.78
	Periódicos	6%	3	28

A partir de estos valores y a los parámetros asignados para el muestreo expuestos en la Tabla 61, se obtiene por medio de la aplicación de la metodología del muestreo aleatorio estratificado el número de muestras a tomar por piso para realizar el muestreo.

**Tabla 64.** Parámetros estipulados para el muestreo.

Parámetros del muestreo
Nivel de confiabilidad 95%
Error de la muestra 1.5 Kg.

En la Tabla 62 se exponen las cantidades de muestras a utilizar y los resultados obtenidos en el muestreo.

**Tabla 65.** Datos del muestreo.

Piso	Estrato de Almacenamiento	Nro. de divisiones de estantes a pesar por piso	Nro. de divisiones de estantes a pesar por estrato	Peso promedio de la muestra (Kg.)
4to.	Libros	96	64	13.18
	Publicaciones Periódicas		28	14.41
	Tesis		4	25.5
3ro.	Libros	92	77	20.86
	Tesis		15	24.44
2do.	Libros	125	110	20.44
	Publicaciones Periódicas		12	24.58
	Tesis		3	31.67
1ro.	Libros	24	24	18.8
Sótano	Libros	103	42	26.65
	Expedientes		30	26.15
	Tesis		15	27
	Folios		10	41.2
	Periódicos		6	28.83

Con estos valores se determina la cantidad promedio de material combustible almacenada por piso, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 66.** Cantidad promedio de material combustible almacenado.

Piso	Cantidad promedio de material almacenado (Kg.)
4to.	22209.5
3ro.	45774.5
2do.	36278.7
1ro.	864.8
Sótano	47124

El procedimiento para obtener la carga combustible es el siguiente.

Cantidad de calor [J] = Peso del material [Kg] \* Calor de combustión [J/Kg]

$$\text{Peso en términos de madera [Kg]} = \frac{\text{Cantidad de calor [J]}}{18608 \text{ [J/Kg]}^*}$$

$$\text{Carga combustible [Kg/m}^2\text{]} = \frac{\text{Peso en términos de madera [Kg]}}{\text{Área [ m}^2\text{]}}$$

Para este cálculo se utilizó como calor de combustión promedio para el papel 19700 J/Kg<sup>\*\*</sup>, obteniendo los siguientes resultados:

---

\* Calor de combustión de la madera.

\*\* Cote, Arthur, Op. cit, p. 282.

**Tabla 67.** Valores de carga combustible.

Piso	Cantidad de Calor (J)	Peso en términos de madera (Kg.)	Área (m <sup>2</sup> )	Carga combustible (Kg/m <sup>2</sup> )
4to.	437527150	23512.85	724.9	32.44
3ro.	901757650	48460.75	1504.2	32.22
2do.	714690390	38407.69	1400.1	27.43
1ro.	17036560	915.55	1319.6	0.69
Sótano	928342800	49889.45	744.16	67.04

De acuerdo a estos valores y a las clasificaciones hechas por las normas ICONTEC 1669 *Código para el suministro y distribución de agua para la extinción de incendios* y NPFA 101 *Life Safety Code*; se puede afirmar que el edificio de la biblioteca central presenta un nivel de *riesgo leve* por carga combustible tomando la biblioteca en conjunto.

## ANEXO D. CALCULO DE LA BATERIA PARA EL PANEL DE CONTROL

La alimentación secundaria deberá suministrar energía al sistema automáticamente en menos de 30 segundos, cuando la alimentación primaria no sea capaz de suministrar el voltaje mínimo requerido para el funcionamiento correcto. Bajo la máxima carga normal, la fuente de energía secundaria deberá poseer una capacidad suficiente para operar un sistema de alarma local de incendio durante 24 horas; y al final de dicho periodo deberá ser capaz de accionar todos los aparatos de notificación de alarma usados para la evacuación durante 5 minutos.

**Tabla 68.** Cálculo de corriente primaria.

	Corriente primaria en condición normal			Corriente primaria en condición de alarma		
	Cantidad	Amperaje (A)	Total (A)	Cantidad	Amperaje (A)	Total (A)
Sistema básico		N A			N A	
Dispositivos de notificación		N A		6	0,038	0,228
Detectores convencionales	60	0,00012	0,0072	60	0,01	0,6
Detectores analógicos fotoeléctricos	42	0,00036	0,01512	42	0,0065	0,273
Detectores analógicos térmicos	8	0,0003	0,0024	8	0,0065	0,052
Módulos FZM-1	6	0,0003	0,0018	6	0,0075	0,045
Módulos FCM-1	5	0,00039	0,00195	5	0,0051	0,0255
Módulos ISO-X	3	0,0004	0,0012	3	0,005	0,015
Pulsador NBG-12SP	5	0,000375	0,001875	5	0,000375	0,001875
Base B 401	60	0,001	0,06	60	0,015	0,9
Base B 501	50	0,001	0,05	50	0,015	0,75
<b>TOTAL</b>			0,141545			2,890375

**Tabla 69.** Cálculo de corriente secundaria.

	Corriente secundaria en condición normal		
	Cantidad	Amperaje (A)	Total (A)
Sistema básico	1	0,1	0,1
Dispositivos de notificación	6	0,038	0,228
Detectores convencionales	60	0,00012	0,0072
Detectores analógicos fotoeléctricos	42	0,00036	0,01512
Detectores analógicos térmicos	8	0,0003	0,0024
Módulos FZM-1	6	0,0003	0,0018
Módulos FCM-1	5	0,00039	0,00195
Módulos ISO-X	3	0,0004	0,0012
Pulsador NBG-12SP	5	0,000375	0,001875
Base B 401	60	0,001	0,06
Base B 501	50	0,001	0,05
<b>TOTAL</b>			<b>0,469545</b>

**Tabla 70.** Cálculo del tamaño de la batería.

		Total (AH)
Carga secundaria en standby (A)	Tiempo requerido en standby (h)	
0,469545	24	11,26908
Carga primaria en alarma (A)	Tiempo requerido para alarma (h)	
2,890375	0,084	0,2427915
Subtotal		11,5118715
Factor de seguridad		X 1,2
Total de Amperios-Hora requeridos		<b>13,81</b>

De acuerdo al cálculo se selecciona 2 baterías de 18 AH a 12 V.

## ANEXO E. CATALOGOS

1. [Rociador automático de respuesta rápida.](#)
2. [Boquilla pulverizadora automática.](#)
3. [Bomba principal sistema de rociadores.](#)
4. [Bomba jockey sistema de rociadores.](#)
5. [Bomba sistema de gabinetes contra incendios.](#)
6. [Válvula automática de control de flujo.](#)
7. [Actuador de la válvula automática de control de flujo.](#)
8. [Detector automático de humo fotoeléctrico convencional.](#)
9. [Detector automático de humo fotoeléctrico inteligente.](#)
10. [Detector automático térmico inteligente.](#)
11. [Pulsadores manuales de alarma de incendios.](#)
12. [Sirenas.](#)
13. [Módulo aislador.](#)
14. [Módulo de control.](#)
15. [Módulo monitor.](#)
16. [Panel de control.](#)

## **ANEXO F. COTIZACIONES**

Bogota, Enero de 2004

Señores:

**ALEXIS ABAD GUTIERREZ**

Tel: 6328363 Fax: 6321931

BUCARAMANGA.

Atendiendo su solicitud presentamos nuestra oferta.

**Descripción:** Rociador automático Model H Quick Response Pendent orificio 1/2"  
conexión 1/2" NPT, 57 C / 135 F, K= 5.6, acabado en bronce.

**Vr Unit:** 6.26 US\$ / Unidad más I.V.A.

**Validez:** 30 días

**Forma de pago:** 50 % anticipo y 50% entrega

Cordialmente,

DIVALDO LTD  
DPTO VENTAS



**IVAN CASILLA**

Dpto. de Ventas.

Tel 3683613

Fax 3683615



**Viking Latinoamérica**

1255 Terminus Drive  
Suite 300  
Lithia Springs, GA 30122 (USA)

Tel.: [+1] 770-941-4178

Fax: [+1] 770-941-4463

Web: [www.vikingsupplynet.com](http://www.vikingsupplynet.com)  
[www.vikingcorp.com](http://www.vikingcorp.com)

**COMPANY:** Marta Luna

**e-MAIL:** [marta\\_alexandra\\_luna@hotmail.com](mailto:marta_alexandra_luna@hotmail.com)

**CITY:** Bucaramanga

**COUNTRY:** Colombia

**DATE:** Diciembre 11- 2003.

En atención a su solicitud cotizamos el siguiente rociador: Boquilla Pulverizadora Automática Modelo M - orificio 1/2" \* 1/2" NPT. VK702, acabado en Bronce.

Valor: **20,98 €**

Cordialmente,

*JANETTE MARTINEZ*  
**Atención al cliente-Ventas**  
[jmartinez@vikingcorp.com](mailto:jmartinez@vikingcorp.com)



**FLOWSERVE COLOMBIA Ltda. NIT: 860.004.137-9**  
**(Antes Ingersoll-Dresser Pumps de Colombia, S. A.)**  
 Kilómetro 18 - 19 Mosquera, Cundinamarca  
 Tels: 2657714 - 6392088 - (09182) 76074 Fax: (09182) 76078 – 3230928

<b>Telefax No:</b>	7 6321931	<b>Company:</b> <b>Marta A. Luna</b>	<b>No. Of Pages</b> (Including Cover)
<b>Attention:</b>		<b>Location:</b> B/manga	<b>Your Ref</b>
<b>From:</b>	Ever Antonio castillo R. E-Mail. <a href="mailto:Ecastillo@flowserve.com">Ecastillo@flowserve.com</a>	Mktg	<b>Our Ref:</b> L-1006-04
<b>Subject:</b>	Equipo de bombeo Flowserve marca Worthington para manejo de Agua potable		<b>Date:</b> Enero 20, 2004

En atención a su solicitud de la referencia, con gusto les estamos cotizando bomba centrífuga Flowserve marca Worthington TIPO MONOBLOC de nuestra línea D-824.

Las instalaciones de nuestra planta en Mosquera-Cundinamarca y la fabricación local de estos equipos, les garantiza:

- Adecuado almacenamiento de repuestos y
- Eficiente asistencia técnica.

Las características técnicas, curvas de rendimiento, datasheet y demás documentos aparecen adjuntos a la presente

**A** continuación describimos del material de construcción de los equipos:

**El material de construcción de las bombas Horizontales, es:**

<b>Descripción</b>	<b>Bomba</b>
Carcasa / tipo	Hierro gris Rosca NPT
Impulsor / tipo	Hierro gris / Cerrado
Caja sello mecánico	Hierro gris
EJE	Acero (mismo de la bomba)
Anillos de desgaste	Bronce
Lubricación	Grasa
Sellamiento mecánico	<u>John crane T-21 Carbón vs. cerámica vitón</u>
Motores eléctricos	Horizontales Siemens o U.S.Motors TEFC IP-54 con 1.15 de factor de servicio.

<b>Selección ITEM 1</b>	<b>Bomba: D-824/2.1/2X1.1/2X8</b>
<b>TIPO</b>	<b>TIPO MONOBLOC</b>
<b>Dimens. Succ / Desc.:</b>	<b>2.1/2" X 1.1/2 " Rosca NPT</b>
<b>Servicio:</b>	<b>Agua limpia a temperatura ambiente.</b>
Velocidad	3,550 RPM
Caudal	166 GPM
TDH	265 pies
Eficiencia:	62.6 3%
Potencia requerida (BHP)	17.7 HP.
Motor recomendado	20 HP a 3600 RPM con 1.15 de factor de servicio.

Ver curva de rendimiento e hydraulic Datasheet

**PRECIO: Una** bomba centrífuga Flowserve marca Worthington TIPO MONOBLOC Modelo D-824/2.1/2X1.1/2X8 STD antes descrita accionada con motor eléctrico tipo JM de 20 HP a 3600 RPM 3/60/220/440V TEFC, IP-54, es de: \$ 3,240,000 menos 10 % de descuento más IVA Vigente.

<b>Selección ITEM 2</b>	<b>Bomba: D-824/2.1/2X1.1/2X8</b>
<b>TIPO</b>	<b>TIPO MONOBLOC</b>
<b>Dimens. Succ / Desc.:</b>	<b>2.1/2" X 1.1/2 " Rosca NPT</b>
<b>Servicio:</b>	<b>Agua limpia a temperatura ambiente.</b>
Velocidad	3,550 RPM
Caudal	100 GPM
TDH	215 pies
Eficiencia:	53.7 %
Potencia requerida (BHP)	10.2 HP.
Motor recomendado	15 HP a 3600 RPM con 1.15 de factor de servicio.

Ver curva de rendimiento e hydraulic Datasheet

**PRECIO: Una** bomba centrífuga Flowserve marca Worthington TIPO MONOBLOC Modelo D-824/2.1/2X1.1/2X8 STD antes descrita accionada con motor eléctrico tipo JM de 15 HP a 3600 RPM 3/60/220/440V TEFC, IP-54, es de: \$ 2,860,000 menos 10 % de descuento más IVA Vigente.

**Pág. Nro.3.**

**Condiciones comerciales:**

**Precios:** D.D.P. sus bodegas en B/manga  
Descuento: Arriba aparece indicado.  
Entrega: 30 días a partir del recibo de la orden y anticipo.  
Validez: 45 días.  
Pago: 40% anticipo y saldo previo al despacho de los equipos.  
Fletes y seguros hasta sus Bodegas en B/manga  
Ver condiciones comerciales anexas.

**ALCANCE DEL SUMINISTRO:**

**ACLARACIONES ACERCA DE LAS PRUEBAS:**

Las bombas serán sometidas a las pruebas estándar de fábrica como son:  
Dimensionales e hidrostática.

**GARANTIA DE FABRICACION DE LOS EQUIPOS:**

Flowserve Colombia Ltda garantiza la calidad de los equipos suministrados por defectos de fabricación comprobados por nuestro Departamento Técnico por un período de doce (12) meses

Cordialmente,

**Ever A. Castillo R.**

E-Mail: ECastillo@flowserve.com

/Tel. (091) 8276074, (091) 6392088, Fax (091) 8276078

	<b>Cotización No. 8080-03-POL</b>		Página 1 de 2
	Señores: Universidad Industrial de Santander "UIS"		Fecha: 05-02-04
Atn: Ing. Martha Luna			
Fax:		E-mail:	
Oficina de Origen: Santanderes		Responsable: Ing. Pablo Andrés López Henao.	
Tel: (7) 6446491	Fax: (1) 3129108	Cel: (3) 3153610451	
E-mail: <a href="mailto:santanderes@master-controls.com">santanderes@master-controls.com</a> Y/O <a href="mailto:ventas@master-controls.com">ventas@master-controls.com</a>			

**REF:** Sistema contra incendio para la biblioteca principal de la universidad.

Agradecemos su solicitud y como respuesta a la misma, presentamos la siguiente oferta:

ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL por ITEM
01	01	Válvula de mariposa marca BRAY importada de los Estados Unidos con las siguientes características:  Serie: 20 Tamaño: 1 ½ Pulgadas Cuerpo: Hierro Fundido Disco y Vástago: Acero Inoxidable tipo 316 Asiento: EPDM Actuador Eléctrico Marca BRAY con tarjeta electrónica para control proporcional. Serie 70 Tamaño: S70-003 Señal de control: 4 a 20 mA Alimentación: 120 VAC	4'500.000.00	4'500.000.00

**VALOR TOTAL DE LA OFERTA (No Incluye IVA) \$4'500.000.00**

**Observación:**

**Rango de control Aproximado:**

Apertura °	Cv	Q (GPM)	Ap (Psig)
23	4.5	40	80
70	87	170	10

**MASTER CONTROLS LTDA**

Cll 73 No. 20-38 Bogotá D.C. Pbx: (1) 3477980 Fax: (1) 3129108  
[www.master-controls.com](http://www.master-controls.com)

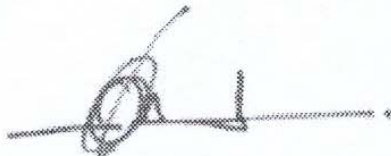
	<b>Cotización No. 8080-03-POL</b>		Página 2 de 2
	Señores: Universidad Industrial de Santander "UIS"		Fecha: 05-02-04
Atn: Ing. Martha Luna			
Fax:		E-mail:	
Oficina de Origen: Santanderes		Responsable: Ing. Pablo Andrés López Henao.	
Tel: (7) 6446491	Fax: (1) 3129108	Cel: (3) 3153610451	
E-mail: <a href="mailto:santanderes@master-controls.com">santanderes@master-controls.com</a> Y/O <a href="mailto:ventas@master-controls.com">ventas@master-controls.com</a>			

Para esta aplicación se presume un margen aproximado de un 5% de exactitud en el registro de caudal y presión a la descarga de la válvula, si se requiere una muestra más precisa se requiere una válvula de control especial para medianos flujos en configuración globo.

#### CONDICIONES COMERCIALES DE LA OFERTA

<b>Términos de Negociación:</b>	CIB Colombia.
<b>Tiempo de Entrega:</b>	Inmediato
<b>Lugar de Entrega:</b>	Sede UIS.
<b>Impuestos:</b>	Incluir IVA
<b>Moneda:</b>	Pesos COLOMBIANOS.
<b>Forma de Pago:</b>	30 Días
<b>Valides de la Oferta:</b>	30 Días
<b>Orden de Compra:</b>	A nombre de MASTER CONTROLS Ltda Nit: 800.203.838-9

Atentamente,



**Ing. Pablo Andrés López Henao.**  
Aplicaciones Santanderes

**MASTER CONTROLS LTDA**  
CII 73 No. 20-38 Bogotá D.C. Pbx: (1) 3477980 Fax: (1) 3129108  
[www.master-controls.com](http://www.master-controls.com)

# El Agrario Nuevo Ltda.

NIT. 804 000 016-3

Maquinaria Agrícola e Industrial - Trápicos - Picapastas  
**ESTUDIOS TÉCNICOS Y MONTAJES**  
 Avenida Quebrada Seca No. 18 - 77 Teléfono: 6334851  
 Ducaraimanga - Colombia.

## COTIZACION

Nº 2956

FECHA	DÍAS	MES	AÑO
	37	J	2004

SERVICIO: *M. Exi. FABR.*

C.C. y C.F.

VENCE COTIZACION:

VEREDEDOR:

AVELLANOS

TELÉFONO: *6328363*

CANT.	DETALLE	VF. UNIDAD	VALOR TOTAL
1	<i>motocombi peprollo BLTA PROLON potencia 5 HP - PK700 prevision 175 PSI caudal max 20 L/min/monto corriente 110/220 voltios.</i>		<i>\$ 932.000</i>
1	<i>abrazadera - cerro magnético para la bomba</i>		<i>\$ 370.000</i>
1	<i>propulsor de 9.5 - ca 125 PSI y caudal</i>		<i>\$ 35.000</i>

OBSERVACIONES:

*NIAS 16% IVA.*

STATA  
PERCEN

CENTO  
GRAMOS

I.V.A.

**TOTAL \$**

AVM



REPRES.

C.C. y C.F.

# MOTORES Y MOTORES L.C.



SERVICIO TÉCNICO ESPECIALIZADO

Ducaramanga, 23 de enero de 2004

Señores,  
**ALEXIS ABAD**  
Ciudad

## COTIZACION

CANT	ARTICULO	V/TOTAL
1	ARRANCADOR ESTRELLA TRIANGULO PARA MOTOR DE 15 HP, 20-25 AMP. , 220 V. MARCA SIEMENS REF. 27007 TIPO 3RA1428	\$ 1.094.828
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 1.094.828</b>
	<b>IVA 16%</b>	<b>\$ 175.172</b>
	<b>VALOR TOTAL</b>	<b>\$ 1.270.000</b>
1	ARRANCADOR ESTRELLA TRIANGULO PARA MOTOR DE 20 HP, 22-32 AMP. , 220 V. MARCA SIEMENS REF. 27008 TIPO 3RA1438	\$ 1.327.586
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 1.327.586</b>
	<b>IVA 16%</b>	<b>\$ 212.414</b>
	<b>VALOR TOTAL</b>	<b>\$ 1.540.000</b>

ATENTAMENTE

MOTORES Y MOTORES L.C.  
  
GERENTE

**OLGA ROCÍO SÁNCHEZ LEÓN**  
DHO. DE VENTAS



COTIZACION N° 12683

CARRERA 15 No. 42-93  
PBX: 6428153 - 6305565  
FAX: (097) 6330648  
BUCARAMANGA

NUEVO PUNTO DE VENTA  
CARRERA 16 No. 42-22  
TELS: 6706790 - 6708771  
FAX: (097) 6708775

RECIBO A	DIA	MIN	ANO
	19	01	2009

Señor(es): MARKIA LUNA

Dirección: \_\_\_\_\_ Teléfono: \_\_\_\_\_

CANT.	DESCRIPCION	VR. UNITARIO	VALOR TOTAL
1	TUBO de 3/4 GALVA.T.P	—	44.249
1	TUBO de 1" GALVA.T.P	—	64.513
1	TUBO de 1 1/4 GALVA.T.P	—	81.045
1	TUBO de 1 1/2 GALVA.T.P	—	105.938
1	TUBO de 2" GALVA.T.P	—	132.019
1	TUBO de 2 1/2 GALVA.T.P	—	201.295
1	TUBO de 3" GALVA.T.P	—	245.611
1	TUBO de 4" GALVA.T.P	—	351.259
1	cod0 3/4x90 H9	—	991
1	cod0 1x90 H9	—	1524
1	cod0 1 1/4x90 H9	—	2359
1	cod0 1 1/2x90 H9	—	3128
1	cod0 2x90 H9	—	4693
1	cod0 2 1/2x90 H9	—	9597
1	cod0 3x90 H9	—	13297
1	cod0 4x90 H9	—	29502
1	TEE 3/4 H9	—	638
1	TEE x 1" GALVA	—	2.130
COTIZADO POR: <u>SE/GIO</u>		<b>TOTAL \$</b>	

TIPOGRAFIA LA AURORA - FELIPE MENDOZA PINERO - NIT. 2.019.482-9 - TEL. 6428267





COTIZACION Nº 12684

CARRERA 15 No. 42-93  
PBX: 6428153 - 6305555  
FAX: (087) 6330848  
BUCARAMANGA

NUEVO PUNTO DE VENTA  
CARRERA 16 No. 42-22  
TELS: 6708790 - 6708771  
FAX: (087) 6708775

FECHA	DIA	MESES	AÑO
	19	01	2004

Señor(es): MOLINA GONZ

Dirección: \_\_\_\_\_ Teléfono: \_\_\_\_\_

CANT.	DESCRIPCION	VR. UNITARIO	VALOR TOTAL
1	TCC 1 1/4 H9		3250
1	TCC 1 1/2 H9		4250
1	TCC 2" H9		5860
1	TCC 2 1/2 H9		13.297
+	TCC 3" H9		18.613
1	TCC 4" H9		33633
<p>✓ PRECIOS INCLUYEN CI DUA ✓ PAGO COSTAJO</p>			
COTIZADO POR: <u>Selgado</u>		TOTAL \$	

TIPOGRAFIA LA AURORA - FELIPE MENDOZA PINEROS - MIT. 2.019.482-9 - TEL. 668801



**ALMACEN  
EL FLOREO LTDA**



Bucaramanga, Enero 26 de 2004

Señoras:

**INGENIERA MARTHA LUNA**

Ciudad

En atención a su amable solicitud de cotización estamos presentando nuestros precios de la siguiente mercancía

ITEM	CANT	ARTICULO	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
1-	1	Bujes HG 1 X 1/2	1.533 \$	1.533
2-	1	Bujes HG 1 1/4 X 1/2	2.478 \$	2.478
3-	1	Bujes HG 1 1/2 X 1/2	2.898 \$	2.898
4-	1	Bujes HG 2 X 1/2	4.013 \$	4.013
5-	1	Bujes HG 2 1/2 X 1/2	11.088 \$	11.088
<b>SUBTOTAL</b>			<b>\$</b>	<b>22.010</b>
<b>IVA</b>			<b>\$</b>	<b>3.522</b>
<b>TOTAL</b>			<b>\$</b>	<b>25.532</b>

Validez de la Oferta: 30 Días

Tiempo de Entrega: Inmediata

Forma de Pago: Contado

Atentamente

**Jose Angel Monsalve**

Asesor de Ventas

# ALMACEN EL PLOMERO LTDA



Bucaramanga, Enero 19 de 2004

Señores:  
INGENIERA MARTHA LUNA  
Ciudad

En atención a su amable solicitud de cotización estamos presentando nuestros precios de la siguiente mercancía

ITEM	CANT	ARTICULO	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
1-	2	Bujes HG 1 a 3/4	1.333 \$	2.666
2-	2	Bujes HG 1 1/2 a 3/4	2.382 \$	4.764
3-	3	Bujes HG 1 1/2 a 1	2.382 \$	7.146
4-	2	Bujes HG 1 1/2 a 1 1/4	2.382 \$	4.764
5-	2	Bujes HG 2 a 3/4	3.978 \$	7.956
6-	11	Bujes HG 2 a 1 1/4	3.978 \$	43.758
7-	106	Bujes HG 2 a 1 1/2	3.972 \$	417.060
8-	13	Bujes HG 2 1/2 a 2	8.088 \$	105.144
9-	24	Bujes HG 2 1/2 a 1 1/2	8.088 \$	194.112
<b>SUBTOTAL</b>			<b>\$</b>	<b>787.370</b>
<b>IVA</b>			<b>\$</b>	<b>126.979</b>
<b>TOTAL</b>			<b>\$</b>	<b>913.349</b>

Validez de la Oferta: 30 Días  
Tiempo de Entrega: Inmediata  
Forma de Pago: Contado

Aterramiento  
  
Jose Angel Monsalve  
Asesor de Ventas

# ALMACEN EL PLOMERO LTDA.

Carrera 15 No. 45-27 - Tels: 6904578 - 6934297 - 8524787  
NIT 000.807.701-8

FECHA: DIA 27 MES 01 AÑO 04 *COPIACION*

Señor(es) *10<sup>os</sup> Martha*

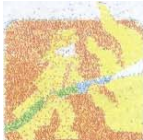
Dirección: \_\_\_\_\_ Teléfono: \_\_\_\_\_

Obras

CANT.	ARTICULO	VIL. UNID.	VIL. TOTAL
1	<i>buje No 3/4 1/2</i>	<i>11600</i>	
1	<i>flange para 1" med</i>	<i>16700</i>	
1	<i>valvula Ball white 2"</i>	<i>115000</i>	
1	<i>2 1/2"</i>	<i>108000</i>	
1	<i>3"</i>	<i>310000</i>	
1	<i>chey colman 2"</i>	<i>146000</i>	
1	<i>chey colman 3"</i>	<i>337500</i>	
1	<i>valvula Pie 4"</i>	<i>301000</i>	
	<i>flange</i>		

Comprador

*Jose*



### EQUIPOS CONTRA INCENDIO DE SANTANDER

MANTENIMIENTO TÉCNICO CORRECTIVO Y PREVENTIVO  
**CESAR AUGUSTO MARINO PAEZ**  
REGISTRO CÁMARA DE COMERCIO NO 85-866465-61  
Régimen común

EQUIPOS Y GABINETES CONTRA  
INCENDIO  
EXTINTORES, MANGUERAS  
HIDRANTES  
SERIALIZACION, SEGURIDAD  
INSTRUMENTAL, VENTA  
FORMACION Y PINTA

#### COTIZACION GABINETE CLASE I

CANTIDAD	DESCRIPCION	VALOR UNIT
1	Gabinete metálico en lamina cold rold, de 77x77x22 cms, pintados en anticorrosivo, con chapa y sin vidrio, a razón de	\$ 60.000.
1	Manguera contra incendio de 1.5 pulgadas x 15 mts en caucho y lona, acoplada. A razón de	\$128.612.
1	Manguera contra incendio de 1.5 pulgadas x 30 mts en caucho y lona, acoplada, a razón de	\$196.650.
1	Válvulas en bronce de 1.5 pulgadas H/M, a razón de	\$ 50.169.
1	Boquillas en policarbonato tipo chorro y neblina americana, a razón de	\$ 32.282.
1	Llave spenner de dos servicios, a razón de	\$ 7.000.
1	Soporte manguera tipo canasta.	\$ 12.000.
1	Extintores de polvo químico seco ABC de diez libras. A razón de	\$ 28.000.
1	Hacha tipo bombero de 4.5 lbs. A razón de	\$ 10.000.
	Gabinete completo con manguera de 15 mts	\$321.062.
	Gabinete completo con manguera de 30 mts	\$389.101.
1	Hidrante de pared completo con siamesa en bronce de 2.5 x 2.5 x 3 pulgadas, a razón de	\$ 560.000.
1	Hidrante de pared completo con siamesa en hierro de 2.5 x 2.5 x 3 pulgadas, a razón de Esta siamesa requiere cheque hidráulico.	\$ 400,000.

MAS EL 16% DEL IVA

VALIDEZ DE LA OFERTA 30 DIAS.

ATT:

EQUIPOS CONTRA  
INCENDIO DE SANTANDER  
NIT 85-866465-61  
  
GERENTE

CALLE 14 N° 26-12  
TEL: 6329808 - 6329811  
FAX (7) 6351374  
E-MAIL: CESARAMP@EPM.NET.COM  
CELULAR: 3108516120

ascom Colombia S.A.

Oferta DDP

Sistema de Incendio

No. 12-04

Nombre	
Dirección	
Teléfono	310-3968124
Fax	7-6321931

Fecha	4 de febrero de 2004
Contacto	Marta Alexandra Luna

ITEM	Qty	DESCRIPCIÓN	Marca	REFERENCIA	VALOR UNITARIO DÓLARES	VALOR TOTAL DÓLARES
1	60	Plug-in Photoelectric detector head. Requires a B400 series base.	SYSTEM SENSOR	NOT-2451	42	2.520
2	42	Intelligent Addressable Photo detector; with FlashScan.	NOTIFIER	NOT-FSP-751	72	3.024
3	8	Intelligent Addressable Rate-of-Rise Thermal detector; with FlashScan.	NOTIFIER	NOT-FST-751R	52	416
4	60	Detector Base - U.S. 2-Wire; conventional with flange, for use with 400 series.	SYSTEM SENSOR	NOT-B401B	9	540
5	50	Intelligent Detector Bases, without flange; package of ten (10).	NOTIFIER	NOT-B501BP	10.4	520
6	5	Surface back-box for all NBG-10 or NBG-12; except NBG-12LRA.	NOTIFIER	NOT-SB-10	11	55
7	5	Dual action lexan station, red, terminal block, Notifier Keylock, Spanish	NOTIFIER	NOT-NBG-12LSP	29	145
8	6	Horn Strobe, 24 volt, red, wall mount, 15/75 candela	SPECTRALERT	NOT-MA24	49	294
9	5	Addressable Control Module (NAC Circuits); with FlashScan	NOTIFIER	NOT-FCM-1	75	375
10	6	Addressable 2-Wire Detector Monitor Module; with FlashScan.	NOTIFIER	NOT-FZM-1	104	624
11	3	SLC Loop Isolator Module; isolates against short circuits on the SLC.	NOTIFIER	NOT-ISO-X	62	186
12	1	AFP-200 Analog Fire Alarm Panel kit; Single Printed Circuit Board with one SLC loop (198 devices), - Back-lit, 80 Character Display, System and Programming Keypad and 5.0 A Power supply, 120 VAC, Includes Door and back box, BLACK.	NOTIFIER	NOT-AFP-200	1.881	1.881
13	2	Battery, 12 volt, 18 AH	POWERSONIC	NOT-PS-12180	81	162
					Subtotal equipos	10.742,00
					Descuento	0,00
					Impuestos (I.V.A. 16%)	1.718,72
					Total Equipos	12.460,72
Vo. Elaborado _____ Vo. Revisado _____						

# ascom Colombia S.A.

CONDICIONES Oferta DDP  
Oferta 12-04

## CONDICIONES DE SUMINISTRO

### VALIDEZ DE LA OFERTA

La presente oferta tiene validez de 30 días

### MONEDA

#### **Equipos**

Dólares americanos, pagaderos en Pesos colombianos liquidados a la tasa de cambio representativa en la fecha de facturación.

### FORMA DE PAGO

A la firma del contrato 50% como anticipo, 50% a la entrega de equipos en almacén de ASCOM Bogotá.

Por pago anticipado mayor se puede negociar descuentos

### TIEMPO DE ENTREGA

#### **EQUIPOS**

Cuatro a Seis semanas siguientes al recibo de la orden de compra y pago del correspondiente anticipo.

### GARANTIAS

ASCOM – COLOMBIA S. A., garantiza por un año los equipos instalados contra defectos de fabricación y ensamblaje. Los equipos deben ser instalados por personal certificado de Fábrica

En espera de su pronta aceptación, nos suscribimos de ustedes;

Cordialmente:

**ASCOM COLOMBIA S.A**

Bucaramanga, Enero 28 de 2004



Señores:

**ALEXIS ABAD GUTIERREZ**

Tel: 6328363 Dir. Cra. 26 No. 16- 45 Apto.

102

Fax: 6321931

BUCARAMANGA.

Bucaramanga  
Calle 60 No. 16 - 28  
La Esmeralda Kmt. 7 Vía Gatón  
Tel: 646 1309 / 2480  
646 6630 / 6060  
Fax 646 1325  
e-mail: dagabuc@daga-sa.com

Estimado señor(a):

Atendiendo su amable solicitud presentamos nuestra mejor oferta.

It	Cant.	Und	Ref	Descripción
It	Cant	Und	Ref	Descripción
Atendiendo su amable solicitud presentamos nuestra mejor oferta.				

COTIZACION	Pag
106/04	1 de 1
Vr. Unit.	Vr. total
106/04	1 de 1
COLIVACION	1 de 1

Estimado señor(a):

Atendiendo su amable solicitud presentamos nuestra mejor oferta.

It	Cant.	Und	Ref	Descripción
1	1	CAR	9575	CABLE ALARMA, CONTRA INCENDIO 2 x16 AWG, APANTALLADO 300 V - MARCA: BELDEN. CARRETE DE 305 METROS

COTIZACION	Pag
106/04	1 de 1
Vr. Unit.	Vr. total
903,000.00	903,000.00

Subtotal: \$	903,000.00
I.V.A: \$	144,480.00
Valor Total: \$	1'047,480.00

CONDICIONES COMERCIALES

Cordial saludo,

Validez de la oferta: DIEZ (10) DIAS

Tiempo de entrega: CUATRO (4) SEMANAS

## ANEXO G. PLANOS

1. [Sistema de supresión Sótano.](#)
2. [Sistema de supresión 1er piso.](#)
3. [Sistema de supresión 2do piso.](#)
4. [Sistema de supresión 3er piso.](#)
5. [Sistema de supresión 4to piso.](#)
6. [Sistema de supresión Isométrico.](#)
7. [Detalle montaje rociadores.](#)
8. [Detalle conexión gabinetes contra incendios.](#)
9. [Conexión bombas centrifugas.](#)
10. [Sistema de detección Sótano.](#)
11. [Sistema de detección 1er piso.](#)
12. [Sistema de detección 2do piso.](#)
13. [Sistema de detección 3er piso.](#)
14. [Sistema de detección 4to piso.](#)
15. [Esquema general sistema de detección.](#)
16. [Conexión y montaje detectores convencionales.](#)
17. [Conexión y montaje detectores análogos.](#)
18. [Conexión y montaje pulsadores manuales.](#)
19. [Montaje sirenas.](#)
20. [Conexión módulo aislador.](#)
21. [Conexión módulo monitor.](#)
22. [Conexión módulo de control.](#)