

SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE INCENDIO CON AGUA NEBULIZADA

Ing. Eduardo Armijo Carvajal
Fire Protection Engineer

Consultor en Protección de Incendios y
en Sistemas Integrados de Seguridad

SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE INCENDIO CON AGUA NEBULIZADA

- Consiste en expulsar agua pulverizada hasta límites de presión altos, de manera tal que el agua no moja, aumentando la humedad ambiental.
- Maximiza la superficie de intercambio de calor, facilitando la evaporación.
- Reduce el riesgo de daños por agua sobre los equipos protegidos.
- Para conseguir esta fina división, se utilizan unas boquillas especialmente diseñadas y presiones de trabajo, normalmente, 300 psi hasta 3200 psi.



MECANISMOS DE LUCHA CONTRA EL FUEGO

- **Mecanismos primarios:**

- Extracción del calor.
- Desplazamiento de oxígeno.
- Bloqueo del calor radiante.

- **Mecanismos secundarios:**

- Dilución de vapor/aire.
- Efectos cinéticos.



MECANISMOS DE LUCHA CONTRA EL FUEGO

- Extracción del calor.
- ▶ Absorción de calor en tres áreas: (1) desde los gases y llamas calientes, (2) desde el combustible y (3) desde los objetos y superficies cerca del fuego.
- ▶ La reducción de las gotas aumenta la superficie de la masa de agua y así incrementa la tasa de transferencia de calor.
- ▶ Al retirar una cantidad suficiente de calor, la temperatura de fase gaseosa de las llamas puede caer por debajo de la necesaria para mantener la reacción de combustión y la llama se extinguirá. (Teóricamente la temperatura a alcanzar estaría por debajo de los 1327 °C).

MECANISMOS DE LUCHA CONTRA EL FUEGO

➤ Desplazamiento de oxígeno.

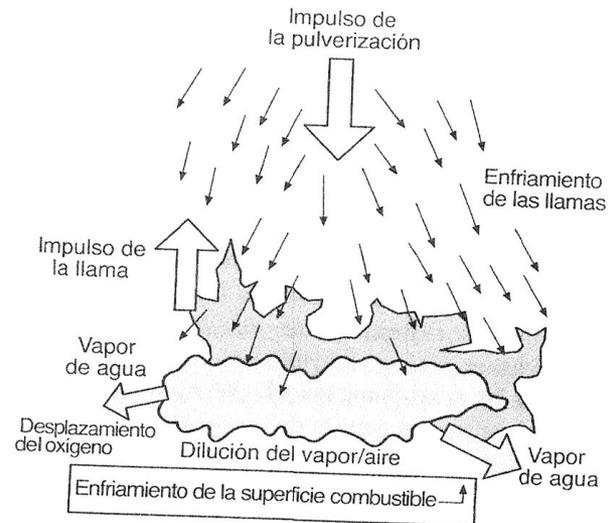
- ▶ Las gotas de agua se expanden aprox. 1900x cuando se evaporan (a 95 °C, 1 atm de presión).
- ▶ Si la evaporación ocurre rápidamente el vapor de agua desplaza el aire cerca de la gota.
- ▶ Si la cantidad de O₂ disponible en la combustión se reduce por debajo de un nivel crítico, el fuego arde ineficientemente y será más fácil extinguirlo mediante enfriamiento.
- ▶ Concentraciones mínimas de O₂ para mantener la combustión:
 - ✓ gases y vapores de hidrocarburos, mayor al 13%
 - ✓ combustibles sólidos que carbonizan, mayor al 7%

MECANISMOS DE LUCHA CONTRA EL FUEGO

- Bloqueo del calor radiante.
 - ▶ Impedir que el fuego se propague a las superficies combustibles que se han encendido y reducir la vaporización o la tasa de pirólisis en la superficie combustible.
 - ▶ Altas concentraciones de gotas muy finas son muy efectivas en reducción de transferencia de calor radiante.
- 

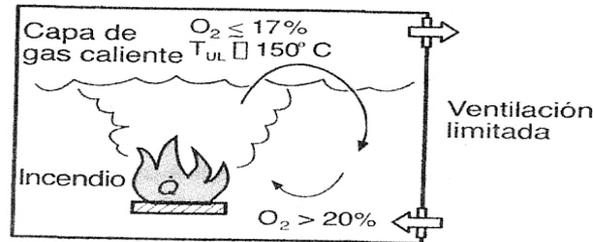
MECANISMOS DE LUCHA CONTRA EL FUEGO

Mecanismo	Principio de aplicación
Primario: Extracción de calor	La distribución del tamaño de las gotas, el impulso y el gasto másico suministrado al fuego, luego de las pérdidas en las superficies interiores y obstrucciones, deben ser suficientes para absorber un porcentaje importante del calor liberado por el fuego.
Desplazamiento del oxígeno	Diseñado para: <ol style="list-style-type: none">1. Encerrar el fuego para contener el agua evaporada.2. Utilizar la dinámica de las boquillas para hacer que el vapor de agua llegue hasta la base del incendio.
Atenuación del calor radiante	El agua nebulizada debe: <ol style="list-style-type: none">1. Rodear el incendio.2. Penetrar la llama.

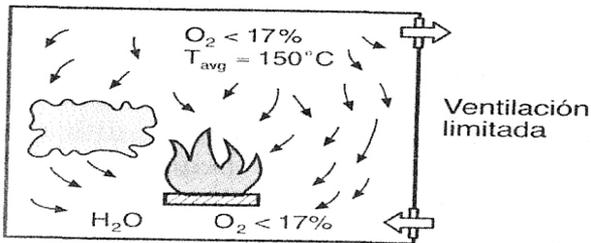


MECANISMOS DE LUCHA CONTRA EL FUEGO

Mecanismo	Principio de aplicación
Secundario:	
Dilución del vapor/aire:	Significativo para incendios de charco o por pulverización de combustibles líquidos.
1. Por vapor de agua.	Debe tener cerramiento o control de las propiedades dinámicas de la pulverización para distribuir el diluyente sobre la superficie combustible.
2. Por aire arrastrado.	El diseño de la boquilla puede influenciar el arrastramiento de aire, y por lo tanto la dilución.
Efectos cinéticos:	
1. Reducir la velocidad de las llamas.	Difíciles de predecir o controlar.
2. Acelerar las reacciones la combustión.	Se aplica al control de la deflagración reduciendo la velocidad del frente de la llama, y por lo tanto la sobrepresión de la explosión.

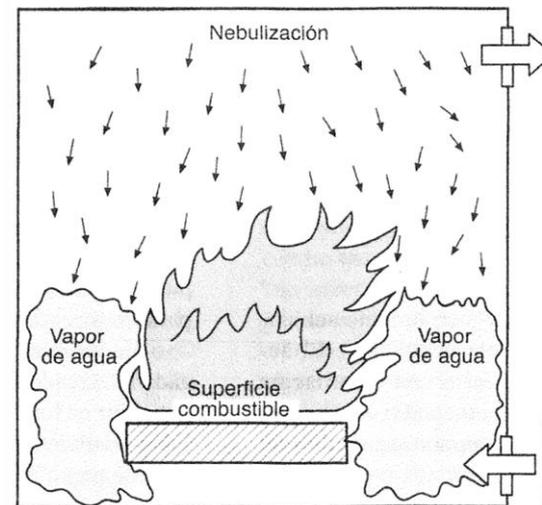


(a)



(b)

- (a) Mezclado de la capa de gas caliente
(b) Vapor de agua con el aire de combustión



Desplazamiento de oxígeno y dilución del vapor para un incendio de combustible líquido en un cerramiento

T_{UL} = Gas en la capa superior
 T_{avg} = Temperatura promedio completamente mezclada

TIPOS DE SISTEMAS

- **Sistemas "deluge"** (inundación total), utilizan difusores abiertos.

- **Sistemas de tubería húmeda**, utilizan difusores cerrados con bulbo mecánico (activación por rotura) o neumático (activación por rotura y presión).

- **Sistemas de preacción**, utilizan difusores cerrados.

Todas estas configuraciones se pueden encontrar con suministro de agua desde red o desde depósito y para sistemas de impulsión con bomba o con cilindros presurizados con nitrógeno.



NORMATIVA

- ✓ Los sistemas de agua nebulizada son relativamente nuevos, por lo que existen normas y protocolos que están en proceso de creación y otras que están en revisión.
- ✓ Cabe destacar las siguientes normas:
 - **SOLAS e IMO (International Maritime Organization)**, para aplicaciones marítimas.
 - **NFPA 750**, para aplicaciones terrestres.
- ✓ VdS, IMO y FM (Factory Mutual) utilizan protocolos propios de evaluación de los sistemas de agua nebulizada.

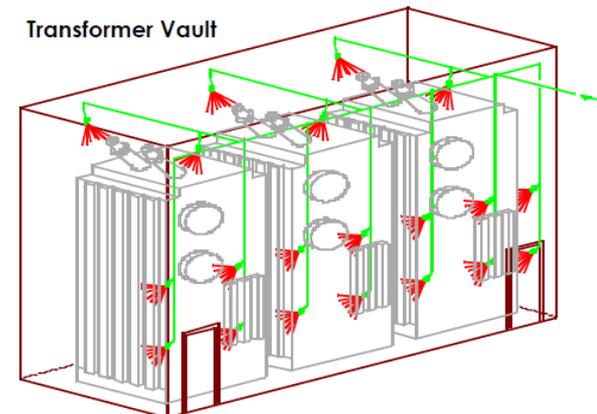
OBJETIVOS DEL DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA NEBULIZADA

Los sistemas de agua nebulizada se diseñan según dos criterios diferentes que dependen de la aplicación que se quiere proteger y no del propio sistema de agua nebulizada.

- **Control del incendio (inundación total/parcial):** Limitación del crecimiento por enfriamiento y sofocación de la llama y propagación del incendio mojando los materiales combustibles adyacentes y controlando las temperaturas de los gases de combustión en el techo.
- **Extinción del incendio (aplicación local):** La completa eliminación del incendio hasta la desaparición total de la combustión en los materiales.

OBJETIVOS DEL DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA NEBULIZADA

Como control	Como extinción
Sala de ordenadores	Cocinas industriales
Locales con presencia humana y fuegos clase A	Turbinas y transformadores
Archivos	Banco de ensayo de motores
Centro de telecomunicaciones	Cabinas de pintura
Derrame de líquidos inflamables	Escaleras eléctricas



DÓNDE INSTALAR AGUA NEBULIZADA

- Áreas de cocina: freidoras, campanas y conductos de extracción.
 - Generación eléctrica: compartimientos de turbinas, motores diesel encapsulados o no encapsulados, turbinas y generadores eólicos, conductos de cables, transformadores y subestaciones.
 - Marítimas: Camarotes de pasajeros y tripulación, salas de máquinas, cocinas y zonas generales.
 - Ferrocarriles y metros.
 - Informática: Salas de procesamiento de datos, salas de control y áreas de servidores.
- 

VENTAJAS

- ▶ Reducción drástica de la temperatura del riesgo protegido en presencia de fuego.
- ▶ Adecuado en fuegos de líquidos inflamables, eliminando el riesgo de reignición, no produce boiled-over.
- ▶ Mínimos daños por agua.
- ▶ Facilidad de recarga.
- ▶ Ecológico: no perjudica el medio ambiente.
- ▶ Economía en la recarga del sistema.
- ▶ No genera productos de descomposición.

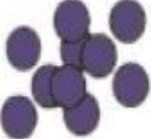
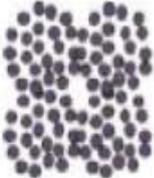


COMPARACION CON OTROS SISTEMAS

Comparativa	Gases inertes	Halocarbonos	CO ₂	Rociadores	Agua nebulizada
Extinción	SI (Se requiere estanqueidad)	SI (Se requiere estanqueidad)	SI (Se requiere estanqueidad)	¿?	SI
Enfriamiento	NO	NO	SI ¹	SI	SI
Lavado de humos	NO	NO	NO	NO	SI
Descarga accidental					
Seguridad para las personas	SI	SI		SI	SI
Seguridad para los equipos	SI	SI	SI	NO	SI
Descarga con fuego					
Seguridad para las personas	SI	¿?		SI	SI
Seguridad para los equipos	SI	¿?	SI	NO	SI

¹ La descarga de CO₂ en ambiente produce un enfriamiento debido al paso de fase líquida a gaseosa y a la descompresión del gas.

COMPARACION CON OTROS SISTEMAS

		Tamaño de la gota	Superficie	Número de gotas
Rociador convencional		>1000	1	1
Agua nebulizada a baja presión		300	10	40
Agua nebulizada a alta presión		50	400	8000

PRESIONES DE FUNCIONAMIENTO

➤ Según la presión de descarga:

- Presión de descarga alta:

- ❖ Sistema trabaja a presiones desde 801 psi hasta 3000 psi (extinción).

- ❖ Tamaño de gota de menos de 200 μm de diámetro.

- Presión de descarga media:

- ❖ Sistema trabaja a presiones entre 400 psi y 800 psi (enfriamiento)

- Presión de descarga baja:

- ❖ Sistema trabaja a presiones entre 300 psi y 400 psi (enfriamiento).



TIPOS DE SISTEMAS

- Según el tipo de fluido que utiliza:
 - De un solo fluido:
 - ❖ Requiere una red para transportar el agente extintor a las boquillas.
 - De doble fluido:
 - ❖ Necesita dos redes de tubería que lleguen hasta cada boquilla.
 - ❖ Una de ellas conduce el agente extintor y la otra el agente atomizador.



COMPONENTES DEL SISTEMA

- ▶ Equipo centralizado de almacenaje de agua.
- ▶ Equipo centralizado de bombeo de alta presión accionado por nitrógeno o aire comprimido (Bomba principal).
- ▶ Equipo centralizado de presurización de la red (Bomba Jockey) (aplica según tipo de sistema)
- ▶ Red de tuberías con sus correspondientes accesorios.
- ▶ Boquillas nebulizadoras.
- ▶ Cableado.
- ▶ Controles y alarmas.



EQUIPO CENTRALIZADO DE ALMACENAJE DE AGUA

- ▶ El agua debe tener una calidad mínima garantizada y deberá ser potable o, cuando menos, limpia (mejor desmineralizada).
- ▶ No utilizar agua de la red de incendios convencional (debido a los problemas de estancamiento, óxido, etc).
- ▶ La temperatura del agua almacenada deberá estar por encima de $+4^{\circ}\text{C}$.
- ▶ Un depósito de agua atmosférico, hecho de acero inoxidable o material no férrico, con la capacidad requerida y con los dispositivos necesarios para su funcionamiento.



EQUIPO DE BOMBEO

- ▶ El equipo de bombeo deberá estar construido con componentes de acero inoxidable.
- ▶ El equipo contará con:
 - Cilindros de 50 litros de capacidad cargados con nitrógeno o aire comprimido a 200 bar.
 - Bomba de pistones en acero inoxidable.



EQUIPO DE BOMBEO

COMPONENTES

Sistema de control, alarma y monitorización eléctrico.

Tubería de acero inoxidable.

Válvulas selectoras y de paro para dirigir el caudal de agua al área afectada.

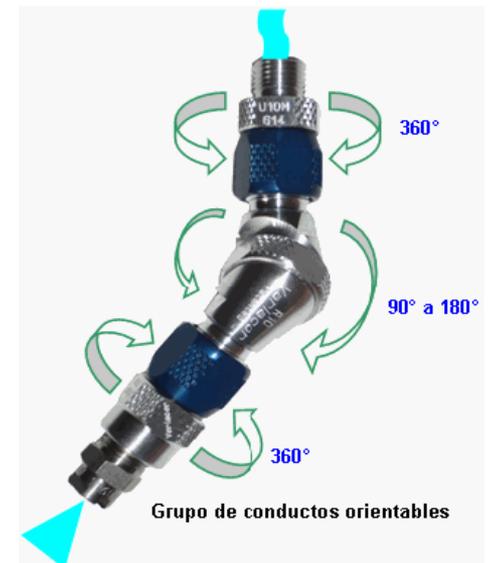
Filtros de alimentación del sistema.

Mallas en la entrada de cada boquilla.



RED DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS

- Todo el sistema deberá estar equipado con tubería de acero inoxidable AISI 316L, con una presión de trabajo mínima de al menos 200 bar, y accesorios de acero inoxidable.
- Se deben utilizar soportes de aluminio empleados en las redes hidráulicas, equipados con placas de cierre metálicas, reforzando especialmente todas las curvas y las piezas de unión.



BOQUILLAS NEBULIZADORAS

- Son modulares y están compuestas por un adaptador, un cuerpo de boquilla, un número de boquillas con filtros individuales.
- En caso de boquillas automáticas un pistón con bulbo de cristal y sujeción de bulbo.
- Pueden tener distintos niveles de caudal y ángulos para ajustar a la aplicación.
- Las boquillas nebulizadoras cerradas están diseñadas para protección de zonas que presenten riesgo ordinario o ligero.



BOQUILLAS NEBULIZADORAS

- Parámetros de funcionamiento de los sistemas de boquillas nebulizadoras:
 - Dispositivo de disparo: para activarse automáticamente al alcanzar temperaturas predeterminadas comprendidas entre 57-141 °C.
 - Cada boquilla deberá tener un filtro individual con una malla cuyo paso no sea superior a 100 μm .
 - Área máxima de cobertura por boquilla: entre 9 - 25 m^2 .



After 30 seconds of discharge



After 3 minutes of discharge

BOQUILLAS NEBULIZADORAS

- Altura máxima protegida (según el recinto).
- Densidades de diseño que oscilan entre 0,5 -1,4 l/min/m².
- Montaje: posición vertical, colgante o en posición horizontal, paredes.
- Espacio mínimo libre de obstrucciones: 500 mm en su entorno.
- Fuentes de impulsión:
 - Bombas de alta presión con accionamiento por motores Eléctricos o Diesel.
 - Sistemas de pistones de acero inoxidable accionado por cilindros de gas o aire comprimido.

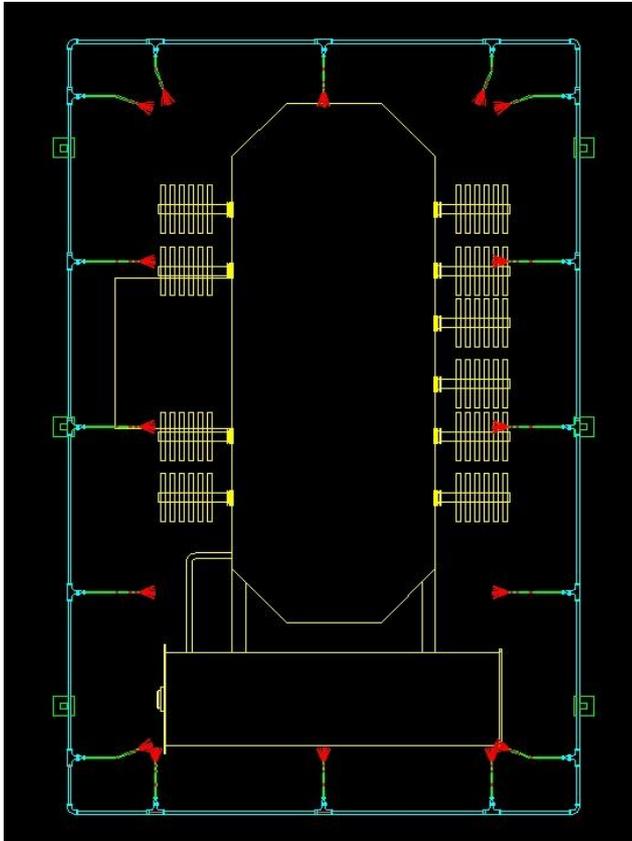


BOQUILLAS NEBULIZADORAS

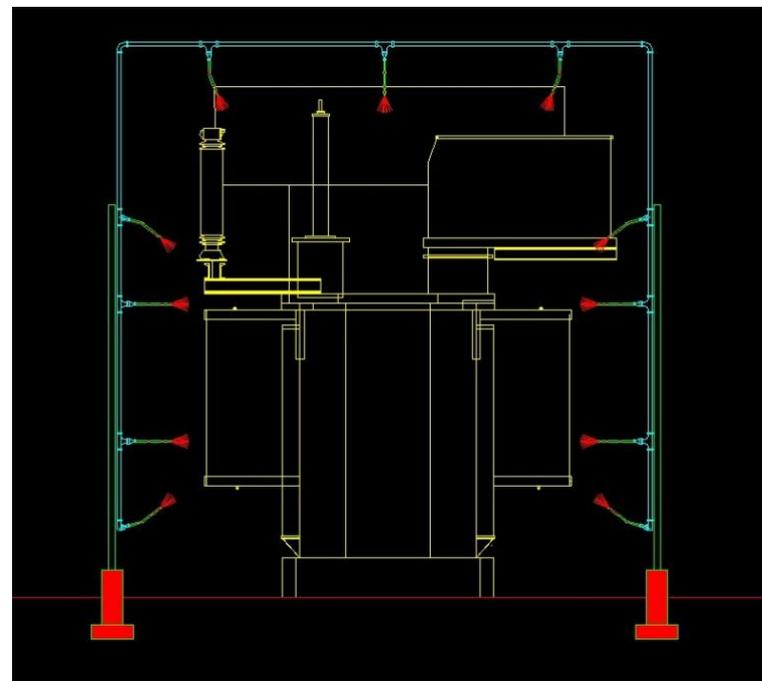
- Dos tipos de activación:
 - Por señal eléctrica generado por un sistema de detección.
 - Sistema automático completo por medio de detección que activa una electroválvula direccionable.



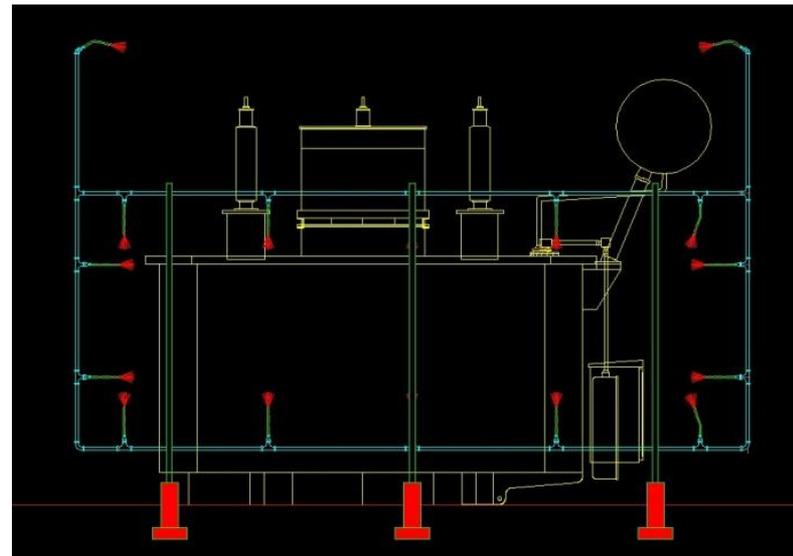
PLANOS DE DISEÑO



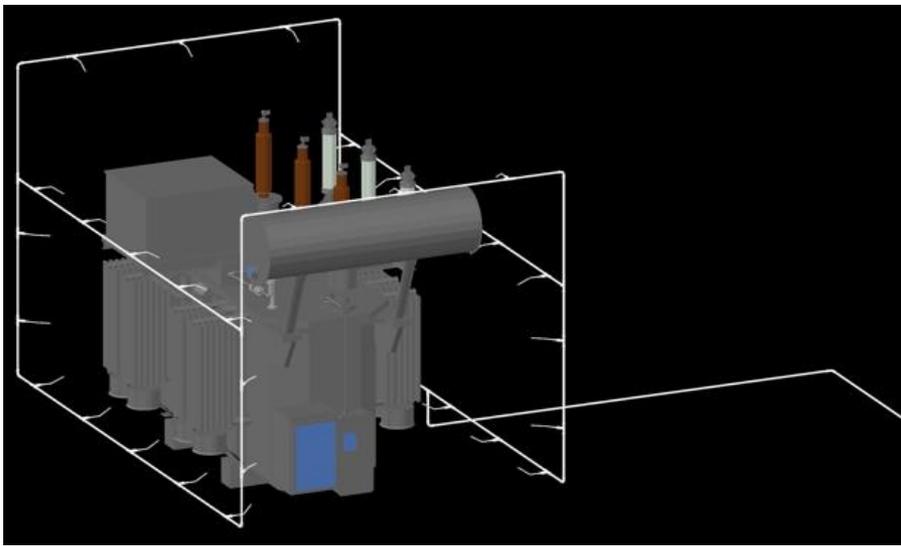
Vista superior



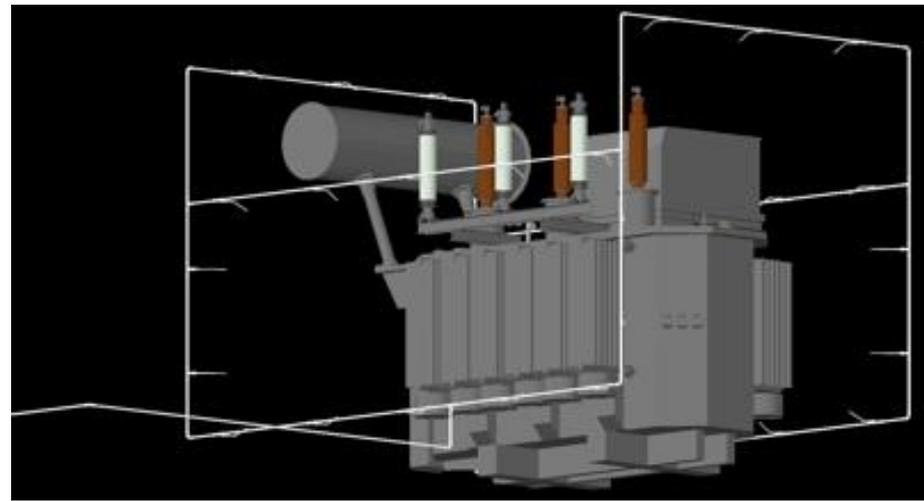
Vista frontal



Vista lateral

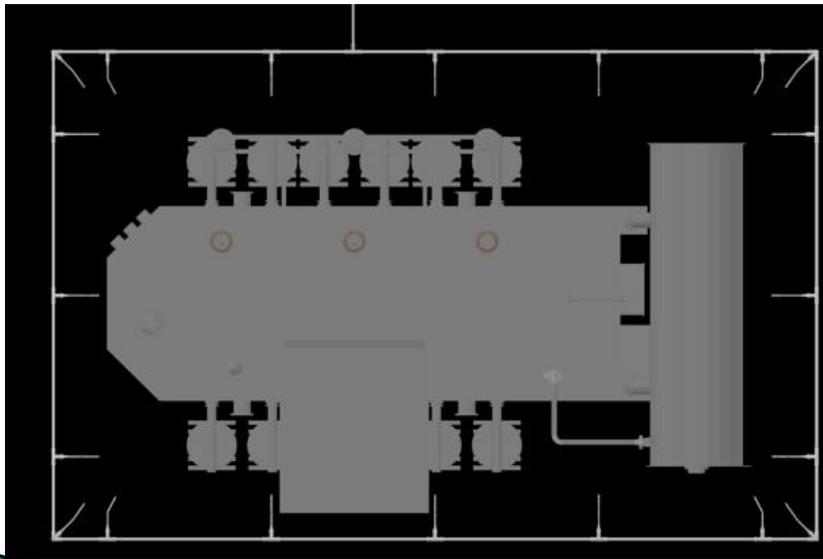


Vista lateral

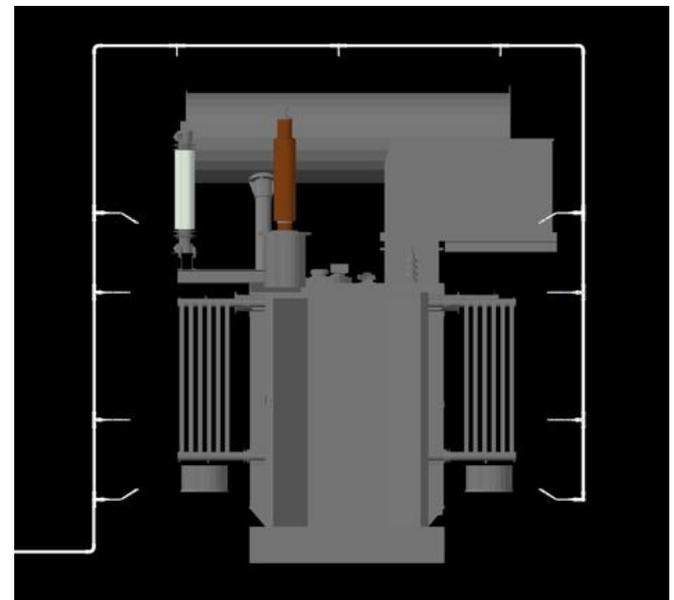


Vista lateral

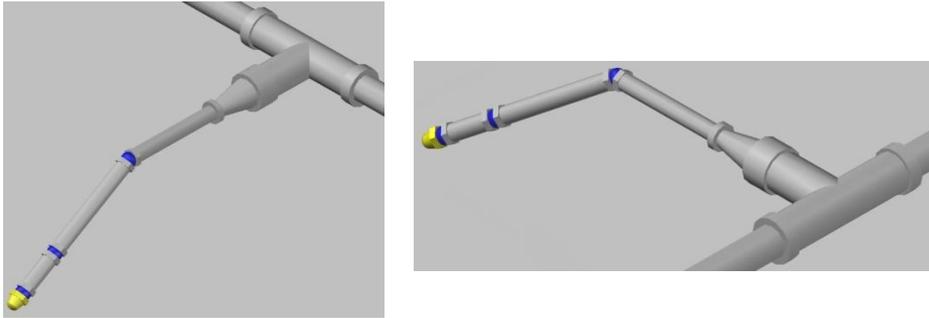
Diseño 3D



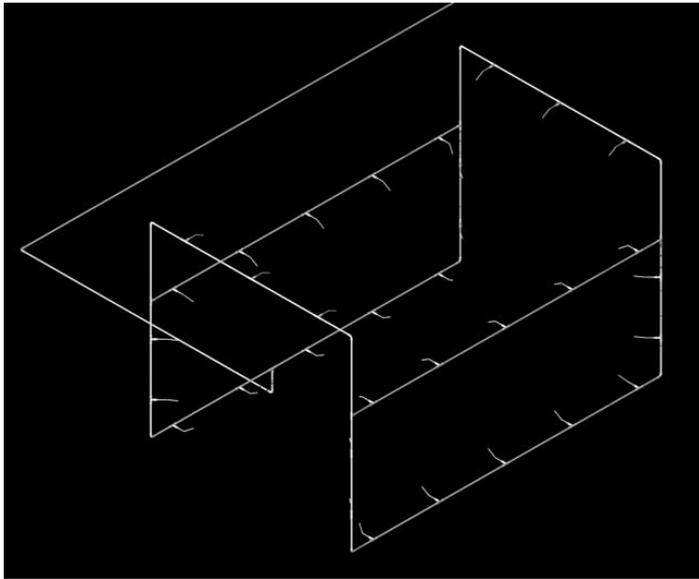
Vista superior



Vista frontal

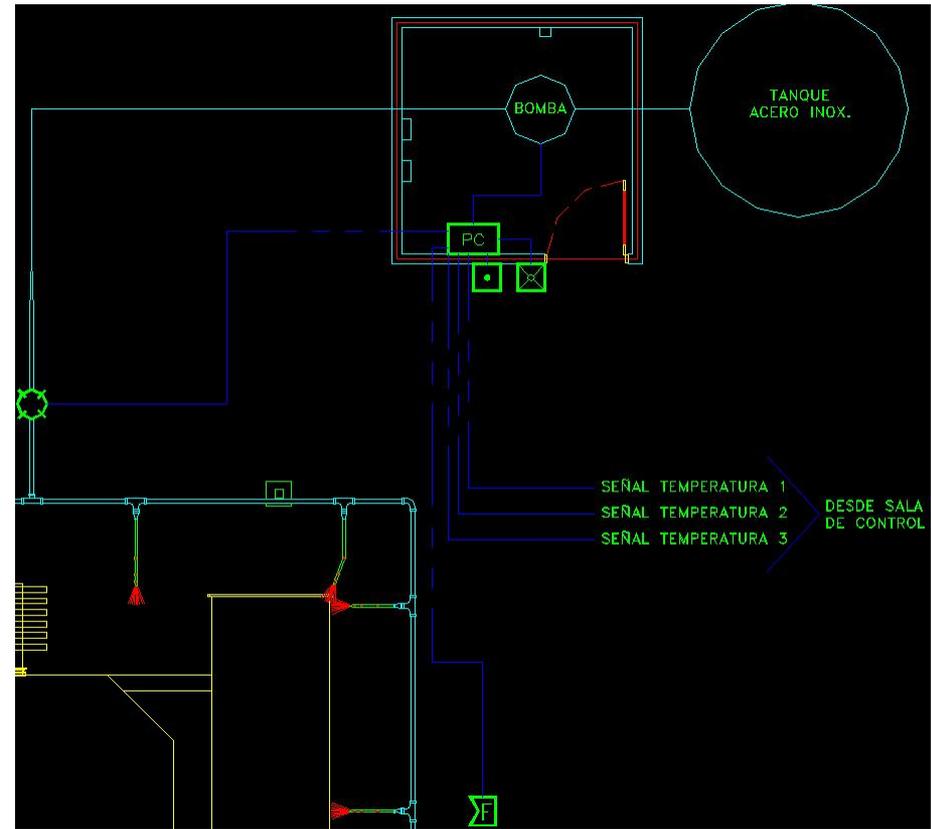


Montaje boquillas nebulizadoras

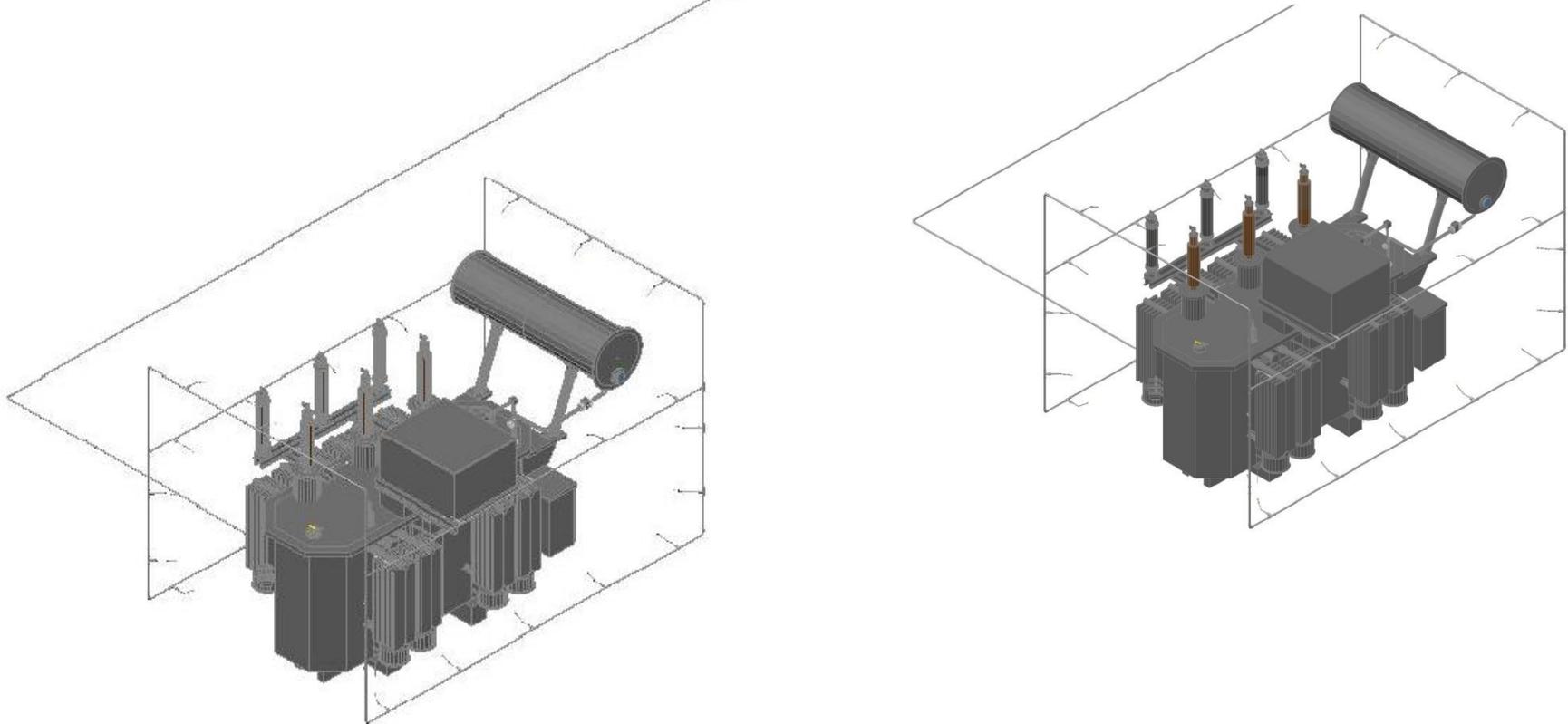
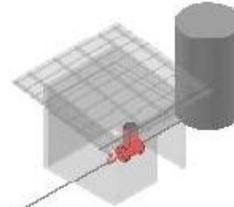


Red de tuberías

Automatización del sistema



Diseño 3D Sistema completo



FOTOS DE SISTEMA INSTALADO



SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE INCENDIO CON AGUA NEBULIZADA

Ing. Eduardo Armijo Carvajal
Fire Protection Engineer

Consultor en Protección de Incendios y
en Sistemas Integrados de Seguridad