

**DISEÑO DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS PARA LA EMPRESA
GRANIACRYL BUCARAMANGA**

FABIAN ANDRES BERMUDEZ ACOSTA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2017

**DISEÑO DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS PARA LA EMPRESA
GRANIACRYL BUCARAMANGA**

FABIAN ANDRES BERMUDEZ ACOSTA

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

**Director:
JAVIER RÚGELES PÉREZ
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2017

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso por darme la sabiduría, fortaleza y su eterno amor.

A mi madre por su apoyo incondicional, confianza y sacrificio durante estos años.

A mis familiares, amigos y todas las personas que de alguna u otra forma estuvieron pendientes y aportaron en la realización de este proyecto.

Fabian Andres Bermudez Acosta.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de proyecto y amigo JAVIER RÚGELES PÉREZ por su guía y orientación.

A la empresa “GRANIACRYL” por su colaboración y apoyo.

A la escuela de Ingeniería Mecánica y todos sus integrantes, profesores, administrativos y técnicos, de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER por brindarme los fundamentos teóricos, prácticos y éticos necesarios para la vida profesional

Fabian Andres Bermudez Acosta.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE GRADO.....	19
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.1.1 Acerca de la empresa.	19
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA.....	21
1.2.1 Mayor incendio de la historia.....	21
1.2.2 Impacto en la salud pública y medio ambiental.	22
1.2.3 Impacto económico.	22
1.3 OBJETIVOS.	23
1.3.1 Objetivo general.	23
1.3.2 Objetivos específicos	23
2. TEORÍA DEL FUEGO	25
2.1 LA COMBUSTIÓN.....	25
2.1.1 Tetraedro del fuego.....	25
2.1.2 Combustible.	27
3. AGENTES EXTINTORES.....	31
3.1. MECANISMOS DE EXTINCIÓN.....	31
3.1.1. Retirada de aporte. Dilución.....	32
3.1.2. Sofocación.....	32

3.1.3. Enfriamiento.	33
3.1.4. Inhibición.	33
3.2 TIPOS DE FUEGO.	33
3.3 APLICACIÓN DE LOS AGENTES EXTINTORES.....	35
4. PROCESOS DE DISEÑO CONCEPTUAL	38
4.1 DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD.....	38
4.1.1 Requerimientos del consumidor.	38
4.1.2 Organización de requerimientos.....	39
4.1.3 Matriz de calidad.	40
4.1.4 Ponderación de resultados para la selección de la solución..	42
4.2 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS PARTICULARES.	44
4.2.1 Tanque de abastecimiento.	44
4.2.2 Agente extintor.	47
4.2.3 Sistema de bombeo.	51
4.2.4 Topología de la red.	55
4.3 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.	57
4.3.1 Tanque de abastecimiento.	57
4.3.2 Agente extintor.	58
4.3.3 Sistema de bombeo.	59
4.3.4 Topología de la red.	60
5 ANÁLISIS DE NORMATIVIDAD APLICABLE.....	61
5.1 NORMA PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE ROCIADORES, NFPA 13.....	61

5.1.1	Clasificación de las ocupaciones.....	61
5.1.2	Rociadores.	62
5.1.3	Tubería.	68
5.1.4	Válvulas.....	68
5.1.5	Adicionales del sistema.	68
5.1.6	Método de diseño para el cálculo hidráulico.....	69
5.1.7	Mantenimiento.....	72
5.2	NORMA PARA TANQUES DE AGUA PARA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS PRIVADA, NFPA 22.....	73
5.2.1	Abastecimiento de agua.....	73
5.2.2	Almacenamiento de agua.....	74
5.2.3	Materiales del taque y accesorios.	74
5.2.4	Ubicación de los tanques.	75
5.2.5	Dimensionamiento de los tanques.	76
5.2.6	Mantenimiento.....	76
5.3	INSTALACIÓN DE BOMBAS ESTACIONARIAS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS NFPA 20.	77
5.3.1	Selección de bombas centrifugas.....	77
5.3.2	Bomba de mantenimiento de presión “jockey”.	80
5.3.3	Diseño del cabezal de succión de las bombas.....	80
5.3.4	Diseño del cabezal de descarga de las bombas.	82
5.3.5	Mantenimiento.....	82
6	CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	83
6.1.	DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	83

6.2. ZONA ADMINISTRATIVA.	84
6.3. ZONA OPERATIVA.	85
6.3.1 Área de cargue y descargue.	85
6.3.2 Cuarto de herramientas.	86
6.3.3 Almacenamiento de materia prima.	87
6.4 ZONA DE PRODUCCIÓN.	90
6.5 INSPECCIÓN.	91
6.5.1 Definiciones del formato de inspección.	91
6.5.2 Resultados de la inspección.	92
7 DISEÑO Y SIMULACIÓN.	94
7.1. CLASIFICACIÓN DE LA OCUPACIÓN.	95
7.2. DISTRIBUCIÓN DE LOS ROCIADORES Y DISPOSICIÓN DEL SISTEMA DE TUBERÍAS.	96
7.3. SIMULACIÓN MEDIANTE EPANET.	98
7.3.1. Observación de la simulación.	100
7.4. DIMENSIONES DEL TANQUE Y SELECCIÓN DE EQUIPOS.	110
7.4.1. Tanque de almacenamiento.	110
7.4.2. Rociadores automáticos.	111
7.4.3. Bomba jockey.	112
7.4.4. Gabinetes.	113
7.4.5. Accesorios.	114
8. ANÁLISIS DE COSTOS.	116
8.1. COSTO DE LOS MATERIALES Y EQUIPOS.	117

8.2. COSTO TOTAL DEL PROYECTO.....	119
CONCLUSIONES	120
RECOMENDACIONES.....	121
BIBLIOGRAFÍA.....	122
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Vista isométrica de la empresa.....	20
Figura 2. Ubicación de la empresa	20
Figura 3. Incendio en SAN FRANCISCO 1906.....	21
Figura 4. Proceso térmico.....	26
Figura 5. Tetraedro del fuego.....	27
Figura 6. Mecanismos de Extinción	31
Figura 7. Tipos de fuego	34
Figura 8. Pareto necesidades de clientes	42
Figura 9. Pareto parámetros de diseño.....	43
Figura 10. Tanque tipo cisterna	44
Figura 11. Tanque elevado	45
Figura 12. Tanque a presión.....	46
Figura 13. Alternativa de espuma como agente extintor.....	47
Figura 14. Alternativa de agua como agente extintor.....	49
Figura 15. Alternativa de gases como agente extintor	50
Figura 16. Bomba jockey	51
Figura 17. Bomba contra incendio con motor eléctrico	52
Figura 18. Bomba contra incendio con motor Diesel	53
Figura 19. Sistema combinado de bomba eléctrica y bomba diésel	54
Figura 20. Sistema en malla o reticulado.....	55
Figura 21. Sistema anillado	56

Figura 22. Área de cobertura por rociador	66
Figura 23. Curvas Área/Densidad.....	69
Figura 24. Succión positiva y negativa.....	78
Figura 25. Curva característica de la bomba contra incendios	79
Figura 26. Distribución de la empresa	83
Figura 27. Zona administrativa.....	84
Figura 28. Área de carga y descarga.....	86
Figura 29. Cuarto de herramientas	87
Figura 30. Almacenamiento de materia prima	88
Figura 31. Zona de producción	90
Figura 32. Diagrama de flujo del proceso de diseño.....	94
Figura 33. Distribución de los rociadores y disposición de tuberías y accesorios..	96
Figura 34. Configuración sistema de bombeo	99
Figura 35. Caso 1, todos los rociadores actuando.....	100
Figura 36. Punto de operación de la bomba, Caso 1	101
Figura 37. Arreglo de tuberías (diámetros), Caso 1	101
Figura 38. Distribución de presiones, Caso 1	102
Figura 39. Caso 2, Actuando los 6 rociadores más alejados a la bomba	104
Figura 40. Punto de operación de la bomba, Caso 2.....	106
Figura 41. Arreglo de tuberías (diámetros), Caso 2	106
Figura 42. Distribución de presiones, Caso 2	107
Figura 43. Extinción por enfriamiento con agua.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 44. Espuma como agente extintor	¡Error! Marcador no definido.
Figura 45. Agentes Extintores sólidos. Polvos.....	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Densidad absoluta y relativa de combustibles comerciales.	28
Tabla 2. Límites de inflamabilidad.....	29
Tabla 3. Temperaturas de inflamación y auto inflamación de algunas sustancias	30
Tabla 4. Aplicación de agentes extintores	35
Tabla 5. Matriz de calidad.....	41
Tabla 6. Selección para alternativa de tanque.....	57
Tabla 7. Selección para agente extintor.....	58
Tabla 8. Selección para sistema de bombeo	59
Tabla 9. Selección para topología de red	60
Tabla 10. Características de descarga de los rociadores	65
Tabla 11. Rangos de temperatura para rociadores con ampolla	65
Tabla 12. Requisitos para demanda de chorros de mangueras	69
Tabla 13. Valores C de Hazen-Williams	70
Tabla 14. Longitudes equivalentes en pies para tubería de acero, Cedula 40.	71
Tabla 15. Capacidades de bombas centrífugas contra incendio	77
Tabla 16. Diámetro de tubería para la succión y la descarga	81
Tabla 17. Precio de la bomba centrifuga contra incendios	116
Tabla 18. Costo total de los materiales y equipos.....	117
Tabla 19. Costo total del proyecto	119

LISTA DE ANEXOS

(Ver anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)

ANEXO A. AGENTES EXTINTORES LÍQUIDOS

ANEXO B. MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE ROCIADORES

ANEXO C. MANTENIMIENTO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

ANEXO D. MANTENIMIENTO DE BOMBAS DE INCENDIO

ANEXO E. FORMATOS DE INSPECCIÓN

ANEXO F. UBICACIÓN DE LOS ROCIADORES

ANEXO G. EPANET

ANEXO H. DETALLES TÉCNICOS DE LAS BOMBAS

ANEXO I. DETALLES TÉCNICOS DE LOS ROCIADORES

ANEXO J. DETALLES TÉCNICOS DE LA BOMBA JOCKEY

ANEXO K. COTIZACIONES DE LOS EQUIPOS Y MATERIALES

RESUMEN

TITULO:

DISEÑO DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS PARA LA EMPRESA GRANIACRYL BUCARAMANGA.*

AUTOR:

FABIAN ANDRES BERMUDEZ ACOSTA**

PALABRAS CLAVE:

Mecánica de fluidos, Sistema contra incendios, Sistema de rociadores, Asociación Nacional de Protección contra el Fuego.

DESCRIPCIÓN:

Con el fin de apoyar la mejora continua que desea generar la empresa GRANIACRYL en pro de garantizar a los trabajadores y vecinos del sector, la preservación de la integridad física y el cuidado de las instalaciones y activos de la compañía; se desarrolló el diseño del sistema contra incendios para la empresa.

Este diseño fue realizado bajo la aplicación de las normas de la ASOCIACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO (NFPA), organización internacional encargada de desarrollar códigos y recomendaciones de seguridad, para la protección y prevención contra incendios. El diseño consta de un sistema de supresión de incendios que utiliza una combinación de rociadores automáticos y mangueras dentro de la edificación, estableciéndose la ubicación y dimensiones, de los rociadores, tuberías, sistema de bombeo y tanque de almacenamiento, para garantizar el buen funcionamiento del sistema contra incendio en el momento que se necesite, estas estrategias de diseño están soportadas por cálculos de ingeniería y resultados de la simulación en EPANET que dan más argumentos de calidad y diseño óptimo.

Gracias a la futura implementación del sistema contra incendios, la empresa GRANIACRYL tendrá requerimientos de seguridad, prescritos por organizaciones nacionales e internacionales, logrando así un reconocimiento favorable, en cuanto a las condiciones de seguridad y un buen ambiente laboral para sus trabajadores.

* Trabajo de grado.

** Facultad de ingenierías fisicomecánicas. Escuela de ingeniería mecánica. Director: Ing. JAVIER RÚGELES PÉREZ.

SUMMARY

TITLE:

DESIGN OF THE FIRE SYSTEM FOR THE COMPANY GRANIACRYL BUCARAMANGA.*

AUTHOR:

FABIAN ANDRES BERMUDEZ ACOSTA **

KEY WORDS:

Fluid Mechanics, Fire Protection System, Sprinkler System, National Fire Protection Association.

DESCRIPTION:

In order to support the continuous improvement that GRANIACRYL wants to generate in order to guarantee to the workers and neighbors of the sector the preservation of the physical integrity, and the care of the facilities and assets of the company; the design of the fire system for the company was developed.

This design was made under the NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA) standards, an international organization charged with developing safety codes and recommendations for fire protection and prevention. The design consists of a fire suppression system that uses a combination of automatic sprinklers and hoses within the building, establishing the location and dimensions of the sprinklers, pipes, pumping system and storage tank, to ensure the proper functioning of the fire retarding system when needed, these design strategies are supported by engineering calculations and simulation results in EPANET that give more arguments for quality and optimal design.

Thanks to the future implementation of the fire-fighting system, GRANIACRYL will have security requirements, prescribed by national and international organizations, thus achieving a favorable recognition, in terms of safety conditions and a good working environment for its workers.

* Degree work.

** Physical-Mechanical sciences faculty, mechanical engineering, Eng. JAVIER RÚGELES PÉREZ.

INTRODUCCIÓN

Según la pirámide de necesidades de MASLOW, el ser humano necesita sentirse seguro donde sea que se encuentre, ya sea en la comodidad de su vivienda, o en su lugar de trabajo. Un gran porcentaje de la población realiza labores dentro de una edificación perteneciente a una empresa, expuestos a diferentes riesgos y peligros como lo puede ser un incendio; por tal motivo la norma NFPA es exigente con las organizaciones en cuanto a los controles y medidas de seguridad para reducir, controlar y/o prevenir incendios en el área laboral, creando un ambiente de seguridad para los trabajadores, ayudado de las normas de seguridad y salud en el trabajo en cuanto a capacitación, equipos de protección contra incendios y medios para actuar frente a un incendio si es el caso.

Teniendo en cuenta lo anterior se desarrolló la presente tesis de grado titulada DISEÑO DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS PARA LA EMPRESA GRANIACRYL BUCARAMANGA. Se considera que con este diseño y su futura implementación la empresa GRANIACRYL proporcionara las medidas de seguridad mínimas prescritas por organizaciones nacionales e internacionales para la seguridad de vida humana en caso de incendio para instalaciones de este tipo. De igual forma con esto sistema contra incendios se minimizará la propagación de cualquier tipo de fuego dentro o fuera de la organización garantizando la protección de los trabajadores, producto, instalaciones y la continuidad de actividades.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE GRADO

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

Los incendios son una de las mayores catástrofes naturales y en muchos casos son provocados por el hombre. Durante los últimos años han aumentado su frecuencia, causando daños irreparables tanto en vidas humanas como en pérdidas materiales y medioambientales.

Dentro de este campo cabe destacar los incendios en plantas industriales, plataformas petroleras, explosiones químicas, etc., lo que ha provocado situaciones de pérdidas irreparables, desde la imagen de la empresa hasta desastres cuantiosos.

Es por esto que la empresa GRANIACRYL en la ciudad de BUCARAMANGA, desea contar con un sistema contra incendio que brinde seguridad y protección a todos sus trabajadores.

1.1.1 Acerca de la empresa. GRANIACRYL es una empresa dedicada a fabricar y comercializar pinturas y recubrimientos para usuarios profesionales. Siendo la calidad de sus productos la base de su competitividad con otras empresas de la región.

GRANIACRYL cuenta con una experiencia de más de 50 años, ofreciendo servicios para el mercado decorativo, construcción y recubrimientos de alto desempeño.

GRANIACRYL está ubicada en la Cra. 5 Oe. # 45-80, barrio CAMPO HERMOSO de la ciudad de BUCARAMANGA.

Figura 1. Vista isométrica de la empresa.



Figura 2. Ubicación de la empresa



1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA.

1.2.1 Mayor incendio de la historia. El 18 de abril de 1906, un terremoto en SAN FRANCISCO destruyó miles de dólares representados en todo tipo de construcciones. Pero fueron mayores las pérdidas que dejó el incendio que siguió tras el terremoto (Figura 3). Fábricas, talleres, grandes comercios y hoteles, todo quedó reducido a cenizas. El incendio junto al sismo se considera la catástrofe más importante de los Estados Unidos.

Se estima que entre 225.000 y 300.000 personas perdieron sus casas de un total de 400.000 habitantes. La mitad de la población se refugió al otro lado de la bahía de OAKLAND. Los periódicos de la época informaron que lugares como parque de GOLDEN GATE, el barrio de PANHANDLE y las playas de entre INGLESIDE y NORTH BEACH estuvieron recubiertas por tiendas improvisadas. Hubo más muertos y daños por el gran incendio que se desató después, que por el sismo en sí.

Figura 3. Incendio en SAN FRANCISCO 1906



Fuente. <https://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto_de_San_Francisco_de_1906#/media/File:Sfearthquake3b.jpg>

1.2.2 Impacto en la salud pública y medio ambiental. En todos los países en vías de desarrollo, la falta de leyes efectivas de urbanismo ha dado como resultado la ubicación de muchas comunidades en sitios de riesgo. Además, muchas comunidades carecen de un sistema de respuesta coordinada a emergencias que enlace el área industrial con las agencias locales de seguridad pública. Aparte de lo concerniente con la alerta y la evacuación, las condiciones médicas preexistentes, como la enfermedad pulmonar o cardíaca, pueden incrementar el riesgo de lesión o muerte. El entrenamiento inadecuado para las operaciones de rutina y de emergencia y la falta de participación de empleadores y trabajadores en los programas de seguridad industrial incrementan la probabilidad de que un desastre de este tipo ocurra y que tenga efectos severos en la población.¹

1.2.3 Impacto económico. Riesgos que se pueden generar en zona de producción, en zona de almacenamiento y por último las instalaciones en las que se encuentran las oficinas. Algunos de los efectos negativos para la empresa, si llegare a presentarse un incendio son:

- Interrupción de la producción; obligando a que los clientes busquen otras fuentes de suministro para tener los productos.
- Destrucción de documentación importante para la empresa e información recogida en archivos.
- Cuando se produce un incendio, dependiendo de las características del mismo, puede llegar a ocurrir que los trabajadores necesiten un nuevo empleo, provocando un éxodo de trabajadores hacia otras empresas.

¹ NOJI, Eric k. Desastres industriales. En: *Impacto de los desastres en la salud pública*. Bogotá, D.C., Colombia, 2000, p. 360.

- Incluso enfrentar una situación de quiebra y cierre de la empresa.

Para la empresa GRANIACRYL está plenamente justificada la implementación de un sistema contra incendios.

1.3 OBJETIVOS.

1.3.1 Objetivo general.

La protección contra incendios es un área en la que los ingenieros mecánicos pueden tener una contribución significativa. Este proyecto busca continuar con la misión de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER de brindar conocimientos y soluciones a las diferentes problemáticas de seguridad e integridad física de las personas en la industria, realizando el diseño del sistema contra incendios a la empresa GRANIACRYL, ubicada en el barrio CAMPO HERMOSO de la ciudad de BUCARAMANGA.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar un sistema contra incendios de acuerdo con las normas de la NFPA (*NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION*), para una fábrica con dimensiones de 8,1 m de ancho, 27,1 m de largo y un solo piso de 3 m de alto. El diseño debe contener los siguientes subsistemas.
 - Sistema de supresión del fuego: de acuerdo con la norma NFPA 13, *norma para la instalación de sistemas de rociadores*, establecer la información y requisitos del diseño e instalación del sistema de rociadores contra incendios, incluyendo la adecuación a la fuente de abastecimiento de agua y la selección de rociadores, tuberías, válvulas, materiales y demás accesorios.

- Abastecimiento de agua: dimensionar el tanque de abastecimiento de acuerdo con la norma NFPA 22, *norma para tanques de agua para protección contra incendios privada*.
- Sistema de bombeo: establecer los parámetros de instalación, funcionamiento y debido mantenimiento de la bomba hidráulica seleccionada para bombear el agua al sistema de rociadores, de acuerdo a la norma NFPA 20, *instalación de bombas estacionaria de protección contra incendios*.
- Elaborar los planos que contendrán la ubicación de las distintas partes y accesorios del sistema cumpliendo con su debido funcionamiento dentro de la empresa.
- Modelar el sistema contra incendio en el software de licencia libre EPANET®, para estudiar y evaluar el comportamiento hidráulico del diseño realizado.
- Realizar una evaluación de los costos directos, de los recursos necesarios para la construcción del sistema contra incendios. Estos incluyen, entre otros, materiales, mano de obra, equipos y herramientas.

2. TEORÍA DEL FUEGO

2.1 LA COMBUSTIÓN.

Los combustibles se clasifican teniendo en cuenta su estado de agregación en: sólidos (carbón o madera, etc.), líquidos (gasolina, gasoil, etc.) y gaseosos (butano, gas natural, etc.).

El oxígeno presente en el aire es el comburente más empleado en la combustión. cabe resaltar que hay otras sustancias, que por su contenido de oxígeno también se denominan comburentes, como el nitrato de potasio, clorato potásico entre otros.

Entonces; se puede decir que la combustión es la reacción química exotérmica de una sustancia denominada combustible, con el oxígeno o sustancias que lo contengan denominadas comburentes.

A la masa gaseosa a alta temperatura que emite luz y calor se le conoce como llama y es esa energía lumínica y calórica que desprende la reacción la que calienta los productos gaseosos.

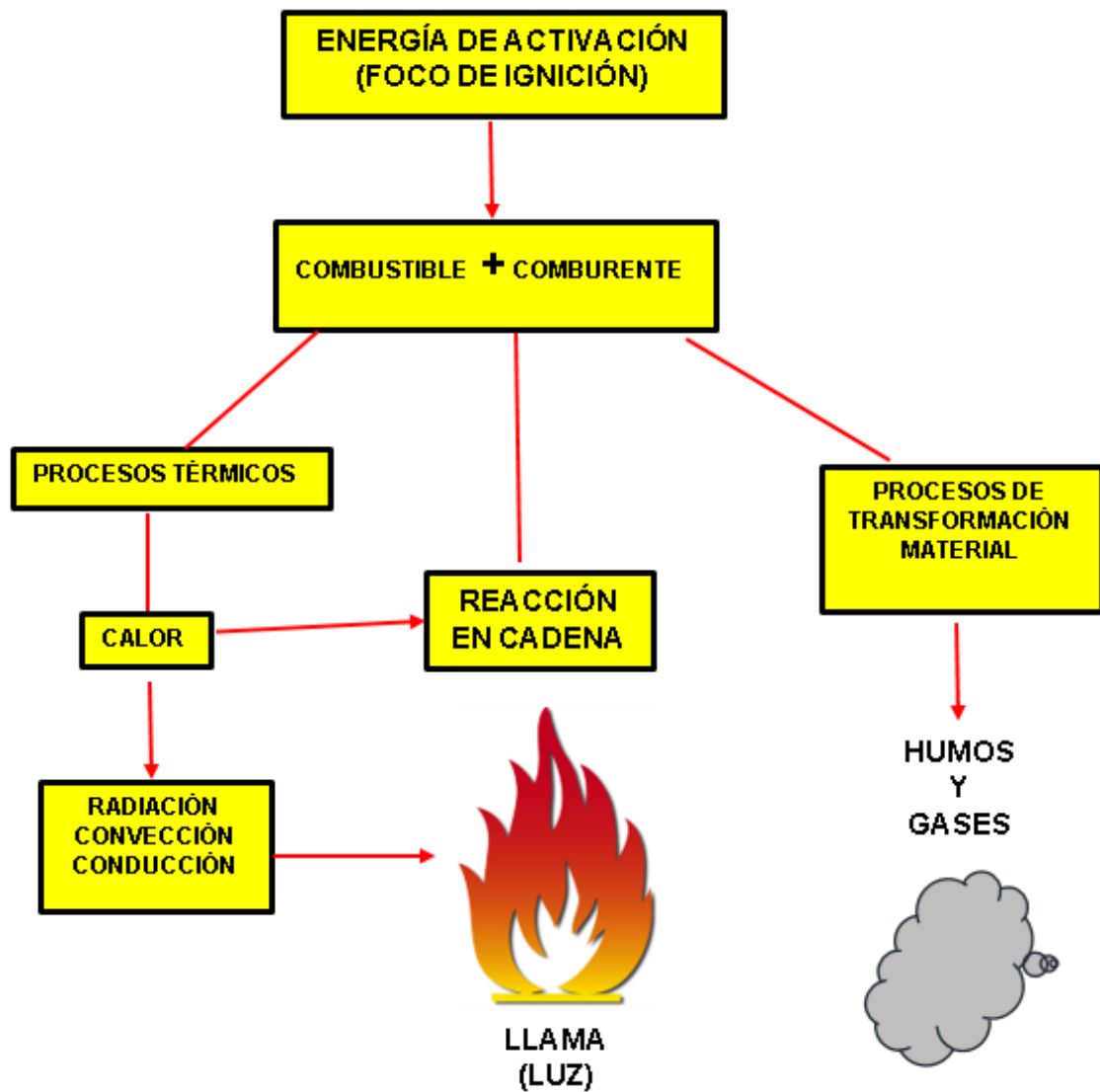
La reacción química quedaría de este tipo:



2.1.1 Tetraedro del fuego. Para que una mezcla, la cual contiene una determinada proporción, de comburente y combustible, entre en ignición, se hace necesario que se le suministre una energía de activación, proporcionada por un foco de ignición.

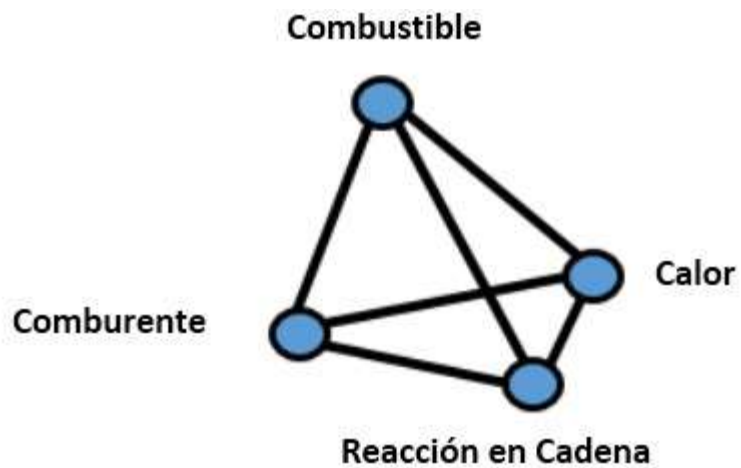
Al iniciarse una combustión se producen dos procesos distintos: a uno se le conocerá como térmico y al otro de transformación material.

Figura 4. Proceso térmico



Por proceso térmico (Figura 4) entendemos el desprendimiento de calor. Parte de ese calor se disipa al ambiente por medio de radiación (llama), convección y conducción. Para que la radiación se mantenga, debe existir el proceso que se denomina reacción en cadena; este proceso obliga a que parte de este calor debe “calentar” el comburente y combustible, generando los radicales libres.

Figura 5. Tetraedro del fuego



En resumen, a estos conceptos se le conoce como tetraedro del fuego (Figura 5) y es ahí donde se representan los cuatro componentes necesarios para que exista una combustión. Teniendo en cuenta que, si se elimina uno de los vértices del tetraedro, la combustión se extingue.

2.1.2 Combustible. Las propiedades más importantes que caracterizan a los combustibles son:

- Composición.
- Poder calorífico.
- Densidad.
- Límite de inflamabilidad.
- Temperatura de inflamación.
- Temperatura de auto ignición.

2.1.2.1 Densidad. Es una propiedad cuantitativa que represente la cantidad de masa presente en un determinado volumen de una sustancia. En el caso de combustibles gaseosos se utilizan la densidad absoluta (Kg/m³) y la densidad relativa respecto del aire, (Tabla 1), definida como:

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_{aire}}$$

Donde ρ es la densidad absoluta del gas y ρ_{aire} es la densidad absoluta del aire (1,287 Kg/m³ a 0° C y 1 atm), medidas en las mismas condiciones de temperatura y presión. La alta importancia de la densidad relativa radica en el hecho de que determina, por ejemplo, en caso de una fuga, en un local cerrado, si el gas se acumulará en el techo (densidad relativa < 1) o en el suelo, (densidad relativa > 1).

Tabla 1. Densidad absoluta y relativa de combustibles comerciales.

Gases combustibles	Densidad absoluta (Kg/m³)	Densidad relativa
Gas natural	0.802	0.62
Butano comercial	2.625	2.03
Propano comercial	2.095	1.62
Propano metalúrgico	2.03	1.57

2.1.2.2 Límites de inflamabilidad. Existe un intervalo de relación importante entre el combustible y el comburente, dicho intervalos se conocen por:

mite superior de inflamabilidad (LSI), este límite hace referencia a la máxima concentración de combustible en comburente para que se pueda iniciar la combustión y el límite inferior de inflamabilidad (LII), es la mínima concentración de combustible en comburente para que se pueda iniciar la combustión.

Por debajo del LII se considera que la mezcla es "demasiado pobre" para arder o encima del LSI es "demasiado rica" para arder (Ver Tabla 2).

La experiencia demuestra que la máxima eficacia de una reacción se consigue con un exceso de aire respecto a la estequiométrica. Este punto se conoce como mezcla ideal (MI) (ver Tabla 2).

Tabla 2. Límites de inflamabilidad

Producto	Límites de inflamabilidad (% en volumen en aire)		
	LII	MI	LSI
Acetato de etilo	2,2	4,0	11,4
Acetileno	2,0	7,4	80,0
Acetona	2,0	4,8	13,0
Amoniaco	15,0	21,0	27,0
Benceno	1,4	2,6	7,0
Butano	1,8	3,0	9,0
Etano	3,0	5,4	12,5
Etanol	3,0	6,0	19,0
Gasolina	0,7	1,6	7,0
Hidrogeno	4,0	28,8	76,0
Metano	5,0	9,0	15,0
Metanol	6,0	12,0	37,0
Monóxido de carbono	12,0	28,8	74,0
Pentano	1,4	2,4	7,8
Propano	2,0	4,0	10,0
Tolueno	1,2	2,2	7,0

Debe tenerse en cuenta que los límites de inflamabilidad dependen de las concentraciones de oxígeno y de gases inertes en la mezcla. A medida que

disminuye la concentración de inertes y aumenta la concentración de oxígeno aumenta el LSI, mientras que el LII prácticamente no varía.

2.1.2.3 Temperatura de inflamación y auto ignición. Se le denomina temperatura de inflamación o de destello de un combustible, a la temperatura mínima a la que se genera suficiente vapor como para formar una mezcla con el aire igual al LII, cuando la mezcla este a temperatura de inflamación, arderá en presencia de un foco de ignición, pero solo brevemente, ya que no se genera bastante vapor como para mantener la llama.

La temperatura mínima necesaria para que la combustible arda espontáneamente en presencia del comburente, sin que sea necesaria la presencia de un foco de ignición se conoce por temperatura de auto inflamación. (ver Tabla 3).

Tabla 3. Temperaturas de inflamación y auto inflamación de algunas sustancias

Producto	Temperatura de Inflamación (°C)	Temperatura de auto inflamación(°C)
Acetona	-18	465
Acrilonitrilo	-6	---
Anilina	---	615
Benceno	-11	562
N-butano	-60	405
Etano	-135	515
Etileno	---	490
Hidrogeno	---	400
N-heptano	-4	215
N-hexano	-26	225
Metano	---	540

3. AGENTES EXTINTORES

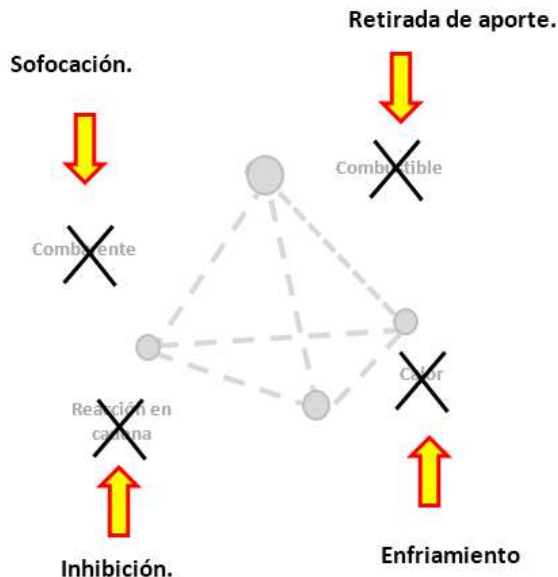
3.1. MECANISMOS DE EXTINCIÓN.

Los agentes extintores se definen en la norma NFPA 10 *Norma para Extintores Portátiles Contra Incendios*, como las sustancias que, gracias a sus propiedades físicas o químicas, al ser proyectadas sobre un fuego provocan la extinción del mismo.

Los agentes extintores actúan sobre los vértices del tetraedro del fuego, visto en el tema anterior, eliminando uno o varios de los cuatro vértices que lo forman (el combustible, el comburente, el calor y la reacción en cadena), ya que para que se mantenga un fuego, es necesario que coexistan todos los vértices del tetraedro.

Según el factor sobre el que se actúa los métodos de extinción son:

Figura 6. Mecanismos de Extinción



3.1.1. Retirada de aporte. Dilución. El fuego precisa de combustible que lo alimente para mantenerse. Si el combustible es eliminado de las proximidades de la zona del incendio, este se extingue. Esto lo podemos conseguir al:

- Cortar el flujo a la zona del incendio en el caso de fuegos de gases o líquidos, o retirando material combustible sólido.
- Diluir el combustible en una sustancia para que quede fuera del rango de inflamabilidad.

3.1.2. Sofocación. Sofocar un incendio es retirar el comburente de la combustión, es decir, impedir que el combustible entre en contacto con el oxígeno del aire o una sustancia comburente, esto se consigue:

- Recubriendo el combustible con material incombustible (manta ignífuga, arena, espuma, polvo, tapa de sartén, etc.) así se evita el contacto del combustible y el comburente mediante una barrera física.
- Cerrando puertas y ventanas es decir dificultando el acceso de oxígeno fresco a la zona del incendio.
- Disminuyendo la concentración de oxígeno al ser desplazando mediante la proyección de un gas inerte (N_2 o CO_2) en suficiente cantidad para que la mezcla combustible-comburente quede por encima del LSI (Límite Superior de inflamabilidad). Se consigue el mismo efecto, pero con menor efectividad depositando agua sobre el fuego, ya que al evaporarse disminuirá la concentración de oxígeno (más efectivo si es pulverizada).

3.1.3. Enfriamiento. Consiste en reducir la temperatura del combustible. De la energía desprendida en la combustión, parte es disipada en el ambiente y parte inflama nuevos combustibles propagando el incendio. La eliminación de tal energía supondría la extinción del incendio. El fuego se apagará cuando la superficie del material incendiado se enfríe hasta un punto donde no se desprenden suficientes vapores para mantener una mezcla combustible comburente dentro del rango de inflamabilidad. Así pues, para extinguir por enfriamiento, se necesita una sustancia que tenga una gran capacidad para absorber el calor. Prácticamente es el agua el único agente capaz de producir un enfriamiento considerable, sobre todo si se emplea pulverizada.

3.1.4. Inhibición. La inhibición actúa sobre la reacción en cadena. Las reacciones de combustión, como ya se vio, se mantienen porque a nivel atómico se producen una serie de reacciones intermedias, que generan unas moléculas inestables que favorecen el avance de la reacción química. A estos productos intermedios se les conoce como radicales libres, la eliminación de estos elementos hace que la combustión se detenga.

Este mecanismo de extinción es el más eficaz, ya que actúa sobre la química de la reacción, al contrario que los otros que son procedimientos físicos.

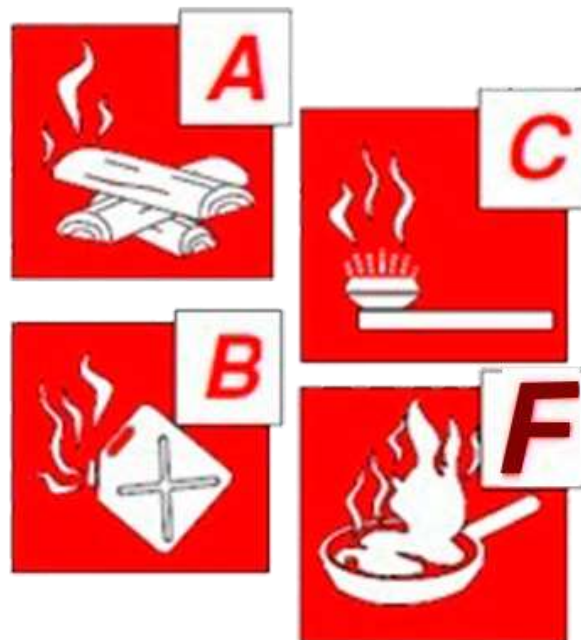
3.2. TIPOS DE FUEGO.

Las cinco clases en las que la norma NFPA 10 Norma para Extintores Portátiles Contra Incendios, clasifica los fuegos (Figura 7), son:

- Clase A: Aquí se ubican las combustiones de materiales sólidos, generalmente de origen orgánico, que arden con formación de brasas.

- Clase B: Estos son los fuegos de líquidos o sólidos licuables.
- Clase C: A esta clase pertenecen los Gases Inflamables.
- Clase D: Son los metales combustibles y aquellos compuestos químicos reactivos ligeros.
- Clase F: Corresponden los fuegos derivados de la utilización para cocinar (aceites y grasas vegetales o animales) en aparatos de cocina.

Figura 7. Tipos de fuego



3.3 APLICACIÓN DE LOS AGENTES EXTINTORES

Tabla 4. Aplicación de agentes extintores

AGUA	
Tipo de Fuego	Aplicación
A	Para este tipo de fuego, se recomienda este agente, algunos aditivos se pueden utilizar con el fin de mejorar sus propiedades. Su aplicación se puede hacer a través de mangueras de impulsión, extintores manuales, elementos de proyección pesados y sistemas fijos.
B	Debido a su elevada densidad no es el agente indicado. Para refrigerar las paredes de los recipientes que contienen estos líquidos puede ser muy adecuado.
C	Para la refrigeración de los recipientes que contienen los gases y control de estos incendios, podemos utilizar agua pulverizada.
D	No se puede utilizar.
En presencia de electricidad	Teniendo en cuenta que el agua es conductora de electricidad no es prudente utilizarse en presencia de corriente eléctrica. Si fuera necesaria su utilización debe aplicarse debidamente pulverizada, en bajas tensiones y respetando las debidas distancias de seguridad.

ESPUMA	
Tipo de Fuego	Aplicación
Baja Expansión	Suelen aplicarse a través de medios manuales o sistemas fijos. Los fuegos de clase B, son su principal campo de aplicación.
Media Expansión	Se utilizan de manera preventiva, por ejemplo, para cubrir derrames de líquidos inflamables; además se usan en incendios confinados.
Alta Expansión	Para la extinción de fuegos de clase A y B son adecuadas. Se utiliza principalmente para la inundación total de zonas de difícil acceso y como instalación fija de producción.

Tabla 4. (Continuación)

CO₂	
Tipo de fuego	Aplicación
A	A fuegos muy superficiales. Tiene muy poca eficacia.
B Y C	Aunque es efectivo su uso frente a estos tipos de fuego, no es el agente más adecuado.
En presencia de electricidad	Si una máquina está bajo tensiones eléctricas elevadas se puede descargar sobre la máquina, pero los equipos térmicamente delicados pueden resultar dañados. Es el agente extintor adecuado para este tipo de incendios.
<p>Cuando hay inundación total se debe utilizar los sistemas fijos de extinción en cambio cuando la aplicación sea local serán los extintores portátiles los que se utilicen.</p>	

POLVO QUÍMICO	
A	Para este tipo de incendios, el polvo polivalente es muy adecuado.
B Y C	Para la extinción de líquidos y gases se confía el polvo seco convencional como el polivalente
D	Existen polvos especiales para metales son estos los únicos que debemos utilizar.
En presencia de electricidad	En algún tipo de polvo se puede utilizar desde 35.000 hasta incluso 50.000 V. No es recomendable usar sobre equipos delicados ya que se descompone a altas temperaturas. No es conductor de electricidad.
<p>Tener en cuenta; al momento de inundación total utilizar los sistemas fijos de extinción y para realizar una aplicación local utilizar extintores portátiles.</p>	

Tabla 4. (Continuación)

Agente extintor		Aplicaciones	Ventajas	Inconvenientes	Peligros
A G U A	A chorro	Fuegos con brasa	Gran alcance	Poca penetración. Daños adicionales en documentos. Dispersión del incendio.	Fuegos de equipos en presencia de tensión eléctrica (con agua pulverizada el peligro es menor). Fuegos de metales.
	Pulverizada	Fuegos con brasa	Gran penetración de fuegos con brasas	poco alcance	
	Pulverizada con aditivos	Fuegos con brasa. Fuegos de líquidos inflamables.	Mejora la eficacia del agua	No extingue fuegos dinámicos (derrames)	
Espuma		Fuegos con brasa. Fuegos de líquidos inflamables.	Efecto acumulable a partir de la densidad crítica de la aplicación.	Hidrolización del espumógeno. No extingue fuegos dinámicos (derrames)	Fuegos de metales, fuegos de equipos de baja tensión eléctrica.
	BC	Fuegos de combustibles líquidos o gaseosos bajo presión. Fuegos de líquidos inflamables.	Alta eficacia		
P O L V O	ABC	Fuegos de combustibles líquidos o gaseosos bajo presión. Fuegos con brasa. Fuegos de líquidos inflamables.	Alta eficacia	En equipos delicados y maquinas pueden originar daños.	Suelen ser específicos para tipos concretos de metales.
	D	Fuegos de metales.			
CO2		Fuegos confinados o de pequeño tamaño, de líquidos inflamables y combustibles gaseosos. Fuego en presencia de tensión eléctrica	No deja residuos		
DERIVADOS HALOGENADOS		Fuego en presencia de tensión eléctrica. Fuegos combustibles líquidos o gaseosos bajo presión. Fuego de líquidos inflamables.	No deja residuos	No muy eficaz frente a fuegos con brasa.	Corrosiones. Productos tóxicos en la descomposición del agente.

Se Anexa toda la teoría acerca de los agentes extintores (Anexo A).

4. PROCESOS DE DISEÑO CONCEPTUAL

4.1 DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD.

4.1.1 Requerimientos del consumidor. Las necesidades del cliente se citan de la siguiente manera:

- Ubicación de los componentes: encontrar el mejor lugar en donde ubicar los diferentes componentes y accesorios del sistema, como lo son, los pulsadores de alarmas, extinguidores, tanque del abastecimiento, rociadores, etc.
- Costo de fabricación: se desea saber cuál es el precio económico total para la empresa si se llegara a implementar o construir el sistema contra incendios.
- Durable: conocer las especificaciones de los materiales con que se llegara a construir el sistema, para tener una confianza que el sistema durara por varios años.
- Funcional: el diseño debe estar dirigido a cumplir su objetivo más importante, y es que funcione como se espera, en caso, de presentarse un incendio, sirva para controlar el fuego y el humo.
- Cumpla con las normas: uno de los objetivos para el cliente es contar con un sistema contra incendios que dé cumplimiento a normas nacionales o internacionales, aportando así, a la visión de seguir siendo una empresa comprometida con la calidad en todas sus áreas, como lo es la seguridad y protección en el trabajo.
- Bajo consumo energético: es importante la eficiencia, poder lograr que todos los sistemas operen bien, con el mínimo consumo de los recursos eléctricos

posibles, puesto que siempre estarán en funcionamiento los sistemas de control y alarmas.

- Seguro: dentro de los diseños se desea conocer la forma en que se instalaran los rociadores y como se sujetan las tuberías, para que ninguno de los trabajadores o personal de la empresa vaya a estar expuesto a algún peligro por desprendimiento de alguno de los diferentes componentes y accesorios del sistema.
- Servicio post venta: para el cliente es significativo conocer los servicios y la atención que se le presta, después de llegarse a instalar el sistema contra incendios, como lo es el conseguir personal calificado para el mantenimiento de los equipos, o la disponibilidad cercana de repuestos que fueran necesarios.
- Tamaño: es fundamental disponer de un sistema con medidas razonables, para poder adecuar un lugar donde ubicar los componentes de mayor tamaño, como lo sería el taque de abastecimiento, sistema de bombeo, controles, etc.
- Estética: la integración de todas las partes del sistema debe producir una sensación de agrado y armonía a la hora de verlas.

4.1.2 Organización de requerimientos. Los parámetros de diseños son:

- Ubicación de equipos con relación a terceros: definir la ubicación de los componentes del sistema con relación a otros equipos que puedan haber dentro de la fábrica, como lo es el sistema de iluminación, computadoras, hornos, maquinas, etc.
- Dimensiones del modelo: tamaño que tendrá cada componente del sistema este parámetro tiene una relación fuerte con los requerimientos del cliente de costo de fabricación y tamaño.

- Tiempo suministrando fluido a los rociadores: los diferentes cálculos hidráulicos, deben reflejar, un tiempo de funcionamiento de los rociadores no menos de 60 minutos, logrando así que el sistema cumpla con el requerimiento de funcionalidad.
- Tanque de almacenamiento del agente extintor: existen diferentes diseños en cuanto a la ubicación, forma y funcionalidad de los tanques de abastecimiento en un sistema contra incendios.
- Red de tuberías para los rociadores: una buena distribución de los rociadores dentro de la empresa, y un diseño óptimo de la red de tuberías sobre las cuales estarán instalados estos rociadores; ayudara que las pérdidas de presión por fricción no sean muy grandes.
- Sistema de bombeo: parte fundamental dentro del diseño es la selección del sistema de bombeo y sus accesorios.
- Cumplimiento de las normas NFPA: para cumplir con los requerimientos que el cliente nos da, se debe hacer uso de las consideraciones que la norma NFPA establece.
- Costo económico total: establecer una aproximación cuantitativa de los costos.

4.1.3 Matriz de calidad. Para realizar la matriz de calidad (QFD), se tomarán en cuenta los criterios de ambas partes (consumidor y diseñador).

la relación entre necesidades del cliente y parámetros de diseño, se clasifico de la siguiente manera: si la relación es Fuerte = 9, Media = 3, Ligera = 1, No hay = 0. (ver Tabla 5).

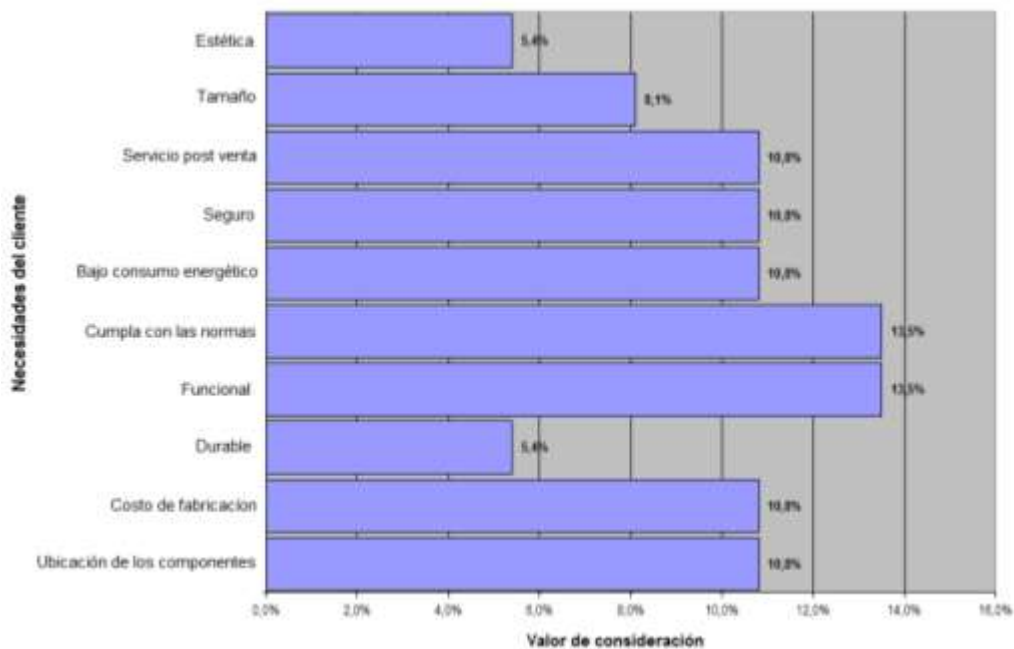
Tabla 5. Matriz de calidad

Parámetros de Diseño											
N°	Necesidad del cliente	Peso Ponderado	1	2	3	4	5	6	7	8	
			Ubicación de equipos con relación a terceros	Dimensiones del modelo	Tiempo suministrando fluido a los rociadores	Tanque de almacenamiento del agente extintor	Red de tuberías para los rociadores	Sistema de bombeo	Cumplimiento de las normas NFPA	Costo económico total	
1	Ubicación de los componentes	10,8%	9	3	1	1	1	1	3	1	
2	Costo de fabricación	10,8%	1	9	0	3	3	3	1	9	
3	Durable	5,4%	1	3	0	1	1	1	9	3	
4	Funcional	13,5%	3	1	9	1	1	1	9	3	
5	Cumpla con las normas	13,5%	3	1	3	3	1	3	9	3	
6	Bajo consumo energético	10,8%	1	1	9	0	1	9	1	3	
7	Seguro	10,8%	3	3	0	1	3	1	1	1	
8	Servicio post venta	10,8%	1	1	0	1	1	1	3	0	
9	Tamaño	8,1%	1	9	0	3	1	3	1	9	
10	Estética	5,4%	1	1	0	1	1	1	0	0	
			100,0%								
2,6	Ubicación de equipos con relación a terceros		2,6	3,1	2,7	1,5	1,4	2,5	4,0	3,2	
	Dimensiones del modelo										
	Tiempo suministrando fluido a los rociadores										
	Tanque de almacenamiento del agente extintor										
	Red de tuberías para los rociadores										
	Sistema de bombeo										
	Cumplimiento de las normas NFPA										
	Costo económico total										

4.1.4 Ponderación de resultados para la selección de la solución. Después de llenar la matriz de calidad, y de relacionar los requerimientos del cliente con los parámetros de diseño, se procede a ponderar los resultados obtenidos, a fin de definir los requerimientos de diseño que serán decisivos en el momento de escoger una alternativa.

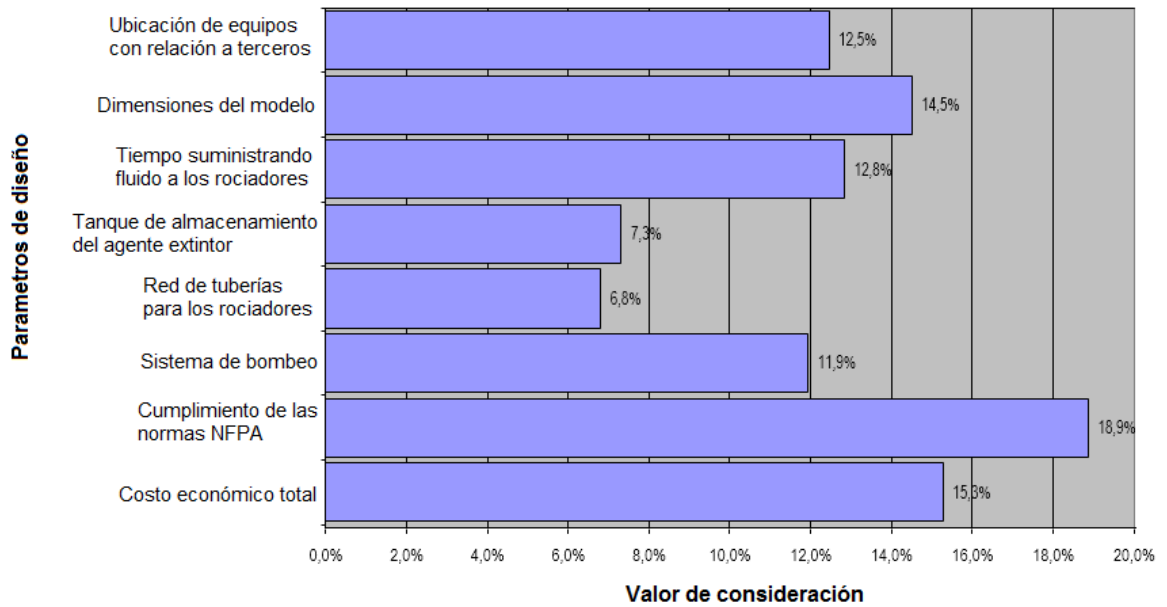
Esta ponderación en este caso está dada en la misma matriz de calidad en porcentajes y se resume en las figuras 8 y 9, partiendo de los requisitos del proyecto y escogiendo los más relevantes.

Figura 8. Pareto necesidades de clientes



El valor de consideración porcentual se asignó, de acuerdo a la importancia que el mismo cliente le dio a cada una de las necesidades.

Figura 9. Pareto parámetros de diseño



Para este proyecto, la matriz de calidad arroja como resultados, un valor máximo de 18,9% de importancia para el cumplimiento de las normas NFPA, frente a los demás parámetros de diseño, seguido del costo económico total con un valor de 15,3% y dimensiones del modelo con un valor de 14,5%; siendo estos tres parámetros los de mayor valor de consideración.

4.2 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS PARTICULARES.

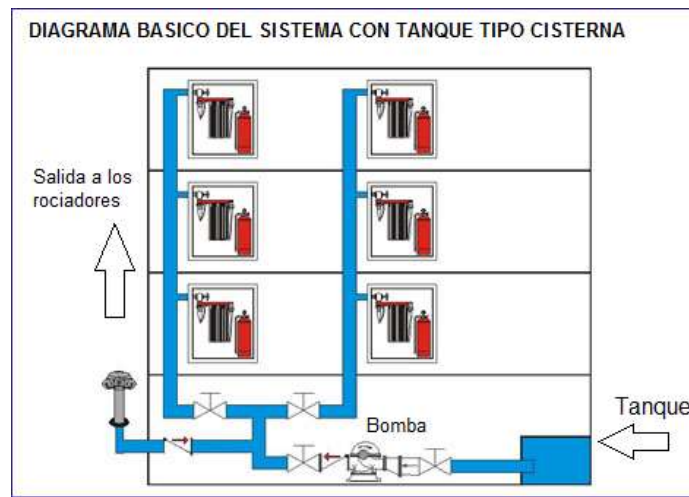
A continuación, se procede a plantear alternativas de solución, de las cuales se escogerá la que más se ajuste al perfil que el cliente ha esbozado. Se analizarán alternativas individuales en dos aspectos del sistema contra incendios, los cuales son, el tanque de abastecimiento y el tipo de agente extintor.

4.2.1 Tanque de abastecimiento. El diseño del sistema contra incendio con relación al tanque de abastecimiento puede variar en, la ubicación del mismo respecto al sistema de bombeo, y la selección del tipo de tanque que puede ser tanque atmosféricos o tanques presurizados.

- **Tanque tipo cisterna. Alternativa 1.**

El sistema debe ser abastecido por un tanque tipo cisterna, siendo contenedores subterráneos en su mayoría, estos recipientes son muy utilizados en lugares donde no se cuenta con suficiente espacio para poder colocar un tanque superficial. Se les conoce también como “Tanques de Succión” en donde se utiliza el tanque para alimentar la bomba contra incendio (ver figura 10).

Figura 10. Tanque tipo cisterna



- **Tanque elevado. Alternativa 2.**

Colocar un tanque elevado por encima del sistema contra incendio lo cual sirve para tomar ventaja con la carga por elevación e incrementar la presión disponible en el sistema de protección contra incendio. En caso de que el sistema de bombeo fallara, el agente extintor fluye por gravedad desde el tanque superior hasta los rociadores. (ver figura 11).

Figura 11. Tanque elevado



Fuente: <http://www.fimet.com.ar>

- **Taque a presión. Alternativa 3.**

El sistema contra incendio será abastecido por un taque a presión, Los tanques presurizados están totalmente sellados y se presurizan una vez que han sido llenos del agente extintor a utilizar. La forma más usual para presurizar estos tanques es por medio del uso de compresores de aire. La función del aire presurizado dentro del tanque es provocar un empuje para incrementar la presión total en el tanque y a su vez a la salida del fluido. Los tanques presurizados tienden a trabajar mejor cuando el volumen de aire en el tanque es aproximadamente 1/3 del volumen total del tanque. (ver figura 12).

Figura 12. Tanque a presión



Fuente: <https://induprofibra.com>

4.2.2 Agente extintor.

- **Espuma física. Alternativa 1.**

La National Fire Association, (en su norma NFPA 11, *norma para espuma de baja, media y alta expansión*) define la espuma contra incendio como “... un agregado de burbujas llenas de aire formadas a partir de una solución acuosa de menor densidad que la de los líquidos inflamables. Tiene la propiedad de adherirse a las superficies, lo cual proporciona un grado de protección contra incendios adyacentes.”

Los sistemas fijos de extinción por espuma física actúan principalmente por sofocación, pero también tienen un efecto refrigerante y de inactivación, es por ello por lo que se pueden utilizar para mejorar los sistemas de rociadores. (Ver figura 13).

Figura 13. Alternativa de espuma como agente extintor



Fuente: <https://www.google.com.co>

- **Agua pulverizada. Alternativa 2.**

Los rociadores automáticos, o sprinklers, (norma NFPA 13, *norma para la instalación de sistemas de rociadores*) son uno de los sistemas más antiguos para la protección Contra Incendios en todo tipo de edificios. Actualmente éste es el método más eficiente para evitar la propagación de los incendios y salvar vidas humanas.

Desde el punto de vista físico resulta importante destacar ciertas propiedades físicas del agua que la hacen el agente extintor por excelencia:

- A temperatura ambiente es un líquido estable.
- El calor de fusión del hielo es de 80 cal/ gr.
- Se requiere 1 caloría para elevar en 1 °C la temperatura de 1 gr. de agua (14,5 a 15,5 °C Caloría media).
- El calor de vaporación del agua a presión atmosférica normal es de 540 cal/gr. Se puede deducir que se requiere 100 kilocaloría para elevar 1 Kg. de agua de 0 °C a 100 °C (punto de ebullición) y desde allí para llevarla al estado de vapor total se requiere 540 Kilocalorías más. En consecuencia, si consideramos que el agua se encuentra a temperatura ambiente (20 °C) absorberá en total 620 Kilocalorías para transformarse en vapor (Además el vapor puede sobrecalentarse).

Es esta extraordinaria capacidad de absorción del calor, lo que permite su potente acción de enfriamiento, bajando considerablemente la temperatura de muchas sustancias en combustión y la velocidad de transferencia del calor de la combustión a las capas de combustible. (Ver figura 14).

Figura 14. Alternativa de agua como agente extintor



Fuente: <https://www.previfoc.com>

- **Agentes extintores gaseosos. Alternativa 3.**

Los agentes extintores gaseosos más habituales son los siguientes: CO₂, halocarbonados: HFC23 (FE13), HFC227 (FM200); inertes: IG-55 (Argonite), IG-541 (Inergen), IG-100 (Nitrógeno); FK-5-1-12 (NOVEC). Los sistemas con agente de CO₂ (norma NFPA 12, *sistema de extinción de dióxido de carbono*) se utilizan en áreas desocupadas o en aplicación local. Este agente es peligroso para las personas y por ese motivo es muy importante garantizar la estanqueidad del riesgo protegido y otras consideraciones de seguridad: gas odorizado, alarma de descarga, aparatos de respiración autónoma, formación y mantenimiento.

El modo de extinción se basa en quitar calor, combustible y oxígeno, e interrumpir la reacción en cadena del fuego. El parámetro fundamental para garantizar la eficacia del sistema es conseguir la concentración apropiada para el riesgo, durante el tiempo de permanencia indicado para cada agente.

Estos sistemas de extintores gaseosos se componen de una red de tubería adecuada a la presión de trabajo, boquillas de descargas y los cilindros presurizados que almacenan el gas extintor. (Ver figura 15).

Figura 15. Alternativa de gases como agente extintor



Fuente: <http://www.tpcontra incendiosyseguridad.es>

4.2.3 Sistema de bombeo. Será un sistema con una motobomba PRINCIPAL para el 100% y una JOCKEY para el 10% (máximo) del caudal total, y demás accesorios.

La bomba principal estará sujeta a la norma de NFPA 20, será de eje HORIZONTAL, carcasa bipartida. Construidas especialmente para sistemas contra incendio listadas por UL (Underwrite Laboratories) y/o Aprobadas por FM (Factory Mutual).

Figura 16. Bomba jockey



Fuente: <http://www.gomezroco.com.ar>

La bomba jockey es una bomba auxiliar de pequeño caudal diseñada para mantener la presión en la red contra incendios y evitar la puesta en marcha de las bombas principales en caso de pequeñas demandas generadas en la red.

Es importante que la bomba jockey esté en correcto funcionamiento puesto que cualquier pérdida de carga, por insignificante que sea en la red, es alimentada por la bomba jockey.

- **Bomba con motor eléctrico. Alternativa 1.**

Se utilizará un motor eléctrico trifásico del tipo jaula de ardilla a prueba de humedad. Pintura exterior especial para protegerlo contra la corrosión.

Las conexiones y demás elementos de control eléctricos deberán cumplir los requisitos dados por el capítulo 6 y 7 de la NFPA 20 ed. 2007.

Arrancadores de motores: Los motores se arrancarán mediante conexión directa o arranque en estrella triángulo, de acuerdo con su potencia nominal y a las recomendaciones del fabricante. En general para motores de 10 H.P. o más se utilizará el arranque estrella triángulo. (Ver figura 17).

Figura 17. Bomba contra incendio con motor eléctrico



Fuente: <http://www.mobesa.com>

- **Bomba con motor de combustión interna. Alternativa 2.**

Motor Diesel con Potencias de 20, 30, 40 HP A 3500 RPM 55 HP a 3000 RPM, Turbo Cargado, Tanque combustible y otros accesorios disponibles Enfriados por Agua por medio de Radiador o intercambiador de calor.

Capítulo 8, Motor de combustión interna (NFPA 20), El motor diésel de ignición por compresión ha demostrado ser el más confiable de los motores de combustión interna para mover bombas para sistemas contra incendio.

Está comprobado que un motor diésel es mucho más robusto y de mayor confiabilidad que un motor de gasolina. No depende de un sistema de chispa (eléctrico), tiene menos piezas que afinar, tienen una mayor fuerza de torsión (torque) y el diésel es menos volátil e inflamable que la gasolina. (Ver figura 18).

Figura 18. Bomba contra incendio con motor Diesel



Fuente: <http://www.mobesa.com>

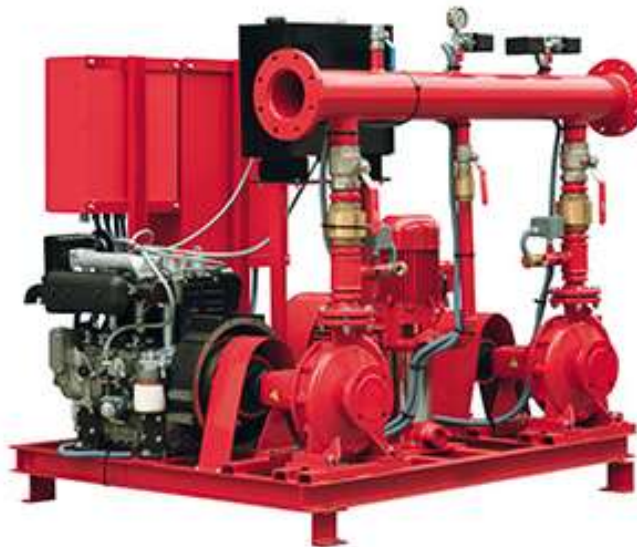
- **Sistema combinado de bomba eléctrica y bomba diésel. Alternativa 3.**

Bomba principal eléctrica: Una vez que la bomba principal está en marcha su parada ha de realizarse manualmente.

Bomba de reserva diésel/eléctrica: Tendrá las mismas características y función que la bomba principal. Esta bomba entrará en funcionamiento cuando, por cualquier motivo, la bomba principal no haya funcionado. El sistema de accionamiento de la bomba de reserva será independiente del utilizado para la bomba principal. Su parada también se realizará manualmente.

Bomba auxiliar (Jockey): Su función es la de mantener presurizada toda instalación o bien hacer frente a pequeñas demandas o posibles fugas que existieran.

Figura 19. Sistema combinado de bomba eléctrica y bomba diésel



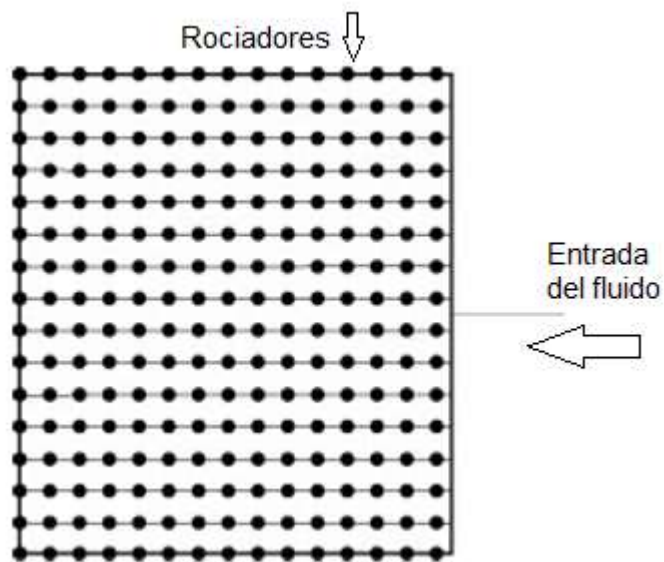
Fuente: <http://www.tecindra.com>

4.2.4 Topología de la red.

- **Sistema en Malla. Alternativa 1.**

Sistema de rociadores en el cual tuberías principales transversales paralelas se conectan por medio de múltiples ramales formando retículas o anillos. Un rociador que se encuentre operando recibirá agua desde ambos extremos de su ramal, mientras que los demás ramales ayudaran a transferir agua entre las tuberías principales transversales. (Ver figura 20).

Figura 20. Sistema en malla o reticulado

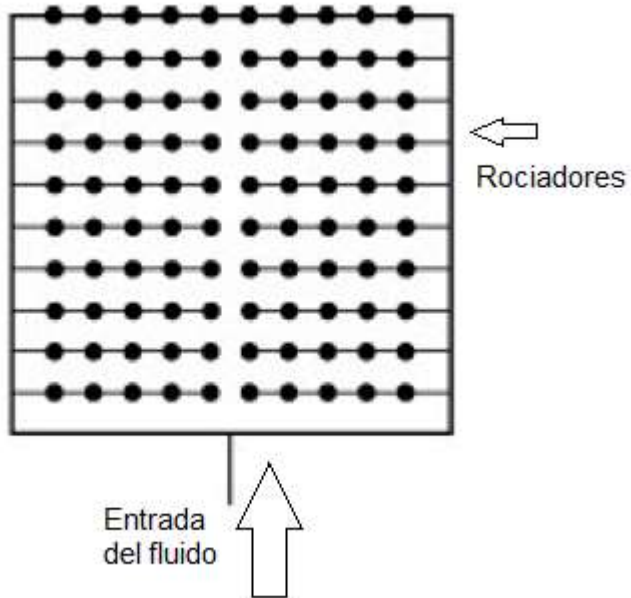


Fuente: NFPA 13, Norma para la instalación de sistemas de rociadores.

- **Sistema Anillado. Alternativa 2.**

Sistema de rociadores, en el cual se interconectan múltiples tuberías principales transversales de modo de proporcionar más de un camino para que el agua fluya hacia un rociador en operación, y en el cual los ramales no están conectados entre sí. (Ver figura 21).

Figura 21. Sistema anillado



Fuente: NFPA 13, Norma para la instalación de sistemas de rociadores.

4.3. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.

4.3.1 Tanque de abastecimiento. Para determinar la mejor ubicación de los tanques, la norma NFPA-22, *norma para tanques de agua para protección contra incendios privada*, hace mención de cuidar que los tanques no estén expuestos al fuego o al congelamiento del agua.

En la tabla 6 se muestra los resultados de cada una de las alternativas para el diseño del sistema de abastecimiento al sistema, contrastadas con los distintos criterios de diseño definidos en la matriz de calidad.

Tabla 6. Selección para alternativa de tanque

MATRIZ DE SELECCIÓN PARA ALTERNATIVA DE TANQUE				
Criterios	Ponderación	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Ubicación de equipos con relación a terceros	2,6	9	7	8
Dimensiones del modelo	3,1	9	7	8
Tiempo suministrando fluido a los rociadores	2,7	8	9	7
Tanque de almacenamiento del agente extintor	1,5	9	9	9
Red de tuberías para los rociadores	1,4	7	6	7
Sistema de bombeo	2,5	6	7	8
Cumplimiento de las normas NFPA	4	9	9	9
Costo económico total	3,2	9	5	4
TOTAL	-	176	155,6	156,6

Nota: la calificación de cada alternativa está comprometida entre los números naturales de 0 a 10; donde 0 es la calificación más baja de favorabilidad y 10 la más alta.

4.3.2 Agente extintor. Para garantizar la eficacia en la extinción se requieren unas condiciones que deben tenerse en cuenta en el momento de su selección, su distribución y vida útil del agente extintor, de manera que garantice su idoneidad para la protección de las personas y bienes en los momentos iniciales de un incendio.

En la tabla 7 se muestra los resultados de cada una de las alternativas para la selección del agente extintor a utilizar en el sistema contra incendios, contrastadas con los distintos criterios de diseño definidos en la matriz de calidad.

Tabla 7. Selección para agente extintor

MATRIZ DE SELECCIÓN PARA AGENTE EXTINTOR				
Criterios	Ponderación	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Ubicación de equipos con relación a terceros	2,6	8	9	9
Dimensiones del modelo	3,1	7	8	8
Tiempo suministrando fluido a los rociadores	2,7	8	9	8
Tanque de almacenamiento del agente extintor	1,5	7	8	9
Red de tuberías para los rociadores	1,4	5	9	8
Sistema de bombeo	2,5	6	9	9
Cumplimiento de las normas NFPA	4	9	9	9
Costo económico total	3,2	6	9	5
TOTAL	-	151,8	184,4	169

Nota: la calificación de cada alternativa está comprometida entre los números naturales de 0 a 10; donde 0 es la calificación más baja de favorabilidad y 10 la más alta.

4.3.3 Sistema de bombeo. Su objetivo es suministrar un caudal de agua determinado a una presión suficiente en los distintos puntos de suministro de una instalación de protección contra incendios, que pueden ser BIE's (Bocas de Incendio Equipadas), sprinklers, hidrantes, etc.

En la tabla 8 se muestra los resultados de cada una de las alternativas para la selección del sistema de bombeo a utilizar en el sistema contra incendios, contrastadas con los distintos criterios de diseño definidos en la matriz de calidad.

Tabla 8. Selección para sistema de bombeo

MATRIZ DE SELECCIÓN PARA SISTEMA DE BOMBEO				
Crterios	Ponderación	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Ubicación de equipos con relación a terceros	2,6	9	9	9
Dimensiones del modelo	3,1	9	8	8
Tiempo suministrando fluido a los rociadores	2,7	7	7	7
Tanque de almacenamiento del agente extintor	1,5	7	7	7
Red de tuberías para los rociadores	1,4	6	6	6
Sistema de bombeo	2,5	7	7	7
Cumplimiento de las normas NFPA	4	9	9	9
Costo económico total	3,2	9	8	8
TOTAL	-	171,4	165,1	165,1

Nota: la calificación de cada alternativa está comprometida entre los números naturales de 0 a 10; donde 0 es la calificación más baja de favorabilidad y 10 la más alta.

4.3.4 Topología de la red. En la tabla 9 se muestra los resultados de cada una de las alternativas para la selección de topología de la red a utilizar en el sistema contra incendios, contrastadas con los distintos criterios de diseño definidos en la matriz de calidad.

Tabla 9. Selección para topología de red

MATRIZ DE SELECCIÓN TOPOLOGIA DE LA RED			
Criterios	Ponderación	Alternativa 1	Alternativa 2
Ubicación de equipos con relación a terceros	2,6	8	9
Dimensiones del modelo	3,1	7	8
Tiempo suministrando fluido a los rociadores	2,7	8	9
Tanque de almacenamiento del agente extintor	1,5	7	7
Red de tuberías para los rociadores	1,4	5	5
Sistema de bombeo	2,5	6	9
Cumplimiento de las normas NFPA	4	9	9
Costo económico total	3,2	6	9
TOTAL	-	151,8	177,3

Nota: la calificación de cada alternativa está comprometida entre los números naturales de 0 a 10; donde 0 es la calificación más baja de favorabilidad y 10 la más alta.

5 ANÁLISIS DE NORMATIVIDAD APLICABLE

5.1 NORMA PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE ROCIADORES, NFPA 13.

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

El objetivo de esta norma es proporcionar un grado de protección contra incendios razonable, para la vida humana y los bienes materiales. Nada de esta norma pretende restringir nuevas tecnologías o disposiciones alternativas, siempre que no se reduzca el nivel de seguridad prescrito por ella.

5.1.1 Clasificación de las ocupaciones. La clasificación que hace esta norma a las ocupaciones es únicamente para ser utilizada en la instalación de rociadores y a su abastecimiento de agua. No es una clasificación general de los riesgos de la 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 almacenamientos de combustibles no superan 24 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 o considerables de líquidos inflamables o combustibles, o donde se resguarden cantidades importantes de productos combustibles.

5.1.2 Rociadores. Instrumento o dispositivo, para pulverizar o esparcir un líquido en gotas muy finas.

- 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.

- Rociador de Gota Grande. Tipo de rociador que es capaz de producir gotas de agua grande, y listados 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 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, debe estar en concordancia con la Tabla 10.
- Características de Temperatura. El líquido en los rociadores tipo bulbo será de color codificado de acuerdo con la Tabla 11.

Tabla 10. Características de descarga de los rociadores

Factor K Nominal [gpm/(psi) ^{1/2}]	Factor K Nominal [L/min/(bar) ^{1/2}]	Factor K Rango [gpm/(psi) ^{1/2}]	Factor K Rango [L/min/(bar) ^{1/2}]	Porcentaje de descarga	Tipo de rosca
1.4	20	1.3 - 1.5	19 - 22	25	½ in. NPT
1.9	27	1.8 - 2.0	26 - 29	33.3	½ in. NPT
2.8	40	2.6 - 2.9	38 - 42	50	½ in. NPT
4.2	57	4.0 - 4.4	59 - 64	75	½ in. NPT
5.6	80	5.3 - 5.8	76 - 84	100	½ in. NPT
8.0	115	7.4 - 8.2	107 - 118	140	½ o ¾ in. NPT
11.2	160	10.7 - 11.7	159 - 166	200	½ o ¾ in. NPT
14.0	200	13.5 - 14.5	195 - 209	250	¾ in. NPT
16.8	240	16.0 - 17.6	231 - 254	300	¾ in. NPT
19.6	280	18.6 - 20.6	272 - 301	350	1 in. NPT
22.4	320	21.3 - 23.5	311 - 343	400	1 in. NPT
25.2	360	23.9 - 26.5	349 - 387	450	1 in. NPT
28.0	400	26.6 - 29.4	389 - 430	500	1 in. NPT

Fuente: NFPA 13. Norma para la instalación de sistemas de rociadores.

Tabla 11. Rangos de temperatura para rociadores con ampolla

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

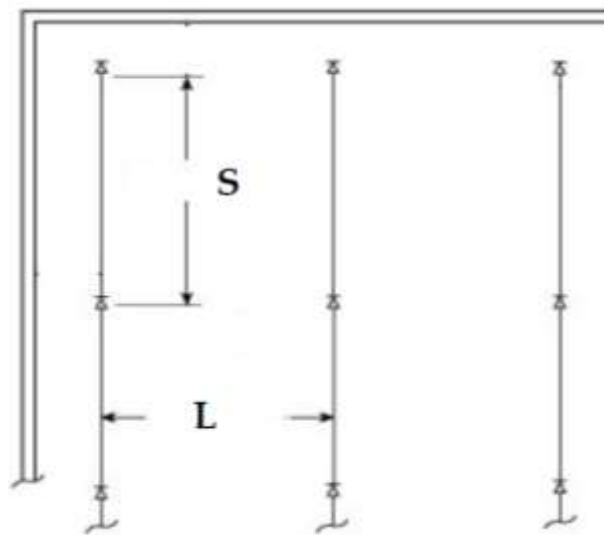
Fuente: NFPA 13. Norma para la instalación de sistemas de rociadores.

- Posición, Ubicación y Espaciamiento de los rociadores.
- Área de protección por rociador. El área de cobertura (Figura 22) 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 cualquier tipo de rociador no puede superar los 387 pies² (36 m²).

Figura 22. Área de cobertura por rociador



Fuente: NFPA 13. Norma para la instalación de sistemas de rociadores.

- Posición del deflector. Los deflectores de los rociadores deben alinearse paralelos a lo 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 los 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 (457mm).
 - 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).

5.1.3 Tubería. Las tuberías utilizadas en sistemas para rociadores deben ser 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.

Podrán utilizarse otros tipos de tubería, cuya compatibilidad con las instalaciones de rociadores automáticos haya sido investigada y estén listados para este servicio.

5.1.4 Válvulas. Todas las válvulas que controlen las conexiones para abastecimiento de agua y conexiones a las tuberías de abastecimiento de los rociadores, deben ser válvulas indicadoras listadas. Estas válvulas no deben cerrar en menos de 5 segundos al ser operadas a la velocidad máxima posible, desde la posición totalmente abierta.

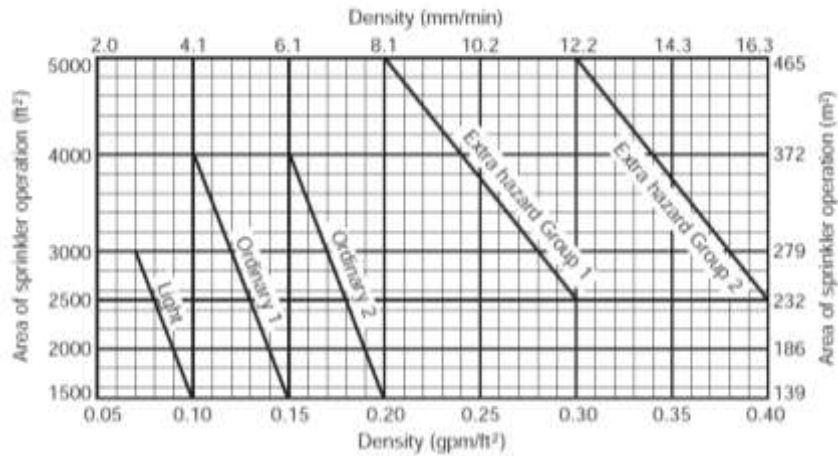
5.1.5 Adicionales del sistema.

- Drenaje. Toda la tubería y accesorios de los rociadores deben ser instalados de forma tal que el sistema puede ser drenado.
- 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 manómetro en cada vertical de alimentación del sistema.

5.1.6 Método de diseño para el cálculo hidráulico.

- El suministro de agua requerida exclusivamente para rociadores debe calcularse a partir de las curvas área/densidad de la Figura 23. 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 12.

Figura 23. Curvas Área/Densidad



Fuente: NFPA 13. Norma para la instalación de sistemas de rociadores.

Tabla 12. Requisitos para demanda de chorros de mangueras

Clasificación de la Ocupación	Mangueras Interiores (gpm)	Total combinado de las Mangueras Interiores y Exteriores		Duración en Minutos
		Exteriores (gpm)		
Riesgo Leve	0, 50, ó 100	100		30
Riesgo Ordinario	0, 50, ó 100	250		60 - 90
Riesgo Extra	0, 50, ó 100	500		90 - 120

Fuente: NFPA 13. Norma para la instalación de sistemas de rociadores.

- Perdidas por fricción. Para determinar las perdidas 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 13.

Tabla 13. Valores C de Hazen-Williams

Tubería o Tubo	Valor C*
Fundición de hierro o fundición dúctil sin recubrimiento interior	100
Acero negro (sistemas de tubería seca, incluyendo de preacción)	100
Acero negro (sistemas de tubería húmeda, incluyendo diluvio)	120
Galvanizada (toda)	120
Plástico (listada), toda	150
Fundición de hierro o fundición dúctil, revestida de cemento	140
Cobre o acero inoxidable	150

* La autoridad competente podrá considerar otros valores de C.

Fuente: NFPA 13. Norma para la instalación de sistemas de rociadores.

- Longitudes de tubería equivalente para accesorios. Para determinar la longitud equivalente de tubería para accesorios y dispositivo debe utilizarse la Tabla 14.

Tabla 14. Longitudes equivalentes en pies para tubería de acero, Cedula 40.

Accesorios y válvulas (en pulgadas)	Simb.	Accesorios y válvulas expresados en Pies Equivalentes de Tubería						
		1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5
Codo a 45°	CC	2	2	3	3	3	4	5
Codo estándar a 90°	CN	4	5	6	7	8	10	12
Codo Largo a 90°	CRL	2	3	4	5	5	6	8
Té (giro de flujo de 90°)	T	8	10	12	15	17	20	25
Válvula Mariposa	VM	-	6	7	10	-	12	9
Válvula de Compuerta	VC	-	1	1	1	1	2	2
Válvula de Retención	VR	9	11	14	16	19	22	27

Fuente: NFPA 13. Norma para la instalación de sistemas de rociadores.

- 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 calculado

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 esté incluido el accesorio.
- Debe excluirse la pérdida por fricción de los accesorios conectados directamente a un rociador.

5.1.7 Mantenimiento. De acuerdo con la norma NFPA 25 *Norma para la Inspección, Prueba y Mantenimiento de Sistemas Hidráulicos de Protección contra Incendios*, en el capítulo 5 se presenta los requisitos mínimos para la inspección, prueba y mantenimiento de rutina en los sistemas de rociadores.

Debe usarse la Tabla 5.1.1.2 de la Norma NFPA 25 que se encuentra en los anexos de este trabajo (Anexo B) para determinar las frecuencias mínimas requeridas para inspección, prueba y mantenimiento.

5.2 NORMA PARA TANQUES DE AGUA PARA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS PRIVADA, NFPA 22.

Esta norma proporciona las exigencias mínimas para el diseño, construcción, instalación, y el mantenimiento de los tanques y equipos accesorios que suministran agua para la protección contra incendios privada.

El objetivo de esta norma es proporcionar una base para el diseño, construcción, operación y el mantenimiento de tanques de agua para la protección contra incendios privada. Nada de esta norma impedirá el uso de sistemas, métodos o dispositivos que son equivalentes en calidad, fuerza, resistencia al fuego, eficacia y durabilidad a las prescritas por esta norma, siempre que la documentación técnica se ponga a disposición de la autoridad con jurisdicción que demuestre la equivalencia, y el sistema, el método o dispositivo es adecuado para el propósito previsto.

5.2.1 Abastecimiento de agua. El agua que se utilice en la red contra incendios debe proceder de cualquier fuente de abastecimiento que garantice el volumen de agua requerido, y estar libre de hidrocarburos.

Cuando se tenga un suministro alternativo a la red de agua contra incendios, proveniente de la red municipal o de fuentes móviles, se debe instalar una válvula de retención o “check” en la tubería de interconexión a la red contra incendios de la instalación.

5.2.2 Almacenamiento de agua. Las redes de agua contra incendios deben contar con: Una fuente de agua que satisfaga las necesidades de mayor demanda. (Cisternas, lagos, lagunas, ríos, presas, entre otros).

El almacenamiento de agua contra incendios se debe determinar en función del requerimiento total de agua, que demanda el área más remota de actuación de los rociadores dentro de la edificación.

No se recomienda el uso del tanque para fines distintos al de la protección contra incendio, la circulación frecuente del agua resulta en una acumulación de sedimentos que puede obstruir la tubería de los rociadores, y un nivel de agua fluctuante acelera la descomposición de la madera y la corrosión del acero.

Una fuga o rotura en una tubería para uso que no sea para protección contra incendio puede dañar severamente la protección contra incendio al drenar parcial o total el tanque.

El tanque se mantendrá lleno y el nivel de agua nunca será más de 3 o 4 pulgadas por debajo del nivel de servicio de incendio designado. El bypass de llenado se mantendrá cerrado cuando no se utilice.

Conexiones para uso que no sean para protección contra incendio se consultara a la autoridad competente antes de diseñar el tanque en el que se extraerá agua del tanque para fines distintos al de la protección contra incendios.

5.2.3 Materiales del tanque y accesorios. Los tanques de almacenamiento deben ser verticales, atmosféricos, de techo fijo, con venteo y recubrimiento interno.

El diseño del tanque debe incluir: Un sistema de medición de nivel, con alarmas por alto y bajo nivel con señales luminosas y audibles, como mínimo.

La tubería de reposición de agua al tanque debe tener un sistema de doble filtrado, uno en operación y otro de relevo, que retengan partículas de 3 mm como mínimo.

Los materiales deberán ser limitadas a acero, madera, hormigón, y la tela revestida.

Se permitirá la fibra de vidrio reforzado con tanques de plástico sólo para el almacenamiento subterráneo de agua a presión atmosférica.

5.2.4 Ubicación de los tanques. Para determinar la mejor ubicación de los tanques, la norma NFPA-22 hace mención de cuidar que los tanques no estén expuestos al fuego o al congelamiento del agua, el agua dentro del tanque debe estar a una temperatura no menor a 4 °C y no mayor a 49 °C, para evitar esas condiciones, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- **Contra el Fuego:**
 - Localizar el tanque a una distancia no menor de 6 metros, de cualquier estructura combustible o que represente riesgo de incendio.
 - Aquellos tanques que queden dentro de los 6 metros se deben construir con materiales a prueba de fuego.
- **Contra el Congelamiento:**
 - Localizar el tanque en espacios con calefacción.
 - instalar equipos de calentamiento para el agua del tanque.

Es importante mencionar que no siempre se podrá cumplir con estas recomendaciones, puesto que dependerá de las condiciones del edificio y/o predio.

Para estos casos se debe consultar y buscar un acuerdo con la autoridad que revisara y aceptara el diseño del tanque.

5.2.5 Dimensionamiento de los tanques. La capacidad de almacenamiento de agua para servicio contra incendios debe ser suficiente para combatir ininterrumpidamente el incendio en la zona más remota de la instalación, y así se garantiza una protección para todo el edificio.

Cada estándar o norma de la NFPA comprende declaraciones sobre el requisito de la duración prevista para el suministro de agua. Por ejemplo, la NFPA 13 contiene una tabla donde se menciona la duración prevista para las diferentes clasificaciones de riesgo (Tabla 8). Es importante hacer referencia que de acuerdo con los requerimientos de la NFPA 13 para los tanques, no es necesario almacenar agua para toda el área del sistema de rociadores cercano, solo es necesario almacenar el tiempo especificado en la tabla antes mencionada para la zona más remota del sistema. Sin olvidar, claro está, la presencia de las estaciones de manguera.

5.2.6 Mantenimiento. De acuerdo a la norma NFPA 25 *Norma para la Inspección, Prueba y Mantenimiento de Sistemas Hidráulicos de Protección contra Incendios*, en el capítulo 9 se presenta los requisitos mínimos para la inspección, prueba y mantenimiento de rutina de tanques de almacenamiento de agua dedicados a uso para protección contra incendio.

Debe usarse la Tabla 9.1.1.2 de la Norma NFPA 25 que se encuentra en los anexos de este trabajo (Anexo C) para determinar las frecuencias mínimas requeridas para inspección, prueba y mantenimiento.

5.3 INSTALACIÓN DE BOMBAS ESTACIONARIAS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS NFPA 20.

El propósito de esta norma es proveer un grado razonable de protección contra incendios a la vida y la propiedad a través de requerimientos de instalación para bombas estacionarias para protección contra incendio basados en sólidos principios de ingeniería, datos de prueba y experiencia de campo.

5.3.1 Selección de bombas centrífugas. Las bombas centrífugas contra incendios deberán tener una de las capacidades nominales gpm (L/min.) identificadas en la Tabla 15.

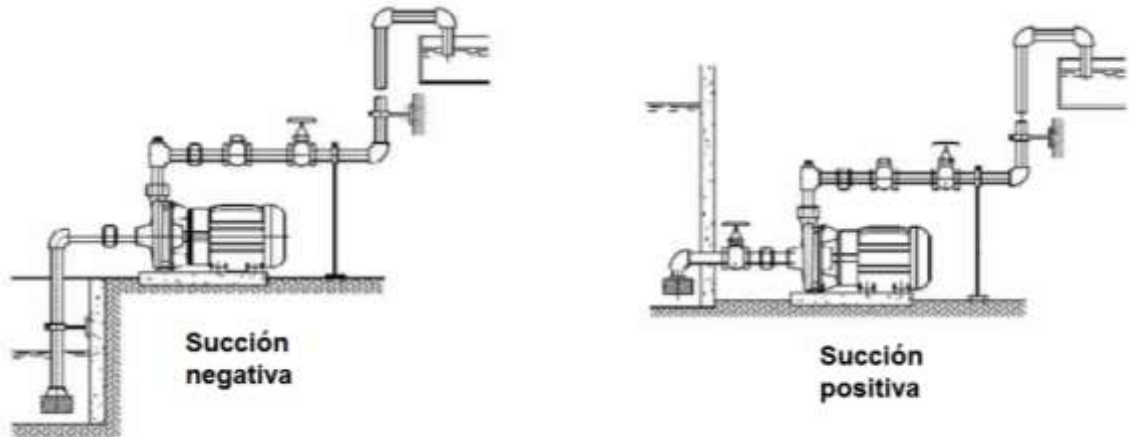
Tabla 15. Capacidades de bombas centrífugas contra incendio

gpm	L/min	gpm	L/min
25	95	1000	3785
50	189	1250	4731
100	379	1500	5677
150	568	2000	7570
200	757	2500	9462
250	946	3000	11355
300	1136	3500	13247
400	1514	4000	15140
450	1703	4500	17032
500	1892	5000	18925
750	2839		

Fuente: NFPA 20. Instalación de bombas estacionarias de protección contra incendios.

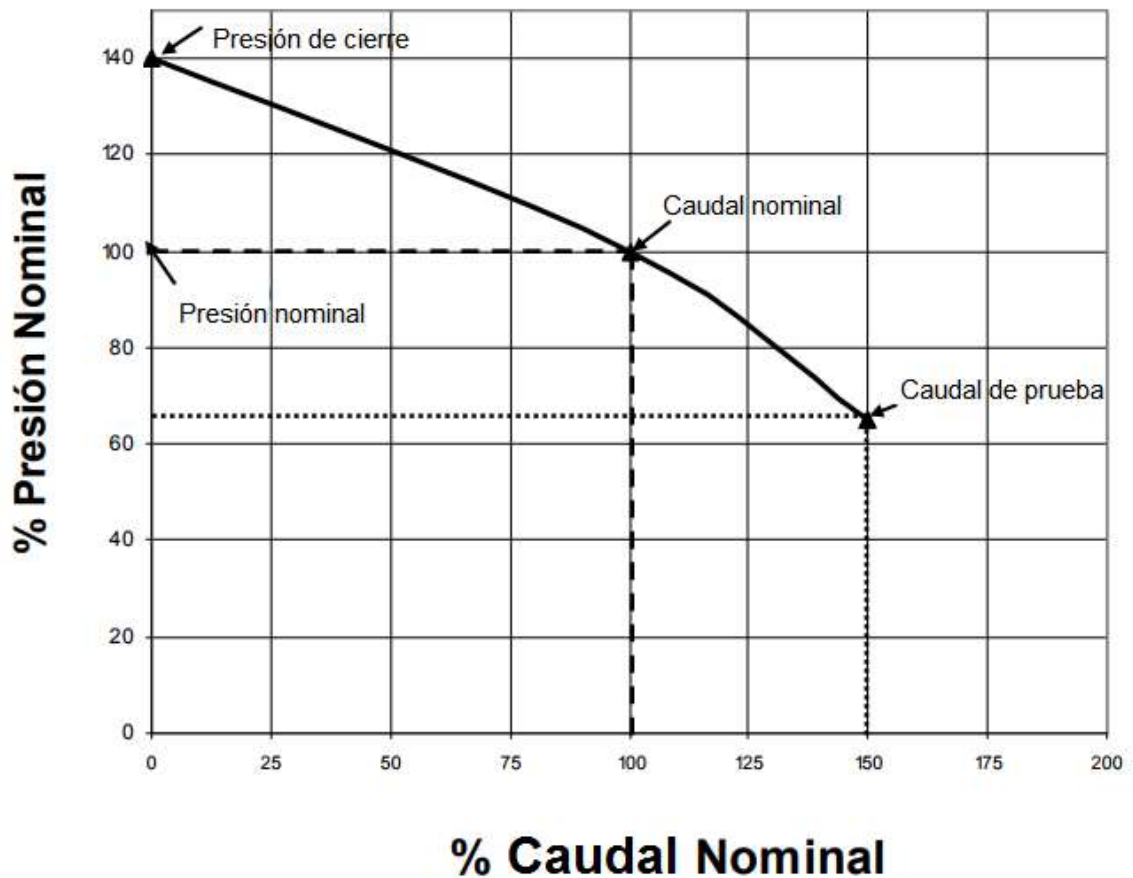
Las bombas centrifugas horizontales no se deben utilizar en donde exista una condición de succión negativa.

Figura 24. Succión positiva y negativa



Para la selección de las bombas, se debe cumplir con lo siguiente: a caudal nulo la presión no debe exceder de 140% de la presión de descarga nominal y para un caudal de prueba de 150% de capacidad nominal, la presión de descarga no debe ser menor de 65% de la presión de descarga nominal. El diseñador debe tener en cuenta las curvas características que dan los fabricantes de bombas para servicio contra incendios, similares en su desarrollo a la curva de la figura 25.

Figura 25. Curva característica de la bomba contra incendios



Para el caso de bombas centrífugas horizontales, el diseño debe considerar que la bomba y el motor estén fijos a una base común de acero, asegurando su alineamiento, evitando el calentamiento de los cojinetes, desgaste prematuro de chumaceras, roturas de flecha y pérdida de eficiencia en las bombas, entre otras. La base de acero debe estar sobre una cimentación de concreto reforzado.

La rotación del eje de la bomba debe estar determinada y especificada por el fabricante, normalmente en la carcasa de la bomba.

5.3.2 Bomba de mantenimiento de presión “jockey”. La bomba de mantenimiento de presión "jockey", debe ser accionada por motor eléctrico, de características de construcción semejantes a los motores de las bombas de agua contra incendios principales.

En todos los casos, las bombas de mantenimiento de presión "jockey", deben tener una presión de descarga igual a la presión a gasto cero de las bombas contra incendios principales; estar equipadas con un paro automático, que actúe cuando en la red contra incendios se registre una presión igual a la presión de caudal nulo (140 por ciento máximo de la presión nominal) más la presión estática de la bomba principal; contar también con un arranque automático que se accione cuando dicha red registre una presión al menos de 68,9 kPa (0,7 kg/cm² ;10 lb/pulg²), debajo de la presión de paro de la bomba de mantenimiento de presión “jockey”.

No es necesario que las bombas de mantenimiento de presión “jockey”, sean listadas y/o aprobadas por UL/FM o equivalentes.

5.3.3 Diseño del cabezal de succión de las bombas.

El cabezal de succión de la bomba debe estar ubicado lo más cercano posible al tanque de almacenamiento, para reducir la caída de presión y disminuir el riesgo de cavitación de la bomba.

El diámetro de la tubería de succión debe permitir el manejo del 150 por ciento de la capacidad nominal de dicha bomba, con una velocidad que no exceda de 4,57 m/s (15 pies/s). Para agua salada, esta velocidad debe ser como máximo de 3,28 m/s (10 pie/s).

Cada una de las bombas de agua contra incendios, debe tener instalada en su tubería de succión, una válvula de compuerta con vástago ascendente, (OS&Y) listada, de igual manera otra de iguales características en el cabezal general de succión de todo el conjunto de bombas contra incendios, que se encuentre

localizada junto al tanque de almacenamiento de agua. No está permitido el uso de válvulas de mariposa en tuberías de succión de las bombas para el servicio contra incendios u otros accesorios entre la válvula y la brida de succión en la carcasa de la bomba, como aparatos o aditamentos que obstruyan o restrinjan el flujo en la succión.

El diámetro de la tubería de succión de la bomba contra incendios no debe ser menor a lo indicado en la Tabla 16.

Tabla 16. Diámetro de tubería para la succión y la descarga

Clasificación			Clasificación		
De bomba (gpm)	Succión (pulg.)	Descarga (pulg.)	De bomba (gpm)	Succión (pulg.)	Descarga (pulg.)
25	1	1	750	6	6
50	1 ½	1 ¼	1.000	8	6
100	2	2	1.250	8	8
150	2 ½	2 ½	1.500	8	8
200	3	3	2.000	10	10
250	3 ½	3	2.500	10	10
300	4	4	3.000	12	12
400	4	4	3.500	12	12
450	5	5	4.000	14	12
500	5	5	4.500	16	14
			5.000	16	14

Fuente: NFPA 20. Instalación de bombas estacionarias de protección contra incendios.

5.3.4 Diseño del cabezal de descarga de las bombas. El diámetro de la tubería de descarga de las bombas de agua contra incendios se debe diseñar para conducir el 150 por ciento del gasto nominal de la bomba, a una velocidad máxima de flujo de 6,2 m/s (20 pie/s), en el caso de agua dulce. Para agua salada, dicha velocidad debe ser como máximo de 4,6 m/s (15 pie/s).

El diámetro de la tubería de descarga de la bomba no debe ser menor a lo indicado en la Tabla 17.

En la tubería de descarga de cada bomba y en el sentido del flujo, se debe instalar una válvula de retención (check), seguida de una válvula de compuerta de vástago ascendente.

5.3.5 Mantenimiento. De acuerdo con la norma NFPA 25 *Norma para la Inspección, Prueba y Mantenimiento de Sistemas Hidráulicos de Protección contra Incendios*, en el capítulo 8 se presenta los requisitos mínimos para la inspección, prueba y mantenimiento de rutina de los equipos de bombas de incendio.

Debe usarse la Tabla 8.1.1.2 de la Norma NFPA 25 que se encuentra en los anexos de este trabajo (Anexo D) para determinar las frecuencias mínimas requeridas para inspección, prueba y mantenimiento

6 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

6.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.

GRANIACRYL está ubicada en un sector domiciliario, la Cra 5 Oe. # 45 – 80 en el barrio CAMPO HERMOSO de la ciudad de BUCARAMANGA, diariamente la empresa emplea a 10 trabajadores los cuales realizan funciones administrativas y de operación; el predio tiene 220 m² y está compuesto por 6 áreas (Figura 26); sala de espera, oficina de gerencia, área de carga y descarga, cuarto de herramientas, baño, almacenamiento de materia prima y producción.

Figura 26. Distribución de la empresa



Dentro de la empresa se encuentran; equipos de cómputo utilizados en las tareas administrativas y de oficinas, grandes cantidades de material combustible propios de la producción como la es la cal y canecas de líquido inflamable, algunos equipos de producción como mezcladoras.

6.2. ZONA ADMINISTRATIVA.

Con un área de 39 m², allí se encuentra la Gerencia y la Sala de Espera; este espacio diseñado para la recepción y atención del personal de la compañía, proveedores y visitantes de la misma; su infraestructura se encuentra construida en drywall, puertas en madera y ventanas en vidrio, entre los enseres se encuentran escritorios, equipos de cómputo, impresora, lámparas, archivadores y sillas. (Figura 27).

Figura 27. Zona administrativa



Dicha zona carece de extintores y el cableado no está canalizado en su totalidad, el orden y aseo que se percibe no es el indicado. El riesgo eléctrico no está señalizado, y la ubicación del botiquín no es la correcta.

6.3. ZONA OPERATIVA.

El área total de esta zona es de 73 m² la zona se compone de 3 áreas:

6.3.1 Área de cargue y descargue.

Esta área posee un amplio espacio para ubicar la mercancía de despachar y/o la materia prima que se utiliza para producir (Figura 28), la señalización que existe no es la adecuada, ignorando que los elementos que se manipulan son delicados e inflamables; las exposiciones de tubos pueden intervenir en el desarrollo de un incendio. El área total de esta zona es de 48 m².

Figura 28. Área de carga y descarga



6.3.2 Cuarto de herramientas. Esta área compuesta por 11 m² aguarda las herramientas obsoletas mientras se ubican o se desechan, también herramientas con las que se realizan mantenimientos. Aunque aquellas maquinas no estén en su vida útil, se hace necesario que dicha zona mantenga un orden estipulado, extintores en su lugar correspondiente y demás cuidados (Figura 29).

Figura 29. Cuarto de herramientas



6.3.3 Almacenamiento de materia prima. En esta zona se localiza los elementos que se utilizan para la producción, elementos combustibles a los cuales se les deben dar un manejo cuidadoso y responsable (Figura 30).

A pesar de que esta zona maneja un alto nivel de riesgo se observa extintores en el piso, conexiones eléctricas y cableadas sin la seguridad adecuada, además el almacenamiento de la materia prima no es el adecuado; el área total de esta zona es de 13 m².

Figura 30. Almacenamiento de materia prima



Figura 30. (Continuación)



6.4 ZONA DE PRODUCCIÓN.

En esta zona lleva a cabo la producción, se ve que el cuidado con las instalaciones eléctricas no es el correcto, ejemplo de ello son los interruptores que están llenos de pintura al igual se perciben muchos cables sueltos, cabe resaltar que la zona tiene buena iluminación para un adecuado desempeño de la labor (Figura 31). Esta zona dispone de 66 m².

Figura 31. Zona de producción



6.5 INSPECCIÓN.

6.5.1 Definiciones del formato de inspección. Se aplicó un formato de inspección a cada área de la empresa, para tener una base a la hora de darle una clasificación de riesgo a la edificación como lo indica la norma NFPA 13, para luego realizar el diseño del sistema contra incendios por rociadores. El formato de inspección se encuentra en los anexos de este trabajo. (Anexo E).

- Zona: nombre que se le da al espacio a evaluar.
- Uso: Se especifica el área laboral.
- Contenido: Describe el tipo de equipos, implementos y/o maquinaria que se encuentra presente en cada zona de trabajo.
- Cantidad: Especifica el número de contenido de cada zona.
- Materiales de construcción: Algunos de los detalles que se solicitan para saber los componentes de la infraestructura de la zona inspeccionada.
- Tabla (Preguntas de inspección): Pequeño cuestionario a través del cual se busca identificar la organización, riesgos, la seguridad y el estado de cada área laboral.
- Observaciones: Espacio para cualquier información que se considere importante y que este por fuera de los parámetros anteriores.

6.5.2 Resultados de la inspección. Con el fin de identificar los peligros de incendios presentes en la empresa GRANIACRYL; se realizó la inspección a cada zona de trabajo; teniendo como apoyo los factores nombrados en el formato que se diseñó.

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

A nivel general de dicha inspección se encontraron los siguientes resultados:

- Las personas que diariamente habitan dicha instalación no poseen capacidades físicas reducidas; al contrario, poseen buena movilidad y un buen nivel de percepción.
- El almacenamiento de combustibles líquidos y sólidos se encuentra en un lugar indicado, pero no se utilizan medidas higiénicas y de seguridad necesarias.
- Falta un programa de orden y limpieza ya que algunos techos y paredes presentan suciedad, al igual la ubicación de los elementos de limpieza no es el correcto.
- Las basuras de algunas secciones están en condiciones no seguras para su disposición final.

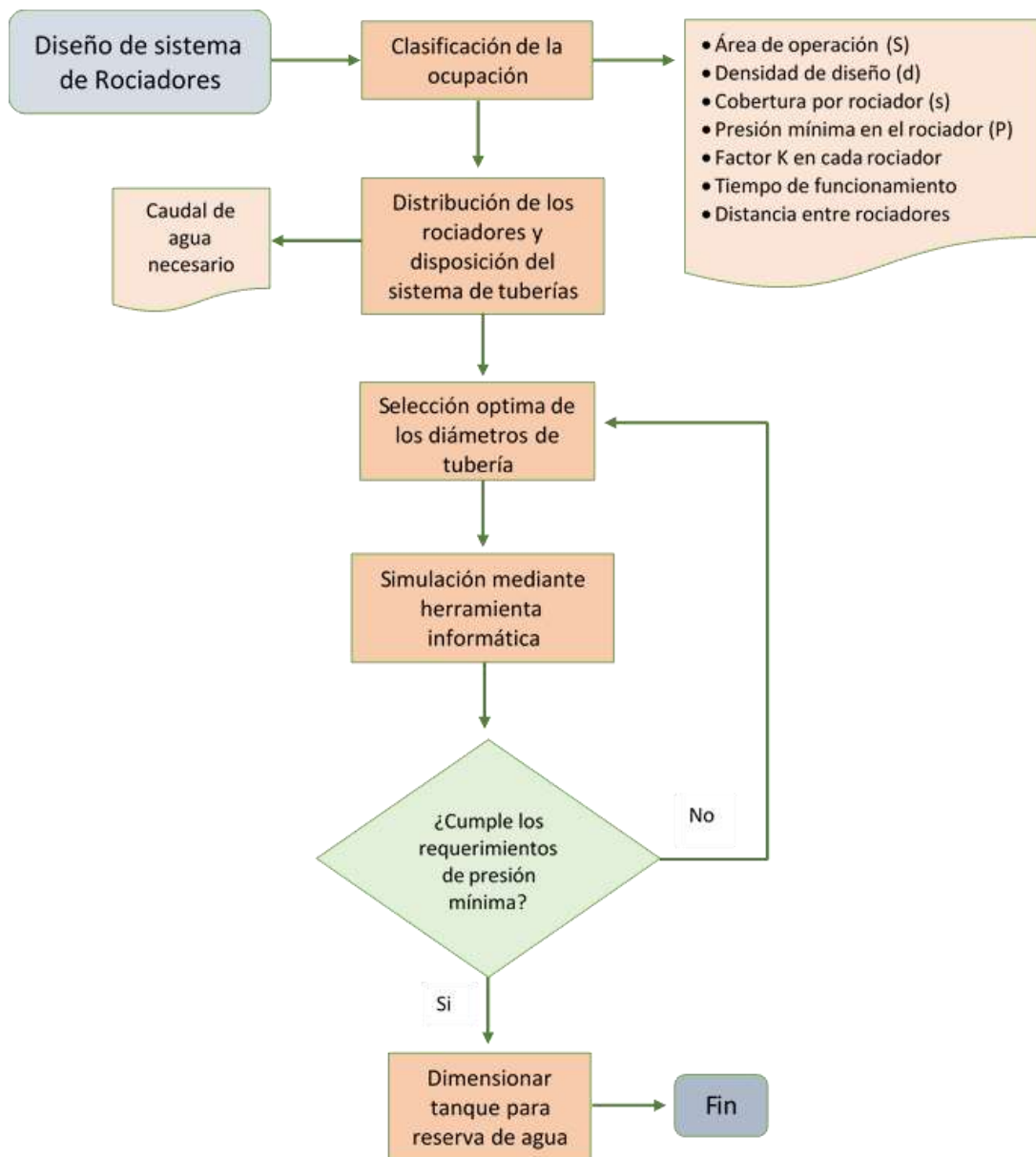
- No hay ruta de evacuación clara y específica; en algunas secciones hay ruta de salida, pero no es clara en su totalidad.
- No se cuenta con planes de evacuación.
- Carecen de brigadas de emergencia.
- Poca capacitación sobre tipos de fuego y manejo de extintores.
- En algunas secciones los extintores presentan inconvenientes como mala ubicación, carecen de demarcación y en su defecto otras secciones no poseen extintores.
- Mejorar las señales preventivas de aviso para equipos energizados.
- Algunos cables se encuentran sueltos y cajas de circuitos en un estado desfavorable.
- Mejorar señales preventivas eléctricas.
- Canalizar en su totalidad todas las instalaciones eléctricas.

Con base en las fallas en el cableado, déficit en la señalización preventiva eléctrica, ausencia de toma corriente para abastecer ciertas áreas, falta de canalización y protección eléctrica. Se concluye de la inspección, como fuente de ignición más probable encontrada, a la energía eléctrica. Al reconocer que esto representa un peligro mayor ya que se puede generar un cortocircuito por el contacto que se tiene con material combustibles.

7 DISEÑO Y SIMULACIÓN

Los componentes mostrados en el diagrama (Figura 32), permite tener una visión más amplia del proceso de diseño que se realizó en este trabajo. Teniendo en cuenta cada una de las especificaciones que por norma debe llevar un sistema contra incendio por rociadores.

Figura 32. Diagrama de flujo del proceso de diseño



7.1. CLASIFICACIÓN DE LA OCUPACIÓN.

De acuerdo con la clasificación de ocupaciones descrita con anterioridad en el capítulo 5 de este trabajo, y de acuerdo con los resultados de la inspección, la edificación presenta características de combustibilidad que lo ubican dentro un Riesgo Ordinario clase 2, ocupaciones o pare 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.

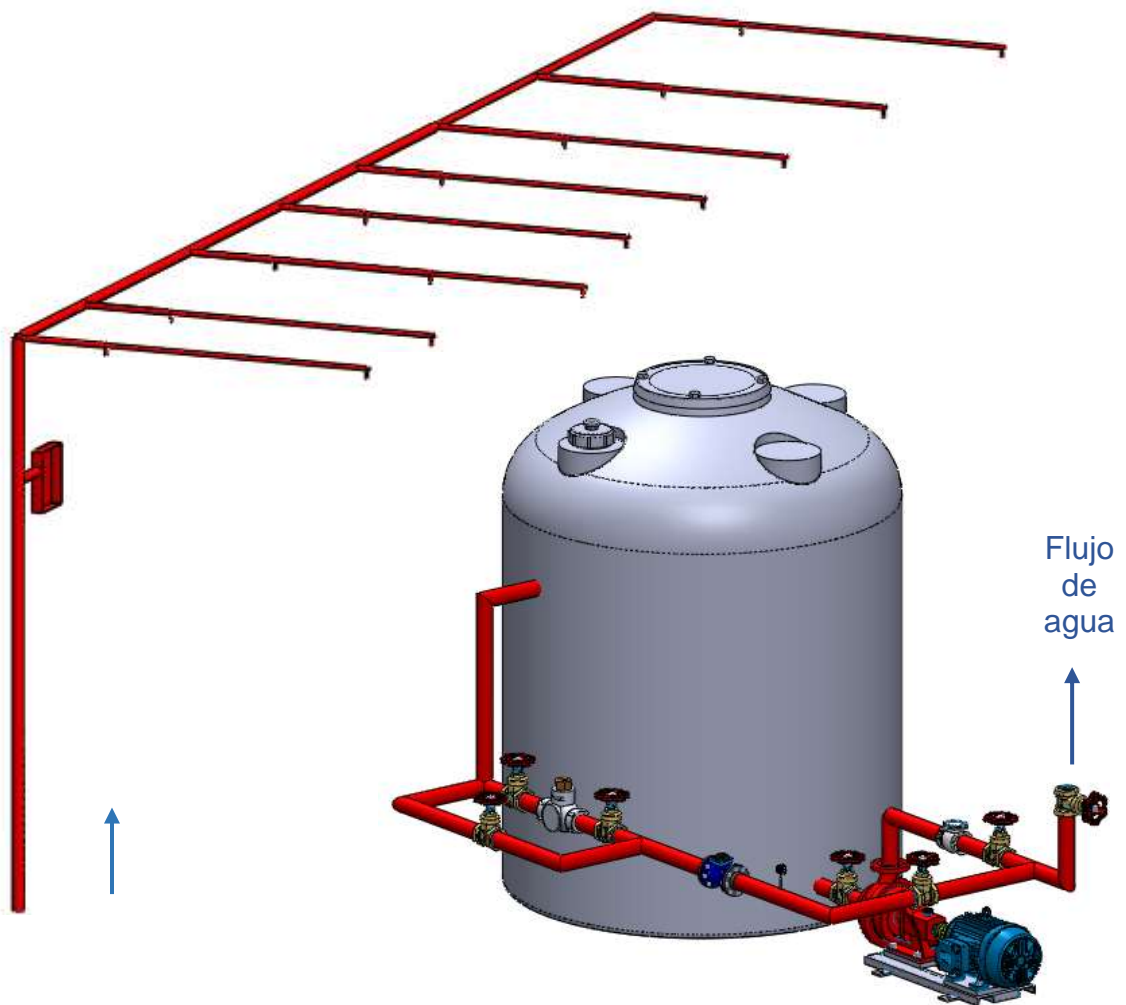
Para un Riesgo Ordinario 2 los parámetros de diseño son:

- Área de operación (S): 139 m².
- Densidad de diseño (d): 0.2 gpm/ft².
- Cobertura máxima por rociador (As): 11 m².
- Factor K = 4.2 gpm/psi^{1/2}.
- Presión mínima para todos los rociadores: 7 psi.
- Tiempo de funcionamiento: 60 minutos.
- Distancia entre rociadores: L=3.3 m, S= 3.3 m.

7.2. DISTRIBUCIÓN DE LOS ROCIADORES Y DISPOSICIÓN DEL SISTEMA DE TUBERÍAS.

La distribución seleccionada para el sistema de rociadores es el sistema en malla o reticulado, debido a las ventajas que ofrece en espaciamiento y seguridad (Figura 33). El diseño de los ramales y transversales es decisivo para lograr una uniformidad en la descarga. Esto solo se consigue al tener la presión en los rociadores lo más parecida posible.

Figura 33. Distribución de los rociadores y disposición de tuberías y accesorios



Cantidad de rociadores 17, el plano de diseño donde se encuentra la ubicación de los rociadores dentro de la edificación y demás accesorios ver Anexo F. para este sistema se utilizó toda la tubería de hierro galvanizado, como lo permite la norma (ver Tabla 13) con un valor para la ecuación de Hazen-Williams de $C=120$.

Por lo tanto, el caudal que da cada rociador (q):

$$q = As * d = 118,4ft^2 * 0,2 gpm/ft^2 = 23,7gpm = 1,49 lps$$

Veamos la presión mínima necesaria para el rociador con el valor k seleccionado:

$$P = \frac{Q^2}{K^2} = \frac{23,7^2}{4,2^2} = 31,84 psi$$

Cumple la condición de presión mínima para cualquier rociador. Luego el caudal total será, para dos situaciones que se analizará y se simulará con una herramienta informática (EPANET), y dar un análisis de costos en ambos casos:

- **Caso 1.** Caudal para un área de diseño igual al área total de la empresa, 17 rociadores.

$$Q = 89,1 lpm * 17 = 1514,7 lpm$$

A este caudal de rociadores le sumamos el caudal de manguera interior, 189,25 lpm (50 gpm) como se establece en la tabla 13.

$$Q = 1514,7 lpm + 189,25 lpm = 1703,95 lpm$$

- **Caso 2.** Caudal para un área de Diseño considerando el área más alejada al sistema de bombeo, 6 rociadores.

$$Q = 89,1 lpm * 6 = 534,6 lpm$$

A este caudal de rociadores le sumamos el caudal de manguera interior, 189,25 lpm (50 gpm) como se establece en la tabla 13.

$$Q = 534,6 lpm + 189,25 lpm = 723,85 lpm$$

7.3. SIMULACIÓN MEDIANTE EPANET.

Para la simulación de este proyecto se utilizó como herramienta informática, EPANET, en el Anexo G se encuentra información sobre el programa.

Para este proyecto se seleccionó como agente extintor agua debido a las ventajas que presenta frente a los demás agentes extintores, analizados anteriormente en el capítulo 4 de este proyecto.

Considerando que no existen posibilidades de daño por hielo y la temperatura ambiente no supera los 95°C, la red de rociadores es un sistema de tubería húmeda, es decir, es una instalación permanentemente presurizada con agua.

Un sistema contra incendio posee otro elemento aparte de los rociadores; los gabinetes contra incendio, elemento tenido en cuenta en este diseño, el diseño más viable económicamente consistirá en utilizar la misma tubería vertical que alimenta los rociadores, para efectos de cálculos hidráulicos, y de simulación, solo se estable la demanda de agua para la manguera.

Lo primero para la simulación es establecer los diámetros de las tuberías, la selección de los diámetros en las diferentes partes del sistema es un proceso de prueba y error, se supone un diámetro y se calculan las perdidas, buscando la mejor combinación que produzca la menor pérdida de presión posible en los diferentes puntos del sistema.

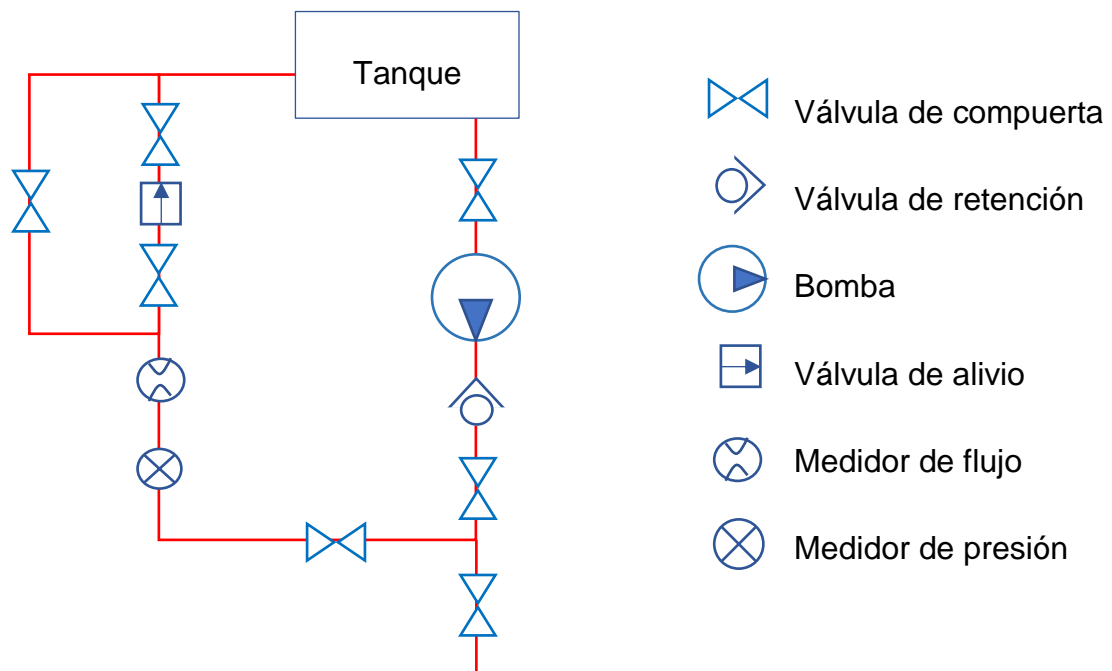
El primer diámetro a tener en cuenta es el de la succión y la descarga de la bomba, a partir de esos diámetros, vamos asignando el siguiente valor comercial menor al anterior para el resto del sistema de tubería.

Los diámetros de succión y descarga cumplen la función de garantizar el buen funcionamiento de la bomba evitando que se produzca cavitación en esta, estos diámetros se establecen de acuerdo a la tabla 17, para una bomba normalizada de acuerdo a la tabla 16, , los accesorios que se presentan en el diseño están en

concordancia con las recomendaciones que da la norma NFPA 20 *instalación de bombas estacionarias de protección contra incendios*, utilizándose únicamente en la tubería de succión una válvula de compuerta OS&Y, y en la tubería de descarga accesorios como válvulas de compuerta, válvula de retención check, medidor de flujo, manómetros, válvula de alivio, codos y demás accesorios que se necesiten (Figura 34).

Para efectos de simulación, las pérdidas de carga en los accesorios se toman como tramos de tubería con las mismas características de la tubería a usar, adicionando a la longitud de la tubería de succión y descarga, la longitud equivalente a los accesorios, de acuerdo a la tabla 15, y en concordancia con el método de cálculo hidráulico presentado en la norma NFPA 13 *norma para la instalación de sistemas de rociadores*.

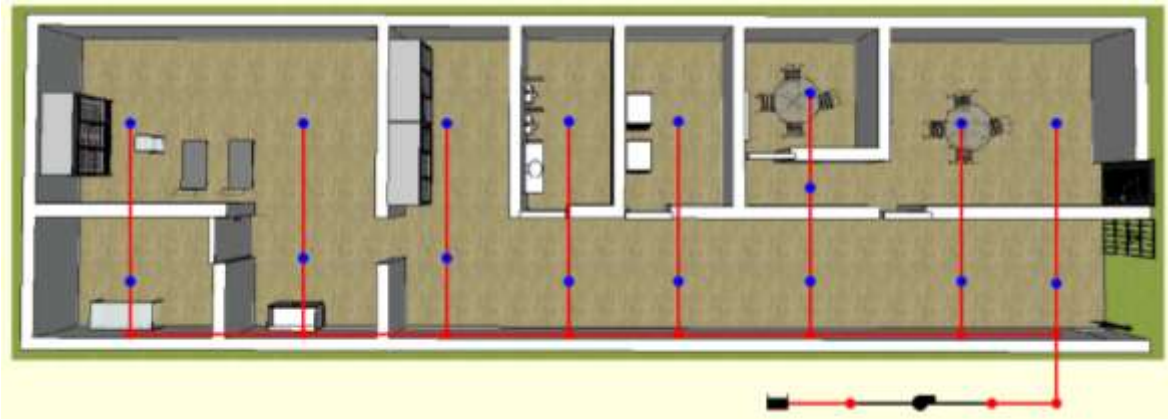
Figura 34. Configuración sistema de bombeo



7.3.1. Observación de la simulación. Para efectuar la simulación se establece una cota de ubicación para los rociadores respecto a la bomba. La bomba se encuentra a una cota de -6 m mientras los rociadores son a cota 0 m, es decir hay una diferencia de altura igual a 6 m.

- **Caso 1.** Área de diseño igual al área total de la empresa, 17 rociadores.

Figura 35. Caso 1, todos los rociadores actuando



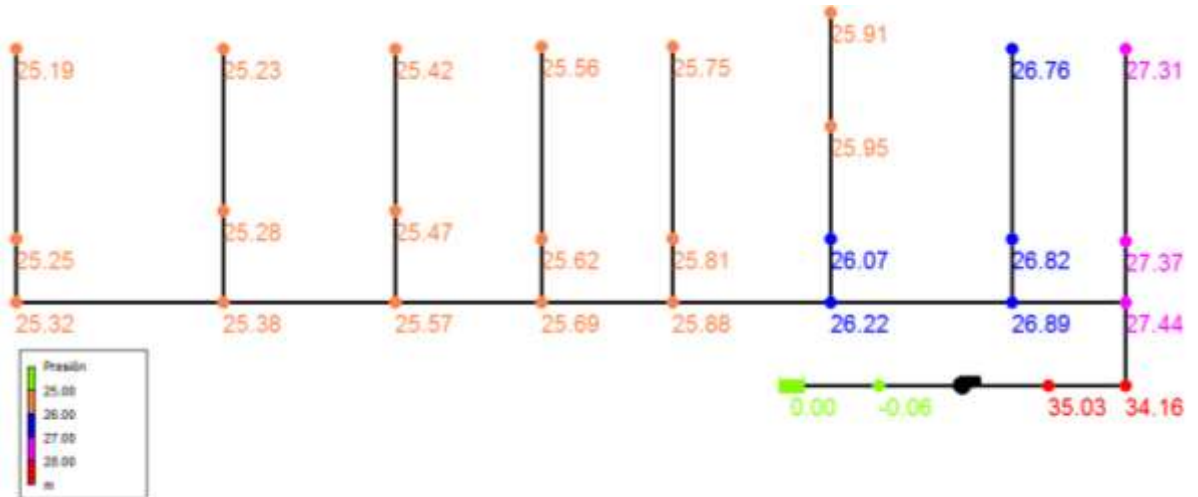
Para esta situación se estableció un caudal de 1703,95 lpm, con base en la tabla 16 se normalizo una bomba de 1703 lpm (450 gmp), y de acuerdo con la tabla 15 los diámetros de succión y descarga son iguales de 125 mm (5 in).

Introducimos la curva característica de la bomba comercial (Figura 36) con valores de caudal que sirvan para el diseño, y se ajustan los diámetros de tubería hasta cumplir los requerimientos de presión. Se realizó la simulación de la red empleando los siguientes diámetros de tubería (Figura 37):

- Ramales: 50 mm (2 in).
- Principal transversal: 80 mm (3 in), y 65 mm (2 ½ in).
- Vertical de alimentación: 100 mm (4 in).
- Descarga de la bomba: 125 mm (5 in).

- Caudal a emitir por rociador: 23,7 gpm (1,49 lps)
- Presión mínima en cada rociador: 31,84 psi = 22,4 m.c.a

Figura 38. Distribución de presiones, Caso 1



Se obtienen las presiones enseñadas en la figura 38. Como se puede ver las presiones en todos los rociadores en m.c.a son mayores al valor mínimo calculado, por lo tanto, se asegura que el caudal mínimo a emitir por cada rociador es garantizado.

Con los resultados arrojados por la simulación en EPANET podemos encontrar el NPSH disponible del sistema, y la cabeza dinámica total (H_T) que debe suplir la bomba.

Calculo de NPSH_d.

$$NPSH_d = \frac{P_a}{\rho * g} - \frac{P_v}{\rho * g} + Z_s - h_{fs}$$

Donde:

$$P_a = 100 \text{ KPa}$$

$$P_{v@25C} = 3,169 \text{ Kpa}$$

$$Z_s = -1 \text{ m}$$

$$h_{fs} = 0,06 \text{ m.c.a} = 0,085 \text{ psi}$$

$$\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Obteniéndose el siguiente resultado:

$$\text{NPSH}_d \text{ 8,821 m}$$

Calculo de la cabeza dinámica total. (H_T)

$$H_T = H_{\text{estática}} + H_{\text{dinámica}}$$

$$H_{\text{estática}} = Z_{\text{descarga}} + P_{\text{descarga}} - Z_{\text{succión}}$$

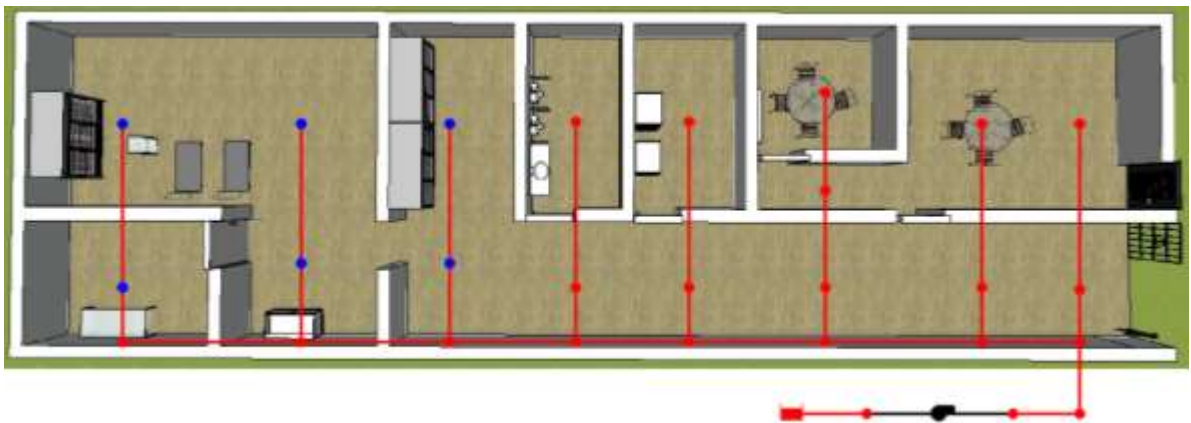
$$H_{\text{dinámica}} = h_f \text{ succión} + h_f \text{ descarga}$$

$$H_T = 58,15 \text{ m}$$

La bomba que se seleccionó cumple los requerimientos de NPSH y los requerimientos de carga de presión. Las características de la bomba seleccionada son las siguientes (Anexo H):

- Modelo: 6x4x9F 8100 Serie
- Diametro de succión y descarga: 5" Rosca NPT
- Velocidad: 2950 RPM
- Capacidad: 450 gpm
- NPSH_R: 3,048 m
- Diametro del impulsor: 7,7"
- Potencia: 20 HP
- **Caso 2.** Diseño considerando el área más alejada al sistema de bombeo, actuando un total de 6 rociadores.

Figura 39. Caso 2, Actuando los 6 rociadores más alejados a la bomba



Para esta situación se estableció un caudal de 723,85 lpm, con base en la tabla 16 se normalizo una bomba de 757,08 lpm (200 gmp), y de acuerdo con la tabla 15 los diámetros de succión y descarga son iguales de 80 mm (3 in).

Introducimos la curva característica de la bomba comercial (Figura 40) con valores de caudal que sirvan para el diseño, y se ajustan los diámetros de tubería hasta cumplir los requerimientos de presión.

Se realizo la simulación de la red empleando los siguientes diámetros de tubería (Figura 41):

- Ramales: 40 mm (1 ½ in).
- Principal transversal: 65 mm (2 ½ in), y 50 mm (2 in).
- Vertical de alimentación: 80 mm (3 in).
- Descarga de la bomba: 80 mm (3 in).

Figura 40. Punto de operación de la bomba, Caso 2

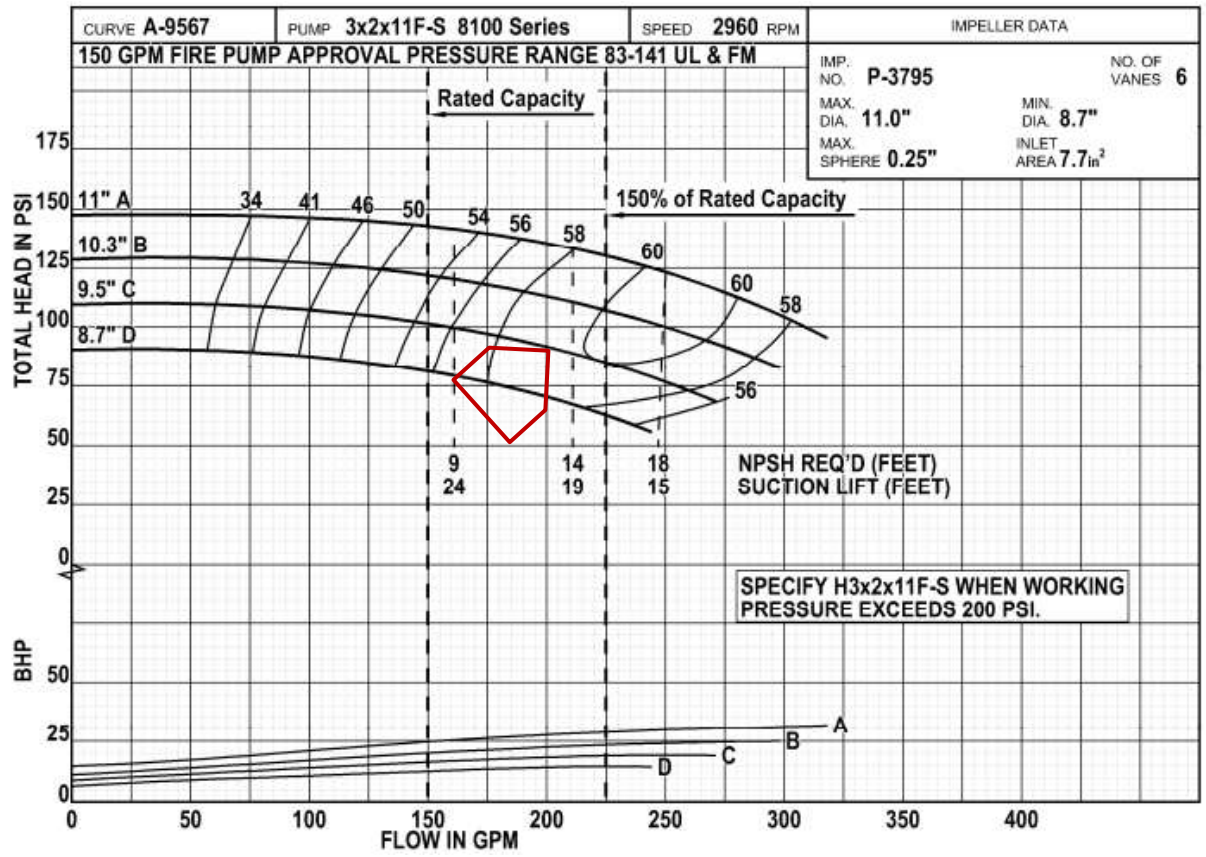
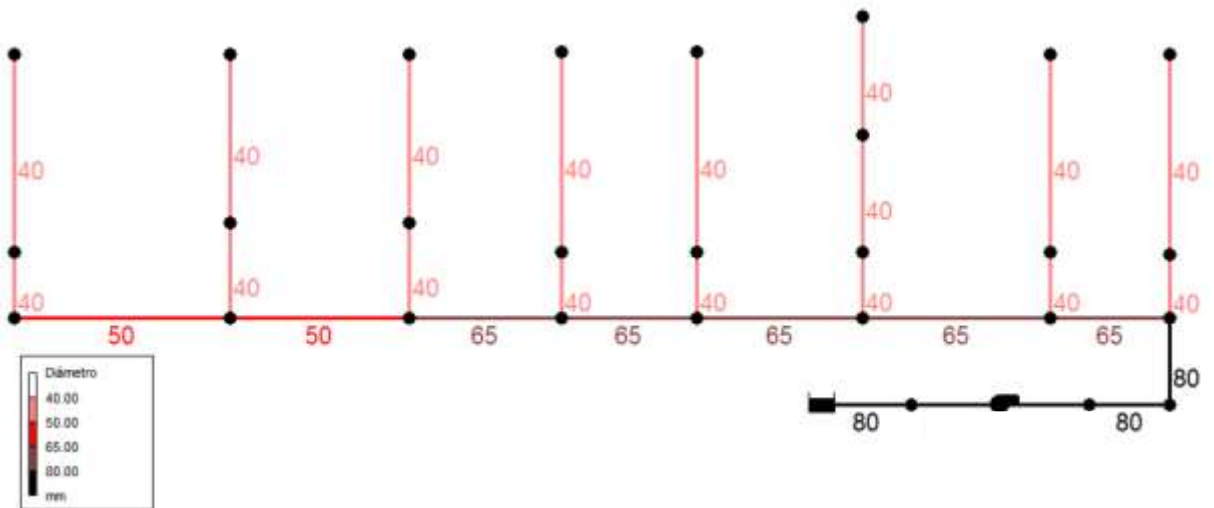


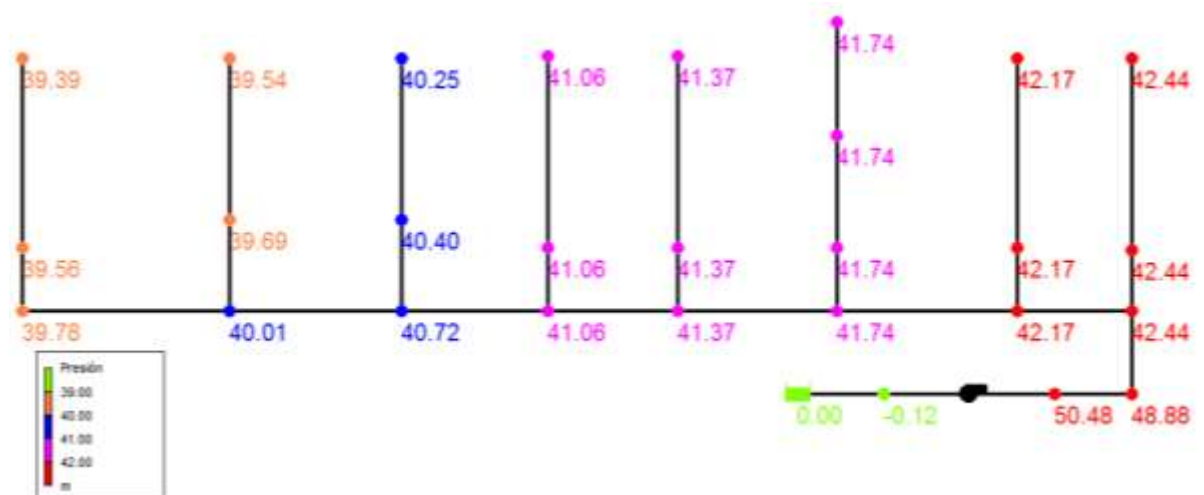
Figura 41. Arreglo de tuberías (diámetros), Caso 2



Ajustando caudal y altura de la bomba hasta que se cumplan los siguientes requisitos determinados antes en los requisitos de diseño:

- Caudal a emitir por rociador: 23,7 gpm (1,49 lps)
- Presión mínima en cada rociador: 31,84 psi = 22,4 m.c.a

Figura 42. Distribución de presiones, Caso 2



Se obtienen las presiones enseñadas en la figura 42. Como se puede ver las presiones en todos los rociadores en m.c.a son mayores al valor mínimo calculado, por lo tanto, se asegura que el caudal mínimo a emitir por cada rociador es garantizado.

Con los resultados arrojados por la simulación en EPANET podemos encontrar el NPSH disponible del sistema, y la cabeza dinámica total (H_T) que debe suplir la bomba.

Calculo de NPSH_d.

$$NPSH_d = \frac{P_a}{\rho * g} - \frac{P_v}{\rho * g} + Z_s - h_{fs}$$

Donde:

$$P_a = 100 \text{ KPa}$$

$$P_{v@25C} = 3,169 \text{ Kpa}$$

$$Z_s = -1 \text{ m}$$

$$h_{fs} = 0,12 \text{ m.c.a} = 0,17 \text{ psi}$$

$$\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Obteniéndose el siguiente resultado:

$$NPSH_d = 8,761 \text{ m}$$

Calculo de la cabeza dinámica total. (H_T)

$$H_T = H_{estática} + H_{dinámica}$$

$$H_{estática} = Z_{descarga} + P_{descarga} - Z_{succión}$$

$$H_{dinámica} = h_{f \text{ succión}} + h_{f \text{ descarga}}$$

$$H_T = 89,82 \text{ m}$$

La bomba que se seleccionó cumple los requerimientos de NPSH y los requerimientos de carga de presión. Las características de la bomba seleccionada son las siguientes (Anexo H):

- Modelo: 3x2x11F-S 8100 Serie
- Diámetros de succión y descarga: 3" Rosca NPT
- Velocidad: 2960 RPM
- Capacidad: 200 gpm
- NPSH_R: 5,48 m
- Diámetro del impulsor: 9,5"
- Potencia: 15 HP

Para la bomba del sistema de rociadores se debe instalar un arrancador tipo estrella-triángulo. Debe ubicarse cerca al motor.

El circuito de control tendrá un interruptor actuado por presión con posibilidad de calibrar los puntos de alta y baja separadamente, para los efectos automáticos por caída de presión.

7.4. DIMENSIONES DEL TANQUE Y SELECCIÓN DE EQUIPOS.

7.4.1. Tanque de almacenamiento. El procedimiento para el cálculo del volumen del tanque es el siguiente:

- **Caso 1,** Caudal para un área de diseño igual al área total de la empresa, 17 rociadores.

$$\begin{aligned}Q_{total} &= Q_{rociadores} + Q_{gabinete} \\ &= 1514,7 \text{ lpm} + 189,25 \text{ lpm} = 1703,95 \text{ lpm}\end{aligned}$$

Requisito de demanda para riesgo ordinario (t) = 60 min.

$$\begin{aligned}V_{requerido} &= Q * t \\ &= 1703,95 * 60 \\ &= 102237 \text{ l} = 102 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Para cumplir con los requerimientos de demanda se propone un tanque de almacenamiento de las siguientes dimensiones:

Ancho = 5 m.

Largo = 5 m.

Alto = 4,1 m.

Obteniéndose un volumen total de 102,5 m³.

- **Caso 2**, Caudal para un área de Diseño considerando el área más alejada al sistema de bombeo, 6 rociadores.

$$Q_{total} = Q_{rociadores} + Q_{gabinete}$$

$$= 534,6 \text{ lpm} + 189,25 \text{ lpm} = 723,85 \text{ lpm}$$

Requisito de demanda para riesgo ordinario (t) = 60 min

$$V_{requerido} = Q * t$$

$$= 723,85 * 60$$

$$= 43431 \text{ l} = 43 \text{ m}^3$$

Para cumplir con los requerimientos de demanda se propone un tanque de almacenamiento de las siguientes dimensiones:

Ancho = 3,8 m.

Largo = 3,8 m.

Alto = 3 m.

Obteniéndose un volumen total de 43,3 m³.

7.4.2. Rociadores automáticos. La norma NFPA 13 norma para la instalación de sistemas de rociadores, permite que para ocupaciones de riesgo ordinario los rociadores pueden ser de respuesta rápida (QR).

Lo siguiente es establecer el rango de temperatura de activación del rociador, rango que depende de las características de la edificación, teniendo en cuenta que la fábrica de pinturas no tiene sistemas de calefacción, tuberías de vapor ni otros elementos que pudieran aumentar la temperatura del ambiente y las

recomendaciones dadas por la norma, estable un rango de activación ordinaria, clasificación que está comprendida entre 55 a 77 °C (ver Tabla 11).

El tipo más adecuado de rociador para el diseño del sistema contraincendios es el rociador tipo colgante por sus características de montaje.

De acuerdo con las necesidades y requerimientos establecidos se seleccionó como rociador a utilizar el siguiente, cuyas especificaciones técnicas se citan a continuación.

- Fabricante: Reliable.
- Modelo: Rociadores de respuesta estándar modelo F156.
- Factor: $K=4,2$.
- Rango de temperatura de activación: Ordinaria (57 °C).
- Número de identificación del rociador (SIN): RA1313.

Se anexa catalogo (Anexo I) para más especificaciones técnicas.

7.4.3. 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 carga de presión. En Anexo J, se encuentran detalles técnicos de la bomba.

Las características de la bomba seleccionada son las siguientes

- Modelo: 3SV (e-SV)

- Diámetros de succión y descarga: 3" Rosca NPT
- Velocidad: 2900 RPM
- Capacidad nominal: 15 gpm
- Diámetro del impulsor: 8,7"
- Potencia: 1 HP

7.4.4. Gabinetes. El gabinete seleccionado para esta instalación es de Clase III, para uso de brigadistas y bomberos, colocado a una distancia de 103 cm del piso. El gabinete contiene los siguientes accesorios:

- Válvula angular tipo globo de 1 ½ in x 1 ½ in
- Válvula angular tipo globo de 2 ½ in x 2 ½ in
- Soporte para manguera gabinete
- 30 metros de manguera de 1 ½ in exterior poliéster, interior caucho

- Boquilla uh7de chorro y niebla de 1 ½ in, certificada ul
- Hacha pico de 4 ½ libras en acero
- Llave spanner dos servicios
- Extintor ABC de 10 libras con boquilla, presurizado con nitrógeno

7.4.5. Accesorios.

- **Válvula de control.** Para su selección hay que tener en cuenta características importantes como los son: tipo de válvula, capacidades de presión y temperatura de operación. Los sistemas de distribución de agua contra incendios deben disponer de estos tipos de válvulas para regular el caudal según lo exijan las circunstancias.

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

Tipo: Válvula de mariposa. Serie 20

Cuerpo: Hierro fundido

Disco y vástago: Acero inoxidable tipo 316

Presión de trabajo: 150 psi

Fabricante: Bray Controls

- **Válvulas de corte.** Se seleccionaron válvulas de compuerta os&y 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.
- **Tuberías.** las tuberías para este diseño son en su totalidad de hierro galvanizado, como lo permite la norma (ver Tabla 14) y el valor de la constante Hazen-Williams de $C=120$.

8. ANÁLISIS DE COSTOS

Para realizar la cotización del sistema completo, primero se seleccionó uno de los dos casos de diseño que se analizó; Caso 1, Caudal para un área de diseño igual al área total de la empresa, 17 rociadores; Caso 2, Caudal para un área de Diseño considerando el área más alejada al sistema de bombeo, 6 rociadores.

La diferencia entre los dos casos de diseño es el tamaño en el sistema de tuberías, tanque de almacenamiento y capacidad de la bomba centrífuga, en la Tabla 17 se muestra el precio de la bomba cotizada, para ambos casos; y se selecciona el diseño del Caso 2, Caudal para un área de Diseño considerando el área más alejada al sistema de bombeo, 6 rociadores. En Anexo K se encuentra el documento de cotización.

Tabla 17. Precio de la bomba centrífuga contraincendios

CANT	REF	ARTICULO	VR. UNITARIO	VR. TOTAL+IVA
1	985675	Bomba de fuego de caja partida. 6x4x9F 8100 Serie. 2950 RPM. 450 gpm. Accionada por motor eléctrico marca Clarke 20 HP. Conjunto que cumple con todos los requerimientos de la norma NFPA-20.	\$ 5.240.325	\$ 6.235.986
1	986726	Bomba de fuego de caja partida. 3x2x11F-S 8100 Serie. 2960 RPM. 200 gpm. Accionada por un motor eléctrico marca Clarke 15 HP. Conjunto que cumple con todos los requerimientos de la norma NFPA-20.	\$ 4.109.673	\$ 4.890.510

8.1. COSTO DE LOS MATERIALES Y EQUIPOS.

A continuación, se presenta la estimación final de los costos de los materiales y equipo, presentados por una empresa constructora local. Se Anexa los documentos de cotización.

Cada uno de los precios de la Tabla 18 y Tabla 19 son en pesos colombianos.

Tabla 18. Costo total de los materiales y equipos

Descripción	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total
Rociadores de respuesta estándar modelo F156. Orificio 10mm. Rosca ½"NPT.	22	17.833	392.326
Gabinete contra incendio.	1	819.234	819.234
Bomba de fuego de caja partida. 3x2x11F-S 8100 Serie. 2960 RPM. 200 gpm. Accionada por un motor eléctrico marca Clarke 15 HP. Conjunto que cumple con todos los requerimientos de la norma NFPA-20.	1	4.890.510	4.890.510
Bomba jockey, modelo: 3SV (e-SV), 2900 RPM, 15 gpm, impulsada por un motor eléctrico, 1 HP.	1	1.032.456	1.032.456
Tubería de hierro galvanizado roscada 3"	28	37.456	1.048.768
Tubería de hierro galvanizado roscada 2 ½ "	15	30.670	460.050
Tubería de hierro galvanizado roscada 2"	8	20.968	167.744
Tubería de hierro galvanizado roscada 1 ½ "	43	17.063	733.709
Codo de hierro galvanizado roscada 3"	6	13.450	80.700
Te de hierro galvanizado roscada 3"	4	18.900	75.600
Te de hierro galvanizado roscada 2 ½ "	2	13.567	27.134
Te de hierro galvanizado roscada 2"	5	7.098	35.490
Te de hierro galvanizado roscada 1 ½ "	3	5.765	17.295
Válvula de bola	1	18.700	187.00

Tabla 18. Continuación

Válvula de compuerta 3"	8	312.345	2.498.760
Válvula de compuerta 2 ½ "	1	220.709	220.709
Válvula cheque 3"	1	339.500	339.500
Válvula de pie 3"	1	298.500	298.500
Válvula de alivio 3"	1	310.789	310.789
Medidor de flujo 3"	1	209.898	209.898
Manómetro	2	70.560	141.120
Bujes de a 3" a 2 ½ "	4	7.780	31.120
Bujes de 2 ½ "a 2 "	2	3.450	6.900
Bujes de 2 "a 1 ½ "	6	2.780	16.680
Bujes de 2 ½ "a 1 ½ "	10	13.098	130.980
Arrancador estrella triangulo Siemens 3RA 1426	1	1.310.00	1.310.00
Arrancador directo MBR 9/P.7,5	1	300.000	300.000
Presostato	1	37.000	37.000
		Total	14.472.672

8.2. COSTO TOTAL DEL PROYECTO.

Para el análisis de costos, se tiene en cuenta los gastos directos e indirectos que tiene la construcción del proyecto. El método de cotización contiene gastos por administración, imprevistos y utilidad, (Método AIU).

Tabla 19. Costo total del proyecto

Descripción	Valor
Costo Materiales	\$ 14.472.672
Costo mano de obra	\$ 3.000.000
Subtotal	\$ 17.472.672

Administración 20%	\$ 3.494.534
Imprevistos 4%	\$ 698.906
Utilidad 6%	\$ 1.048.360
IVA 19%	\$ 199.189
Costo Total del Proyecto	\$ 22.913.661

CONCLUSIONES

- La empresa no se encuentra correctamente preparada para enfrentar un posible incendio dentro de los predios de la compañía.
- La principal causa por la que se pudiera presentar un incendio es la corriente eléctrica, debido al estado en que se encuentran las conexiones eléctricas y lo cerca que están de materiales combustibles como grandes cantidades de papel y líquidos combustibles.
- La distribución del sistema de rociadores cumple con los requisitos de descarga uniforme, logrando así proteger en su totalidad el área de la empresa.
- Dentro de los costos totales del proyecto, se encuentran incluidos los gastos por administración del proyecto, imprevistos que se puedan presentar, utilidad e IVA de esta utilidad; es importante conocer los costos unitarios de los diferentes procesos que conforman un proyecto, esto genera más claridad y confianza al cliente.
- Los costos de construcción del tanque de reserva de agua y la adecuación del lugar donde se ubicaría, son objeto de otro informe.
- Con el desarrollo de esta tesis se incentiva la investigación sobre sistemas contra incendios, ya que existen las herramientas informáticas y normatividad necesaria, para poder hacerlo.

RECOMENDACIONES

Para la protección de los trabajadores y los bienes materiales de la empresa, contar con un sistema de rociadores y mangueras es una acción aceptable pero que se puede volver más efectiva si se combinara con una brigada contra incendios, capacitada para el uso de las mangueras y extintores.

El presupuesto que se presenta en este proyecto está sujeto a cambios por parte de las empresas proveedoras, de tal manera que se recomienda volver a cotizar al momento de decidirse por la construcción del sistema, para buscar posibles mejores precios y ofertas.

El valor de la bomba contra incendios es bastante elevado debido en gran parte al hecho de que es una bomba certificada y aprobada para el uso en sistemas contra incendio, sería posible encontrar una bomba que cumpla una función parecida, pero al no estar certificada su precio sea menor, esto queda a consideración de la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

GARCÍA ALCARAZ, María del mar. Modelación y simulación de redes hidráulicas a presión mediante herramientas informáticas. Proyecto fin de carrera ingeniería técnica de obras públicas especialidad hidrología. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, 2006, 155p.

NOJI, Eric k. Desastres industriales. En: Impacto de los desastres en la salud pública. Bogotá, D.C., Colombia, 2000.p.461.

Standard for the Installation of Sprinkler Systems. NFPA 13. National Fire Protection Association. 2013 Edition.

Standart for Water Tanks for Private Fire Protection. NFPA 22. National Fire Protection Association. 2013 Edition.

Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection. NFPA 20. National Fire Protection Association. 2016 Edition.

SUAY, Juan M. Manual de Instalaciones Contra Incendios. Madrid. A. Madrid Vicente. 2010.p.340.