



UNIVERSIDAD DE  
**COSTA RICA**

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA  
INCENDIOS PARA LA PLANTA HIDROELÉCTRICA LOS  
NEGROS II EN UPALA, ALAJUELA.

Trabajo final de graduación sometido a la consideración de la

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Como parte de los requisitos  
para aspirar al título y grado de

LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA CON  
ÉNFASIS EN PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS.

**Julián Escobar Vega**


**Nataly María Fonseca Rivera**

**Géricka Picado Matamoros**

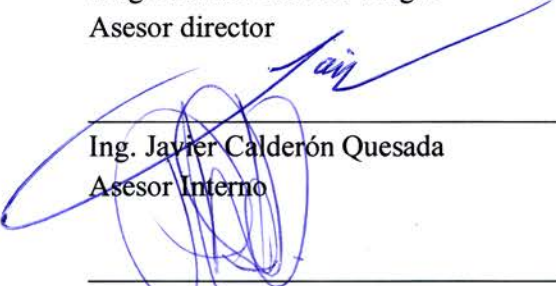
Sede Interuniversitaria de Alajuela  
Agosto del 2020

## Hoja del Tribunal

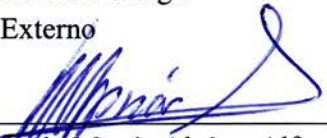
Este proyecto de graduación fue aceptado por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado y título de Licenciatura en Ingeniería Mecánica con Énfasis en Protección Contra Incendios.


  
\_\_\_\_\_  
Dr. Pietro Scaglioni Solano  
Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica

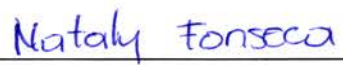
  
\_\_\_\_\_  
Mag. Manuel Corella Vargas  
Asesor director

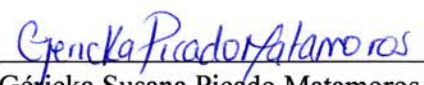
  
\_\_\_\_\_  
Ing. Javier Calderón Quesada  
Asesor Interno

\_\_\_\_\_  
Ing. Pablo Soto Ortega  
Asesor Externo

  
\_\_\_\_\_  
Lic. Eugenio Martín Alpízar Alfaro  
Docente del curso Proyecto Ingeniería Mecánico II

  
\_\_\_\_\_  
Carné: B02214  
Julián Andrés Escobar Vega  
Ponente

  
\_\_\_\_\_  
Carné: B42639  
Nataly María Fonseca Rivera  
Ponente

  
\_\_\_\_\_  
Carné: B45309  
Géyicka Susana Picado Matamoros  
Ponente

## **Agradecimientos**

En primer lugar, agradecer a nuestras familias que han sido nuestro apoyo incondicional durante toda esta etapa universitaria.

A nuestros profesores, los que con mucha dedicación han forjado nuestros conocimientos y nos han hecho crecer como profesionales.

A todas las personas y empresas que estuvieron involucradas en este proyecto, quienes fueron cómplices de nuestra dedicada labor.

A nuestra alma máter, la Universidad de Costa Rica, por darnos las herramientas para alcanzar esta meta para nuestra vida profesional.

Gracias totales.

## **Dedicatoria**

Este proyecto no es solo nuestro, no se realizó solo con nuestro esfuerzo, está formado con la esencia de manos solidarias: amigos, familia, profesores, profesionales, que, de una u otra forma con su compañía, energía, apoyo, conocimiento, dejaron su huella en este proyecto, a todos ellos se les dedica este trabajo con mucho cariño.



## **Epígrafe**

*“En la investigación es incluso más importante el proceso que el logro mismo”.*

Emilio Muñoz

## **Índice general**

<b>Hoja del Tribunal</b> .....	<b>ii</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>iii</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>iv</b>
<b>Epígrafe</b> .....	<b>v</b>
<b>Índice general</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de ilustraciones</b> .....	<b>xi</b>
<b>Índice de cuadros</b> .....	<b>xiv</b>
<b>Siglas</b> .....	<b>xviii</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>xix</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1. Descripción general.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo general .....	2
1.2.2. Objetivos específicos .....	2
1.3. Justificación .....	3
1.4. Antecedentes.....	4
1.5. Metodología.....	4
1.6. Alcance .....	6
1.7. Limitaciones.....	6
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>7</b>
<b>2. Marco teórico</b> .....	<b>7</b>
2.1. Antecedentes de la investigación .....	7
2.1.1. Documentación de la empresa.....	7
2.1.2. Transformadores eléctricos .....	8
2.1.3. Sistemas de protección contra incendios .....	9

2.2. Marco referencial .....	10
2.2.1. Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH).....	10
2.2.2. Proyecto hidroeléctrico Los Negros II.....	11
2.3. Bases teóricas.....	14
2.4. Planta hidroeléctrica.....	15
2.4.1. Historia de la hidroelectricidad .....	15
2.4.2. ¿Qué es una planta hidroeléctrica? .....	15
2.4.3. Características necesarias para un proyecto hidroeléctrico.....	18
2.4.4. Hidroelectricidad en Costa Rica.....	19
2.5. Análisis del riesgo .....	20
2.5.1. Riesgo .....	20
2.5.2. Métodos de análisis del riesgo.....	21
2.5.3. Tipos de instalaciones.....	21
2.5.4. Situaciones operativas.....	22
2.5.5. Selección de método .....	24
2.6. Normativa de referencia de NFPA.....	30
2.6.1. NFPA 1. Código del fuego.....	30
2.6.2. NFPA 10. Normas para extintores portátiles contra incendios. ....	31
2.6.3. NFPA 12. Norma sobre sistemas de extinción de dióxido de carbono....	31
2.6.4. NFPA 14. Norma para la instalación de sistemas de montantes y mangueras. ....	31
2.6.5. NFPA 15. Norma para sistemas fijos protección contra incendios de agua pulverizada.....	31
2.6.6. NFPA 24. Norma para la instalación de la red privada de bomberos y sus accesorios.....	31
2.6.7. NFPA 72. Código nacional de alarmas de incendio y señalización. ....	32
2.6.8. NFPA 101. Código de seguridad humana.....	32

2.6.9. NFPA 850. Práctica recomendada para la protección de incendios en las plantas de generación eléctrica y estaciones de corriente directa y alto voltaje.	32
2.6.10. NFPA 5000. Código de construcción y seguridad de edificios.....	32
2.7. Fuego.....	33
2.7.1. Productos de la combustión.....	33
2.7.2. Componentes del fuego.....	34
2.8. Sistemas de protección contra incendios.....	38
2.8.1. Sistema de protección pasiva contra incendios .....	38
2.8.2. Sistema de protección activa contra incendios.....	40
2.8.3. Sistema de soportería .....	43
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>45</b>
<b>3.    Diseño .....</b>	<b>45</b>
3.1. Selección del método de análisis de riesgo .....	45
3.1.1. Análisis de selección.....	45
3.1.2. Cálculo del factor de vulnerabilidad.....	46
3.2. Clasificación de ocupaciones.....	50
3.3. Análisis de la protección pasiva.....	51
3.3.1. Acceso a equipos industriales.....	51
3.3.2. Distancias de recorrido de seguridad humana.....	54
3.3.3. Compartimentación de recintos.....	55
3.3.4. Análisis de transformadores .....	57
3.4. Análisis del sistema de detección y notificación .....	60
3.5. Selección de los tipos de sistemas de supresión .....	66
3.5.1. Sistema de diluvio para transformadores. ....	66
3.5.2. Sistema de tanque por gravedad .....	67
3.5.3. Sistema de agente limpio .....	68
3.5.4. Sistema de dióxido de carbono.....	70

3.6. Muestra de cálculos.....	73
3.6.1. Diseño del sistema de diluvio para transformadores. ....	73
3.6.2. Diseño de la red exterior y el tanque para abastecimiento con agua. ....	77
3.6.3. Diseño del Agente limpio Inergen.....	82
3.6.4. Diseño del sistema de dióxido de carbono CO <sub>2</sub> . ....	99
3.7. Consideraciones de alarma en todos los sistemas. ....	115
3.7.1. Sistema de alarma para sistema de diluvio .....	115
3.7.2. Sistema de alarma para sistema de agente limpio .....	116
3.7.3. Sistema de alarma para sistema de CO <sub>2</sub> .....	116
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>118</b>
<b>4. Resultados.....</b>	<b>118</b>
4.1. Selección del método de análisis de riesgo .....	118
4.2. Análisis histórico.....	120
4.3. ¿Qué pasa sí...? (What if...? de su nombre en inglés) .....	121
4.4. Lista de verificación (Check list, de su nombre en inglés).....	123
4.5. Protección pasiva .....	125
4.5.1. Acceso a equipos industriales.....	126
4.5.2. Distancias de recorrido de seguridad humana.....	127
4.5.3. Compartimentación de recintos.....	129
4.5.4. Análisis del tanque Diésel.....	129
4.5.5. Análisis de transformadores .....	131
4.6. Protección activa .....	133
4.6.1. Sistema de detección y notificación .....	134
4.6.2. Sistema de extintores portátiles .....	136
4.6.3. Sistema de diluvio para transformadores .....	140
4.6.4. Sistema de red exterior y tanque para sistemas de alimentación con agua. .....	142

4.6.5. Sistema de agente limpio Inergen para cuartos eléctricos. ....	145
4.6.6. Sistema de dióxido de carbono para generadores y equipo hidráulico..	147
4.7. Presupuesto de los sistemas .....	150
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>151</b>
<b>5. Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>151</b>
5.1. Conclusiones.....	151
5.2. Recomendaciones.....	152
<b>6. Bibliografía.....</b>	<b>154</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>160</b>
Anexo A. Clasificación de zonas sísmicas en Costa Rica.....	160
Anexo A.1. Selección de los métodos para el análisis del riesgo .....	160
Anexo A.2. Criterios para la selección del análisis de riesgos .....	164
Anexo A.3. Cálculo del factor de vulnerabilidad.....	165
Anexo A.4. Análisis de las sustancias y sus de condiciones de almacenamiento y operación.....	166
Anexo A.5. Resultados de elección del método de análisis del riesgo .....	167
Anexo B. Análisis de los métodos seleccionados.....	182
Anexo C. Protección pasiva de la planta.....	190
Anexo C.1. Cálculo de carga de ocupantes .....	190
Anexo C.2. Compartimentación de la PHLNII.....	191
Anexo D. Requerimientos de ubicación de transformadores según NFPA 850..	193
Anexo E. Características técnicas del equipo de la planta .....	195
Anexo F. Cálculos hidráulicos de los sistemas activos.....	197
Anexo F.1. Sistema de diluvio .....	198
Anexo F.2. Sistema de la red exterior y gabinetes. ....	199
Anexo F.3. Sistema del agente limpio Inergen. ....	200
Anexo F.4. Sistema del CO <sub>2</sub> . ....	201

Anexo G. Cotización de los diferentes sistemas.....	204
Anexo H. Memorias de soportería sismo resistente.....	205
Anexo I. Guía de disposiciones técnicas generales sobre seguridad humana y protección contra incendios en plantas hidroeléctricas. ....	206

## Índice de ilustraciones

<b>Ilustración 2.1.</b> Potencia máxima del proyecto en punto de entrega. Fuente: [3]....	14
<b>Ilustración 2.2.</b> Partes básicas de una hidroeléctrica. Fuente: Autores. ....	16
<b>Ilustración 2.3.</b> Triángulo del fuego. Fuente: Autores. ....	35
<b>Ilustración 2.4.</b> Tetraedro del fuego. Fuente: Autores. ....	36
<b>Ilustración 2.5.</b> Límites de inflamabilidad. Fuente: Autores.....	37
<b>Ilustración 2.6.</b> Diferencia entre un rociador y una boquilla contra incendios. Fuente: [36], [37]. ....	41
<b>Ilustración 2.7.</b> Distribución de las zonas sísmicas en el territorio de Costa Rica. Fuente: [40].....	43
<b>Ilustración 3.1.</b> Dimensiones de accesos al equipo industrial permitida por NFPA 101. Fuente: [32]. ....	52
<b>Ilustración 3.2.</b> Distribución de escaleras de acceso a equipo industrial. Fuente: Autores.....	53
<b>Ilustración 3.3.</b> Distancias de recorrido común. Fuente: Autores.....	55
<b>Ilustración 3.4.</b> Trincheras de los cuartos de control hacia cuarto de turbinas y generadores. Fuente: Autores.....	56
<b>Ilustración 3.5.</b> Ubicación de trincheras en cuarto de máquinas. Fuente: Autores..	57
<b>Ilustración 3.6.</b> Muro corta fuego que separa los transformadores de la planta. Fuente: Autores.....	58
<b>Ilustración 3.7.</b> Sección de diques de contención de los transformadores exteriores. Fuente: [41]. ....	59
<b>Ilustración 3.8.</b> Zonificación y ubicación de componentes del sistema de detección y notificación de incendios. Fuente: [42]. ....	61

<b>Ilustración 3.9.</b> Espaciamiento de detectores en espacios rectangulares. Fuente: [24]. .....	62
<b>Ilustración 3.10.</b> Área de cobertura de los elementos de notificación visible y audible permitido por norma. Fuente: [24]. .....	65
<b>Ilustración 3.11.</b> Transformadores con el muro corta fuego. Fuente: Autores.....	66
<b>Ilustración 3.12.</b> Tanque de Oscilación de la PHLNII. Fuente: Autores. ....	67
<b>Ilustración 3.13.</b> Unidad de lubricación con bandeja de contención de derrames en su base. Fuente: Autores. ....	72
<b>Ilustración 3.14.</b> Unidad oleo-hidráulica con bandeja de contención de derrames en su base. Fuente: Autores. ....	72
<b>Ilustración 3.15.</b> Boquilla Tyco Tipo D3. Fuente: [44]. ....	73
<b>Ilustración 3.16.</b> Diseño de distribución de agua. Fuente: Autores. ....	74
<b>Ilustración 3.17.</b> Diseño de distribución de tuberías. Fuente: Autores. ....	75
<b>Ilustración 3.18.</b> Diseño de válvula de diluvio. Fuente: Autores.....	76
<b>Ilustración 3.19.</b> Diámetro de tubería y espesores mínimos de pared. Fuente: [46]. .....	78
<b>Ilustración 3.20.</b> Diagrama de Moody. Fuente: [47].....	80
<b>Ilustración 3.21.</b> Concentraciones mínimas de diseño para agentes limpios. Fuente: [50]. ....	84
<b>Ilustración 3.22.</b> Concentraciones de gases limpios considerados para efectos fisiológicos en personas. Fuente: [50].....	89
<b>Ilustración 3.23.</b> Reductor de presión para sistema de agente Inergen. Fuente: [48] .....	91
<b>Ilustración 3.24.</b> Boquilla acústica 360° (izquierda) y 360° estándar (derecha) de agente Inergen. Fuente: [48] .....	92
<b>Ilustración 3.25.</b> Distribución de tubería desde batería de cilindros hasta boquillas de cuarto eléctrico. Fuente: Autores. ....	94
<b>Ilustración 3.26.</b> Distribución de tubería desde batería de cilindros hasta boquillas de cuarto de control (izquierda) y de rectificadores (derecha). Fuente: Autores.....	94



<b>Ilustración 3.27.</b> Concentraciones de diseño para la descarga inicial del CO <sub>2</sub> . Fuente [20] .....	101
<b>Ilustración 3.28.</b> Boquilla tipo Baffle utilizada para descargar en los generadores. Fuente: [51].....	102
<b>Ilustración 3.29.</b> Datos utilizados para obtener los kg de CO <sub>2</sub> necesarios para la descarga extendida. Fuente: Autores.....	102
<b>Ilustración 3.30.</b> Distribución de tubería del sistema de CO <sub>2</sub> . Fuente: Autores. ....	105
<b>Ilustración 3.31.</b> Distribución del sistema de CO <sub>2</sub> para los generadores 1 y 2 respectivamente. Fuente: Autores. ....	106
<b>Ilustración 3.32.</b> Dimensionamiento de un volumen asumido según la NFPA 12. Fuente: [51].....	108
<b>Ilustración 3.33.</b> Boquilla de descarga tipo cono utilizada para el sistema de CO <sub>2</sub> de los equipos oleo-hidráulicos y de lubricación. Fuente: [51].....	110
<b>Ilustración 3.34.</b> Diseño del sistema de extinción con CO <sub>2</sub> para los equipos de lubricación de los generadores 1 y 2, respectivamente. Fuente: Autores.....	113
<b>Ilustración 3.35.</b> Diseño del sistema de supresión de CO <sub>2</sub> para los equipos Oleo-hidráulicos 1 y 2, respectivamente. Fuente: Autores.....	113
<b>Ilustración 4.1.</b> Distribución de rutas de evacuación más largas posibles en el cuarto de máquinas. Fuente: Autores.....	128
<b>Ilustración 4.2.</b> Tanque de Diésel de planta de emergencia. Fuente: [52] .....	130
<b>Ilustración 4.3.</b> Ubicación recomendada de tanque diésel para planta de emergencia. Fuente: Autores.....	131
<b>Ilustración 4.4.</b> Distancia entre transformadores y cuarto de máquinas. Fuente: Autores.....	132
<b>Ilustración 4.5.</b> Distribución de elementos de iniciación del sistema de detección recomendados en cuarto de máquinas. Fuente: Autores.....	134
<b>Ilustración 4.6.</b> Distribución de elementos de notificación visible y audible en cuarto de máquinas y subestación. Fuente: Autores. ....	135
<b>Ilustración 4.7.</b> Distribución de extintores. Fuente: Autores.....	138

<b>Ilustración 4.8.</b> Extintor en cuarto eléctrico. Fuente: Autores.....	139
<b>Ilustración 4.9.</b> Batería de extintores del cuarto eléctrico. Fuente: Autores. ....	139
<b>Ilustración 4.10.</b> Transformadores con el sistema de diluvio. Fuente: Autores. ...	141
<b>Ilustración 4.11.</b> Conjunto de sistemas de incendios a base de agua. Fuente: Autores. .....	144
<b>Ilustración 4.12.</b> Imagen 3D de los sistemas de supresión por agente limpio Inergen. Fuente: Autores. ....	147
<b>Ilustración 4.13.</b> Modelados de los sistemas de CO <sub>2</sub> . Fuente: Autores. ....	149

## Índice de cuadros

<b>Cuadro 2.1.</b> Método para selección de análisis del riesgo. Fuente: [15].....	25
<b>Cuadro 2.2.</b> Parámetros para el análisis histórico. Fuente: [1]. ....	27
<b>Cuadro 3.1.</b> Clasificación de la instalación para el análisis del riesgo Fuente: Autores. .....	45
<b>Cuadro 3.2.</b> Factores generales del análisis del riesgo. Fuente: Autores. ....	46
<b>Cuadro 3.3.</b> Cálculo de factor de vulnerabilidad. Fuente: Autores.....	47
<b>Cuadro 3.4.</b> Características de las sustancias almacenadas. Fuente: Autores. ....	48
<b>Cuadro 3.5.</b> Dimensiones de los accesos. Fuente: Autores. ....	53
<b>Cuadro 3.6.</b> Distancias de recorrido de seguridad humana. Fuente: [32]. ....	54
<b>Cuadro 3.7.</b> Criterios de selección para agente limpio de supresión. Fuente: Autores. .....	69
<b>Cuadro 3.8.</b> Datos de la tubería y el agua para el cálculo de Bernoulli. Fuente: Autores.....	78
<b>Cuadro 3.9.</b> Datos del tanque y cuarto de máquinas para el cálculo de Bernoulli. Fuente: Autores. ....	78
<b>Cuadro 3.10.</b> Datos del tanque y cuarto de máquinas para el cálculo de Bernoulli. Fuente: Autores. ....	80
<b>Cuadro 3.11.</b> Parámetros generales de diseño de agente limpio. Fuente: Autores. .	82

<b>Cuadro 3.12.</b> Volúmenes de los cuartos para la protección por agente limpio. Fuente: Autores.....	83
<b>Cuadro 3.13.</b> Cantidad mínima de agente limpio requerido por cuarto. Fuente: Autores.....	85
<b>Cuadro 3.14.</b> Cantidad de agente requerida corregida. Fuente: Autores.....	86
<b>Cuadro 3.15.</b> Cantidad de cilindros de agente y volumen de agente disponible. Fuente: Autores. ....	87
<b>Cuadro 3.16.</b> Cálculo del factor de inundación real. Fuente: Autores. ....	87
<b>Cuadro 3.17.</b> Concentraciones reales a diferentes temperaturas. Fuente: Autores..	88
<b>Cuadro 3.18.</b> Tiempo de descarga de agente Inergen. Fuente: Autores.....	90
<b>Cuadro 3.19.</b> Tiempo de descarga de sistemas de Inergen. Fuente: Autores. ....	90
<b>Cuadro 3.20.</b> Dimensión recomendada del reductor de presión. Fuente: Autores. .	91
<b>Cuadro 3.21.</b> Cantidad de boquillas requeridas por cuarto. Fuente: Autores.....	92
<b>Cuadro 3.22.</b> Caudal requerido por boquilla al descargar el 90% de agente total. Fuente: Autores. ....	93
<b>Cuadro 3.23.</b> Boquillas y diámetro de orificio de las boquillas. Fuente: Autores..	95
<b>Cuadro 3.24.</b> Diámetros de tuberías para sistema de agente limpio. Fuente: Autores. ....	96
<b>Cuadro 3.25.</b> Soportería de tubería pasa supresión por agente de Inergen. Fuente: Autores.....	97
<b>Cuadro 3.26.</b> Área de abertura necesaria para ventilación de cada cuarto. Fuente: Autores.....	98
<b>Cuadro 3.27.</b> Actuadores piloto requeridos. Fuente: Autores. ....	98
<b>Cuadro 3.28.</b> Resumen de datos obtenidos en software para las descargas de CO <sub>2</sub> en los generadores. Fuente: Autores. ....	106
<b>Cuadro 3.29.</b> Cálculo del volumen asumido del equipo de lubricación y del equipo oleo-hidráulico. Fuente: Autores.....	108
<b>Cuadro 3.30.</b> Especificaciones de las boquillas tipo cono. Fuente: [51].....	111

<b>Cuadro 3.31.</b> Factores de direccionamiento para localización angular de las boquillas. Fuente: [20].....	112
<b>Cuadro 3.32.</b> Resumen de datos obtenidos en software para las descargas de CO <sub>2</sub> en los equipos de lubricación. Fuente: Autores.....	114
<b>Cuadro 3.33.</b> Resumen de datos obtenidos en software para las descargas de CO <sub>2</sub> en los equipos oleo-hidráulicos. Fuente: Autores.....	114
<b>Cuadro 3.34.</b> Temperatura de alarma para el sistema de diluvio. Fuente: Autores. .....	115
<b>Cuadro 3.35.</b> Selección de temperatura del detector de calor lineal. Fuente: Autores. .....	117
<b>Cuadro 4.1.</b> Análisis del método del riesgo a la unidad de generación. Fuente: Autores.....	118
<b>Cuadro 4.2.</b> Porcentajes de incendios en distintos sectores de una planta hidroeléctrica. Fuente: Autores.....	120
<b>Cuadro 4.3.</b> ¿Resumen de las preguntas del What if...?. Fuente: Autores. ....	122
<b>Cuadro 4.4.</b> Check list de la planta hidroeléctrica Los Negros II. Fuente: Autores. .....	124
<b>Cuadro 4.5.</b> Clasificaciones de las ocupaciones de la planta. Fuente: Autores. ....	125
<b>Cuadro 4.6.</b> Dimensiones de elementos de seguridad humana. Fuente: Autores. .	126
<b>Cuadro 4.7.</b> Dimensiones de accesos a equipos industriales. Fuente: Autores. ....	127
<b>Cuadro 4.8.</b> Distancias de recorrido común en PHLNII. Fuente: Autores.....	127
<b>Cuadro 4.9.</b> Longitud de distancias de recorrido a la salida más cercana. Fuente: Autores.....	129
<b>Cuadro 4.10.</b> Verificación de dimensiones de muro corta fuego. Fuente: Autores. .....	131
<b>Cuadro 4.11.</b> Especificaciones del sistema de extintores. Fuente: Autores. ....	137
<b>Cuadro 4.12.</b> Presiones y caudales mínimas requeridas de cada sistema de incendio. Fuente: Autores.....	143
<b>Cuadro 4.13.</b> Volumen de agua requerido por cada sistema. Fuente: Autores.....	144

<b>Cuadro 4.14.</b> Datos iniciales del diseño del agente limpio. Fuente: Autores. ....	145
<b>Cuadro 4.15.</b> Cantidad de agente limpio requerida por cuarto. Fuente: Autores. .	146
<b>Cuadro 4.16.</b> Características de descarga del sistema de agente limpio. Fuente: Autores.....	146
<b>Cuadro 4.17.</b> Valores finales de diseño del sistema de agente limpio. Fuente: Autores. ....	146
<b>Cuadro 4.18.</b> Datos obtenidos en el diseño del sistema de extinción de CO <sub>2</sub> para los generadores. Fuente: Autores.....	148
<b>Cuadro 4.19.</b> Resumen de valores utilizados en el diseño del sistema de CO <sub>2</sub> para los equipos de lubricación y oleo-hidráulicos. Fuente: Autores.....	149
<b>Cuadro 4.20.</b> Cotización de los sistemas de supresión de la PHLNII. Fuente: Autores. ....	150

## **Siglas**

BCBCR: Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica.

ESPH: Empresa de Servicios Públicos de Heredia.

FM: Factory Mutual.

ICE: Instituto Costarricense de Electricidad.

IVA: Impuesto sobre el valor agregado.

m.s.n.p.t.: metros sobre nivel de piso terminado.

m.s.n.m.: metros sobre el nivel del mar.

NFPA: Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (National Fire Protection Association).

LOAEL: Concentración de agente más baja a la cual se ha observado un efecto adverso de tipo toxicológico o psicológico (Lowest Observable Adverse Effect Level).

NOAEL: Concentración de agente más alta a la cual no se ha observado un efecto toxicológico o psicológico en un ser humano (No Observed Adverse Effect Level).

PHLNI: Planta hidroeléctrica Los Negros I.

PHLNII: Planta hidroeléctrica Los Negros II.

PLC: Controlador lógico programable.

UCR: Universidad de Costa Rica.

UL: Underwriters Laboratories.

## Resumen

En el presente trabajo se genera una recomendación de mejora para el sistema de protección contra incendios en la Planta Hidroeléctrica Los Negros II (PHLNII), específicamente en el cuarto de máquinas, ubicada en el cantón de Upala, Alajuela. Esta planta tiene la capacidad de generar anualmente 126 Gigavatios-hora-año, esta energía se encuentra a disposición de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A. (ESPH) para ser distribuidas en diversas zonas de la provincia de Heredia, Costa Rica.

Este es un proyecto inaugurado en el 2019, entró en operación en noviembre del 2018 y cumple solamente con un sistema de extintores, y el de alarma y detección respecto a la normativa nacional para la protección contra incendios y seguridad humana, lo que representa un peligro potencial tanto para el personal, como para el equipo e infraestructura. Por lo que, para resolver la problemática se propuso diseñar un sistema de protección y supresión contra incendios en la planta hidroeléctrica en cumplimiento con los cinco objetivos de la protección contra incendios como lo son 1- Salvar vidas humanas, 2- Salvar los bienes materiales, 3- Regresar a la normalidad las actividades, 4- Preservar el medio ambiente y 5- Conservación del patrimonio histórico.

Para esto se elaboró un análisis del riesgo que permitió determinar los peligros más críticos de las instalaciones y así definir cuáles sistemas puede dar protección completa a la planta. Este análisis abarcó factores de protección pasiva y activa del lugar, para lograrlo se trabajó bajo los lineamientos de la Ley N° 8228 “Ley del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica (BCBCR) y el Decreto Ejecutivo N° 37615-MP “Reglamento a la Ley N° 8228 del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, así como del Manual de disposiciones técnicas generales sobre seguridad humana y protección contra incendios versión 2013 con fundamento en la normativa estadounidense de la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego “National Fire Protection Association” (NFPA). Las normas mayormente consultadas fueron: NFPA 1 Código de Incendios, NFPA 12 Norma sobre sistemas de extinción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), NFPA 14 Norma para la instalación de sistemas de tuberías verticales y mangueras, NFPA 15 Norma para sistemas fijos de agua pulverizada para protección contra incendios, NFPA 24 Norma de Instalación de redes de agua contra incendios y sus accesorios, NFPA 101 Código de seguridad humana, NFPA 850 Práctica recomendada para protección contra incendios para plantas de generación eléctrica y estaciones transformadoras y NFPA 2001 Estándar sobre sistemas de extinción mediante agentes limpios.

# CAPÍTULO 1

## 1. Introducción

Este capítulo contiene el trabajo realizado mediante el uso de una descripción general, una delimitación de los objetivos, la justificante del trabajo para las partes involucradas, antecedentes que pueden aportar información a la solución del problema, sus causas y consecuencias, el tipo de metodología utilizada y los alcances y limitaciones que se generan para este trabajo final de graduación.

### 1.1. Descripción general

ESPH es una empresa que brinda servicios de telecomunicaciones, alumbrado público, alcantarillado sanitario, agua potable y energía eléctrica. Esta cuenta con varias plantas hidroeléctricas para suplir los diferentes picos de potencia que se consumen por parte de sus abonados y así lograr reducir sus gastos de compra de energía al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

Para el presente trabajo se escoge la planta hidroeléctrica Los Negros II, ubicada en Alajuela, específicamente en la zona de Aguas Claras de Upala, la cual pertenece a la ESPH. Se selecciona con el fin de desarrollar una propuesta para el sistema de protección contra incendios, tanto pasivo como activo, que abarque el cuarto de máquinas y la subestación de dicha planta hidroeléctrica. Dado que el cuarto de máquinas cuenta con un sistema de alarma y detección de humo, no se toma en consideración el diseño del sistema, sin embargo, se generan recomendaciones de los equipos ya instalados con respecto a la NFPA 72 código nacional de alarmas de incendio y señalización. Los sistemas de supresión y protección pasiva si se consideran para la planta.

Para lograrlo se realiza de primera mano el análisis del riesgo, el cual se escoge bajo la guía técnica de Dirección General de Protección Civil [1]. De manera tal, que se pueda estimar con este análisis los peligros y zonas o unidades de mayor compromiso para un eventual incendio, que permitan determinar cuál sistema de protección contra incendios es el que satisface las necesidades de protección de la planta, cumpliendo siempre con los estándares normativos y de alta calidad. Para cumplir con estos objetivos se toma en consideración el Manual de Disposiciones Técnicas del Benemérito Cuerpo de Bomberos, la NFPA 1. Código de incendios, NFPA 101. Código de seguridad humana, NFPA 850.



Práctica recomendada para protección contra incendios para plantas de generación eléctrica y estaciones de conversión de corriente directa a alto voltaje, entre otras. También es necesario realizar un estudio a fondo sobre diseños de sistemas de protección contra incendios para cuartos de máquinas en plantas hidroeléctricas donde se considere la integridad de toda la estructura y los equipos que esta contiene, evitando de esta manera riesgos para el personal, económicos para la empresa y que podría generar una afectación directa, como por ejemplo un encarecimiento del servicio para los clientes de la planta como hogares, industrias y servicios en general.

## **1.2. Objetivos**

Para generar el desarrollo de este proyecto es fundamental plantear los objetivos generales y específicos que se consideran para crear el diseño y cubrir las necesidades en cuanto a protección contra incendios de la planta hidroeléctrica, estos objetivos se encuentran en los siguientes dos apartados.

### **1.2.1. Objetivo general**

Diseñar un sistema de protección contra incendios para el cuarto de máquinas y subestación de la planta hidroeléctrica Los Negros II, con la ayuda de las normas NFPA que tratan plantas hidroeléctricas. Además, proveer al Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, los lineamientos que se deberían seguir al diseñar un sistema de protección contra incendios en una planta hidroeléctrica, elaborando una guía explicativa de esto.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- a. Conocer el funcionamiento y estado de las instalaciones para identificar los puntos vulnerables que serán protegidos en las instalaciones.
- b. Realizar un análisis del riesgo al cuarto de máquinas y subestación de la planta hidroeléctrica Los Negros II, con tal de identificar los riesgos más críticos y sus consecuencias.
- c. Diseñar un sistema de protección pasiva de las instalaciones bajo normativa NFPA 1, NFPA 101 y del manual de disposiciones técnicas del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica.

- d. Seleccionar y diseñar los sistemas de supresión contra incendios necesarios siguiendo la normativa nacional, basada en NFPA, para el cuarto de máquinas y subestación de la planta hidroeléctrica Los Negros II.
- e. Proporcionar al Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, los lineamientos que debe seguir en el diseño de un sistema de protección contra incendios, en un cuarto de máquinas de una planta hidroeléctrica, con la ayuda de una guía explicativa.

### **1.3. Justificación**

Es preciso que las instituciones, tanto públicas como privadas, cuenten con la seguridad necesaria para proteger el recurso humano con el que se cuenta, además de sus inversiones en equipos e infraestructura. Por eso se pretende realizar un análisis de riesgo con diversos métodos (como lo son HAZOP, ¿Qué pasa si...?, Análisis histórico, entre otros) y así conocer los peligros a los que está expuesta la planta hidroeléctrica y sus trabajadores.

De esta manera se justifica la necesidad de parte de la planta hidroeléctrica Los Negros II, de tener un sistema de protección contra incendios de manera tal que se cuente con los medios de egreso adecuados y la protección pasiva que mejor se adapte a las instalaciones. Así como, un sistema de supresión de incendios apropiado para cada riesgo que determine el análisis del riesgo y la NFPA.

Además, mediante la información recolectada y analizada se aporta una guía con recomendaciones de diseño que abarca sistemas pasivos y activos de protección contra incendios para plantas hidroeléctricas que se entrega al Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica para consulta pública de diseñadores ya que este tema no es muy conocido en el país.

Por consiguiente, se pretende mejorar la seguridad contra incendios en la nueva planta hidroeléctrica Los Negros II, y presentar un documento con todo lo que refiere a esta seguridad en las hidroeléctricas para promover la seguridad contra incendios a nivel país.

#### **1.4. Antecedentes**

La generación de electricidad a partir de fuentes renovables limpias va tomando gran importancia a nivel mundial ya que, reducen el impacto ambiental que está afectando a la humanidad. Por esta razón, muchas empresas de generación han basado su funcionamiento en estas alternativas, especialmente en un país como Costa Rica, considerado como uno de los países más atractivos para la generación de energía renovable por todos los recursos ecológicos que posee y por su meta de convertirse en un país que genera energía 100% renovable.

Por esta razón, una entidad como la Empresa de Servicios Públicos de Heredia ha ganado fiabilidad y apoyo a nivel nacional en la inserción al mercado de electricidad con proyectos de energías renovables como plantas hidroeléctricas.

Como la ESPH es una empresa nacional, tiene el compromiso de cuidar el recurso nacional, por lo que debería cumplir con las normativas costarricenses que protegen tanto la vida humana como la infraestructura, considerando también que su salida de funcionamiento equivaldría a pérdidas de capital para la empresa.

En la actualidad la planta hidroeléctrica Los Negros II cuenta con un sistema de extintores y alarma, pero se considera que no cubre todos los peligros potenciales tanto para las personas que trabajan en las instalaciones como para la inversión económica que se realizaron en su construcción, implementación y funcionamiento, lo cual se verá reflejado en el análisis de riesgo desarrollado en el Capítulo 4.

Debido a la necesidad que enfrenta esta empresa, con tal importancia para el país y con el aporte que brinda a nivel nacional, se considera que trabajar y diseñar el sistema de protección contra incendios para el cuarto de máquinas y la subestación, es también contribuir no solo con una empresa sino también contribuir al bienestar y la calidad de vida de los costarricenses.

#### **1.5. Metodología**

Para este proyecto se realizó un trabajo de carácter investigativo y descriptivo, estudiando las diferentes normas y recursos brindados por las materias cursadas en la universidad, acerca de sistemas de protección contra incendios.

En seguida se presentará cómo se realizó este trabajo de investigación:

Primeramente, se hizo una recolección de datos proporcionado por la Empresa de Servicios Públicos de Heredia para el reconocimiento de la planta antes de realizar la primera visita. Conocer en planos la distribución de toda la infraestructura, además de las especificaciones técnicas de los equipos utilizados para la generación de energía, es necesario para estar al tanto de toda la materia prima y recursos humanos que se va a proteger.

Una vez se tiene identificado todas las secciones en las que se compone la planta, además de los equipos dentro de la misma, es esencial realizar un análisis de riesgos para obtener una valoración del riesgo de incendio y cómo afecta esto el funcionamiento normal de la planta. Para lograrlo se investigaron sobre los métodos de análisis de riesgo existentes que se puedan desarrollar para una cuarto de máquinas como la de la planta hidroeléctrica Los Negros II y realizar un trabajo de campo donde se pongan en práctica los métodos seleccionados.

Para los datos y especificaciones técnicas del funcionamiento general de la planta, además de sus ciclos de trabajo, condiciones de operación de los equipos y del personal, se realizaron reuniones con el personal de la empresa, de esta manera se obtuvieron los datos de entrada necesarios para el análisis del riesgo. Para escoger los métodos de análisis de riesgo que se utilizaron en el estudio se basó el procedimiento en el libro “Metodologías para el análisis del riesgo, visión general” de la Dirección General de Protección Civil de España. También fue necesario realizar giras a la planta para poder constatar el estado real de los componentes, la edificación, el sistema de alarma, la ubicación real de los extintores y la distribución real de las instalaciones.

Además, se efectuó un estudio tanto de las Normas NFPA pertinentes, del Manual de Bomberos de Costa Rica, tesis universitarias asociadas al tema, fabricantes y sus fichas técnicas y de revistas digitales en temas de incendios para lograr un correcto análisis y diseño de protección pasiva y activa en todo el cuarto de máquinas de la planta hidroeléctrica Los Negros II. Esto implica hacer los cálculos hidráulicos pertinentes y contemplar los costos de compra e instalación del o los sistemas a utilizar.

El carácter investigativo se realiza al interpretar las distintas normas pertinentes de la NFPA mediante el seguimiento que indican las mismas que se deben de hacer a distintos documentos con tal de obtener toda la protección necesaria. Basados en la normativa y las

necesidades de la empresa se pretende entonces proteger mediante equipos certificados a las instalaciones y sus componentes específicos, así como a sus ocupantes.

Finalmente, una vez que se tiene todo el sistema diseñado, se procederá a escribir un “paso a paso” de cómo fue el proceso de diseño de un sistema de protección contra incendios en una planta hidroeléctrica, para que este mismo sea entregado al cuerpo de Bomberos de Costa Rica, como un aporte a la entidad nacional.

### **1.6. Alcance**

A continuación, se presentan los alcances y entregables que el proyecto va a realizar:

- a. Realizar un análisis del riesgo que determine cuáles son las consecuencias de un siniestro en las instalaciones de manera tal que se pueda establecer la mejor protección posible.
- b. Analizar la seguridad humana y protección pasiva de las instalaciones.
- c. Definir un sistema de supresión de incendios para cada área dentro del cuarto de máquinas y subestación.
- d. Inversión de los sistemas de supresión.
- e. Elaborar una guía con la información y lineamientos que se deben seguir al diseñar un sistema de protección contra incendios para plantas hidroeléctricas al Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica según lo indica la NFPA.

### **1.7. Limitaciones**

- a. No se realiza el estudio del mantenimiento preventivo y correctivo de los sistemas de supresión del cuarto de máquinas y subestación.
- b. Solo se indican recomendaciones sobre el sistema de detección y alarma ya instalado en la planta hidroeléctrica, acorde a NFPA72.
- c. No se indica el sistema de llenado para el tanque de suministro de agua contra incendios.

# CAPÍTULO 2

## 2. Marco teórico

Este capítulo muestra la revisión literaria que se realizó para desarrollar este proyecto, acá se recopila información que se sustrae de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia, de normativas nacionales e internacionales, proyectos de graduación afín, entre otros; con el objetivo de tener bases teóricas que guíen y respalden los resultados obtenidos.

### 2.1. Antecedentes de la investigación

En el siguiente apartado se muestra una serie de referencias bibliográficas de estudios y proyectos, los cuales constituyen las bases teóricas que dan soporte a este proyecto. Dentro de esas investigaciones se encuentran trabajos finales de graduación, informes realizados por empresas dedicadas a la producción de energía, también se tomarán en cuenta las normativas NFPA y disposiciones técnicas del Benemérito Cuerpo de Bomberos, por último, se tendrán en consideración revistas de reconocimiento internacional que contengan artículos referentes a la protección contra incendios, análisis de riesgos y plantas hidroeléctricas.

La bibliografía que se consultó es tomada de varias plataformas como lo son SIBDI (Sistema de bibliotecas, documentación e información), kimuk (Repositorio Nacional de Costa Rica), bibliotecas de la Universidad de Costa Rica, entre otras bibliotecas virtuales que ofrecen universidades internacionales, además de los documentos suministrados por la misma empresa.

Las investigaciones se dividieron en tres pilares fundamentales los cuales se exponen en los siguientes apartados, en estos se abarca información primordial que contribuye al presente proyecto.

#### 2.1.1. Documentación de la empresa

La empresa ESPH ha suministrado documentación para este proyecto, los cuales han sido de utilidad en la toma de datos, el documento Especificaciones del Equipo Electromecánico y de Subestación del Proyecto Hidroeléctrico Los Negros II [2], donde se

dan las especificaciones de los principales equipos, parámetros de diseño, condiciones ambientales, condiciones operativas, potencia máxima y eficiencia garantizada.

Además, se cuenta con el documento Evaluación costo/beneficio del proyecto rehabilitación de la planta hidroeléctrica Los Negros II desde el punto de vista del costo evitado de compra [3] donde se desarrollan temas referentes a caudal, descripción de las obras, cálculos de la producción de energía y el análisis costo/beneficio.

La ESPH también realiza un informe sobre la Comprobación y prueba de panel de control de detección de incendios PHLNII [4], donde se presenta el estado de los equipos de detección e indicación de incendios, su distribución por cuarto de máquinas, análisis de fallas de los mismos, con estos datos se llega a la conclusión de que el sistema cumple con los requisitos mínimos indicados en la NFPA 72 y funciona en un 99 por ciento de su capacidad.

### **2.1.2. Transformadores eléctricos**

En una planta hidroeléctrica, uno de los principales riesgos está en los transformadores refrigerados por aceite pues este líquido si bien es dieléctrico, no deja de ser inflamable, por lo que se investiga sobre este punto y resaltan investigaciones con relación a los transformadores y su sistema de protección contra incendios [5] este primer proyecto busca encontrar una metodología para ubicar los transformadores y establecer distancias de seguridad según sea la protección activa, pasiva y las características del transformador, calculando distancias de seguridad en función de los elementos de protección pasiva existentes.

Con los estudios mostrados en esta investigación y el análisis de riesgo realizado, una de las conclusiones más importantes a las que llega el autor es que las centrales hidroeléctricas se deberían catalogar como un riesgo alto, ya que actualmente son catalogadas de riesgo ordinario según la NFPA 101, también concluye que la protección propia del transformador se debe vincular con los sistemas de protección contra incendios, esto amplía el panorama para trabajar con este tipo de elementos ya que también hace referencia a cómo detectar fallos en los mismos y explica tanto la protección activa y pasiva de su entorno.

Seguidamente se estudia un trabajo final de graduación referente a un transformador eléctrico y dos subestaciones localizadas en Holcim, Cartago [6] cuyo objetivo es diseñar el

sistema de protección contra incendios adecuado para el transformador y las subestaciones, dentro de su marco metodológico realizan una clasificación del riesgo basados en la NFPA, trabajos de campo para la recolección de datos, entrevistas y cálculos para análisis de resultados y planos del diseño, las conclusiones a las que se llega es que para la subestación utiliza un sistema de protección contra incendios con base en un agente limpio pues existe equipo eléctrico energizado además de tomar en cuenta el impacto ambiental que este provoca. Para el transformador eléctrico, que es enfriado por aceite, se utiliza un sistema de protección contra incendios siguiendo los lineamientos predeterminado en la NFPA 15. Norma para sistemas fijos de protección contra incendios de agua pulverizada.

### **2.1.3. Sistemas de protección contra incendios**

Para esta sección, una referencia que ha dado un gran aporte es [7], que tiene como objetivo realizar un plan maestro de seguridad contra incendios para unas centrales hidroeléctricas teniendo como base los criterios y recomendaciones NFPA, este proyecto da inicio con la definición del método de protección considerando los riesgos presentes en cada hidroeléctrica, lo cual se relaciona en gran manera con este proyecto, ya que brinda una gran cantidad de material, normativas y análisis que son tomados en cuenta.

Se cuenta también con un proyecto final de graduación donde se realiza el análisis y diseño del sistema de supresión contra incendios con rociadores automáticos para los edificios de la sede central del Tribunal Supremo de Elecciones [8], en el sistema se trabaja con un agente limpio e inerte llamado Inergen el cual no es nocivo para el ser humano. Utilizando una metodología tipo cuantitativa además se explica por qué se deben implementar los sistemas propuestos y se hace una comparación entre ellos que ayuda a determinar el mejor sistema de supresión para el edificio en cuestión, con esto se llega a la conclusión de que el agente limpio es la mejor opción para las instalaciones ya que otros agentes puede provocar daños a los equipos, también el sistema contará con un sistema principal el cual es este a base de agente limpio y el secundario será el sistema de rociadores con agua que se activa solo si el sistema principal falla.



## **2.2. Marco referencial**

Esta sección hace referencia a la Empresa de Servicios Públicos de Heredia, a quien pertenece la planta hidroeléctrica Los Negros II donde se realizó este proyecto y también se presenta información general sobre la misma planta.

### **2.2.1. Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH)**

La Empresa de Servicios Públicos de Heredia se encarga de administrar algunos de los servicios básicos que se requieren en la provincia de Heredia, Costa Rica; como por ejemplo telecomunicaciones, alumbrado público, alcantarillado sanitario, agua potable y energía eléctrica. Los distintos servicios básicos en Costa Rica tienen su proveedor estatal, por ejemplo, la energía eléctrica solo puede ser vendida por el ICE respaldado por su ley de creación N°449 del año 1949 [9], por esta razón la ESPH sirve como intermediaria entre el consumidor y el vendedor final solamente y se rige bajo la ley N°7593 de la ARESEP (Autoridad Reguladora de Servicios Públicos) [10] para los diferentes servicios definido como un servicio al costo.

En el caso de la electricidad (que es lo que genera la planta en estudio), el ciclo de comportamiento de los consumidores de energía eléctrica puede dividirse en cuatro periodos de seis horas cada uno durante el día, de los cuales se pueden esperar diferentes comportamientos. En general se denominan periodos punta cuando se consume más energía en cantidad y en potencia durante el día que, además, son las horas más costosas por parte del ICE, estos dos periodos son la mañana y la tarde; por otro lado, las horas de menor consumo y precio de compra son las de la madrugada y noche, denominadas fuera de punta [3]. LA ESPH cuenta con diversas plantas de generación que le permiten reducir el costo de la compra al ICE durante los periodos punta como, por ejemplo: Los Negros I, Jorge Manuel Dengo y Tacares. Debido al crecimiento de la población y por lo tanto de los abonados se ha encontrado la necesidad de una reestructuración del sistema, y por ende la propuesta de una planta de generación nueva que permita obtener una recta de costo estable para la empresa.

Como se menciona en [3].

El crecimiento sostenido del consumo de energía de los abonados al servicio de distribución de la ESPH, el cual ronda el 5.9 % anual, sumado a la insuficiente

capacidad de generación de la ESPH, se han traducido en un aumento en las compras de energía al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

El sistema tarifario del ICE realiza una diferenciación dependiendo de la estación y del bloque horario en la que la energía es requerida. Esta estructura tarifaria motiva a las empresas distribuidoras tales como la ESPH a procurar un manejo relativo de su curva de consumo, tendiendo a allanar las diferencias entre los bloques horarios, especialmente durante las horas pico.

De esta manera se entiende la importancia del proyecto hidroeléctrico Los Negros II ya que permitiría que la ESPH pueda sustituir estas compras de energía en las horas punta por energía producida en sus instalaciones permitiéndole capacidad de disminuir el costo unitario de la misma.

### **2.2.2. Proyecto hidroeléctrico Los Negros II**

En esta sección se dan a conocer aspectos de PHLNII que abarcan una breve reseña de su historia, funcionamiento, producción y otros tecnicismos:

- Historia:

El proyecto hidroeléctrico Los Negros II, se encuentra ubicada en la provincia de Alajuela, en un pueblo llamado Cuatro Bocas de Upala, fue inaugurada en marzo del 2019, lo que la posiciona en una planta completamente nueva.

Esta planta, al ser parte de la ESPH fue creada con los objetivos de minimizar costos de distribución a los abonados en servicio eléctrico mediante la sustitución de la compra de energía mediante el autoabastecimiento durante las horas pico; complementar la oferta de energía presente en Costa Rica con el aprovechamiento de energías limpias, además de disminuir toda dependencia de Costa Rica en cuanto a fuentes de energía que provengan del petróleo y sus derivados.

Los Negros II, además de cumplir con el abastecimiento de energía, se plantean generar beneficios a la comunidad que se encuentra a los alrededores de la planta, como beneficios en infraestructura, generación de empleos, entre otros.

- Especificaciones técnicas:

Al estar ubicada en la zona de Upala, Cuatro Bocas; la planta funciona con el embalsamiento de los ríos Caño Negro y Jalapiedras, este embalse tiene una cuenca con un área de 197,6 km<sup>2</sup> con un caudal medio multianual de 16,4 m<sup>3</sup>/s. Esta cuenca es utilizada también por la planta hidroeléctrica Los Negros I ya que la distribución de las mismas es en cascada, colocando a Los Negros II de segunda en el recorrido del agua. PHLNII cuenta con una presa de concreto propia que se encuentra ligada al desfogue de PHLNI, también cuenta con su propio embalse con un volumen total máximo de 134.286 m<sup>3</sup>. En el embalse se encuentra un desarenador, una rejilla con rastrillos de limpieza, la entrada de la tubería de concreto de conducción y la continuación del caudal ecológico.

La tubería de concreto que está ligada al desarenador tiene un diámetro de 3,0 m con una longitud de 79,0 m que se conecta a un túnel de concreto de sección circular con un diámetro de 3,2 m que se extiende por 2,298 m a una inclinación de 1,36%. Seguidamente existe una tubería de baja presión de acero estructural con un diámetro de 3,0 m por 740 m hasta alcanzar el tanque de oscilación que se caracteriza por ser un cilindro metálico con una altura de 40,92 m.s.n.p.t con un diámetro de 8,0 m. Por último, se encuentra una tubería de alta presión enterrada de acero estructural con un diámetro de 3,0 m y una longitud de 719,6 m que conduce el agua hacia las turbinas del cuarto de máquinas.

En el cuarto de máquinas se cuenta con una unidad generadora, la cual contiene dos turbinas tipo Francis de eje horizontal y potencia nominal de 13,69 MW y velocidad de 600 rpm cada una, además que estas se encuentran directamente ligadas a dos generadores trifásicos sincrónicos de eje horizontal con una potencia y voltaje nominal de 16,63 MVA y 13,8 kV respectivamente. Por último, los generadores conducen esta energía hacia los transformadores elevadores, uno para cada conjunto turbina-generador que se autorizaran de transformar la energía a un valor de 69 kV lo que le permitirá ser transmitida hasta la estación mogote que ya forma parte de la red del ICE y por lo tanto está conectada al Sistema Nacional Interconectado de Costa Rica.

- Funcionamiento de la planta:

El funcionamiento de esta planta está basado en el costo evitado de compra, que es un principio económico que las empresas distribuidoras aplican a la valorización de la energía y potencia provenientes de sus propias plantas generadoras de electricidad. Y para asignar un valor a la producción de la planta generadora, se debe tomar en cuenta el efecto que la

planta pretende crear sobre el costo de la empresa distribuidora, que para el caso de la ESPH la empresa distribuidora sería el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

En pocas palabras, los abonados utilizan como un intermediario a la ESPH ya que, estos compran la energía a la ESPH en horas pico y la planta genera esta energía en el mismo lapso de las horas pico mediante el PH Los Negros II, lo que le permite no ser cobrada por parte del distribuidor ICE.

Según se comenta en [3]

Las plantas generadoras de la ESPH de electricidad tienen como finalidad, sustituir las porciones de la curva de consumo de electricidad, que representan un mayor costo en la compra. La electricidad posee costos diferentes de compra, dependiendo de si esta es consumida en horas punta (o pico) u horas fuera de punta. Esta diferenciación en costos por el comportamiento disparejo del consumo de potencia, concentrándose este consumos en ciertas horas del día, crean al proveedor (el ICE en este caso) el tener que realizar inversiones en capacidad instalada de potencia de generación, capacidad que se mantiene subutilizada el resto del día, incrementándose así las necesidades de inversión y la recuperación de los costos fijos asociados a ese comportamiento de consumo; costos que se reflejarán en la tarifa que el proveedor aplica a la ESPH, en forma diferenciada de acuerdo a la concentración del consumo de potencia, pero que a su vez crea un motivo para que la empresa distribuidora adopte medidas para tratar de regularizar el comportamiento de consumo, con la esperanza de obtener un mejor cuadro de costos de adquisición. Una de esos medios es precisamente suplir esos picos de consumo con su propia generación. El valor que esa producción propia posee para la ESPH, es el valor de lo que se evitó pagar al proveedor principal.

- Producción de la planta:

A continuación, se presenta la Ilustración 2.1 de cuando se estuvo haciendo el estudio socioeconómico con los datos de pérdidas totales y la eficiencia hidráulica de la planta, estos fueron los valores que se obtuvieron:

ITEM	VALOR	UNIDAD
Caída Bruta	138.50	m
Pérdidas Tubería concreto	0.422	m
Pérdidas Túnel revestido concreto lanzado	8.194	m
Pérdidas Tubería Baja Presión	2.704	m
Pérdidas Tubería Forzada	1.524	m
Pérdidas Válvula de Admisión	0.182	m
Pérdidas Tubo Aspiración	0.319	m
Pérdidas Totales desde Toma hasta Turbinas	<b>13.34</b>	<b>m</b>
Eficiencia hidráulica desde Toma a CM	9.64	%
Caída Neta	125.15	m
Eficiencia turbina Francis al 100%	93.00	%
Eficiencia Generador al 100%	98.00	%
Eficiencia del Transformador	99.50	%
Eficiencia por Uso Interno	99.00	%
Eficiencia Global para Potencia Máxima	91.14	%
Potencia Máxima del Proyecto	26.83	MW
Eficiencia de Transmisión	0.985	%
<b>Potencia Máxima del Proyecto en punto de entrega</b>	<b>26.00</b>	<b>MW</b>

**Ilustración 2.1.** Potencia máxima del proyecto en punto de entrega. Fuente: [3].

Donde se puede apreciar que la eficiencia de transmisión es de un 0,985 % y se espera una potencia máxima de entrega de 26 MW. Sin embargo, como lo mencionan en [3]

Por condiciones meteorológicas regionales adversas y las condiciones hidrológicas específicas del P.H.L.N.II, es de esperar que el caudal mínimo disponible en el sitio de toma sea inferior al mínimo seleccionado de 4.80 m<sup>3</sup>/s - que corresponde a una probabilidad de un 82% de ser superado - por lo que habrá días del año en que se generarán menos de 5 horas en punta.

Lo que quiere decir, es que a lo largo del año y dependiendo de la estación, así se va a estar generando, no siempre los 26 MW esperados.

### 2.3. Bases teóricas

Para este trabajo se elaboró el diseño del sistema de protección contra incendios, tanto pasivo como activo de PHLNII, además de una guía explicativa que indica los lineamientos que deberían seguir el(los) ingeniero(s) a cargo para poder realizar sistemas contra incendios para este tipo de ocupaciones.

Por lo que, para esta sección es necesario tener claros los conceptos que se presentan a continuación.

## **2.4. Planta hidroeléctrica**

Aunque el punto central de este proyecto es la protección contra incendios, no se puede proporcionar un diseño efectivo para proteger la edificación sin antes conocer el lugar a proteger, entender los procesos para la producción de energía y observar el funcionamiento de los equipos que permiten la generación de energía a través de del recurso hídrico.

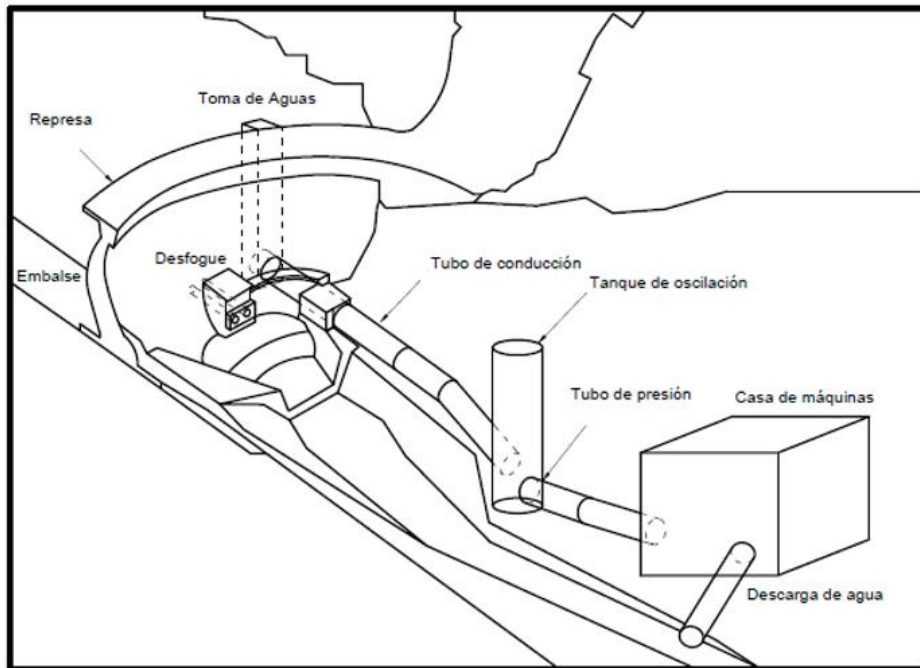
### **2.4.1. Historia de la hidroelectricidad**

Los agricultores, desde la Grecia antigua fueron quienes aprovecharon la energía del agua por primera vez, utilizaban ruedas hidráulicas como molinos, para moler trigo y hacer harina. La energía cinética del agua moviéndose, gira el molino y se convierte en energía mecánica. Sin embargo, fue por el ingeniero civil británico John Smeaton, que la energía hidroeléctrica tuvo su mayor desarrollo, él fue quien construyó por primera vez grandes ruedas hidráulicas de hierro colado. La demanda creciente de la Revolución Industrial impulsó el desarrollo de la hidroelectricidad. La energía hidráulica ayudó al crecimiento de las nuevas ciudades industriales que se crearon en Europa y América. A finales del siglo XIX, la energía hidroeléctrica se convirtió en una fuente para crear electricidad, la primera central hidroeléctrica se construyó en Las Cataratas del Niágara en 1879.

### **2.4.2. ¿Qué es una planta hidroeléctrica?**

En una planta hidroeléctrica se utiliza la energía potencial del agua almacenada en un embalse, luego, el agua tiene una caída de altura, que crea energía cinética, esta misma pasa por el rotor de un generador y produce energía eléctrica.

Una central hidroeléctrica clásica es un sistema que consiste en tres partes: una represa donde se almacena el agua y que abre o cierra el depósito para controlar el paso del agua; las tuberías que llevan el agua a la central eléctrica; y una cuarto de máquinas en la que se produce la electricidad.



**Ilustración 2.2.** Partes básicas de una hidroeléctrica. Fuente: Autores.

En la ilustración 2.2 se representa típicamente una represa hidroeléctrica, donde se puede ver que esta contiene las tres partes principales que se mencionaron anteriormente, y que se explicarán a continuación:

- Represa:

La represa tiene como función ser una barrera que se construye, generalmente, sobre un río y se encarga de retener el agua y embalsarla; así se conserva el agua y se aprovecha su energía potencial. Dentro de la misma, se tiene la toma de agua, que permite recoger el líquido para dirigirlo hacia las turbinas, y además la toma de agua contiene unas compuertas que regulan el paso y la cantidad de agua que pueda llegar a las turbinas.

- Tuberías:

Además de ser las encargadas de transportar e impulsar el fluido hacia la central hidroeléctrica, las tuberías se diseñan para reducir pérdidas de energía, resistir la presión que produce la columna de agua y en caso de una parada brusca de la central, también soportan el golpe de ariete que se pueda producir.

- Cuarto de máquinas

Esta zona de la planta hidroeléctrica, posee los equipos electromecánicos que están directamente relacionados a la producción de la energía eléctrica. Los elementos más importantes son los siguientes:

- a. Turbinas

Es la máquina encargada de recibir el agua, toma la energía del fluido transformándola en energía rotacional, a partir de esto, un generador eléctrico toma esta energía mecánica rotativa y la convierte en energía eléctrica. Existen varios tipos de turbinas, y se dividen según la necesidad y forma que presente el fluido, según [11] las más comunes son:

- Turbina Kaplan: Es una turbina del tipo axial que, además, tiene la particularidad de variar el ángulo de las palas mientras funciona. Se ha diseñado para ser usada en saltos de agua pequeños, pero con caudales grandes. Se trata de una turbina de reacción. Y cuenta con una velocidad específica mayor a los 300.
- Turbina Pelton: Es una turbina con flujo transversal, con admisión parcial. Se dice que tiene cucharas en vez de palas o alabes. Son diseñadas para saltos de agua grandes, pero caudales pequeños. Se considera una turbina de acción. Y cuenta con una velocidad específica de entre los 10 a los 60.
- Turbina Francis: Para flujo mixto y de reacción. Hay diseños elaborados que permiten el cambio de los ángulos de las paletas durante el funcionamiento. Trabaja con saltos y caudales medios. Y cuenta con una velocidad específica de entre los 55 a los 440.

La velocidad específica corresponde a la relación entre el caudal, carga y variables cinemáticas como lo es la velocidad de giro, Teniendo como unidades  $(\text{rpm} \cdot (\text{m}^3/\text{min})^{1/2}) / \text{m}^{3/4}$  la velocidad específica. [12]

- b. Transformadores

Un transformador está conformado por dos bobinas con espiras enrolladas (devanado) con un núcleo de hierro. Son los equipos encargados de convertir la corriente de baja tensión en una corriente de alta tensión, debido a que en alta tensión es la forma más sencilla para transportarla. Luego disminuyen la diferencia de potencial para que se utilice en las viviendas, industrias, negocios, entre otros.



c. Líneas de transporte de energía

Como lo indica su nombre, con estos cables de alta tensión se transporta la corriente alterna producida de la planta hidroeléctrica a las estaciones de distribución. En estas estaciones se reduce la tensión hasta niveles adecuados para los usuarios.

### **2.4.3. Características necesarias para un proyecto hidroeléctrico**

Las características que se requieren para la implementación de un proyecto hidroeléctrico, se basan en los 5 siguientes factores:

1. Topográfico

El factor topográfico juega un papel muy importante para la realización de cualquier proyecto hidroeléctrico, debido a que los proyectos están condicionados a la zona en que se van a ubicar. Como la generación se produce transformando la energía potencial del agua en electricidad utilizando la diferencia de altura entre dos puntos, es necesario un estudio a fondo de la zona, ya que la potencia que pueda generar una planta hidroeléctrica depende estrictamente del desnivel en la topografía.

2. Disponibilidad de agua

La disponibilidad de agua, depende del régimen de flujo y de cómo se construye el proyecto, ya sea con centrales a filo de agua o con embalse. Las centrales a filo de agua operan de forma continua ya que no tienen forma de almacenar el agua, estas centrales toman el agua disponible y las pasan por turbinas que van a generar la capacidad instalada. Las centrales con embalses son más frecuentes, debido a que regulan el paso del agua, al almacenar el agua se puede graduar el caudal de líquido que se va a pasar por la turbina, es más sencillo de manejar y tiene la ventaja de generar energía durante todo el año.

3. Económico

El factor económico para la creación de proyectos hidroeléctricos tiene, por lo general, valores muy altos de construcción, debido a que el proyecto debe contar con al menos una represa, un embalse, toma de aguas, tuberías de conducción y una cuarto de máquinas. Sin embargo, el beneficio tanto económico como de desarrollo que proporciona una planta hidroeléctrica hace que invertir en una planta de estas sea realmente importante.

#### 4. Técnico.

El factor técnico depende de las características o bien, condiciones a las que llegue el agua a la sala de turbinas. Esto porque, dependiendo de la topografía del lugar, la longitud y distancia que pueda estar el embalse de la sala turbogeneradora, el caudal o caída con la que pueda llegar el agua, así va a ser el tipo de turbina que se va a utilizar para poder maximizar la cantidad de generación de energía eléctrica en esa planta.

#### 5. Ambiental y humano.

Por último, para el factor ambiental y humano, se tiene que tomar en cuenta que el ser humano depende de muchas formas de los afluentes de agua, ya sea para sobrevivir o como recreación, por lo que no se puede embalsar todo un río y dejar sin agua a un poblado completo. Además, que toda la fauna que puede albergar un río podría desaparecer, por lo que se debe tener en cuenta un caudal ecológico, que es el caudal mínimo que se debe mantener en el río para que no se pierda toda la vida y recreación que pueda tener ese afluente.

#### **2.4.4. Hidroelectricidad en Costa Rica**

Costa Rica es uno de los países más ricos en recursos hídricos, por lo que se considera que los recursos de agua constituyen una de las razones más viables para un desarrollo independiente, la combinación de una topografía muy montañosa y altas precipitaciones sobre un área geográfica pequeña, provee gran cantidad de agua y caídas que hacen que sea una región potencialmente atractiva y privilegiada para generar electricidad con proyectos hídricos.

Como un país que representa la “vida verde”, que quiere reducir su impacto ambiental, tener proyectos que creen la energía de manera limpia y abastecen a gran parte de la población, es un mensaje muy importante que se quiere dar al resto del mundo. Poder hablar que desde el año 2014, el 98,53% de la electricidad generada en el país es renovable, de los cuáles, un 74,77% ha sido de manera hídrica [13], es la manera de explotar la imagen que se quiere proyectar al mundo sobre la reducción de la huella de carbono.

La generación hidroeléctrica en Costa Rica es considerada la forma de energía más importante para el país, debido a que se cuenta, en diversas zonas de la nación, con proyectos de primer mundo para la obtención de energía eléctrica. Algunos de estos proyectos:

Reventazón, Arenal-Corobicí-Sandillal (ARCOSA), Río Macho-Cachí-Angostura, son de los proyectos más importantes y que más electricidad le entregan a la población. Además, que en Costa Rica se cuenta con muchos profesionales de gran conocimiento y que siguen estudiando zonas para la explotación de la energía eléctrica de forma limpia, que se podría utilizar como consumo propio de la nación, e incluso se podría vender y abastecer a otras regiones del mundo.

## **2.5. Análisis del riesgo**

Un análisis de riesgo es esencial para cualquier proyecto de protección contra incendios que se desee a realizar con profesionalismo y calidad, ya que los resultados de este análisis revelan el grado de protección que se asigna a cada área y/o equipo en el sitio. A continuación, se describe lo que es un riesgo y su forma de desarrollo:

### **2.5.1. Riesgo**

Es de suma importancia tener claro qué es el riesgo, y por qué es importante realizar un análisis para evitar que el mismo tenga la posibilidad de ocurrir.

De esta manera según La Real Academia Española, la palabra riesgo proviene de la palabra italiana *riesco* (risco) debido al peligro que estos mismos suponen, esto según la Real Academia Española cuya definición dada es la de la contingencia o proximidad de un daño. Se le ha logrado dar diferentes sentidos a la palabra riesgo, como lo puede ser en términos de fatalidades y heridas, en términos de probabilidad de confiabilidad, de riesgo económico, de riesgo laboral, de riesgo biológico, entre muchos otros.

Por otro lado, Smith define en [14]: “Un riesgo existe cuando una decisión es expresada en términos de un rango de posibles resultados y cuando las probabilidades ya conocidas se pueden ligar a los resultados”.

Al obtener esta definición es importante tomar en cuenta que las decisiones que se tomen en un proceso o empresa tienen mucho peso a la hora de presentarse un riesgo, por lo que siempre es necesario tener claro cuáles son los posibles peligros que se pueden presentar y entender cuál es la mejor manera de evitarlos o eliminarlos, logrando los resultados deseados y esperados ante cualquier situación.

### **2.5.2. Métodos de análisis del riesgo.**

Primero se debe de tener claro cuál es la finalidad de un análisis del riesgo como se menciona en [15]:

Los objetivos últimos de los análisis de riesgos son la prevención de la ocurrencia y mitigación de los efectos de accidentes en instalaciones industriales potencialmente peligrosas a través de un estudio sistemático de las mismas. [...] Los análisis de riesgos deberían ser un medio para evaluar también la política general de la seguridad de la empresa, junto con otros documentos, plan de emergencia interior o información básica para la administración en su caso.

Según [15] estos análisis deben cumplir algunos objetivos mínimos para poder considerarse aceptables y funcionales como, por ejemplo:

- Identificar los riesgos que puede presentar una instalación industrial para las personas, bienes y medio ambiente.
- Determinar los alcances que puedan tener estos accidentes.
- Definir zonas vulnerables.
- Analizar las causas de los accidentes eventualmente cuantificando sus frecuencias.
- Determinar las medidas de prevención y protección, incluyendo las de carácter organizativo, para evitar su ocurrencia o mitigar las consecuencias.
- Determinar el nivel de riesgo asociado a las instalaciones.

### **2.5.3. Tipos de instalaciones**

Es importante tomar en cuenta todos los parámetros y características propias de las instalaciones a las cuales se les aplica un análisis del riesgo, ya que esto permite encontrar cual método puede considerarlas y aplicarles un análisis adecuado. Ejemplos de estos elementos característicos son:

- Extensión o dimensión: esto determina la complejidad del análisis a realizar, además debe de tomarse en cuenta el número de empleados para determinar recurso humano y materiales disponibles en un riesgo y útiles en caso de una emergencia.
- Tipo de instalación: 1. Almacenamiento químico; 2. Producción, transformación o tratamiento de sustancias químicas; 3. Áreas de almacenamiento y de proceso; 4. Instalaciones de tratamientos residuales.

- Tipo de proceso: en las instalaciones tipo 2 se deben de considerar la existencia de procesos continuos y discontinuos (Discontinuo, por su concepto en inglés). En los procesos discontinuos se deben de analizar diferentes etapas del proceso de operación de la instalación en la identificación de riesgos y su posterior tratamiento.
- Entorno de la instalación: se deben de tomar en cuenta la presencia de puntos vulnerables como poblaciones, zonas protegidas, entre otros; lo que provoca un análisis más preciso respecto a daños y también en cuanto a riesgo.

#### **2.5.4. Situaciones operativas**

Todas las situaciones operativas como procesos, turnos de trabajo, cambio de operarios, entre otros, suelen tomar un peso considerable a la hora de elaborar un análisis del riesgo. Es muy importante tener claro cuáles son los tiempos en los cuales labora la empresa, ya que cada momento de transición o de inestabilidad presenta un riesgo asociado que debe de ser tomado en cuenta, por ejemplo, se mencionan en [15] los siguientes factores:

- Puestas en marcha de los equipos del proceso de producción, generación, precalentamiento de calderas, entre otros.
- Paradas programadas para mantenimiento de los equipos o limpieza de componentes.
- Paradas de emergencia por riesgo a las instalaciones o equipos, desabastecimiento de electricidad por corte en el fluido.
- Cambio en las condiciones de proceso generales por elementos externos a la empresa. (poca agua de lluvia en embalses)

De esta manera deben de poder identificarse estos tiempos con la finalidad de poder realizar un análisis particular y evaluativo de los factores de riesgo presentes en cada fase del funcionamiento, así como generar las soluciones necesarias con tal de disminuir o eliminar el riesgo asociado.

En el presente análisis del riesgo se pretenden abarcar cinco pilares fundamentales para la presente investigación como lo son: salvar las vidas humanas, salvar los bienes inmuebles, conservar el patrimonio, regresar a las actividades con normalidad y preservar el medio ambiente. Para este fin se pueden aplicar distintos tipos de análisis del riesgo, a continuación, se presentan los dos tipos de análisis que existen de los cuales subyacen los

diferentes métodos que se pueden aplicar según sea la industria o elementos que se van a analizar.

- Análisis cuantitativo de los riesgos

Consiste en la determinación de las frecuencias de los sucesos considerados, evaluación de las consecuencias asociadas y por último un cálculo del riesgo según [16]. En estos tipos de análisis no se conducen valores de riesgo absoluto lo que conlleva a poner un especial énfasis en cómo se obtienen cada uno de los datos de los márgenes de incertidumbre respecto a los resultados.

Mediante el método cuantitativo se puede entonces poner de manifiesto las medidas correctivas que pueden prevenir y/o mitigar los accidentes, además su principal diferencia respecto a otros análisis es que por este medio se toman en consideración todos los riesgos posibles, mientras que otro como por ejemplo el cualitativo, toma en cuenta solo los más graves que se pueden presentar.

- Análisis cualitativo de los riesgos

El análisis cualitativo como lo dice su nombre responde a un análisis de las características que pueden generar o incrementar un riesgo por lo que el análisis numérico no se toma en cuenta. Se caracteriza por ser un análisis en el cual se debe acudir a las personas con más experiencia de las instalaciones ya que depende directamente de la calidad de la información disponible y su veracidad en lo que respecta al funcionamiento normal de las instalaciones. Algunos ejemplos de estos tipos de análisis se mencionan en [15]:

1. Análisis histórico: se debe de realizar un estudio de la historia presente tanto a nivel nacional como internacional de instalaciones con las mismas, o más cercanas posibles, características y condiciones de funcionamiento, esto con la finalidad de obtener puntos de partida, y correlación en el riesgo de todos los casos.
2. Análisis funcional de operatividad (HAZOP o AFO): su análisis se basa en la identificación de desviaciones respecto a un valor determinado de proceso y cómo estas desviaciones pueden presentar riesgos a las instalaciones, además se caracteriza por necesitar un equipo pluridisciplinario para lograrlo.
3. FMEAC (Análisis del modo, efecto y criticidad de los fallos): Se considera un método inductivo o de reflexión sobre las causas/consecuencias cuando un componente de un sistema falla.

4. Análisis preliminar de riesgos: se realiza un análisis inductivo de las causas, efectos principales y medidas preventivas y correctivas asociadas a los riesgos de las instalaciones.
5. Lista de chequeo (Check list, por su concepto en inglés): Se genera una lista extensa sobre puntos que se consideren importantes para la investigación del riesgo de una instalación, con base en parámetros deseados de funcionamiento y/o normativa de seguridad a seguir, tanto nacional, internacional o de las autoridades competentes. Este tipo de análisis permite unos buenos resultados en sitio y permite una preparación previa del tipo de consideraciones que se deben de tomar en cuenta antes de iniciar cualquier otro proceso.
6. ¿Qué pasa sí? (What if?, por su concepto en inglés): Es un método inductivo donde se realizan preguntas relacionadas a las condiciones de operación de la planta y donde se obtiene información sobre los riesgos y sus consecuencias tanto para las instalaciones como para las personas.

Cada método presentado anteriormente cumple con ciertas características que pueden ser adecuadas para uno u otro caso que se quiera estudiar, así es importante definir correctamente el método basado en el criterio de selección que se presenta a continuación.

#### **2.5.5. Selección de método**

Es importante definir cuál es el método o métodos más adecuados para realizar un análisis del riesgo confiable y que contemple todas las situaciones características de la instalación que se debe de someter bajo análisis. Basados en esta premisa se aplica el criterio de selección que otorga la Dirección General de Protección Civil en [15], para lo cual se deben de definir los siguientes elementos:

- Instalación: conjunto de maquinarias, equipos y sistemas para la fabricación, transformación o trasiego de sustancias, además de su lugar de ubicación.
- Unidad: sección de la instalación donde se lleva a cabo un proceso específico, un conjunto de unidades conforma una instalación.
- Área: subdivisión de la instalación con una entidad funcional propia. Por ejemplo: zona de carga y descarga de cisternas.

A continuación, se presenta el Cuadro 2.1 el cual indica los elementos definidos anteriormente y su puntuación respectiva.

**Cuadro 2.1.** Método para selección de análisis del riesgo. Fuente: [15]

Método	Generales		Unidad			
	A. Tamaño		B. Cantidades Almacenadas y Producción	C. Procesos	D. Condiciones Almacenamiento/Operación	E. Control
	Instalación de más de 3 unidades	Plantilla 1 > 50 personas 2 ≥ 250 personas 3 ≥ 500 personas	1. Importante 2. Medio 3. Pequeño	1. Continuo 2. Discontinuo	1. Muy severas 2. Severas 3. Poco severas	1. Control distribuido
Análisis histórico de accidentes		1 2 3	1 2 3	1 2	1 2 3	1
HAZOP			1 2	1	1 2	
Análisis modo efecto e importan. Fallos						1
Análisis modo efecto import. Y criticidad de Fallos						1
Análisis preliminar de riesgos						
Lista de verificación			3	2	3	1
¿Qué pasa sí?			3	2	3	1
Índice de Mond fuego, explosión y toxicidad	1					
Índice Dow fuego, explosión	1					
Safety review		3			1	
Auditoría de Seguridad		3			1	



**Continuación cuadro 2.1.** Método para selección de análisis del riesgo. Fuente: [15].

Método	<i>Unidad</i>				
	F. Edad	G. Ampliación/ Modificación	H. Vulnerabilidad del entorno	I. Fase de Operación	J. Diseño
	1. Nueva 2. Antigua 3. En fase de Proyecto	1. Ampliación 2. Modificación	1. Poco vulnerable 2. Vulnerable 3. Muy vulnerable	1. Puesta en marcha 2. Arranque 3. Funciona 4. Parada	1. Nuevo 2. Antiguo
Análisis histórico de accidentes	1 2 3	1 2	1 2 3	1 2 3 4	2
HAZOP	1 3	1	2 3	3	1
Análisis modo efecto e importancia de fallos					
Análisis modo efecto importancia y criticidad de fallos					
Análisis preliminar de riesgos					
Lista de verificación	2	2	1 3	1 2 4	
¿Qué pasa sí?	2	2	1 3	1 2 4	
Índice de Mond fuego, explosión y toxicidad	3				
Índice Dow fuego, explosión	3				
Safety review	1 3		3		1
Auditoría de seguridad	1 3		3		

En el Cuadro 2.1 se incluyen las consideraciones que corresponden a los tipos de instalación y a las situaciones operativas mencionadas anteriormente, las cuales deben ser identificadas para cada caso de análisis. De esta manera se le asigna un puntaje a cada característica según sea su magnitud o vulnerabilidad y se puede determinar cuál método abarca la mayor cantidad de particularidades que presenta la instalación y, por lo tanto, poder elegir los más adecuados según sea el alcance que se busque en el estudio.

Se describen a continuación las características de los métodos, según [1], más relevantes para este trabajo debido a su selección en capítulos posteriores mediante el uso del Cuadro 2.1 esto para cada unidad seleccionada.

**a. Análisis histórico**

El análisis histórico está caracterizado por ser un tipo de índole descriptivo, de manera tal que se logre encontrar puntos de similitud con el caso en estudio y otros casos que cumplan las mismas características (equipos, productos, entorno, entre otros). Se considera que es un método esencial para iniciar un análisis del riesgo ya que otorga casos reales que han ocurrido con anterioridad, sus causas y consecuencias, que pueden ser utilizados para evitar que ocurran en el caso en estudio como un posible riesgo.

La información según se especifica en [1], debe de obtenerse de la siguiente manera:

- Bibliografía especializada como publicaciones periódicas y libros de consulta.
- Bancos de datos de accidentes informatizados.
- Registro de accidentes de la empresa o autoridades competentes.
- Informes o peritajes realizados sobre los accidentes más importantes.

Como parte de su implementación deben definirse las características que se desean conocer, en la mayoría de los casos los parámetros que se mencionan en el cuadro 2.2 contemplan toda la información necesaria.

**Cuadro 2.2.** Parámetros para el análisis histórico. Fuente: [1].

<b>Accidente</b>	<b>Características</b>	<b>Causas</b>	<b>Consecuencia o alcance</b>	<b>Medidas de prevención</b>
Se define cual es el accidente ocurrido como un criterio de semejanza como, por ejemplo: producto o instalación.	Se identifica: ¿Qué? ¿Quién? ¿Cuándo? ¿Cómo? ¿Dónde? ¿Cuál equipo o instalación?	Definir si fue por fallo humano, del equipo, del proceso, del diseño o por un suceso natural	Identificar las muertes, heridos, evacuados; también pérdidas de equipos, económicas, daños al medio ambiente o población en general	Identificar cuáles fueron las medidas de prevención que se aplicaron para así poder evitar un futuro incidente

La ventaja más importante que presenta este análisis se basa en el hecho de que todos los casos estudiados están basados en hechos reales [1], los cuales ya fueron estudiados, analizados y documentados. Esto permite un punto de partida importante para cualquier persona que no conozca a fondo las implicaciones del proceso que se está estudiando y sus características de funcionamiento normales y críticas.

Sus desventajas radican en que no se pueden analizar todos los casos que se puedan encontrar a menos que cumplan con todos los puntos que se especificaron en el cuadro 2.2 ya que no siempre la información requerida es divulgada o documentada. Por ejemplo, pueden quedar los accidentes sin identificar u omitir factores importantes tanto de sus consecuencias como de sus causas y esto inclusive puede ser privado hacia el interés público. También es importante tomar en cuenta que generalmente estos datos no pueden extrapolarse hacia otros casos que no cumplan exactamente con las características que se presentan en el caso en estudio. [1]

Por último, es importante definir desde la tabla de sucesos, cuáles características pueden agruparse y relacionarse entre sí, por ejemplo:

- Relacionar la cantidad de fallecidos a partir de una cantidad específica de sustancia química o condición en particular. Así como definir que por debajo de la cantidad no se encuentran personas fallecidas.
- Definir que, en una aplicación en específico, el factor humano es el causante de la mayoría de los incidentes, dando paso al análisis de como una automatización del proceso puede reducir o eliminar dicho riesgo.
- Encontrar que un equipo en específico a una presión, temperatura o condición de trabajo puede generar un riesgo, y con las consecuencias asociadas.

#### **b. Lista de verificación (Check list)**

Se conocen también como listas de comprobación, además según [1] son de fácil aplicación y se pueden aplicar a cualquier fase de un proyecto o modificación de una planta. Su característica y particularidad más importante es que están compuestas por preguntas o ítems cuya única finalidad es la de evaluar si se cumplen o no parámetros o procesos deseados de funcionamiento o una normativa en específico, inclusive son utilizadas muchas veces para dar seguimiento y control de las distintas fases de un proyecto como, por ejemplo:

- Diseño
- Construcción
- Puestas en marcha
- Operación
- Paradas

Es de manera imperativa que en la elaboración de un *check list* se encuentre una persona con amplia experiencia en el tema además de contar con estándares de referencia y un conocimiento del sistema o planta en estudio.

Como parte de sus ventajas se encuentra que se pueden comprobar detalladamente las instalaciones y que puede ser complementada con otros métodos. Por otro lado, su desventaja está en que solo puede analizarse el equipo o instalación desde el punto de vista de una normativa.

Las listas de comprobación pueden estructurarse desde dos puntos de vista como lo son: las comprobaciones simples y las comprobaciones modificadas. Pero en ambos casos deben de cumplirse las siguientes características:

- Las preguntas deben ser claras y no presentar ambigüedad.
- Los criterios de valoración deben ser claros, identificables en sitio, clasificables y fáciles de asignar.
- Si se requiere se pueden asignar puntajes para evaluar el rendimiento de áreas específicas respecto a la norma o criterios definidos.

### c. ¿Qué pasa sí? (*What if...?*)

Método de análisis cualitativo que consiste en un análisis comparativo de las desviaciones que puede presentar un sistema o proceso respecto a las condiciones para las que fue diseñado. Debe de ser adaptado por el usuario al caso en particular que se quiere analizar ya que consiste en realizar preguntas pertinentes del proceso o funcionamiento del sistema en estudio, suponiendo casos que pueden afectar algunos de los dos y cuestionando la presencia de sucesos iniciadores que puedan provocar esas consecuencias como se menciona en [1].

Para realizar este método debe de estar presente en el grupo de análisis un experto en el tema con amplio conocimiento de tal manera que se puedan analizar los casos que verdaderamente se pueden presentar, así como sus consecuencias y las recomendaciones pertinentes.

Las ventajas relacionadas a este método de análisis radican en que su aplicación es sencilla y que logra abarcar casos que se pueden presentar en concreto para un equipo, unidad o instalación. Por otro lado, su inconveniente se encuentra en que el análisis depende directamente del conocimiento y experiencia del personal que lo aplica.

Para poder realizar un cuestionario que se considera aceptable para el método se deben de tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Se debe de iniciar con una explicación básica del proceso o equipo en estudio.
- Conformar equipos de trabajo multidisciplinarios que incluyan puntos de vista de producción, fabricación, mantenimiento, ingeniería y seguridad.
- Realizar una recolección de datos del proceso o funcionamiento de la planta como diagramas de flujo, condiciones de operación, descripción de equipos, sistemas de control, instrumentación y características de operación.

## **2.6. Normativa de referencia de NFPA**

La NFPA fundada en 1896, se dedica a la protección de vidas y bienes, de los efectos que se ocasionan luego de un incendio.

Esta entidad genera normas y códigos para el control de incendios, y se desarrollan como un proceso abierto basado en el convenio con los materiales más referenciados en la industria de la protección contra incendios, tales como, el código de seguridad humana y el código de incendios, entre otros códigos estadounidenses. [17]

Para el caso del presente trabajo, se tomaron en cuenta diferentes normas basadas en la NFPA pertinentes a la protección de incendios en el cuarto de máquinas de una represa hidroeléctrica, que se mencionarán a continuación:

### **2.6.1. NFPA 1. Código del fuego.**

El propósito de este Código es prescribir los requisitos mínimos necesarios para establecer un nivel razonable de protección contra incendios y seguridad de la vida y la propiedad contra los peligros creados por incendios, explosiones y condiciones peligrosas. [18]

### **2.6.2. NFPA 10. Normas para extintores portátiles contra incendios.**

Esta norma aplica para la selección, instalación, inspección, mantenimiento, recarga y prueba de extintores portátiles. Y tiene como objetivo guiar a las personas encargadas de la compra, instalación, aprovisionamiento, listado, diseño y otros aspectos. [19]

### **2.6.3. NFPA 12. Norma sobre sistemas de extinción de dióxido de carbono.**

En esta se encuentran los requerimientos mínimos con los que debe contar un sistema de extinción de incendios a base de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). La norma cuenta con requisitos de diseño, instalación, prueba, inspección, aprobación, listado, operación y mantenimiento con los que hay que cumplir. [20]

### **2.6.4. NFPA 14. Norma para la instalación de sistemas de montantes y mangueras.**

Esta normativa abarca los requerimientos mínimos para sistemas de montantes y mangueras, incluyendo inspección, prueba y mantenimiento, con el fin de salvaguardar la vida humana y la propiedad. [21]

### **2.6.5. NFPA 15. Norma para sistemas fijos protección contra incendios de agua pulverizada.**

En esta se debe proveer los requisitos mínimos para el diseño y la instalación de sistemas fijos de diluvio con boquillas contra incendio.

Por lo que, para el caso de esta norma, se deberá de proporcionar un grado razonable de protección contra incendios, tanto para la vida humana como para la estructura donde se pretende realizar el sistema. [22]

### **2.6.6. NFPA 24. Norma para la instalación de la red privada de bomberos y sus accesorios.**

Esta norma debe cubrir los requerimientos mínimos para la instalación de la red privada de bomberos, los cuales incluye los sistemas de rociadores automáticos, sistemas de rociadores abiertos, sistema de diluvio, sistemas de espumas, hidrantes, entre otros.

Para el caso del presente trabajo, se pretende extraer información acerca de los hidrantes, para conocer la instalación y requerimientos básicos acerca de los mismos. [23]

### **2.6.7. NFPA 72. Código nacional de alarmas de incendio y señalización.**

Este código incluye aplicación, instalación, ubicación, rendimiento, inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de alarma de incendios y sistemas de notificación de alarma de emergencia y sus componentes.

Esta norma se toma en consideración para valorar el sistema de alarmas y señales con los que cuenta la edificación y poder dar recomendaciones del sistema ya instalado. [24]

### **2.6.8. NFPA 101. Código de seguridad humana.**

Este código aborda los criterios de construcción, protección, y ocupaciones necesarias para minimizar el peligro para la vida humana de los efectos del fuego, tal como, humo, calor y gases tóxicos.

Además, se plantean características y sistemas de protección, servicios de construcción, funciones de operación, actividades de mantenimiento y otras disposiciones en reconocimiento de lograr un grado aceptable de seguridad de vida humana, proporciona el tiempo de evacuación adecuado o protección para personas expuestas al fuego. [25]

### **2.6.9. NFPA 850. Práctica recomendada para la protección de incendios en las plantas de generación eléctrica y estaciones de corriente directa y alto voltaje.**

Este documento está preparado para guiar a los encargados del diseño, construcción, operación y protección en incendios de las plantas de generación eléctrica y estaciones de corriente continua de alto voltaje. Además, proporciona recomendaciones de control de riesgo de incendio para la seguridad del personal de construcción y operación, la integridad física de los componentes de la planta y la continuidad de las operaciones de la planta.

Esta norma, es considerada la más importante para el presente trabajo, debido a que se va a estar trabajando con el cuarto de máquinas de la represa hidroeléctrica, y la NFPA 850 dirige a las normas necesarias para completar el diseño correcto del sistema contra incendios. [26]

### **2.6.10. NFPA 5000. Código de construcción y seguridad de edificios.**

El propósito del Código es proporcionar regulaciones mínimas de diseño para salvaguardar la vida, la salud, la propiedad y el bienestar público y para minimizar las lesiones mediante la regulación y el control de los permisos, el diseño, la construcción, la calidad de los materiales, el uso y la ocupación, la ubicación y el mantenimiento de todos

los edificios y estructuras dentro de la jurisdicción y ciertos equipos específicamente regulados en este documento. [27]

## **2.7. Fuego**

En términos científicos, el fuego o combustión se da por una reacción química entre un combustible y un comburente (agente oxidante, que generalmente es oxígeno). La oxidación y la radiación luminosa encajan con esta definición, sin embargo, estos procesos no son combustión ni fuego hasta que haya una liberación de energía. Por lo tanto, en términos científicos fuego y combustión son sinónimos, pero en términos convencionales sus significados varían ya que el fuego es una combustión que se encuentra en una situación no controlada y la combustión por su parte en situaciones controladas como un horno o un motor [28].

Por otro lado, según [29], el fuego es una combustión y lo que aplica al fuego aplica también al incendio. Una combustión es un proceso químico-físico que se manifiesta cuando un cuerpo se une al oxígeno y desprende calor. La velocidad del proceso determina si se trata de una simple oxidación o de una violenta explosión. El fuego no es más que una reacción de oxidación-reducción fuertemente exotérmica.

Como se puede observar el fuego puede tener diferentes interpretaciones, para el presente trabajo se definirá el fuego como una reacción de oxidación-reducción producto del proceso de combustión que libera energía de tipo exotérmica y luminosa. Por otro lado, la combustión se definirá como el proceso químico-físico que ocurre en presencia de oxígeno y que desprende calor, pero se da de una manera controlada como por ejemplo en un horno o cámara de combustión.

### **2.7.1. Productos de la combustión**

Como bien es sabido por la ley de la conservación de la materia, esta no se crea ni se destruye, solo se transforma. Tras el proceso de combustión los elementos de la reacción química se convierten en mayor o menor medida en humo, llamas, calor y gases.

- Humo: Esta constituido de partículas sólidas, líquidas y gaseosas que se forma a raíz de la combustión que se encuentran suspendidas en el aire. Este puede ser inflamable si se da en una adecuada proporción de oxígeno y calor, también afecta en gran medida a las personas ya que irrita las mucosas y ojos e inhalar estos gases puede



provocar asfixia. Estos factores afectan en gran medida la extinción de los incendios y la evacuación personas por eso se considera al humo como el principal factor de riesgo en el desarrollo de un incendio [29].

- Gases: El combustible arde por los gases que genera debido al calor, dependiendo de los materiales que están presentes en la combustión así será la cantidad de gases producidos, los principales gases formados por la combustión son dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) si la concentración de aire es suficiente y la combustión es completa, monóxido de carbono (CO) si dicha concentración es baja, también se produce amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), ácido cianhídrico (HCN), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), ácido clorhídrico (HCl), fosgeno, y otros en menor concentración [29].
- Calor: Según [29] el calor es consecuencia de los movimientos de las moléculas que chocan constantemente debido a la energía que se está liberando en la reacción, cuanta mayor sea la energía más violentos serán los choques y mayor calor se desprende.
- Llamas: la llama es un gas incandescente de temperatura variable que depende del tipo de combustible y la concentración del comburente. Este fenómeno se da durante la combustión el cual se manifiesta de forma luminosa acompañado de calor. La llama se puede manifestar en distintos colores, esto depende de los compuestos químicos del combustible y de la cantidad de oxígeno presente, entre mayor sea la concentración de oxígeno su color se irá tornando amarillo y cuando haya menor concentración de oxígeno su color se tornará azul [29].

### **2.7.2. Componentes del fuego**

Para comprender el proceso físico-químico dado en una combustión se presenta el concepto del triángulo del fuego, éste muestra los componentes necesarios para provocar la combustión, la cual se le añade luego un nuevo elemento que transformaría la teoría del triángulo en un tetraedro del fuego.

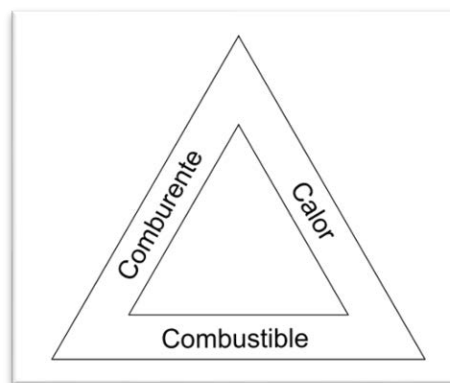
- Triángulo del fuego

En los años sesenta los expertos en protección contra incendios le dieron nombre a los tres elementos que se consideran como necesarios para crear fuego, denominado como el triángulo del fuego ya que su representación gráfica está conformada por un triángulo como

se observa en la Ilustración 2.3, donde se encuentran presentes los tres elementos necesarios para obtener una combustión, estos elementos son:

- **Comburente:** Es el elemento oxidante, comúnmente es el oxígeno. Para producirse la combustión es necesario tener una concentración mínima de 10-15% de este componente, la razón por la que se provocan incendios al aire libre es porque en la atmósfera existe una concentración aproximada al 20,95% de oxígeno [30].
- **Combustible:** Es el material capaz de arder en presencia del comburente y el calor, se pueden encontrar en estado sólido, líquido y gaseoso.
- **Calor:** Provee la energía de activación, que es la energía necesaria para iniciar la reacción de oxidación entre el combustible y el comburente, este puede ser una chispa o una llama.

Al momento de suprimir uno de estos tres componentes el fuego deja de existir ya que son necesarios para que exista la combustión.

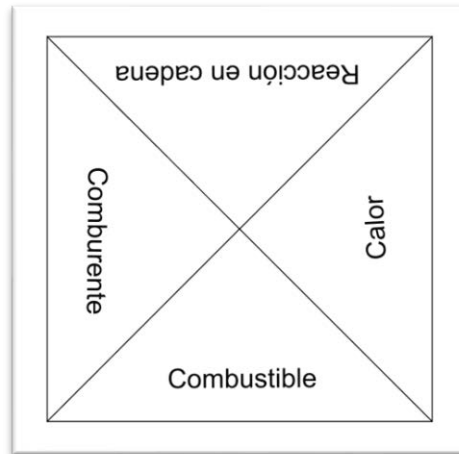


**Ilustración 2.3.** Triángulo del fuego. Fuente: Autores.

- **Tetraedro del fuego**

El tetraedro del fuego surge a raíz de análisis más profundos sobre el fuego donde se ve la necesidad de incluir un nuevo factor a los tres elementos anteriormente mencionados, y es que para que la combustión se mantenga debe existir este nuevo factor que es la reacción en cadena que consiste en que la reacción exotérmica que se genera se transmita a través del material combustible, alimentándolo e impidiendo que este se apague, ya que, al impedir la

reacción en cadena, se está limitando la propagación del incendio que finalmente acaba extinguiéndose. De este nuevo estudio nace el tetraedro del fuego, con una representación gráfica que se puede ver en la Ilustración 2.4, una figura piramidal donde sus cuatro caras son triangulares.



**Ilustración 2.4.** Tetraedro del fuego. Fuente: Autores.

Según la NFPA, el combustible, también es denominado como el material que en la forma en que se usa y bajo las condiciones previstas, se quemará y arderá [18], los combustibles pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos, aunque independientemente de su estado inicial siempre entran en combustión en estado gaseoso [29]. Esta afirmación tiene una explicación física, los líquidos y sólidos sufren un proceso llamado pirólisis que consiste en una descomposición de la materia en presencia del calor, este proceso también es llamado “gasificación”, estos gases se combinan con el oxígeno y el calor que da como resultado el fuego [31].

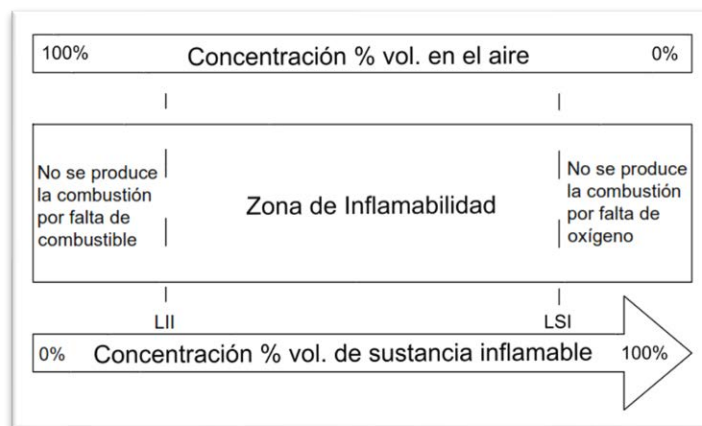
Cada combustible tiene constantes físicas propias, estas características se describen a continuación

- Punto de inflamación momentánea (*Flash point*): Es la temperatura mínima a la que un combustible emite vapores suficientes para inflamarse al ponerlo en contacto con una fuente de ignición. Sin la fuente de ignición no arderá [29].
- Puntos de ignición (*ignition point*): Es la temperatura más baja en la que un combustible se enciende al ponerlo en contacto con una fuente de ignición y mantiene la combustión aun cuando se retira dicha fuente, suele estar unos grados por encima del punto de inflamación momentánea.

- Punto de autoinflamación: Es la temperatura mínima en la que los vapores del combustible empiezan a arder espontáneamente, es decir, sin la necesidad de un aporte energético o fuente de ignición.
  - Punto de autoignición (*Autoignition point*): Es la temperatura mínima a la que los vapores de un combustible empiezan a arder sin la necesidad de una fuente de ignición y se mantiene la combustión.
- Límites de inflamabilidad

Un principio importante para entender el comportamiento del fuego es el límite de inflamabilidad, también conocido como límite de explosividad, este comprende las concentraciones de combustible (gas) y comburente (aire) en las que se puede dar una combustión como se muestra en la Ilustración 2.5, la mezcla de estos gases tiene un punto donde su reacción tiene una eficiencia al cien por ciento y al variar esta concentración la reacción se va dando con más dificultad hasta llegar al punto donde no hay reacción, no se logra dar la combustión aun cuando los elementos necesarios estén presentes.

- Límite superior de inflamabilidad (LSI): Es la máxima concentración de vapores combustibles mezclados en el aire capaz de entrar en combustión, por encima LSI no se produce la combustión aun con una fuente de ignición [29].
- Límite inferior de inflamabilidad (LII): Es la mínima concentración de vapores combustibles mezclados con el aire capaz de entrar en combustión, por debajo de la cual no habrá combustión aun teniendo contacto con una fuente de ignición, esto por falta de combustible [29].



**Ilustración 2.5.** Límites de inflamabilidad. Fuente: Autores.

- Clasificación del fuego

El tipo de fuego también tiene una clasificación, basados en la NFPA existen 5 clasificaciones de fuegos (incendios, según sea su traducción al español), estos se clasifican básicamente por la naturaleza del combustible

- Fuego clase A: Son originados por materiales combustibles sólidos como madera, tela, papel, caucho y otros.
- Fuegos clase B: Son originados por líquidos inflamables, líquidos combustibles, grasas de petróleo, alquitranes, aceites, pintura, solventes, lacas, alcoholes y gases inflamables.
- Fuegos clase C: Este tipo de fuegos involucra equipos eléctricos energizados.
- Fuegos clase D: Son originados por metales Como magnesio, titanio, sodio, litio, potasio y circonio.
- Fuegos clase K: Son originados en aplicaciones de cocina, donde estén involucrados medios de cocción combustibles como aceites y grasas vegetales o animales.

## **2.8. Sistemas de protección contra incendios**

Un sistema de protección es definido como todo dispositivo o sistema de alarma de incendio o de extinción de incendios, o una combinación de estos, diseñado e instalado para detectar, controlar o extinguir un incendio o para de alguna otra manera alertar a los ocupantes o al cuerpo de bomberos, o a ambos, sobre la existencia de un incendio [18].

### **2.8.1. Sistema de protección pasiva contra incendios**

Un sistema de protección pasiva se entiende como el sistema que no afecta directamente un incendio o la fuente de fuego sino más bien se encarga de evitar la propagación del fuego, humos y calor hacia otras áreas del inmueble y que afecten a las personas en ellas o que se genere un incendio mayor afectando todas las instalaciones formando mayores pérdidas económicas. Este sistema se compone de distintos elementos que cumplen normas internacionales para soportar condiciones definidas que se esperan en el comportamiento de un incendio. También se deben de contemplar los medios de egreso, salidas de emergencia, zonas de reunión, rutas de evacuación, señalización, entre otros.

Algunos de los elementos que pueden componer un sistema pasivo de protección se mencionan a continuación respecto a las definiciones de [32]:

Barrera corta fuego: una membrana continua o discontinua que se crea para proteger la propagación del fuego con un nivel de seguridad determinado, si es una barrera de tipo piso o pared debe de colocarse horizontal o verticalmente, esta barrera, aunque limite en cierto modo el avance del humo no debe de considerarse una barrera contra humo.

Barrera contra humo: una membrana continua o discontinua que se crea para proteger el avance del humo por aberturas existentes entre dos áreas determinadas. Esta barrera puede estar colocada de manera vertical u horizontal como lo indique la pared, puerta o piso que tenga la protección y puede o no tener una resistencia al fuego.

Barrera térmica: material que limite el aumento de temperatura promedio de una superficie en contacto directo con el fuego a menos de 139°C (250°F) cumpliendo con la norma ASTM-E119.

En general cualquiera de los elementos expuestos anteriormente puede ser creados in situ como paredes de concreto o de un material que cumpla con los requerimientos, puertas, ventanas, entre otros, además deben utilizarse elementos de fabricantes que cumplan con la normativa para utilizar en perforaciones hechas a una pared, a un piso, a un cielo o a un techo, como por ejemplo una tubería o una canasta de cables de telecomunicación.

Mediante estos sistemas de protección se logra alcanzar una compartimentación de fuego del recinto que lo define [32] como un espacio dentro de un edificio que está aislado por medio de barreras contra fuego en todas sus direcciones incluyendo su parte superior e inferior, usando el mismo concepto de compartimentación de fuego se logra la compartimentación del humo donde se logra evitar la propagación del humo.

Algunas clasificaciones utilizadas por los fabricantes extraídos de la normativa ASTM [33] para poder utilizar y escoger un producto que cumpla con los estándares de protección pasiva son las siguientes:

- *F rating*: tiempo de resistencia de un elemento al paso del fuego por él, puede ser de 1 a 4 horas. Se incluye una resistencia al paso del agua después de ser atacado al incendio que en muchos casos se conoce como *W rating*.
- *T rating*: tiempo en el que el lado no expuesto al fuego alcanza los 181°C más (+) la temperatura ambiente.

### 2.8.2. Sistema de protección activa contra incendios

Un sistema de protección activa contra incendios es el encargado de atacar directamente el incendio basándose en los principios del tetraedro del fuego donde se intenta atacar uno de los elementos que lo componen para poder extinguir el incendio. Un sistema se define por la NFPA [34] como el conjunto de distintos elementos agrupados o interconectados para poder lograr el mismo objetivo. Por otro lado, un sistema de protección contra incendio se puede considerar entonces un sistema de distintos componentes que se encarga de atacar un incendio y sus consecuencias como se mencionó en la sección 2.8 del presente documento.

Se mostrará a continuación una corta definición de algunos de los equipos necesarios que atacan de forma activa los incendios:

- Extintores: según lo mencionan [19] es un “Dispositivo portátil, portado o sobre ruedas y operado manualmente, que contienen un agente extintor que se puede expeler a presión con objeto de suprimir o extinguir un incendio”. Este tipo de equipos tienen la ventaja de que, al ser un dispositivo portátil, son más accesibles, pueden ser utilizados por brigadistas o por personas con el entrenamiento adecuado dado que son fáciles de manipular.
- Gabinetes y mangueras: Son sistemas fijos muy completos colocados sobre una pared, estos sistemas se conectan a la red de abastecimiento de agua, incluye dentro de un pequeño armario los elementos que necesarios para utilizarse [35], según sea su clasificación puede contener mangueras, boquillas, extintor y otros, esta clasificación está dada por la NFPA 14:
  - Sistema clase I: Provee conexiones de mangueras de 65 mm (2 ½”), esta conexión es de uso exclusivo para de bomberos.
  - Sistema clase II: Provee estaciones de manguera de 40 mm (1 ½”), estas mangueras pueden ser utilizadas por personal entrenado o por bomberos.
  - Sistema clase III: Provee estaciones de mangueras de 40 mm (1 ½”), que se puede utilizar por personal entrenado y bomberos, y conexiones de manguera de 65 mm (2 ½”) para uso exclusivo de bomberos. Este sistema es un conjunto del sistema I y II.
- Hidrantes: los hidrantes están definidos por [23] como “Una conexión con válvula exterior a un sistema de suministro de agua que proporciona conexiones de

manguera.” En otras palabras, es un dispositivo al que se le conecta mangueras y suministra grandes cantidades de agua a presión suficiente y requerida por el cuerpo de bomberos.

- Rociadores y boquillas: Un rociador automático está definido por la NFPA 13 como “un dispositivo de supresión o control de incendios que opera automáticamente cuando su elemento termo-activado es calentado hasta o por encima de su clasificación térmica, permitiendo al agua descargarse sobre un área especificado.” Por otro lado, se encuentran las boquillas, estos son componentes similares a los rociadores con la diferencia de que estos no cuentan con un dispositivo térmico para actuar, sino que tienen el orificio de descarga completamente abierto, por lo que se deben utilizar en sistemas de tubería seca. En la Ilustración 2.6 se puede observar un rociador con elemento activador tipo bulbo a lado izquierdo y una boquilla característica, sin elemento activador del derecho.



**Ilustración 2.6.** Diferencia entre un rociador y una boquilla contra incendios. Fuente: [36], [37].

Los sistemas de protección activa pueden variar dependiendo de lo que se requiera en el recinto a proteger como se explica a continuación:

- Sistema de rociadores: Se utilizan elementos actuadores conocidos como rociadores, que se activan al llegar a una temperatura para la que fueron diseñados y que permiten que el agua ataque al incendio con un tamaño de gota y un área de cobertura específica. Se diseñan para oficinas, áreas mercantiles, sitios de reunión pública entre otros, donde se caracterizan los fuegos clase A y B. Estos sistemas se caracterizan por atacar el calor del incendio eliminándolo del tetraedro del fuego.



- Sistema de diluvio: Se utiliza un elemento actuador conocido como válvula de diluvio, que permite el ingreso de agua hacia las tuberías de distribución conectadas a las boquillas, elementos abiertos que descargan el agua al mismo tiempo, se utilizan en riesgos donde se ocupe gran cantidad de agua en poco tiempo. Se diseñan para transformadores, tanques de gas, tanques de combustible, entre otros, donde el riesgo es mayor y los fuegos son clase A y B. Estos sistemas se caracterizan por atacar el calor del incendio eliminándolo del tetraedro del fuego. En este tipo de sistema se utilizan elementos diferentes de los rociadores conocidos como boquillas, las cuales no poseen mecanismo de accionamiento, sin embargo, diversos autores contemplan estos sistemas dentro de la clasificación de sistemas de rociadores, pero se considera erróneo. En este sistema la tubería se encuentra sin agua hasta el momento en que se active la alarma de incendio. Al estar presentes boquillas y no rociadores no existe presión estática en el sistema antes de un accionamiento.

Se coloca un sistema de detección el cuál puede ser de rociadores piloto o sensores que se encargan de activar la válvula de diluvio. Los sistemas de diluvio se caracterizan por permitir a un diseñador entregar grandes cantidades de agua con una velocidad pequeña ya que al alcanzar el agua a las boquillas todas funcionan simultáneamente [31].

- Sistema de agente limpio: En este sistema se utilizan boquillas especiales que descargan un agente en estado gaseoso encargado de reducir la concentración del oxígeno del recinto que protege y permite entonces extinguir el fuego. Se utiliza para recintos donde el agua no es una opción ya que puede afectar los sistemas eléctricos o documentos importantes que existan, en específico en fuegos clase A, C y D. Se caracteriza por ocupar una estanqueidad del recinto para poder ser funcional, no requiere limpieza después de ser activado, lo que permite además que se vuelva a las operaciones normales en muy corto tiempo.
- Sistema de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): El CO<sub>2</sub> es un agente de supresión inerte inodoro, incoloro, eléctricamente no conductor y no corrosivo. Es aproximadamente un 50% más pesado que el aire, y normalmente está presente en la atmósfera a aproximadamente un 0,03% en volumen. El CO<sub>2</sub> extingue el fuego al reducir la cantidad de oxígeno del espacio protegido hasta un punto donde no sea compatible con la combustión, además, tiene un efecto de enfriamiento en la atmósfera circundante que es beneficioso para la extinción de incendios. La retención del

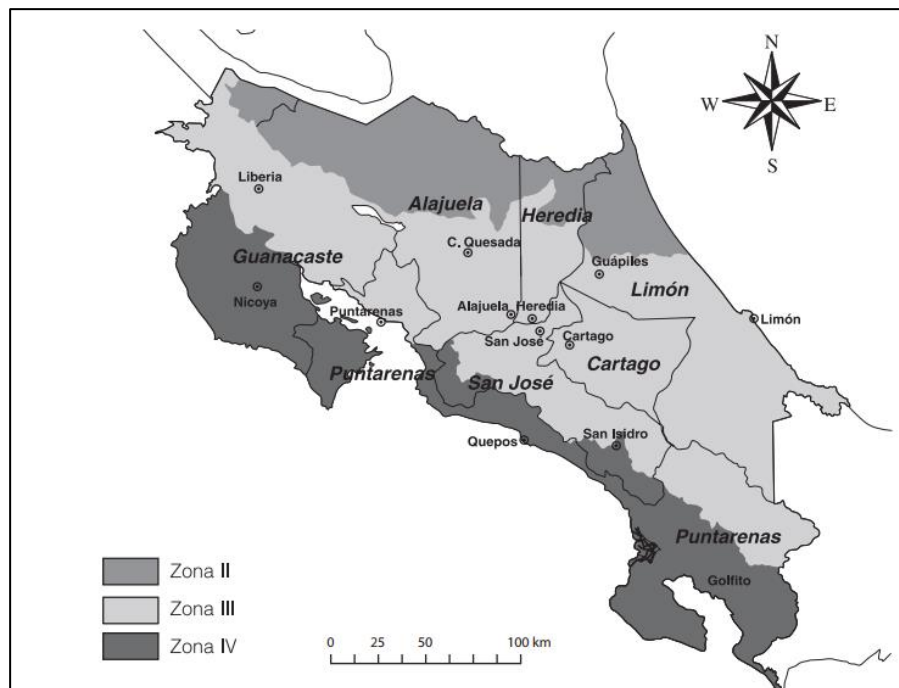
agente dentro del espacio protegido reduce la capacidad del fuego para volver a encenderse. [38]

### 2.8.3. Sistema de soportería

El sistema de soportería involucra todos los elementos que mantengan la tubería del sistema contra incendios en la posición requerida y le permita también lograr mantenerse en servicio, aun cuando se vea afectado el lugar protegido por un sismo. Es importante determinar cuál es el tipo de soporte más adecuado a cada tubería y para cada elemento estructural al cual esté sujeto, tanto para la soportería fija como para la soportería sismo-resistente, los cuales se escogen siguiendo la normativa de NFPA.

Es importante determinar cuál es la clasificación sísmica en la cual se encuentra el proyecto, por esta razón se utilizaron los modelos de zonificación; que consideran que la sismicidad del área en cuestión puede distribuirse en distintas zonas sismogénicas, las cuales responden a un mismo patrón de sismicidad que las caracteriza y distingue. [39]

Para este fin se recurrió al Código Sísmico de Costa Rica 2010, donde se obtuvo la siguiente clasificación de zonas para el territorio de Costa Rica, además se puede consultar el anexo A donde se encuentra la clasificación por distrito y cantón de la provincia de Alajuela [40].



**Ilustración 2.7.** Distribución de las zonas sísmicas en el territorio de Costa Rica. Fuente: [40]

Como se observa en la Ilustración 2.7 y la tabla del Anexo A.1. Selección de los métodos para el análisis del riesgo, la clasificación que obtuvo para el cantón de Upala y todos sus distritos es de Zona II siendo la menos crítica del país. Esta clasificación sísmica toma importancia no solo para la soportería sino también para el análisis del riesgo que se realizó en el capítulo 3 de desarrollo de este documento.

## CAPÍTULO 3

### 3. Diseño

El presente capítulo da los criterios de diseño tanto de sistemas pasivos como activos, donde se da una explicación detallada de los pasos a seguir para realizar los sistemas de la PHLNII:

#### 3.1. Selección del método de análisis de riesgo

La elección del método de análisis del riesgo se realizó siguiendo la guía de la Dirección General de Protección Civil de España [15], como se mencionó en el marco teórico, el cuál realiza un estudio de las características específicas de cada instalación que se exponen de manera más puntual en el anexo A.1, por esta razón se creó una descripción resumida en el Cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1.** Clasificación de la instalación para el análisis del riesgo Fuente: Autores.

<b>Clasificación de la instalación</b>	
<b>Extensión</b>	La planta cuenta con un área de aproximadamente 1 200 m <sup>2</sup> en su cuarto de máquinas.
<b>Tipo de instalación</b>	Producción y transformación de energía eléctrica.
<b>Tipo de proceso</b>	Se da un proceso de tipo discontinuo (Discontinuo), ya que la generación de energía depende del caudal de agua disponible y su utilidad es para “piquear”
<b>Entorno de la instalación</b>	La mayoría del entorno es vegetación y viviendas pequeñas, y el pueblo más cercano está a 3,0 km.

##### 3.1.1. Análisis de selección

Se utilizaron los criterios para la selección del método de identificación de riesgos mediante la clasificación de las características de las instalaciones y sus situaciones operativas que están descritas en el cuadro A.2.1 del anexo A.2 y bajo estos criterios se ingresaron los factores generales que corresponden al caso en estudio. Estos datos son ingresados en el Cuadro 2.1 del marco teórico y se obtiene de esta manera el cuadro 3.2

donde se observa que la plantilla es menor a 50 personas y la cantidad de unidades es mayor a 5 como se explica en el anexo A.1 sección de situaciones operativas.

**Cuadro 3.2.** Factores generales del análisis del riesgo. Fuente: Autores.

<b>Método</b>	<b>A. Generales</b>	
	<b>Tamaño</b>	
	<b>Instalación de más de 3 unidades</b>	<b>Plantilla</b> 1 < 50 personas 2 ≥ 250 personas 3 ≥ 500 personas
<b>Análisis histórico de accidente</b>		1
<b>HAZOP</b>		
<b>Análisis modo efecto e importan. Fallos</b>		
<b>Análisis modo efecto y criticidad de fallos</b>		
<b>Análisis preliminar de riesgos</b>		
<b>Check list</b>		
<b>What if?</b>		
<b>Índice Mond: fuego, explosión y toxicidad</b>	1	
<b>Índice Dow: fuego, explosión y toxicidad</b>	1	
<b>Safety review</b>		-
<b>Auditoría de seguridad</b>		-

### 3.1.2. Cálculo del factor de vulnerabilidad.

Se calculó el factor de vulnerabilidad con ayuda del cuadro A.3.1 del anexo A.3, para cada unidad descrita en el anexo A.1, esto para poder definir el riesgo que presenta esta instalación a sus alrededores. Es importante tomar en consideración que todas las unidades de la instalación se encuentran dentro del mismo recinto, y todas cumplen con las mismas características de seguridad, protección por parte del personal y del diseño del sitio, por lo que, se aplicó un análisis a la instalación en general.

Para determinar la clasificación de vulnerabilidad sísmica se tomó en cuenta la clasificación que se especifica en el Código Sísmico de Costa Rica, como se mencionó anteriormente en el marco teórico, donde se detalla que la planta hidroeléctrica está dentro de la zona II la cual es la que presenta menor criticidad en el país. Se realizó el análisis y se presentan los datos obtenidos en el Cuadro 3.3 que se observa a continuación.

**Cuadro 3.3.** Cálculo de factor de vulnerabilidad. Fuente: Autores.

Cálculo del Factor de Vulnerabilidad del Entorno				
	Grave	Medio	Ligero	Nulo
A. Existe riesgo de contaminación de aguas destinadas al consumo humano o agrícola			5	
B. Existe riesgo de que un vertido afecte áreas recreativas, de producción pesquera o de interés ecológico				0
		SI	NO	
C. Existe densidad de población > 3.000 habitantes/km <sup>2</sup> en un área de 5,0 km de radio			0	
D. Existe concentración de población > 10.000 personas en un área de 5,0 km de radio.			0	
E. Existen instalaciones afectadas por el artículo 6 del Real Decreto 886 a distancia < 1 km			0	
F. Existen servicios públicos:				
Concentraciones de población de alto riesgo (hospitales, escuelas, residencias) a distancia < 5,0 km.		10		
Puntos de concentración transitoria de población (estadios deportivos, terminales de autobuses, estaciones de ferrocarril, centros comerciales de gran superficie) a distancia < 2,0 km.			0	
G. Áreas protegidas de patrimonio público a distancia < 2,0 km.			0	
H. Sistemas de carreteras y vías de transporte. Carreteras con gran volumen de tráfico o líneas férreas a una distancia < 500,0 m.			0	
I. Aeropuerto a distancia < 5,0 km			0	
J. Zona crítica por motivos político-sociales			0	
K. Zona de clasificación sísmica		10		
L. Zona inundable			0	

A partir de los valores obtenidos en el cuadro 3.3 se aplicó la ecuación 3.1 y se obtuvo el valor de 25 y por ende clasificación del factor de vulnerabilidad que se puede observar en el cuadro A.2.1 indicado como: medianamente vulnerable.

$$FV = (B. \text{riesgo de vertido en zona}) + (f. \text{población de alto riesgo}) + (k. \text{zona sísmica}) \quad (3.1)$$

$$FV = 5 + 10 + 10 = 25$$

Una ocupación industrial como la que se analizó tiene equipos específicos que se utilizan para magnitudes considerables de energía, presión, temperatura, entre otros, y que pueden variar con respecto a sus condiciones de operación o de almacenamiento. Resulta entonces importante tomar en cuenta si en alguna de estas condiciones se presenta algún

riesgo asociado, por esta razón se realizó un estudio de estas condiciones mediante las sustancias utilizadas en los distintos equipos que presenta el PHLNII. Las sustancias almacenadas en el cuarto de máquinas son: diésel, aceites, gasolina, entre otros en menor cantidad y peligrosidad.

Se realizó entonces una comparación de condiciones de almacenaje y cantidades respecto a umbrales recomendados para reducir el riesgo que puedan presentar, este análisis es observable en el anexo A.5. A partir de este análisis se realizó una tabulación de datos y características que se consideran necesarias para todas las sustancias presentes en las instalaciones que se pueden observar en el cuadro 3.4 y como se puede observar en dicho cuadro, la cantidad máxima almacenada la tienen los dos transformadores enfriados por aceite con un valor total de 10,4 ton, el cual es muy inferior al valor de umbral 1 y se consideran todas las sustancias como de pequeña cantidad almacenada. En el Cuadro 3.4 se presentan las características de las sustancias existentes en la planta para el análisis del riesgo.

**Cuadro 3.4.** Características de las sustancias almacenadas. Fuente: Autores.

Sustancia	Descripción	# CAS	Flash Point (°C)	Punto de ebullición (°C)	Presión de vapor (Pa)
<b>Diésel</b>	Utilizado para la planta de emergencia.	68476-34-6	52	150	500 @40°C
<b>Gasolina</b>	Utilizado para los cuadracillos y motoguadañas.	800-61-9	< 0	38,8	69000
<b>Aceite mineral</b>	Utilizado para mantener el calor producto del funcionamiento de los transformadores	64742-53-6 (50-70%) 265-158-7 (0-50%) 64742-54-7 (0-50%) 64742-54-7 (0-50%) 64741-97-5 (0-5%) 64741-96-4 (0-5%)	135	> 400	160 @100°C
<b>Aceite ISO VG 68</b>	Aceite utilizado para lubricar las partes mecánicas de los generadores	90-30-2 (0,1-0,24%) N.I. (0-90%)	240	280	0,5 @20°C
<b>Aceite ISO VG 46</b>	Aceite utilizado en el equipo oleo hidráulico para abrir o cerrar la válvula mariposa que da paso de agua a las turbinas	N.I.	255	280	0,5 @20°C

**Continuación cuadro 3.4.** Características de las sustancias almacenadas. Fuente: Autores.

Sustancia	Limite bajo Inflamabilidad (%)	Limite alto Inflamabilidad (%)	Cantidad almacenada en L (ton)	Temperatura de almacenamiento (°C)
<b>Diesel</b>	N.I.	N.I.	600 (0,49)	26,5
<b>Gasolina</b>	N.I.	N.I.	N.I.	26,5
<b>Aceite mineral</b>	N.I.	N.I.	11 860 (10,4)	26,5
<b>Aceite ISO VG 68</b>	1	10	1 000 (0,87)	26,5
<b>Aceite ISO VG 46</b>	1	10	640 (0,56)	26,5

**Continuación Cuadro 3.4.** Características de las sustancias almacenadas. Fuente: Autores.

Sustancia	Presión de trabajo	Temperaturas de: Operación, Alarma y Disparo (°C)	Autoinflamación (°C)	Fabricante
<b>Diésel</b>	>50 bar >5 000 kPa	26,5 N/A N/A	N.I.	Recope
<b>Gasolina</b>	1 bar 100 kPa	26,5 N/A N/A	280	Recope
<b>Aceite mineral</b>	1 bar 100 kPa	63 95 100	270	Nynas Nitro Oil
<b>Aceite ISO VG 68</b>	10 bar 1 000 kPa	48 55 65	320	Shell (Turbo T 68)
<b>Aceite ISO VG 46</b>	110 bar 11 000 kPa	38 45 50	320	Shell (Tellus S2 V 46)

La información del cuadro 3.4 respecto a las características de las sustancias son comparadas con los umbrales de cantidades que generan un riesgo y que están presentes en el cuadro A.4.1 del anexo A.4, pero como ha quedado en evidencia la cantidad total de las



sustancias en la planta no supera ningún umbral definido, por esta razón se consideran los valores mínimos de penalización por almacenamiento en cada unidad analizada más adelante.

Se utilizaron además las ecuaciones A.2 y A.3 del anexo A.4 para obtener cual es la clasificación de condición de almacenamiento que se debe considerar. Se utiliza una temperatura ambiente promedio de 26,5°C y se considera esta como la temperatura de almacenamiento, esta relación con respecto a los puntos de ebullición de las sustancias no se clasifica como un riesgo elevado como se puede observar en el cuadro 3.4 ya que las temperaturas de ebullición son mayores.

Por último, se debe considerar también cual es la presión y temperatura de operación donde ninguno de los valores requeridos por la normativa de temperatura en el cuadro A.2.1 que corresponden a 250 °C son superados por las sustancias analizadas, por este motivo son también consideradas poco severas. Por otro lado, en la unidad de generación se encuentran las unidades oleo hidráulicas, encargadas de la activación de la válvula de compuerta del sistema que trabajan a 110 bar de presión el cual supera el umbral 1 descrito en el cuadro A.2.1 del anexo A.2 de 50 bar. En este caso de todas las unidades la que involucra al sistema oleo hidráulico se considera severo, pero no lo suficiente como para generar un cambio en los métodos de análisis de riesgo que se utilizan en toda la planta.

De este análisis se agregan los valores que corresponden a cada unidad sobre las características que los identifican y se obtuvieron los cuadros del anexo A.5.

### **3.2. Clasificación de ocupaciones**

Para las zonas generales de las instalaciones, que se caracterizan por poseer una densidad relativamente baja de empleados, pero gran parte del área está ocupada por maquinaria, la NFPA 101 sección 40.1.2.1.2 la define, por sus características, como una ocupación industrial de propósito especial. Y el riesgo que esta ocupación presenta es ordinario ya que es un edificio que se utilizan para un solo tipo de operación.

Además, para otras secciones del edificio consideradas incidentales según la sección 6.14.1.3 y también mencionado en la Práctica recomendada para protección contra incendios para plantas de generación hidroeléctrica versión 2020, secciones como lo son las oficinas y bodegas de almacenaje, se definen como una ocupación de negocios y una

ocupación de almacenaje respectivamente, por lo que, se deben de cumplir con lo que indican los capítulos de la NFPA 101 respecto a estas dos ocupaciones.

Por último, la subestación se menciona en NFPA 101 capítulo 40 de ocupaciones industriales, que en áreas de servicio normalmente no ocupados que están asegurados para evitar el acceso no autorizado y que son utilizados exclusivamente para el tendido de equipamiento eléctrico no requieren que cumplan con las disposiciones de medios de egreso.

Cómo la evacuación de una planta hidroeléctrica suele ser demorada porque se debe activar el plan de emergencia del paro del sistema, se deben tener medios de egreso auxiliares compartimentados con al menos 2 horas de resistencia al fuego, en las ocupaciones incidentales dentro de la planta, para que el recorrido de salida no se vea comprometido con el mismo incendio que esté afectando un sector del edificio.

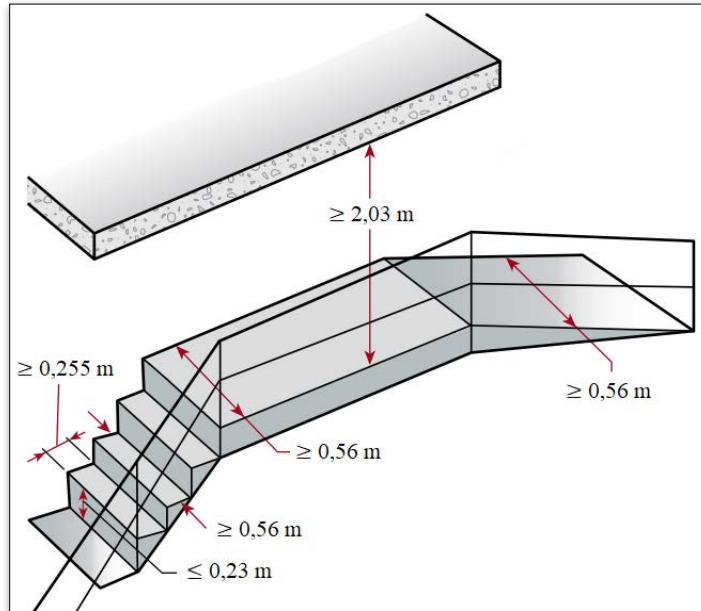
### **3.3. Análisis de la protección pasiva**

Una vez que se definió la ocupación y para iniciar con el análisis de protección pasiva, es necesario determinar el factor de carga de ocupantes, los cuales se encuentran establecidos en la tabla 7.3.1.2 de la NFPA 101, estos valores se toman de la versión más reciente en español (2018), en la ocupación industrial y subestación se coloca N/A porque según el capítulo 40 de la ocupación industrial y de la misma tabla 7.3.1.2, se indica que la carga de ocupantes es: la cantidad máxima probable de ocupantes presentes en cualquier momento. Por lo que la carga de ocupantes se define directamente sin la necesidad de utilizar un factor de carga. Para los que no tiene esta condición, la carga de ocupantes se calcula como se amplía en el anexo C.1; también dentro de este anexo se explica el cálculo del ancho mínimo para escaleras, puertas y la cantidad de medios de egreso.

#### **3.3.1. Acceso a equipos industriales**

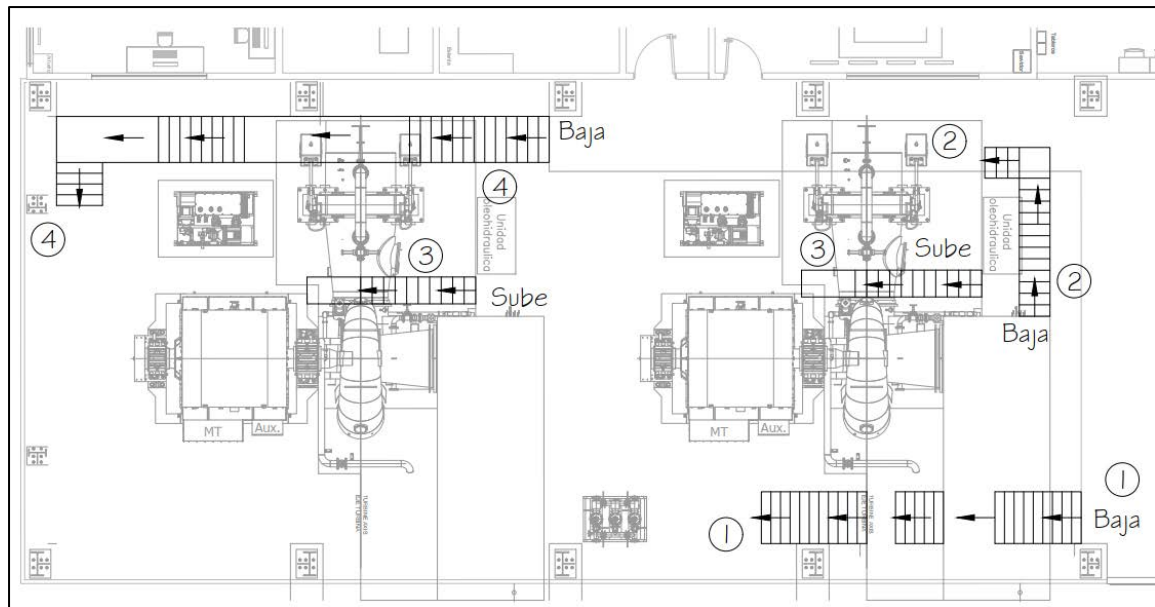
Existen otros tipos de accesos que se deben considerar en el presente caso, los cuales se refieren a los accesos a los equipos industriales de la PHLNII, donde se permite el fácil ingreso por medios cómo: rampas, plataformas, gradas de acceso a las turbinas, al generador, o algún sistema hidráulico para realizar labores de mantenimiento o reparación y que se conviertan en un componente de los medios de egreso en caso de emergencia. Por lo que, se consulta al Handbook de la NFPA 101 dónde se indica que las dimensiones mínimas en estos casos son las que están presentes en la Ilustración 3.1, con un mínimo de

0,56 m de ancho para rampas, plataformas y gradas, además de máximo 0,23 m de altura en escalones y 0,255 m de profundidad.



**Ilustración 3.1.** Dimensiones de accesos al equipo industrial permitida por NFPA 101.  
Fuente: [32].

En el área de turbinas del cuarto de máquinas, existen 4 escaleras que son de acceso a equipo industrial, estas escaleras están hechas de acero, con escalones y descansos de malla de tipo jordomex. Se le asignan números a las escaleras descritas para poder realizar el análisis que corresponde como se observa en la Ilustración 3.2.



**Ilustración 3.2.** Distribución de escaleras de acceso a equipo industrial. Fuente: Autores.

Al tener identificadas las escaleras de acceso a equipo industrial se realiza una verificación de las dimensiones en comparación con la Ilustración 3.2 y se obtiene la información del cuadro 3.5 donde se puede determinar que estos accesos cumplen con lo requerido por normativa NFPA 101.

**Cuadro 3.5.** Dimensiones de los accesos. Fuente: Autores.

Escalera	Descripción	Dimensiones reales (m)			Cumple
		Largo	Profundidad	Altura	
1	Acceso desde cuarto de trabajo a sección de turbinas	1,35	0,25	0,20	Si
2	Acceso desde bloque de inercia hacia unidad oleo-hidráulica	0,80	0,30	0,20	Si
3	Acceso desde unidad oleo-hidráulica a turbinas	0,70	0,30	0,15	Si
4	Acceso desde pasillo superior a sección de turbinas	1,20	0,28	0,20	Si

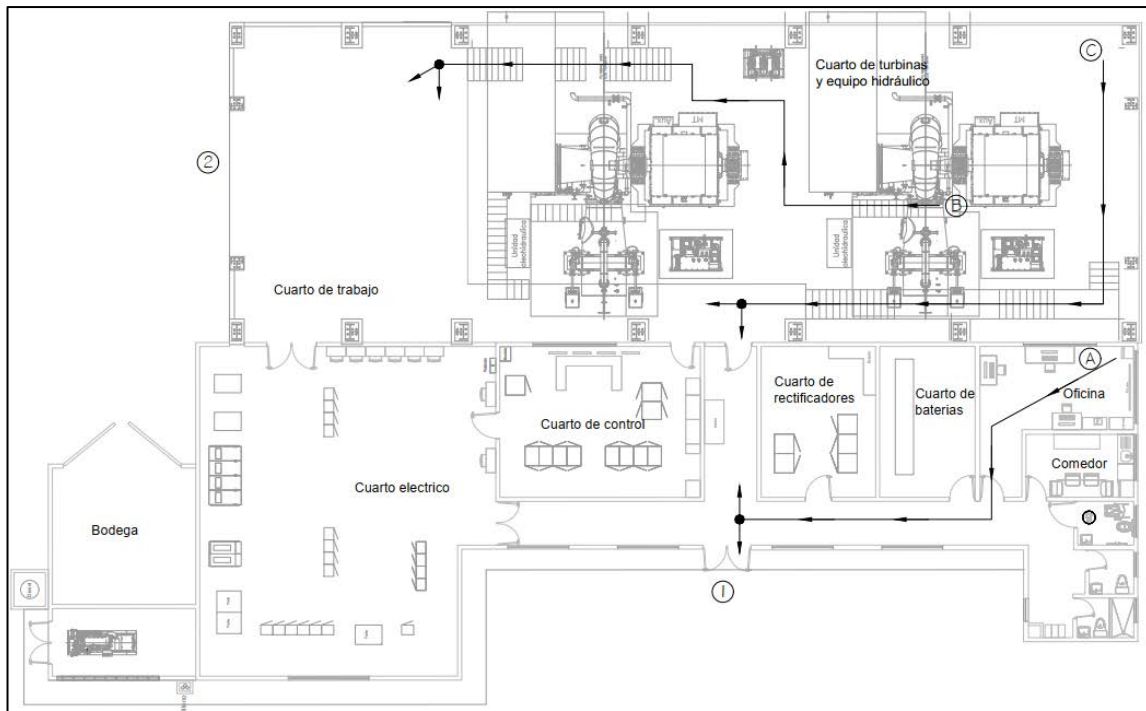
### 3.3.2. Distancias de recorrido de seguridad humana

La normativa NFPA 101 toma en consideración 3 tipos de distancias de recorrido para los medios de egreso considerados para la seguridad humana del recinto que se indican en el cuadro 3.6, así como sus magnitudes correspondientes. Es importante poner especial atención a la referencia que realiza la normativa con la existencia de rociadores o no en el recinto considerado.

**Cuadro 3.6.** Distancias de recorrido de seguridad humana. Fuente: [32].

Descripción	Distancia (m)	
	Sin rociadores	Con rociadores
<b>Pasillo sin salida</b>	15	15
<b>Recorrido común</b>	15	30
<b>Máximo recorrido total hasta salida</b>	91	122

A partir del cuadro 3.6 se realiza el análisis de estas distancias en el cuarto de máquinas de la PHLNII. En primera instancia se analizan para los recorridos comunes, las distancias de mayor magnitud que corresponden a la oficina, y en el cuarto de turbinas y equipos hidráulicos como se observa en la Ilustración 3.3. Se identifican ambas salidas con los números 1 y 2; y las tres rutas consideradas en la distancia de recorrido común con las letras A, B y C.



**Ilustración 3.3.** Distancias de recorrido común. Fuente: Autores.

### 3.3.3. Compartimentación de recintos

Se realizó el análisis de protección mediante elementos pasivos con NFPA 850 versión 2020 para plantas de generación eléctrica. Para poder definir las áreas de incendio que se tienen que proteger se deben de analizar las siguientes características:

- Tipos, cantidad, densidad y ubicación de los materiales o líquidos combustibles.
- Ubicación y configuración del equipo de la planta.
- Consecuencias de la pérdida del equipo de la planta.
- Ubicación de la detección y sistemas de supresión contra incendios.

Ahora bien, la norma recomienda realizar una separación de áreas de fuego con una barrera de 2 horas entre ellas, en áreas como las que se mencionan a continuación:

- Cuartos de distribución de cableado, túneles de cableado y cuartos de alto voltaje de áreas adyacentes.
- Cuarto de control, cuarto de computación o combinados.
- Cuartos con alta cantidad de elementos eléctricos como cuartos de relé o de interruptores.

- Cuartos de baterías de sus cargadores, equipo vario y áreas adyacentes.
- Cuartos de telecomunicaciones, adquisición de datos, control y supervisión (SCADA) de áreas adyacentes.

En cuanto a la planta, esta cuenta con cuartos definidos y separados por medio de muros construidos a partir de block y cemento, lo que le otorga una resistencia al fuego de 2 horas. También se consideraron las ventanas, las cuales son dobles y de mayor rango de resistencia al fuego con respecto a las convencionales. Además, las puertas con las que cuenta cada aposento son de vidrio con un marco de aluminio, estas deben ser certificadas y con resistencia al fuego.

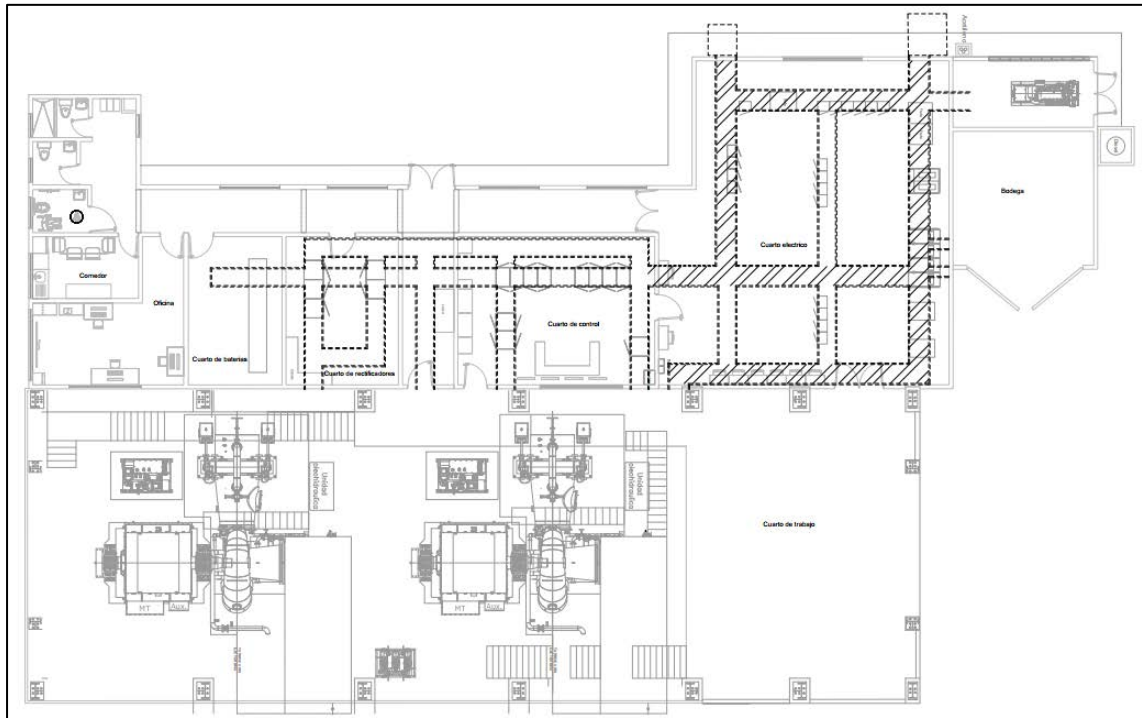
También es importante realizar una compartimentación en las trincheras existentes que pasan a través de los cuartos, para lo cual se tomaron en cuenta las aberturas que generan las trincheras en las paredes de las instalaciones, estas permiten el paso del cableado desde el cuarto de baterías hasta el cuarto eléctrico, además cabe destacar que también las trincheras alcanzan el área de las turbinas y generadores, ya que el cableado viene de esta zona y se distribuye hacia los diferentes cuartos hasta inclusive traspasar el muro del cuarto eléctrico para dirigir el cableado hasta la subestación, como se observa en la Ilustración 3.4.



**Ilustración 3.4.** Trincheras de los cuartos de control hacia cuarto de turbinas y generadores. Fuente: Autores.

Las trincheras se encuentran pasando todos los cuartos del edificio y conectan los diferentes equipos eléctricos que existen en los siguientes cuartos: cuarto eléctrico, cuarto de control, cuarto de rectificadores y cuarto de baterías. Todas las trincheras cumplen con las mismas dimensiones de 0,7 m de ancho y 0,6 m de profundidad, mientras que las que se

diferencian mediante un achurado en la Ilustración 3.5 cumplen con las dimensiones de 0,8 m de ancho y 0,6 m de profundidad y cuya ubicación única es en el cuarto eléctrico.



**Ilustración 3.5.** Ubicación de trincheras en cuarto de máquinas. Fuente: Autores.

### 3.3.4. Análisis de transformadores

Por último, se realiza el análisis que corresponde a la ubicación de los transformadores de la subestación respecto a su seguridad pasiva, de esta manera es importante tomar en cuenta que: los transformadores son para exteriores enfriados con aceite, y su volumen corresponde a 6.700 L cada uno. Considerando entonces esta cantidad de aceite surge la recomendación de asegurar una distancia tanto para edificaciones como para cumplir entre ellos en caso de un incendio o explosión.

Entonces, la norma menciona que se debe realizar una separación de estructuras adyacentes por medio de barreras corta fuego, separación por distancia o cualquier otro método aprobado para poder limitar el daño y la propagación que se pueda presentar en un fallo de un transformador.

En la PHLNII existe un muro corta fuego entre los dos transformadores externos existentes, por esta razón se realiza una verificación de las dimensiones de dicho muro respecto a la normativa, en la Ilustración 3.6 se observa la disposición del muro que existe en la subestación.

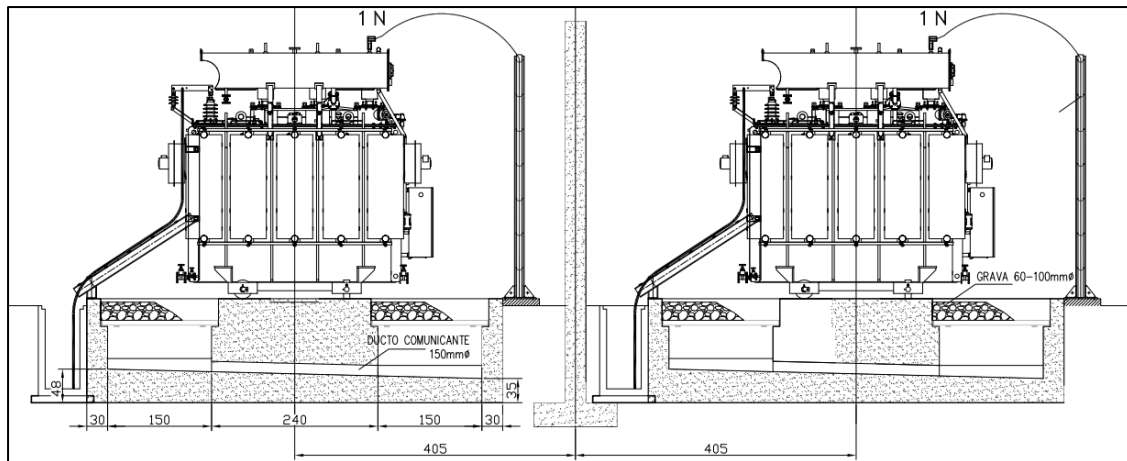




**Ilustración 3.6.** Muro corta fuego que separa los transformadores de la planta. Fuente: Autores.

La NFPA 850 recomienda que para los transformadores que tengan más de 1 890 L (500 gal) de aceite exista una separación ya sea de 7,6 m entre ellos o por un muro contra incendios de resistencia a 2 horas donde el muro se extienda 0,31 m (1 ft) por encima del depósito de aceite del transformador y al menos en 0,62 m (2 ft) más allá del ancho del transformador y radiadores de enfriamiento tal como se puede observar en la Ilustración 3.6.

Asimismo, se deben considerar en los transformadores de exteriores las dimensiones que poseen los diques de cada transformador, que corresponden a: 1,50 m x 3,90 m de área con 1,10 m de profundidad, cada transformador está compuesto por dos diques orientados a lo ancho de los equipos como se puede observar en la Ilustración 3.7. Estas dimensiones de los diques proporcionan un volumen de aceite de 6,5 m<sup>3</sup> por cada uno y un total de 13 m<sup>3</sup>.



**Ilustración 3.7.** Sección de diques de contención de los transformadores exteriores.

Fuente: [41].

La normativa de NFPA 850 indica que las dimensiones del dique deben de contemplar todas las siguientes consideraciones:

- Derrame del contenedor con mayor volumen de almacenamiento.
- La mayor cantidad de mangueras de incendio operando por un mínimo de 10 min.
- La mayor cantidad de agua emitida por un sistema de supresión operando por un mínimo de 10 min.

Además, menciona que si el dique contiene piedras que permitan evitar el incendio de charco que se podría generar debe de cumplir con las siguientes recomendaciones:

- El dimensionamiento del dique debe de contemplar el volumen de la piedra y que permita entonces mantener el máximo nivel de aceite derramado por debajo del borde superior de las piedras colocadas.
- El diseño debe de contemplar la posible acumulación de sedimentos o elementos finos sobre las piedras.
- Rebalse del dique de contención y el frenado deben de considerarse en el análisis de la ruta de drenaje que se orienten en dirección contraria a los edificios críticos. Se deben de evitar diques para múltiples transformadores.

Otra recomendación generada respecto a las piedras es que estas deben de ser movidas y limpiadas periódicamente para evitar la acumulación de polvo, tierra o barro en los orificios creados entre las piedras que eviten el filtrado del aceite al dique, además, la

frecuencia con que esto debe realizarse dependerá de la localización del dique y de la cercanía de otras industrias que produzcan polvo o ceniza.

Por otro lado, también se cuenta con transformadores dentro de las instalaciones; por lo que se deben de tomar en cuenta las recomendaciones del caso, donde se especifica que la mejor elección para estos transformadores son los transformadores secos, y en efecto los que están dentro del cuarto de máquinas son secos, lo que significa que no se requiere de ninguna separación ni requisito a cumplir.

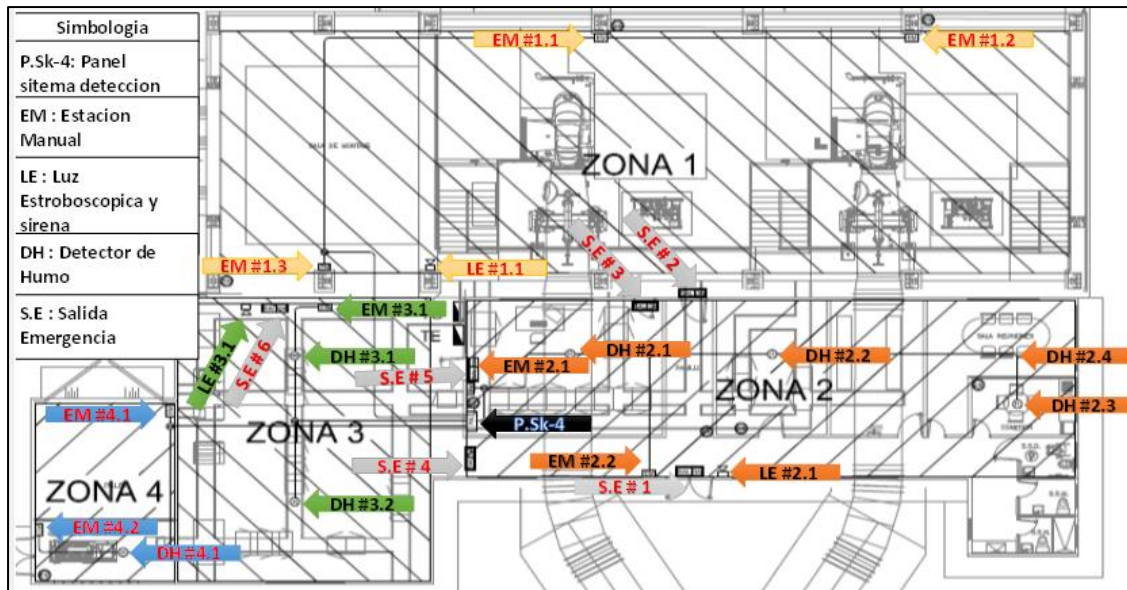
### **3.4. Análisis del sistema de detección y notificación**

El sistema de detección y notificación de la planta debe de cumplir con lo estipulado de la NFPA 72 como se indica en los apartados del capítulo 6 de NFPA 850, y deben de incluir los siguientes componentes:

- Dispositivos manuales de alarma de incendio
- Alarma de incendio audible a lo ancho de la planta o sistema de comunicación de voz o ambos.

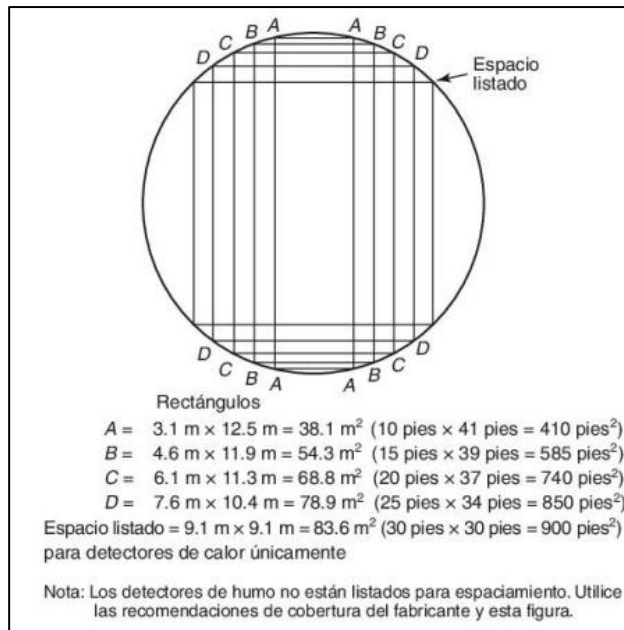
Para este análisis en particular se realizó un levantamiento de planos del sistema existente en la PHLNII, los cuales abarcan sensores de humo puntuales de tipo fotoeléctrico, dispositivos de iniciación de tipo manual y elementos en conjunto de sirena y luz estroboscópica. Es importante traer de nuevo a acotación que la planta es clasificada como una ocupación de tipo industrial para propósitos especiales, por la NFPA 101. Donde se indica que se pueden obviar las luces de emergencias en dos casos: cuando no exista una ocupación del espacio por personas rutinariamente y cuando sean lugares que trabajan de día solamente, es decir, que la luz natural sea la suficiente para poder obviar la iluminación de emergencia como se menciona en el apartado 40.2.9 de NFPA 101 del Handbook 2018.

Por esta razón, al tener una planta con un ciclo de trabajo continuo y que está ocupado por personas la mayoría del tiempo, debe de contar con iluminación de emergencia. A partir de esta consideración se presenta la distribución y zonaje del sistema de detección y notificación existente en la planta, como se puede ver en la Ilustración 4.5, la cual se analizó y comparó con la normativa de NFPA 72. Esta distribución se tomó del documento realizado por la empresa para verificar el correcto funcionamiento del sistema en el 2018.



**Ilustración 3.8.** Zonificación y ubicación de componentes del sistema de detección y notificación de incendios. Fuente: [42].

Siguiendo lo estipulado en el apartado 17.5.3.1 de NFPA 72 versión 2016, donde se indica que toda el área de protección debe de cumplir con una cobertura total de dispositivos ya sea sensores de calor o humo, se realizó una propuesta de mejora del sistema de detección y notificación que cumple además con el espaciamiento referido por norma de 9,1 m para sensores puntuales de humo. Para esto se consideraron las alturas de cielo de 2,5 m en baños, 2,9 m en oficina y comedor, 3,4 m en cuarto eléctrico y 3,3 m en pasillo, cuarto de baterías, de control, de rectificadores, de planta de generación y bodega. Es importante tomar en cuenta que cuando las vigas en el cielo no superen un 10% de estas alturas o un valor de 0,25 m, 0,29 m y 0,33 m se pueden considerar un cielo liso sin obstrucciones en el espaciamiento requerido según 17.7.3.2.4.2 de NFPA 72 versión 2016. Además, se permite una cobertura para sensores puntuales en pasillos que cumpla con cualquiera de las dimensiones especificadas en la ilustración 3.9.



**Ilustración 3.9.** Espaciamento de detectores en espacios rectangulares. Fuente: [24].

Se pudo observar durante las visitas realizadas que las vigas que existen en los pasillos tienen una altura desde n.p.t de 2,9 m lo que genera una diferencia de altura de 0,4 m y equivale a más del 10% de la altura de pasillos por esta razón se propone colocar detectores en todas las secciones del cielo. Por otro lado, los vanos de puertas tienen una altura de 2 m que equivale a una diferencia de 0,5 m en baños, 0,9 m en oficina y comedor, 1,4 m en cuarto eléctrico y de 1,3 m en cuarto de baterías, de control y de rectificadores que representa más del 10% permitido, por esta razón se propone colocar en todos los cuartos detectores de humo. Se recomienda también colocar un detector de humo en el cuarto de PLCs ubicado en la subestación ya que dicho cuarto no tiene acceso frecuente del personal a diferencia del resto de la instalación lo que impide que el cuarto tenga un monitoreo constante de la existencia de un incendio. También se realizan recomendaciones de sistemas de notificación los cuales se pueden observar más adelante del presente documento.

Por último, se detallan las consideraciones extras que se tomaron para los sistemas de supresión elegidos para cada riesgo:

1. Sistema de diluvio para transformadores: se propone instalar detectores de calor en línea lo más próximo a los transformadores exteriores para la activación del sistema de supresión de los mismos. Estos detectores se encargan de generar la señal de alarma en presencia de una llama en su rango de cobertura, lo que envía una señal al panel, quien se encarga de enviar otra

señal a la válvula solenoide ubicada en cada válvula de diluvio de los transformadores.

2. Sistema de agente limpio en cuartos con equipo eléctrico: se proponen 7 detectores de humo nuevos en el cuarto eléctrico, 3 detectores de humo más en el cuarto de control y 1 detector más en el cuarto de rectificadores para cumplir con el listado del sistema que indica se debe cumplir con un área de cobertura mínima por detector de 23,2 m<sup>2</sup> todo esto es necesario para poder realizar una detección cruzada. Ese es un requerimiento del fabricante para la activación del sistema de agente limpio, en el listado que cumple su sistema y su recomendación para evitar una activación errónea del sistema. NFPA 2001 indica que el sistema de alarma debe ser listado para este fin, por lo que se siguen las recomendaciones del fabricante.
3. Cuarto de trabajo: este sector del cuarto de máquinas está ubicado contiguo a las turbinas y el equipo hidráulico con una diferencia de altura entre ellos de 5,0 m, tiene una puerta de 6x6 m de acceso y una altura hasta el techo de 12,0 m, por estas características siempre se encuentra con una ventilación natural constante y dinámica, lo que evitaría la acumulación de humo. En las instalaciones se conoce como “sala de montaje” y es utilizado únicamente para dar mantenimiento a las turbinas o hacer trabajos especiales y no posee almacenamiento de sustancias explosivas o inflamables. Esta área de la planta cuando está en uso no queda desprotegida y se mantiene siempre en vigilancia, por lo que no se considera necesario la ubicación de un detector, inclusive debido a la altura del techo, no es recomendable sensor puntual de humo o de aspiración de humo, por esa razón si se considera necesario por parte de los encargados de la planta o por la autoridad con jurisdicción, se recomienda el uso de un sensor de flama que pueda detectar con certeza la presencia de un incendio.
4. Cuarto de turbinas y equipo hidráulico: en esta área del cuarto de máquinas se cuenta con una altura hasta el techo de 18,0 m por lo que tampoco resulta recomendable el uso de detectores puntuales o de aspiración de humo, entonces se propone utilizar detectores térmicos lineales también conocidos como LHD (linear heat detector, de sus siglas en inglés) para los equipos a los cuales se les propone colocar un sistema de supresión, cada uno de ellos contará con dos detectores para cumplir con la detección cruzada. El detector

térmico lineal consiste en un cable que es capaz de detectar temperatura a través de toda su extensión, dado que dentro del mismo hay dos conductores trenzados con un recubrimiento individual para cada uno de estos cables, este recubrimiento es sensible a la temperatura, entonces al exponerse a una temperatura predeterminada por el material del recubrimiento de los conductores, este se va a fundir, permitiendo que estos dos cables entren en contacto, lo que enviará señales eléctricas al panel de control, el cual activará el sistema de anunciación y extinción correspondiente. Además, se colocan dos luces estroboscópicas con sirena que darán alerta de predescarga de alguno de los sistemas de CO<sub>2</sub>, esto con el fin de que se evacue el área antes de que se dé la descarga.

Se analizó seguidamente el sistema de notificación audible y visible que se presenta en el cuarto de máquinas y subestación, para este caso se identifican 3 elementos en conjunto de luz estroboscópica y sirena ubicados en los muros del pasillo central, el cuarto de trabajo y el cuarto eléctrico. Se utiliza para poder comparar con normativa la distribución recomendada por la ilustración 3.10 donde se utilizan diferentes áreas de cobertura para la notificación visual de una zona protegida.

Tabla 18.5.5.4.1(a) Espaciamiento en salas para aparatos de notificación visible montados sobre muros			
Salida lumínica mínima requerida [intensidad efectiva (en CD)]			
Tamaño máximo de la sala		Una luz por sala	Cuatro luces por sala (una luz por muro)
En pies	En m		
20 × 20	6.10 × 6.10	15	NA
28 × 28	8.53 × 8.53	30	NA
30 × 30	9.14 × 9.14	34	NA
40 × 40	12.2 × 12.2	60	15
45 × 45	13.7 × 13.7	75	19
50 × 50	15.2 × 15.2	94	30
54 × 54	16.5 × 16.5	110	30
55 × 55	16.8 × 16.8	115	30
60 × 60	18.3 × 18.3	135	30
63 × 63	19.2 × 19.2	150	37
68 × 68	20.7 × 20.7	177	43
70 × 70	21.3 × 21.3	184	60
80 × 80	24.4 × 24.4	240	60
90 × 90	27.4 × 27.4	304	95
100 × 100	30.5 × 30.5	375	95
110 × 110	33.5 × 33.5	455	135
120 × 120	36.6 × 36.6	540	135
130 × 130	39.6 × 39.6	635	185

NA: No acceptable

**Ilustración 3.10.** Área de cobertura de los elementos de notificación visible y audible permitido por norma. Fuente: [24].

Además, se debe de considerar el nivel sonoro aceptable cuando las sirenas de notificación audible superen en 15 dB el nivel de presión sonora promedio o cuando haya 5 dB por encima del valor máximo registrado con una duración de al menos 60 segundos, cual fuere superior tal y como se describe en las ecuaciones 3.2 y 3.3. Por esta razón se realizó una medición de sonoridad en el cuarto de máquinas con las dos turbinas en funcionamiento durante todas las visitas realizadas y se obtuvo un valor máximo de 89 dB, también se comparó con el valor de sonoridad ambiental promedio descrito por normativa de 80 dB para ocupaciones industriales, de esta manera se calculan ambos valores.

$$Niv\ Sonoro\ 1 = Promedio + 15dB \quad (3.2)$$

$$\rightarrow N.S. 1 = (80 + 15)dB \rightarrow N.S. 1 = 95 dB$$

$$Niv\ Sonoro\ 2 = Máximo + 5dB \quad (3.3)$$

$$\rightarrow N.S. 2 = (89 + 5)dB \rightarrow N.S. 2 = 94 dB$$

De esta manera se determinó que el nivel sonoro a utilizar en la planta debe ser igual o superior a 95 dB sin alcanzar el máximo permitido de 110 dB. La distribución de este



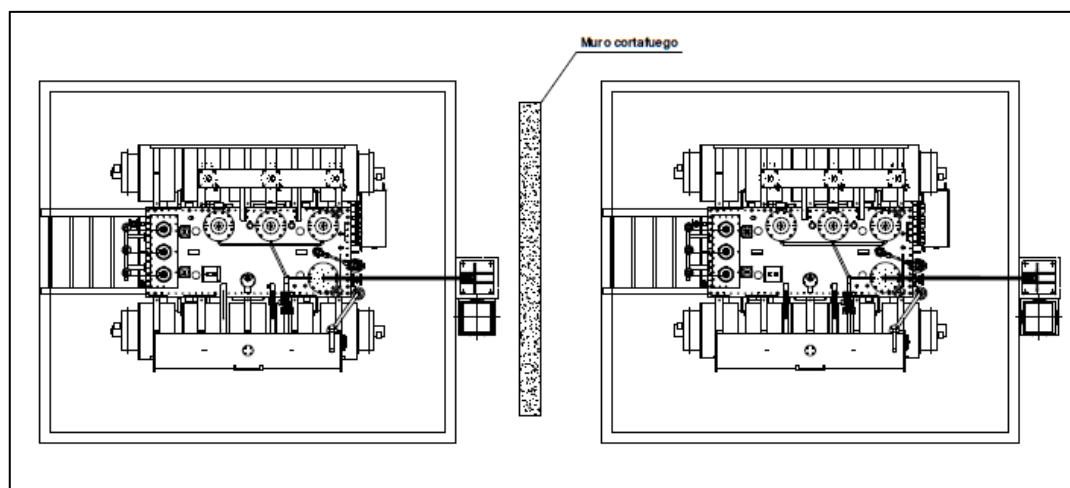
sistema de notificación se puede observar en el capítulo de resultados y en las láminas de alarma.

### 3.5. Selección de los tipos de sistemas de supresión

En este subcapítulo se describen los parámetros, consideraciones y particularidades que llevaron a la elección de cada sistema de supresión.

#### 3.5.1. Sistema de diluvio para transformadores.

El arreglo de transformadores presente en la subestación de la planta hidroeléctrica se compone de dos transformadores con un muro de resistencia al fuego de 2 horas, ambos transformadores separados a 2,35 m de dicha pared como se muestra en la Ilustración 3.11:



**Ilustración 3.11.** Transformadores con el muro corta fuego. Fuente: Autores.

Para el caso de la protección de estos equipos se optó por utilizar un sistema de diluvio, esto debido a que, en caso que ocurra un incendio cerca de los transformadores, o uno de los dos transformadores en la subestación se caliente de tal manera y explote, se puedan proteger estos con el sistema de diluvio; que tiene como propósito el de enfriar la superficie, evitar explosiones, y además, que al ser un área catalogada como riesgo especial se requiere de una aplicación rápida de grandes cantidades de agua que se puede lograr con dicho sistema.

### 3.5.2. Sistema de tanque por gravedad

Al tener el diseño del sistema contra incendios en el terreno de una planta hidroeléctrica, y conocer que este tipo de generación de electricidad requiere un terreno quebrado para poder aprovechar la energía potencial del agua, luego convertida a cinética en la caída, se presenta que existen las condiciones necesarias para poder construir el tanque en un nivel más alto que la subestación y la casa de máquinas de la PHLNII. Por lo que, se decide colocar el tanque de agua contra incendios en el terreno donde se encuentra el tanque de oscilación, ya que, este presenta un terreno bastante amplio y con las condiciones para poder colocarlo como se puede ver en la Ilustración 3.12, y así aprovechar una caída de agua de 103 m.



**Ilustración 3.12.** Tanque de Oscilación de la PHLNII. Fuente: Autores.

Sin embargo, a pesar de tener un costo inicial alto, a largo plazo se diluye el precio por temas de mantenimiento en el caso de tener un cuarto de máquinas con bombas contra incendios o paneles, además que de igual manera se requiere construir un tanque de abastecimiento en el caso que se opte por tener bomba contra incendios ya que la NFPA solicita una reserva de agua confiable.

### 3.5.3. Sistema de agente limpio

Como parte del análisis del riesgo se determinó por medio del método de ¿Qué pasa sí? (what if?) que el cuarto eléctrico contiene equipos eléctricos indispensables para el proceso de generación de energía, además, posee equipos de alto valor económico. Por otro lado, el cuarto de control es considerado parte esencial del proceso ya que es desde el cual se realiza un monitoreo constante del proceso de generación y de las condiciones de operación de todos los equipos. Por último, el cuarto de rectificadores es importante para el proceso de generación, y es parte integral del cuarto de control, ya que se encuentran conectados entre sí, por esta razón se consideran los rectificadores parte esencial y se decide incluir un sistema de supresión. La NFPA 850 menciona cuales son las opciones que se pueden utilizar para proteger un cuarto eléctrico y de control, donde se mencionan sistemas de pre acción y sistemas de supresión por agentes gaseosos, por lo que se decide utilizar un agente limpio para estos sistemas.

Para el caso de los sistemas de agente limpio se consideraron las dimensiones y temperaturas de los cuartos que se van a proteger y la altitud sobre el nivel del mar de las instalaciones, además es importante destacar cuál es el agente limpio que se escogió y cuáles fueron las consideraciones que se tomaron para este fin como por ejemplo las que se especifican a continuación:

- Afectación al medio ambiente.
- Accesibilidad en el mercado.
- Facilidad de software de cálculo.
- Seguridad humana.
- Diseño e instalación.
- Costo de la recarga.

Bajo estas consideraciones se tomaron en cuenta dos tipos de agentes limpios como lo son un agente halo carbonado, NOVEC 1230 o FK-5-1-12, y un agente de gas inerte, Inergen o IG 541, debido a la facilidad del software de cálculo que se pudo obtener para realizar los cálculos. Ambos agentes fueron tomados en cuenta y comparados en relación a sus características descritas a continuación en el cuadro 3.7.

**Cuadro 3.7.** Criterios de selección para agente limpio de supresión. Fuente: Autores.

<b>CRITERIOS DE SELECCIÓN</b>	<b>INERGEN</b>	<b>Novec 1230</b>
<b>Ambiental</b>	No genera impacto en el ambiente ya que es una combinación de Argón, Nitrógeno y Dióxido de Carbono (aire sin oxígeno).	Genera impacto ambiental, pero, dentro del grupo halogenado, es el agente que genera menor impacto. Se mantiene en el ambiente 5 días.
<b>Espaciales</b>	Abarca mucho espacio debido a que el agente está contenido dentro de los cilindros en estado gaseoso.	Abarca poco espacio ya que el agente se encuentra dentro del cilindro en estado líquido, mezclado con nitrógeno como agente expelente.
<b>Diseño e instalación</b>	Flexible a los cambios y ampliaciones. Instalación de los cilindros de modo vertical u horizontal.	De poca o nula flexibilidad a cambios. Instalación de los cilindros únicamente de modo vertical.
<b>Seguridad humana</b>	Amplio margen debido a que sus niveles de concentración se encuentran muy por debajo de los niveles tóxicos.	Amplio margen debido a que sus niveles de concentración se encuentran muy por debajo de los niveles tóxicos. La normativa restringe su exposición a no más de 5 minutos.
<b>Presiones utilizadas</b>	150 bar @ 21 °C (2 175 psi @ 70 °F) 200 bar @ 21°C (2 900 psi @ 70°F)	24,8 bar @ 21 °C (360 psi @ 70 °F)
<b>Aspectos arquitectónicos</b>	Necesidad de una o varias aberturas que proporcionen alivio de presión en el momento de la descarga y que luego de esta se cierre.	Hermeticidad del cuarto para asegurar una atmósfera no combustible.
<b>Tiempo de descarga del sistema</b>	60 - 120 segundos	10 segundos
<b>Recarga</b>	A nivel nacional	Necesidad de importar
<b>Costo de recarga</b>	Accesible, proporcional al tamaño del sistema.	Elevado debido al precio del agente y el hecho de que se debe importar.
<b>Tiempo de recarga</b>	5 – 7 días	30 - 45

A partir de estas consideraciones mencionadas anteriormente en el cuadro 3.7 se determina que el agente con mayor facilidad para una instalación ya construida y con las características que cuenta la planta es el agente Inergen (IG-541), ya que no es necesario una hermeticidad tan rigurosa como en el caso del NOVEC 1230, aunque es importante aclarar que en ambos casos es necesario realizar una prueba de hermeticidad del recinto. Tomando esto en consideración el agente Inergen permite una caída de presión específica que se puede manejar con las instalaciones que ya están construidas o mejorar al agregar un damper que permita una mayor liberación de presión o inclusive aumentar la hermeticidad si fuera necesario.

### 3.5.4. Sistema de dióxido de carbono

Los sistemas que se seleccionaron para utilizar extinción con CO<sub>2</sub> son los generadores principalmente dado que el análisis de riesgo realizado indica que es un equipo que debería tener protección contra incendios, también se protege el sistema de lubricación del generador, ya que este es parte del mismo sistema generador y el aceite en un incendio tridimensional podría trasladarse hasta el contenedor de aceite o al contrario hasta el mismo generador, por lo tanto, ambos se protegen. Adicional a estos equipos se analizan las unidades oleo-hidráulicas, que, a pesar de no representar un peligro alto dentro del análisis de riesgo, forma parte de los equipos necesarios para el funcionamiento de las turbinas-generadores.

A continuación, se amplía con más detalle la justificación de la implementación del sistema de CO<sub>2</sub> para cada equipo:

- Generadores

Un generador con el paso del tiempo se deteriora, puede mostrar fugas en las líneas hidráulicas, puede haber acumulación de humedad en el equipo, deterioro de las líneas eléctricas o generar arcos eléctricos que pueden provocar un fuego intenso capaz de dañarlo, acabando con un paro en la producción, pérdidas materiales y de capital, con posibles repercusiones para los usuarios que dependen de un suministro de electricidad.

La NFPA 850 versión 2020 recomienda proteger los devanados del generador con algún sistema de extinción ya sea gaseoso, agua-espuma, aspersión de agua o alguna combinación de ellos.

Es común encontrar sistemas de CO<sub>2</sub> para la protección de generadores (hidro-generadores), dado que es un sistema de actuación rápida que permite limitar el daño causado por el fuego de una forma efectiva y en muchos casos los devanados pueden repararse después de un incendio rápidamente extinguido, volviendo al servicio con prontitud. Otros equipos, como los transformadores, generalmente no se pueden salvar si están involucrados en un incendio por lo que un sistema de CO<sub>2</sub> no tiene respaldo ni justificante en estos. [43]

El costo de implementar este sistema se justifica por los ahorros obtenidos en la reducción de daños al equipo durante un eventual incendio, puesto que los materiales utilizados en generadores son costosos y muchos son combustibles. También proporciona

una rápida reanudación de la entrega de energía porque al ser gaseoso a temperatura ambiente no produce residuos y la limpieza se realiza en poco tiempo.

- Equipos de lubricación y oleo-hidráulicos

La NFPA 850 en la sección 10.3.1.5 explica que es conveniente tener un aceite de lubricación listado con resistencia al fuego, con el fin de reducir el riesgo de incendio en las líneas de lubricación, reservorios de aceite y cojinetes, donde se podría desarrollar un incendio tridimensional o fuegos de pozo profundo (pool fire, en inglés) al verse involucrado el aceite.

El aceite que se utiliza para lubricar los equipos turbina-generador es el ISO VG 68, el cual no se encuentra listado al igual que el aceite del sistema hidráulico, que utiliza ISO VG 46, este es el motivo por lo que se decidió seguir las recomendaciones de la NFPA 850 y protegerlo, ya que cada unidad de lubricación almacena 500 litros, siendo un total de 1000 litros de aceite VG 68 y 640 litros de aceite VG 46 para las dos unidades hidráulicas, es decir, cada unidad contiene 320 litros, lo cual un derrame de esta magnitud llegaría a ser bastante significativo para las maquinas, dado que las bandejas de contención de derrames se encuentra debajo de los mismos equipos tanto para las unidades de lubricación como para las unidades oleo-hidráulicas como se muestra en la Ilustración 3.13 y en la Ilustración 3.14 respectivamente, lo cual un derrame en estas bandejas donde se produzca un incendio, dañaría los equipos que se encuentran sobre la misma, por lo que, siguiendo la idea de regresar a la pronta continuidad del negocio, se consideran estos equipos como críticos para el funcionamiento de la planta hidroeléctrica.



**Ilustración 3.13.** Unidad de lubricación con bandeja de contención de derrames en su base. Fuente: Autores.



**Ilustración 3.14.** Unidad oleo-hidráulica con bandeja de contención de derrames en su base. Fuente: Autores.

Observando las especificaciones en las hojas de seguridad de cada aceite, especifican que los métodos de extinción apropiados en caso de incendio son: agua pulverizada, agua nebulizada, polvo químico seco o dióxido de carbono. Por lo que se decide utilizar el mismo sistema de extinción que se utilizó en los generadores y así tener un solo tipo de sistema en todo el cuarto de turbinas y generadores, aprovechando la oportunidad de acceso al software Ansul que realiza los cálculos hidráulicos del CO<sub>2</sub> para ser un sistema listado como lo pide la norma NFPA 12.

### 3.6. Muestra de cálculos

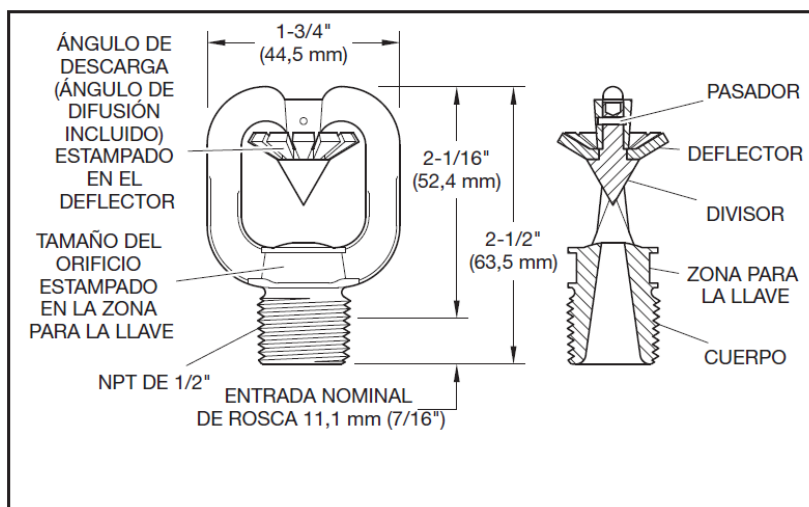
En este subcapítulo se indica cuál fue el proceso de cálculo realizado para cada sistema de supresión asignado a cada riesgo identificado.

#### 3.6.1. Diseño del sistema de diluvio para transformadores.

Para el diseño de este sistema se utiliza la NFPA 15 y una metodología que se enlista y se explica de la siguiente manera:

- a. Se escogieron las boquillas incluyendo el patrón de descarga, los ángulos y distancias al transformador.

En este punto se toma como referencia la boquilla de la marca Tyco *Fire Products* D3 PROTECTOSPRAY. [44] La Ilustración 3.15 tiene la representación de las boquillas seleccionadas, junto con las medidas y partes más importantes de la misma.



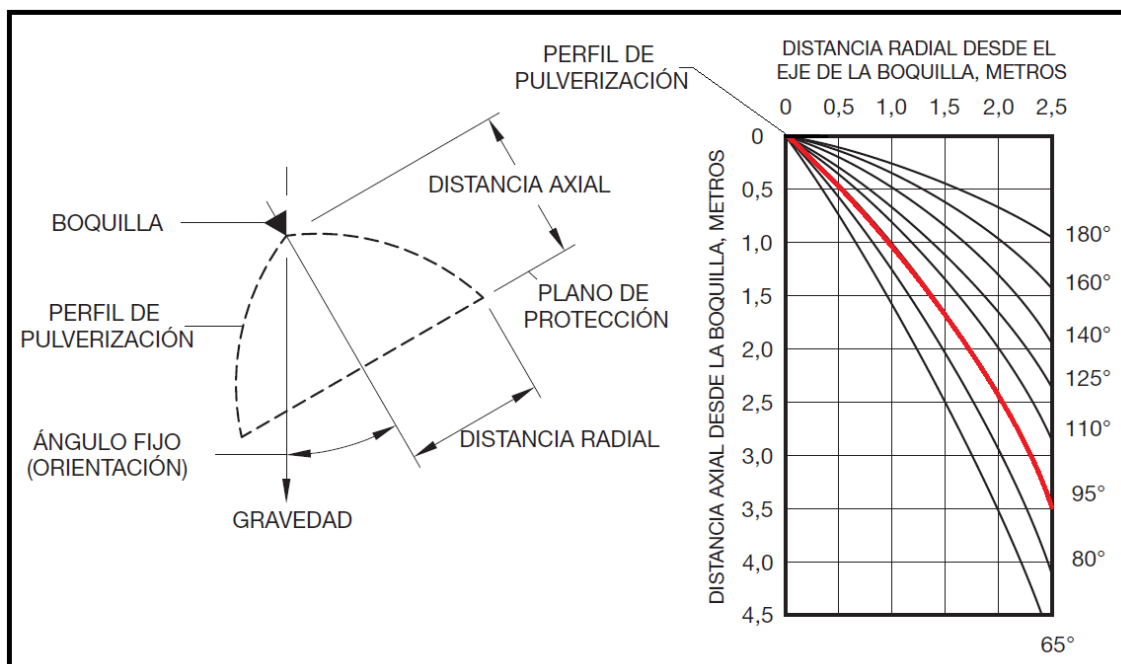
**Ilustración 3.15.** Boquilla Tyco Tipo D3. Fuente: [44].



Además, el tamaño del orificio y el ángulo de descarga seleccionados para este caso corresponden a: tamaño N° 28, con un factor K de  $59,0 \text{ L/min} \cdot \text{bar}^{1/2}$  ( $4,1 \text{ GPM/psi}^{1/2}$ ) y un ángulo de  $95^\circ$ . Es importante resaltar que los valores que se escogieron para el diseño fueron los siguientes:

- Distancia axial: 0,6 m (2 ft), esto porque el fabricante recomienda este valor para que el perfil de pulverización de diseño sea igual al ángulo de descarga nominal seleccionado.
- Ángulo fijo:  $45^\circ$ , debido a que es más sencillo para la selección de los accesorios y ubicación de las boquillas.
- Distancia radial: No debe exceder los 3 m (9,75 ft) según lo recomienda el fabricante.

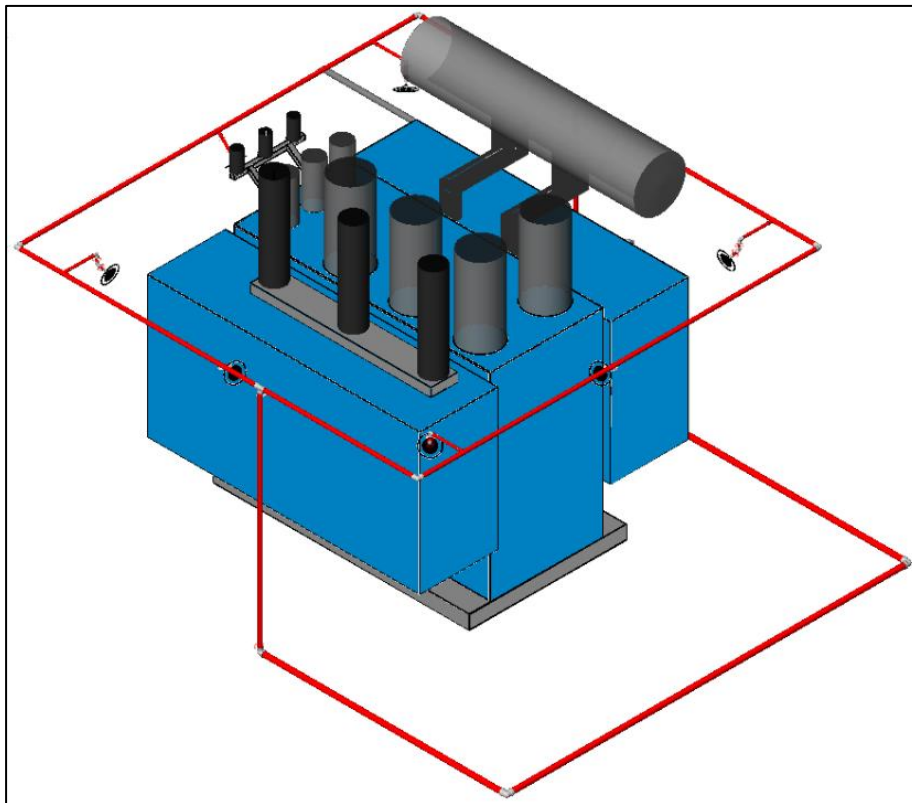
Estas distancias están representadas en la Ilustración 3.16 para la distribución de agua.



**Ilustración 3.16.** Diseño de distribución de agua. Fuente: Autores.

- b. Se colocó y se elaboró el diseño de tuberías en los transformadores y la tubería que va a transportar el agua.

Este diseño consta de tuberías de hierro dúctil con cédula 40 y un acabado galvanizado, esto debido a que, al ser un sistema seco, en otras palabras, que no tiene agua dentro de la tubería, tiende a corroerse, por lo que es necesario la tubería galvanizada para que se evite la oxidación. El anillo es de un diámetro de 40 mm (1 ½ in), consta de 8 boquillas cada uno y solo se diseñó un anillo arriba del transformador ya que [45] indica que si no hay obstrucciones no es necesario colocar otra línea por debajo del transformador ya que este cubre gran parte del área además que, al tener un dique que contiene piedras quebradas este hace un control de temperatura por debajo del transformador. Y, por otro lado, la NFPA 15 menciona que se puede proteger zonas de la superficie con la proyección de la cobertura de otras boquillas.



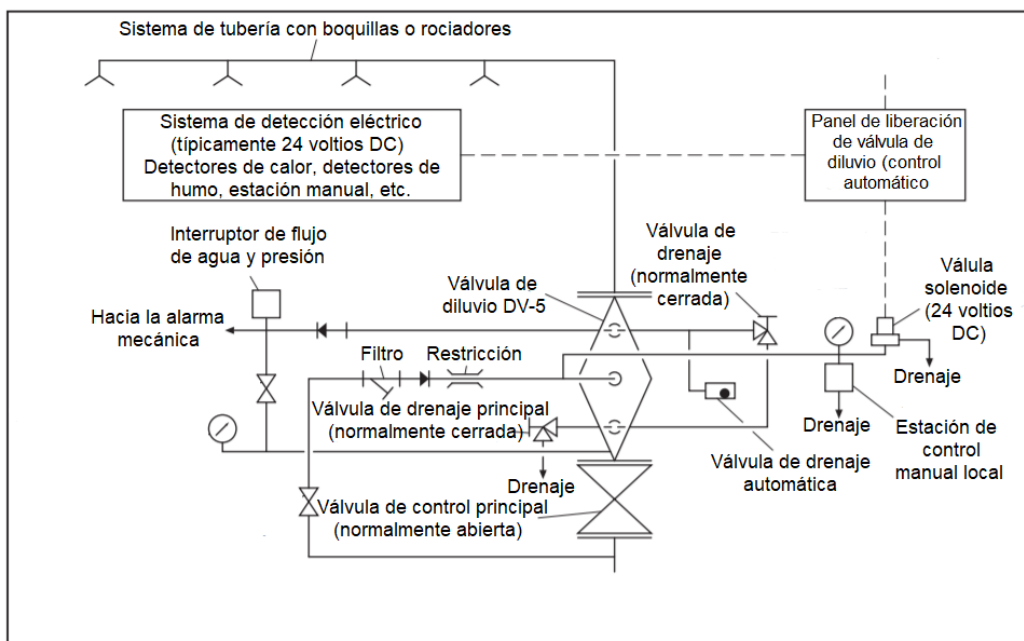
**Ilustración 3.17.** Diseño de distribución de tuberías. Fuente: Autores.

La Ilustración 3.17 representa el diseño típico de los transformadores con las especificaciones antes mencionadas. La lámina 6 contiene las dimensiones necesarias para

la construcción de este sistema, además de otros detalles como la soportería, y dimensiones no especificadas en esta sección.

c. Se hizo el arreglo de válvulas de diluvio y accesorios.

Según lo indica la NFPA 13 versión 2019, el sistema de diluvio consta de al menos la válvula de diluvio y una válvula de pre-acción. Para este caso se escogió como válvula de pre-acción, la válvula mariposa. Además, en la hoja de datos del fabricante de la válvula de diluvio, DV-5 válvula de diluvio DN50 (que presenta un diámetro de 50 mm [2"]), se especifica la configuración que presenta esta, y que se puede observar en la Ilustración 3.18.



**Ilustración 3.18.** Diseño de válvula de diluvio. Fuente: Autores.

La Ilustración 3.18 contiene el diagrama de la instalación y conexiones que la válvula de diluvio necesita para su correcto funcionamiento, y es necesario mencionar que, para este proyecto el sistema de detección seleccionado fue un detector de calor lineal, el cual se puede ver su ubicación en la lámina 11 de los planos finales adjuntos. También, es importante mencionar que el distanciamiento que debe tener el arreglo de las válvulas diluvio a los transformadores es no menos de 15 m (50 ft), esto porque, en caso que ocurra una explosión con alguno de los transformadores no dañe el arreglo de válvulas y deshabilite todo el sistema de diluvio.

d. Por último, se corrió el cálculo hidráulico.

Dentro de este punto se tomó en consideración el caudal y la presión que proporciona el tanque elevado, que fueron los mismos datos que se reflejan en la sección de cálculos de la red exterior descrita en el siguiente apartado. Y donde, colocando una presión residual en cada boquilla de 206,8 kPa (30 psi) ya que la NFPA 15 solicita 137,9 kPa (20 psi) mínimo, más 68,9 kPa (10 psi) considerando el factor viento. Una vez se tiene ese dato claro, y con el uso del software Autosprink, se obtiene que los cálculos de las presiones en las boquillas no varían en un 5% entre sí, por lo que cumplen con el balanceo que solicita la NFPA 15. Además, en el anexo G se adjunta los cálculos hidráulicos que se obtuvo con el programa antes mencionado.

### **3.6.2. Diseño de la red exterior y el tanque para abastecimiento con agua.**

El diseño de la red exterior está compuesto por la tubería que transporta el agua desde el tanque de agua para incendios a 160 m.s.n.m, hasta el cuarto de máquinas que está a 57 m.s.n.m. Esta tubería es de material de PVC C900, y se utiliza la marca Durman para la elaboración del cálculo hidráulico, con las características que se ven en la Ilustración 3.19.

Y, primeramente, es importante conocer que la red exterior juega un papel sumamente sustancial para este proyecto, debido a que es la encargada de abastecer y transportar el agua al sistema de diluvio, hidrante y sistema de gabinetes. Esta red está compuesta por la tubería principal de 150 mm (6") de diámetro nominal, que recorre el mismo trayecto que lleva la tubería de presión desde el tanque de oscilación, hasta la planta hidroeléctrica.

Para la realización del cálculo hidráulico se utiliza la herramienta de Office, Excel y se hace de la siguiente manera:

La ecuación de Bernoulli es una ecuación que demuestra la conservación de la energía, y para este caso se utiliza dicha ecuación para obtener la velocidad del agua, y con el área de la tubería poder obtener el caudal que va a transportar.

Entonces, se tomaron en cuenta los parámetros mostrados en el cuadro 3.8.

**Cuadro 3.8.** Datos de la tubería y el agua para el cálculo de Bernoulli. Fuente: Autores.

Datos	Valor	Unidades
Diámetro interno (d)	165,53	mm
Rugosidad (ε)	0,0015	mm
Peso específico agua (γ)	9,83x10 <sup>-03</sup>	N/m <sup>3</sup>
Gravedad (g)	9,81	m/s <sup>2</sup>

Los datos del cuadro 3.8 son tomados de distintas páginas y manuales de fabricantes, como, por ejemplo, el diámetro de la tubería que se obtuvo del fabricante Durman bajo los valores de la Ilustración 3.19.

Espesores Mínimos de Pared (mm)							
Diám. Nom.	Diám. Prom. Externo C.I.	Oval. Máx.		Diám. Nom. (mm)	Tolerancia positiva equival. al 12 % del espesor mín.		
		DR 14 y 18	DR 25		DR14	DR18	DR25
100	121,92 ± 0,23	0,76	2,54	100	8,71+1,04	6,78+0,81	4,88+0,58
150	175,26 ± 0,28	1,78	2,54	150	12,52+1,50	9,73+1,17	7,01+0,84
200	229,87 ± 0,38	2,29	3,81	200	16,41+1,98	12,78+1,52	9,20+1,09
250	281,94 ± 0,38	2,54	3,81	250	20,14+2,41	15,67+1,88	11,28+1,35
300	335,28 ± 0,38	3,05	3,81	300	23,95+2,87	18,62+2,24	13,41+1,60

**Ilustración 3.19.** Diámetro de tubería y espesores mínimos de pared. Fuente: [46].

Donde se puede ver que en la ilustración 3.19 se escoge la tubería de 150 mm (6") para la tubería de red exterior, con una cédula de DR18.

Entonces, para obtener la velocidad se despeja de la ecuación 3.4 y se completan los datos del cuadro 3.9 que se ven a continuación.

$$\frac{P_1}{\gamma} + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_L \quad (3.4)$$

**Cuadro 3.9.** Datos del tanque y cuarto de máquinas para el cálculo de Bernoulli. Fuente: Autores.

	Tanque (punto 1)	Cuarto de máquinas (punto 2)	Unidades
Presión	99 379,56	206 843,0	Pa
Presión	10,10	21,10	m.c.a
Altura (h <sub>1</sub> )	110	0	m
Velocidad (v <sub>1</sub> )	0	Se requiere conocer	m/s

La ecuación 3.4 mejor conocida como la ecuación de Bernoulli, es una ecuación encargada de relacionar la velocidad de un fluido con respecto a cómo influye la presión en este, y en el cuadro 3.9 es importante mencionar que el tanque es el punto 1, es decir, es donde se coloca los sub índices 1 de los datos de las ecuaciones de esta sección.

Una vez se tiene claro esto, se despeja de la ecuación 3.4 la velocidad en el punto 2, y se obtiene la siguiente ecuación 3.5.

$$\therefore v_2 = \sqrt{\frac{(P_1 - P_2 + h_1)}{\frac{1}{2g} + \frac{h_L}{v^2}}} \quad (3.5)$$

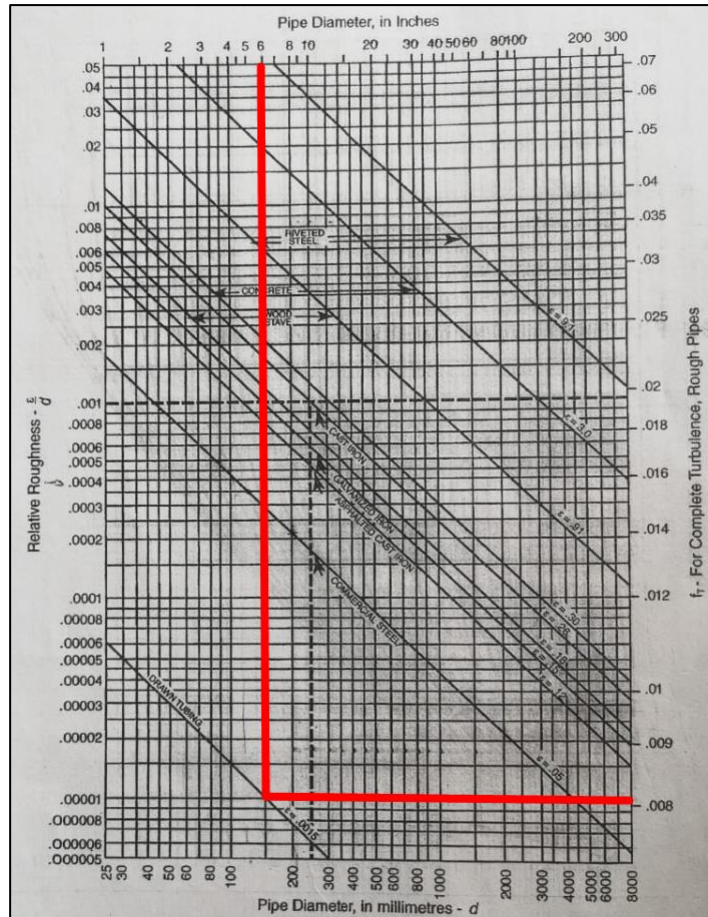
Por último, para conocer el valor de las pérdidas por fricción ( $h_L$ ) de la tubería se utiliza la siguiente ecuación:

$$h_L = f \frac{L v^2}{D 2g} \quad (3.6)$$

Esta ecuación 3.6 contempla lo siguiente:

- L: longitud total de la tubería, [m].
- D: diámetro real de la tubería, [m].
- v: velocidad, [m/s].
- f: factor de fricción, adimensional.
- g: factor de gravedad, valor constante de 9,81 m/s<sup>2</sup>.

Además, con la ayuda de la ilustración 3.20 sobre el diagrama de Moody, se calcula el factor de fricción.



**Ilustración 3.20.** Diagrama de Moody. Fuente: [47]

Donde, la línea roja se posiciona en el diámetro de la tubería seleccionada en la Ilustración 3.19, y con respecto a la rugosidad de esta que se ve en el cuadro 3.8, obteniendo así un valor de 0.008. El cual se aprecia en los siguientes datos del cuadro 3.10.

**Cuadro 3.10.** Datos del tanque y cuarto de máquinas para el cálculo de Bernoulli. Fuente: Autores.

Datos	Valor	Unidades
Largo tubería (L)	793	m
Factor de fricción (f)	0,008	-
Pérdidas por fricción ( $h_L$ )	$1,95 \cdot v^2$	$m^3/s^2$

Donde es importante mencionar que las pérdidas por fricción que se obtiene del cuadro 3.10 no solo contemplan el largo de la tubería lisa, sino que pérdidas por accesorios, el cuál correspondía al valor de un 10% aproximado, del largo total de tubería.

Una vez se tienen los datos, se procede con el cálculo de la velocidad que se despejó de la ecuación 3.6, y por ende se realiza el cálculo de caudal que transporta la tubería como sigue en la ecuación 3.7.

$$\therefore v = \sqrt{\frac{(10,13\text{m} - 21,09\text{m} + 110\text{m})}{\frac{1}{2 * 9, \frac{81\text{m}}{\text{s}^2}} + \frac{1,95\text{v}^2}{\text{v}^2} \text{m}}} = 7,03 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\therefore Q = Av = \frac{\pi}{4} (0,16553\text{m})^2 * \frac{7,03\text{m}}{\text{s}} = \frac{0,151\text{m}^3}{\text{s}} = 152 \text{ L/s} \quad (3.7)$$

Por lo tanto, la ecuación anterior arroja un valor de flujo de 152 L/s (2 410 GPM) pasando por la red exterior, hasta llegar a alimentar todos los sistemas, se puede confirmar que este método de tanque por gravedad abastece correctamente los sistemas fijos contra incendios.

Para el caso del tanque, y conocer el volumen que se va a requerir para suplir la demanda de los sistemas con agua propuestos, se debe conocer el caudal del sistema más crítico y multiplicar por un tiempo de 120 min (2 h) ya que es el tiempo requerido para las plantas hidroeléctricas según la NFPA 850. Este volumen se estima con lo siguiente:

- El diseño del sistema de gabinetes está basado en la NFPA 14. Y se diseñó debido a que la autoridad competente, en este caso el BCBCR, solicita un sistema húmedo de gabinetes clase III por la ocupación industrial que presenta la PHLNII. Además, la NFPA 14 solicita 946 L/min (250 GPM) de demanda en el caudal de mangueras y una presión residual de 690 kPa (100 psi). La NFPA 14 solicita realizar el cálculo hidráulico para los dos gabinetes más remotos, más 946 L/min (250 GPM) por cada riser extra; y como se puede ver en la lámina 4 se tienen dos gabinetes Clase III en la planta, pero ningún riser extra, por lo que, para este caso se tendría una demanda de 1 892 L/min (500 GPM), y multiplicado por el tiempo de las dos horas requeridas por la norma, esto representa un volumen de 228 m<sup>3</sup> que deben estar presentes en el tanque.
- Para abastecer el hidrante el BCBCR solicita específicamente un volumen de 114 m<sup>3</sup> en el tanque de incendios por la ocupación de la planta.

Una vez se conoce las demandas en esta sección, se procede a conocer el volumen final que va a requerir el tanque de agua para incendios. Sin embargo, el sistema más



demandante se presenta en el sistema fijo de diluvio en los transformadores, el cual se presenta en la sección anterior, 3.6.1.

En el anexo F.2. se adjuntan las hojas de cálculos con las presiones que el software Autosprink proporcionó para los gabinetes, y donde se puede apreciar que cumple con los 690,0 kPa (100 psi) mínimos requeridos para el cuerpo de bomberos y también para los 137,9 kPa (20 psi) mínimos que se necesitan para el hidrante más crítico del sistema.

### 3.6.3. Diseño del Agente limpio Inergen.

Los cuartos a los cuales se les realizó el diseño de protección por agente limpio fueron los que tienen un riesgo eléctrico y de importancia considerable para la productividad de la planta como lo son el cuarto eléctrico, el cuarto de control y el cuarto de rectificadores. El cálculo y su procedimiento se realizó como se indica a continuación para los cuartos descritos basado en NFPA y los manuales de diseño [48] y [49].

- a. Definir parámetros generales de sitio del diseño.

Para un sistema de gases limpios es importante conocer y utilizar valores propios relacionados a la ubicación de la PHLNII, por esta razón se definen las siguientes condiciones indicadas en el cuadro 3.11.

**Cuadro 3.11.** Parámetros generales de diseño de agente limpio. Fuente: Autores.

<b>Parámetros de diseño</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Unidad</b>
<b>Temperatura mínima</b>	18	°C
<b>Temperatura máxima</b>	30	°C
<b>Altitud sobre nivel del mar</b>	57	m.s.n.m

- b. Cálculo del volumen de cada recinto.

De los cuartos en análisis se tiene que su altura de cielo es de 3,3 m para el cuarto de control y el cuarto de rectificadores y de 3,4 m para el cuarto eléctrico. Todos estos recintos tienen trincheras las cuales permiten el paso del cableado entre los cuartos y equipos en ellos. Como no se cuenta con un método certificado de compartimentación entre el cuarto eléctrico y las trincheras, se considera su volumen para obtener el volumen total requerido

como se muestra en el cuadro 3.12. En este se puede observar el área de cada recinto y su volumen, además del volumen de las trincheras en cada uno para realizar una suma total de volúmenes.

**Cuadro 3.12.** Volúmenes de los cuartos para la protección por agente limpio. Fuente: Autores.

Ubicación	Trincheras				Dimensiones del cuarto			
	Ancho (m)	Profundidad (m)	Longitud total (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Altura de cielo (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Volumen total (m <sup>3</sup> )
<b>Cuarto eléctrico</b>	0,7	0,6	15,2	6,384	156,2	3,4	531,08	562,39
	0,8	0,6	51,08	24,51				
	0,4	0,6	1,7	0,40				
	Total			31,31				
<b>Cuarto de control</b>	0,7	0,6	25,82	10,84	51,1	3,3	168,63	179,47
<b>Cuarto de rectificadores</b>	0,7	0,6	19,15	8,04	29,14	3,3	96,162	104,20

c. Determinar volumen total reducido.

Para este paso es necesario el reducir el volumen que ocupan elementos estructurales sólidos, en los cuales el agente limpio no pueda tener acceso en caso de un incendio. En el caso de los cuartos que se protegieron no existen elementos estructurales y todos los equipos dentro de los cuartos tienen abertura de ventilación que permite el acceso del agente limpio en ellos.

d. Definir la concentración mínima requerida

La concentración mínima requerida está basada en el tipo de fuego que se requiere proteger, y el agente gaseoso que se haya seleccionado tanto por NFPA como por fabricante y por Factory Mutual (FM). La concentración mínima que recomienda NFPA para riesgos eléctricos con inundación total y atmosfera inerte es de 38,5 % de agente por cada 100% de aire en el recinto como se puede apreciar en la Ilustración 3.21, basado en la tabla A.5.4.2.2 (b) de NFPA 2001.

Agente	MEC Clase A	Concentración mínima de diseño Clase A	Concentración mínima de diseño Clase C	MEC Clase B	Concentración mínima de diseño Clase B
FK-5-1-12	3,5	4,5	4,7	4,5	5,9
HFC-125	6,7	8,7	9,0	8,7	11,3
HFC-227ea	5,2	6,7	7,0	6,7	8,7
HFC-23	15,0	18,0	20,3	15,0*	19,5
IG-541	28,5	34,2	38,5	31,25	40,6
IG-55	31,6	37,9	42,7	30,1	39,1
IG-100	31,0	37,2	41,9	33,6	43,7

Nota: Las concentraciones indicadas son a 70 °F (21 °C). Los valores Clase B son para heptano. Los valores de diseño Clase A son los mayores de (1) la concentración de extinción de la Clase A, determinada de acuerdo a 5.4.2.2, por un factor de seguridad 1,2; o (2) la concentración mínima de extinción para el heptano como se determina en 5.4.2.1. Los valores de diseño Clase B tienen un factor de seguridad de 1,3.  
\*La concentración de extinción Clase B listada y aprobada se determina según 5.4.2.2.

**Ilustración 3.21.** Concentraciones mínimas de diseño para agentes limpios. Fuente: [50].

Para los riesgos eléctricos existe una consideración especial que se debe tomar en caso de sobrepasarse un voltaje de 480 V ya que se cataloga un riesgo importante de incendio, por esta razón ni NFPA ni el fabricante hacen referencia a este valor. Por otro lado, la empresa FM tiene un valor definido para esta condición de 57% de concentración de agente en un recinto.

Es importante tomar esta concentración en consideración dentro del cuarto eléctrico ya que es el único cuarto que maneja un voltaje de 13,8 kV proveniente de los generadores.

Al encontrarse esta limitante dentro del proceso de diseño se realizó la consulta con la autoridad con jurisdicción sobre cuál era la concentración de diseño, y se presentó el valor dictado por FM para sus instalaciones por lo que se consideró aceptable.

Por último, NFPA solicita un factor de seguridad para cuando se quiera proteger recintos que incluyan riesgos de incendios en presencia de líquidos inflamables o gases, que no aplica en este diseño.

e. Determinar la cantidad mínima de agente requerida.

La cantidad de agente necesaria se determina utilizando la cantidad de volumen de agente respecto al volumen del recinto, esta relación se conoce como “factor de inundación” y se denota con la letra X la cual se describe en la fórmula 3.8.

$$X = 2,303 \left( \frac{294}{273 + t} \right) \log_{10} \left( \frac{100}{100 - C} \right) \quad (3.8)$$

Donde:

- X (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>): volumen de gas inerte añadido por volumen de espacio del riesgo.
- t (°C): temperatura del cuarto a la cual se quiere determinar el factor de inundación
- C (%): concentración de diseño del gas inerte.

Esta cantidad de agente mínima requerida debe ser a la cual el caso más crítico de cada recinto puede estar presente y esto ocurre en el caso que se alcance la menor temperatura en cada cuarto, ya que es cuando se requiere mayor cantidad de agente para alcanzar esa concentración requerida. Como se menciona anteriormente la temperatura mínima del cuarto determinada fue de 18°C y las concentraciones de diseño serán de 38,5% y 57% de agente por lo que se obtiene entonces el siguiente factor de inundación por cada cuarto mostrado en el cuadro 3.13.

**Cuadro 3.13.** Cantidad mínima de agente limpio requerido por cuarto. Fuente: Autores.

Cuarto	Volumen (m <sup>3</sup> )	Temperatura mínima (°C)	Factor de inundación @ T <sub>min</sub> (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Cantidad mínima requerida de agente (m <sup>3</sup> )
<b>Eléctrico</b>	562,39	18	0,853	479,62
<b>Control</b>	179,47	18	0,491	88,16
<b>Rectificadores</b>	104,21	18	0,491	51,19

La última columna del cuadro 3.13 indica la cantidad mínima de agente requerido el cual será la base para determinar la cantidad de cilindros del agente son necesarios por cada recinto.

f. Aplicar factores de corrección.

Se debe aplicar un factor de corrección a las cantidades de agente requerida basado en la altitud de las instalaciones y factores de diseño que indica NFPA para lo cual se procedió como se indica a continuación.

Para el factor de corrección por altitud se utiliza la tabla 5.5.3.3 para la altitud sobre el nivel del mar del cuarto de máquinas que es de 57 m.s.n.m como se mencionó anteriormente, por lo que se realiza la interpolación en la tabla de NFPA se obtiene un valor de factor de corrección de 0,9924.

Para el caso de los factores de diseño indicados por NFPA se hace hincapié en el factor de diseño por tees en el que se deben contabilizar la cantidad de tees de tuberías dentro del riesgo a proteger, siempre que se tenga una batería de cilindros de alimentación para diferentes riesgos según se indica en la tabla 5.5.3.1 de NFPA 2001. En este caso se tienen baterías de cilindros para cada cuarto por lo que no se consideran las correcciones por tees.

El único factor de corrección que se debe aplicar a cada cuarto es el de la altitud sobre el nivel del mar y se obtuvieron de esta manera los valores indicados en el cuadro 3.14.

**Cuadro 3.14.** Cantidad de agente requerida corregida. Fuente: Autores.

<b>Cuarto</b>	<b>Cantidad mínima requerida de agente (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cantidad de agente corregida a 57 msnm (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Eléctrico</b>	479,62	475,98
<b>Control</b>	88,16	87,49
<b>Rectificadores</b>	51,19	50,80

g. Definir número de cilindros de agente supresor y la cantidad de agente disponible.

Se debe de conocer cuál es la cantidad de agente que se puede obtener en los cilindros que provea el fabricante, el cual ofrece cilindros de hasta un máximo de 12,43 m<sup>3</sup> (453 pie<sup>3</sup>) para los sistemas de 150 bar y de 16,2 m<sup>3</sup> (582 pie<sup>3</sup>) para los sistemas de 200 bar. Se tomaron en consideración ambos sistemas para obtener la menor cantidad de cilindros posible para cada recinto. De esta información se genera el cuadro 3.15 el cual indica la cantidad de cilindros que se necesitan por recinto protegido en la PHLNII al dividir el volumen requerido entre el volumen por cilindro.

**Cuadro 3.15.** Cantidad de cilindros de agente y volumen de agente disponible.

Fuente: Autores.

Cuarto	Volumen total (m <sup>3</sup> )	Factor de inundación total (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Volumen requerido (m <sup>3</sup> )	Volumen por cilindro (m <sup>3</sup> )	Cantidad de cilindros	Volumen de agente disponible (m <sup>3</sup> )
Eléctrico	562,39	0,85	475,98	16,20	30	486,00
Control	179,47	0,49	87,49	12,43	8	99,44
Rectificadores	104,21	0,49	50,80	12,43	5	62,15

También se obtiene del cuadro 3.15 la cantidad de agente disponible para cada cuarto, multiplicando la cantidad de cilindros de cada cuarto por la cantidad de agente disponible por cilindro, esto es importante ya que se debe verificar la cantidad real de agente que ingresará a un cuarto en caso de activarse el sistema que como se puede observar es mayor al requerido por diseño.

h. Determinar el factor de inundación real.

A partir de la cantidad real de agente que se descargará en el cuarto se obtuvo entonces el factor de inundación real de cada cuarto lo que permite saber cuál es la concentración real a diferentes temperaturas. De esta manera se obtiene lo indicado en el cuadro 3.16.

**Cuadro 3.16.** Cálculo del factor de inundación real. Fuente: Autores.

Cuarto	Cantidad de agente disponible (m <sup>3</sup> )	Factor de corrección por 57 msnm	Volumen efectivo del cuarto (m <sup>3</sup> )	Factor de inundación real (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )
Eléctrico	486,00	0,9924	562,39	0,87
Control	99,44	0,9924	179,47	0,56
Rectificadores	62,15	0,9924	104,21	0,60

Considerando el factor de inundación real del cuarto se encuentra la concentración real del cuarto en las temperaturas deseadas mediante la tabla A.5.5.2(f) de NFPA 2001 y se obtiene lo que se muestra en el cuadro 3.17.

**Cuadro 3.17.** Concentraciones reales a diferentes temperaturas. Fuente: Autores

<b>Cuarto</b>	<b>Concentración a <math>T_{\min}</math> (18°C)</b>	<b>Concentración a <math>T_{\text{amb}}</math> (26,5°C)</b>	<b>Concentración a <math>T_{\max}</math> (30°C)</b>
<b>Eléctrico</b>	57,7	58,8	59,1
<b>Control</b>	42,3	42,5	43,8
<b>Rectificadores</b>	44,5	44,7	46,4

- i. Corroborar las concentraciones obtenidas.

La normativa hace especial énfasis en las concentraciones de agente limpio que se alcanzan en un cuarto para cumplir siempre dentro de los límites LOAEL y NOAEL para lo cual se realizó el siguiente análisis.

Las concentraciones que se muestran en el cuadro 3.17 son importantes para definir si esas concentraciones esperadas pueden generar algún efecto adverso o no hacia una brigada de rescate, o personal de las instalaciones, y para verificar que esas van a tener la capacidad de suprimir un incendio. El fabricante ANSUL certifica que su producto de Inergen (IG541) puede trabajar entre concentraciones de 34,2% y 52%. Alcanzando valores de 34,2% se obtienen concentraciones de 13,8% de  $O_2$  y 2,7% de  $CO_2$  el cual equivale a la menor concentración de Inergen necesaria para la mayoría de los combustibles. Por otro lado, alcanzando valores de 52% que representa concentraciones de 10% de  $O_2$  y 4,2% de  $CO_2$  es donde se presentan pequeños efectos a la salud (LOAEL) que está indicado por NFPA 2001 y se evita alcanzar esas concentraciones en espacios que pueden ser ocupados regularmente por personal.

Como se indicó anteriormente, la concentración del cuarto eléctrico desde primera instancia supera el valor de LOAEL para el cual no se recomienda diseñar, pero debido a la alta diferencia de potencial manejada por algunos equipos en este cuarto, se requiere de una concentración mayor y esto explica este comportamiento. Es de suma importancia que el cuerpo de bomberos verifique cual sería la manera de atacar o manejar un fuego en este cuarto debido a esta concentración presente, además que la brigada u operarios de la planta tengan claro que no es posible ingresar a este cuarto si el sistema ha descargado el agente supresor. Por otro lado, los otros cuartos presentan valores aceptados por la normativa que no produzcan efectos adversos a los ocupantes del cuarto siempre tomando en consideración

que en cualquier cuarto que se haya descargado un agente como el Inergen la norma recomienda no permanecer dentro del mismo por un máximo de 5 min como se indica en el apartado 1.5.1.3 de NFPA 2001. En la Ilustración 3.22 se observan los niveles de bajo efecto o LOAEL y los niveles sin efectos o NOAEL que se deben considerar para el Inergen o IG-541.

**Tabla A.1.5.1.3(c) Efectos fisiológicos para los agentes gaseosos inertes**

Agente	Nivel sin efectos * (%)	Nivel de bajo efecto * (%)
IG-01	43	52
IG-100	43	52
IG-55	43	52
IG-541	43	52

\*Basado en efectos fisiológicos sobre humanos en atmósferas hipotóxicas. Estos valores son los equivalentes funcionales del NOAEL y LOAEL y corresponden al 12% mínimo de oxígeno para el nivel sin efectos y un 10% mínimo de oxígeno para el nivel de bajo efecto.

**Ilustración 3.22.** Concentraciones de gases limpios considerados para efectos fisiológicos en personas. Fuente: [50]

- j. Calcular el tiempo de descarga del 95% del agente

La normativa solicita que el 95% del agente gaseoso que es necesaria para alcanzar la concentración mínima de diseño para suprimir un incendio clase C sea de 120 s por lo que se verificó esta condición de operación.

El fabricante ANSUL determina cual es el tiempo para alcanzar esta concentración con base en el tiempo que se necesita para obtener el 90% del total de agente disponible a la temperatura ambiente promedio del recinto a proteger. Esto porque el 10% restante presenta mucha inestabilidad en la presión y caudal de descarga. Ahora bien, es importante recordar que la cantidad de agente disponible siempre será mayor a la mínima requerida por cuarto, por esta razón se define por el fabricante que descargando el 90% de la cantidad total de agente se alcanza el 95% de concentración mínima deseada. Estos valores se pueden observar en el cuadro 3.18 donde el tiempo en el que se alcanza descargar el 95% del agente necesario para la concentración mínima es indicada por el programa de cálculo utilizado.



**Cuadro 3.18.** Tiempo de descarga de agente Inergen. Fuente: Autores

<b>Cuarto</b>	<b>Tiempo de descarga del 95% (s)</b>
<b>Eléctrico</b>	113
<b>Control</b>	88
<b>Rectificadores</b>	90

Al momento de realizar la instalación del sistema y la sincronización con el sistema de alarma siempre resulta importante considerar el tiempo de retardo que puede requerir cada sistema, según sean las condiciones específicas de operación de cada cuarto y del proceso de generación que existe en la planta.

- k. Determinar el caudal de cada sistema de supresión y el tamaño del reductor de presión en el manifold.

Se realizó un análisis de caudal para poder escoger bien el reductor de presión de descarga respecto a los requerimientos de presión-ventilación y los diámetros de tubería.

Para lograr esto se debe multiplicar la cantidad de agente disponible o inyectada del recinto y obtener su 90% y dividirlo entre el tiempo de descarga en s obtenido mediante el software de diseño.

**Cuadro 3.19.** Tiempo de descarga de sistemas de Inergen. Fuente: Autores.

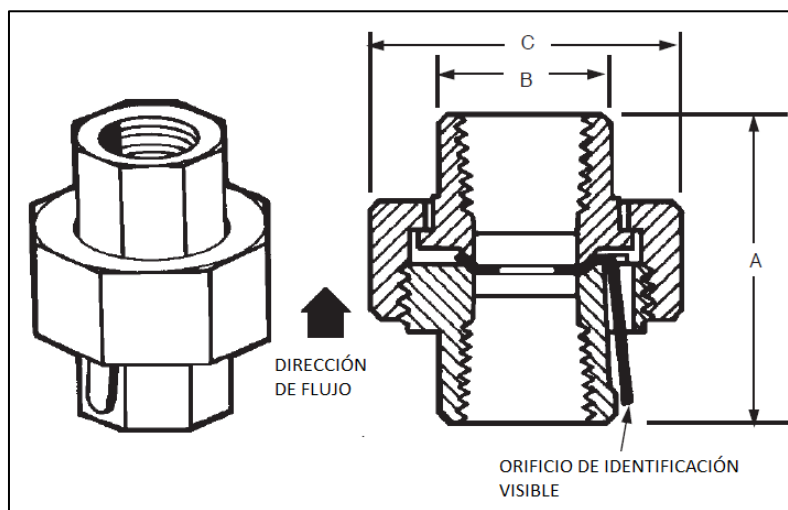
<b>Cuarto</b>	<b>Cantidad de agente entregada (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tiempo total de descarga 90% (s)</b>	<b>90% de agente (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Caudal del sistema (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>Eléctrico</b>	486,00	86,70	437,40	5,04
<b>Control</b>	99,44	108,70	89,49	0,82
<b>Rectificadores</b>	62,15	132,00	55,93	0,42

A partir de esta información obtenida en el cuadro 3.19 se determina cual es la dimensión del reductor de presión que es necesario aguas abajo del conjunto de manifold de descarga de los cilindros de agente gaseoso. De esta manera se obtuvieron los datos que se muestran en el cuadro 3.20.

**Cuadro 3.20.** Dimensión recomendada del reductor de presión. Fuente: Autores.

Cuarto	Caudal del sistema (m <sup>3</sup> /s)	Tamaño recomendado (mm)
Eléctrico	5,04	65
Control	0,82	25
Rectificadores	0,42	19

En la Ilustración 3.23 se puede observar cómo es el reductor de presión, al definir el tamaño nominal del reductor se determinan las cotas A, B y C que se muestran en la ilustración.



**Ilustración 3.23.** Reductor de presión para sistema de agente Inergen. Fuente: [48]

1. Definir la cantidad de boquillas en cada cuarto y el caudal de cada una.

Las boquillas son determinadas específicamente por cada fabricante y al cual su sistema esté listado, es importante que cada boquilla pueda manejar la presión y caudal que se requiere para cada recinto y que existan las suficientes para generar una inundación total del recinto de la manera más efectiva posible.

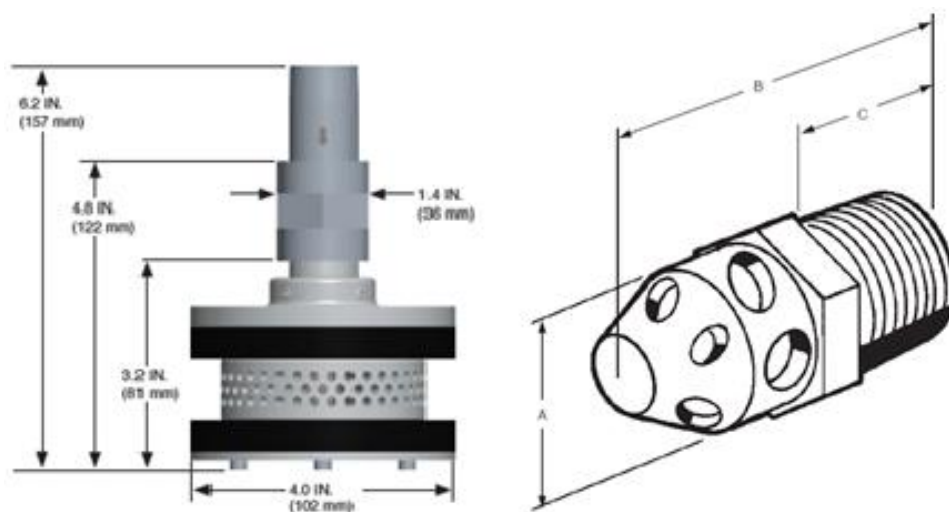
El fabricante ANSUL indica que sus boquillas tienen una cobertura lineal máxima de 9,8 m (32 pies) para lo cual, considerando las dimensiones de cada cuarto a proteger se obtienen las siguientes cantidades de boquillas, como se observa en el cuadro 3.21.

**Cuadro 3.21.** Cantidad de boquillas requeridas por cuarto. Fuente: Autores

Cuarto	Largo (m)	Cantidad de boquillas	Ancho (m)	Cantidad de boquillas	Cantidad total de boquillas	Tipo de boquilla
Eléctrico	13,5	2	11,0	2	4	360° estándar
Control	8,3	1	6,2	1	1	360° acústica
Rectificadores	6,2	1	4,7	1	1	360° estándar

Por las dimensiones del cuarto, su distribución de cielos y capacidad de boquilla se determina entonces la cantidad por recinto, y además se definen que tipo de boquillas serán las indicadas para cada cuarto.

Se puede observar que se recomendó la boquilla 360° acústica para el cuarto de control esto ya que la descarga del agente genera un ruido agudo y se ha demostrado que puede afectar circuitos pequeños como por ejemplo circuitos dentro de un disco duro por lo que se recomienda utilizar en este caso. En la ilustración 3.24 se puede observar propiedades físicas de la boquilla acústica y de la boquilla estándar.



**Ilustración 3.24.** Boquilla acústica 360° (izquierda) y 360° estándar (derecha) de agente Inergen. Fuente: [48]

m. Definir el caudal que necesita cada boquilla para descargar el 90% de agente.

Es importante también determinar de manera aproximada cuál será el caudal de cada cuarto y boquilla que está dentro de cada cuarto en el caso de que haya varias en cada uno, esto porque el cuarto de control y el de rectificadores solo existe una boquilla, todo el caudal del cuarto pasará por ella como se observa en el cuadro 3.22. El caudal real que entregue cada boquilla se determina por el software de cálculo hidráulico.

**Cuadro 3.22.** Caudal requerido por boquilla al descargar el 90% de agente total.

Fuente: Autores.

<b>Cuarto</b>	<b>90 % Volumen de agente real (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tiempo total de descarga 90% (s)</b>	<b>Caudal del 90% de agente (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Caudal de cada boquilla(m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>Eléctrico</b>	437,4	86,7	5,04	1,26
<b>Control</b>	89,5	108,7	0,82	0,82
<b>Rectificadores</b>	55,9	132	0,42	0,42

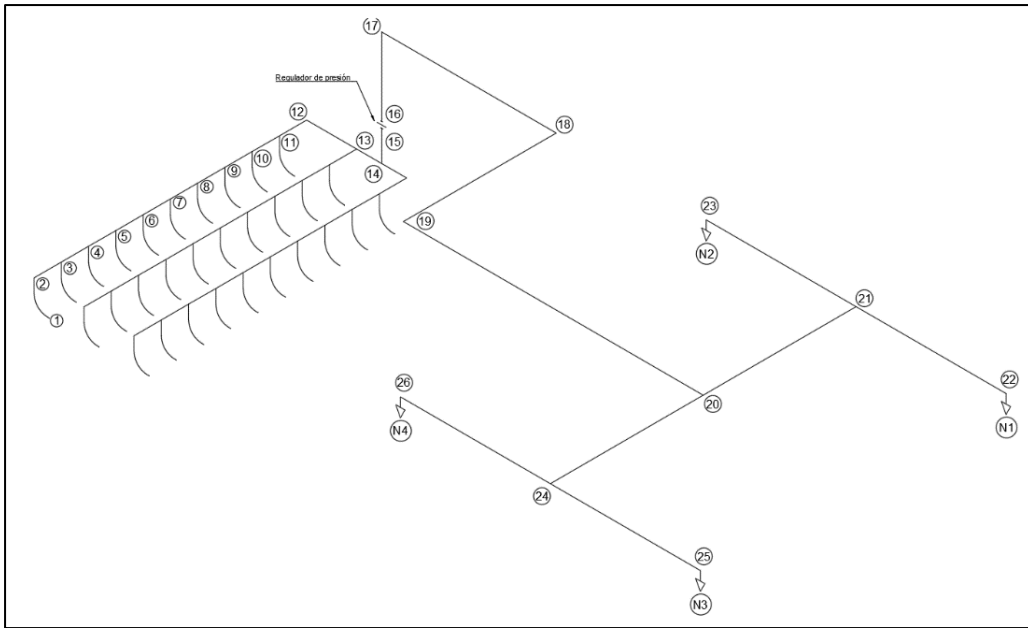
n. Ubicación de boquillas, distribución de tuberías e isométrico del sistema.

En este paso de diseño se retomaron varias recomendaciones realizadas por el fabricante del sistema como se mencionan a continuación:

- Preferiblemente ubicar el reductor de presión de cada manifold, lo más cercano a los cilindros para evitar utilizar tuberías con una cédula mayor de tubería.
- Considerar la presión del manifold en 150 bar y 200 bar respectivamente.
- No utilizar una diferencia de altura entre las boquillas y los cilindros, o entre boquillas de un mismo recinto colocadas a diferentes alturas, de más de 30,5m.

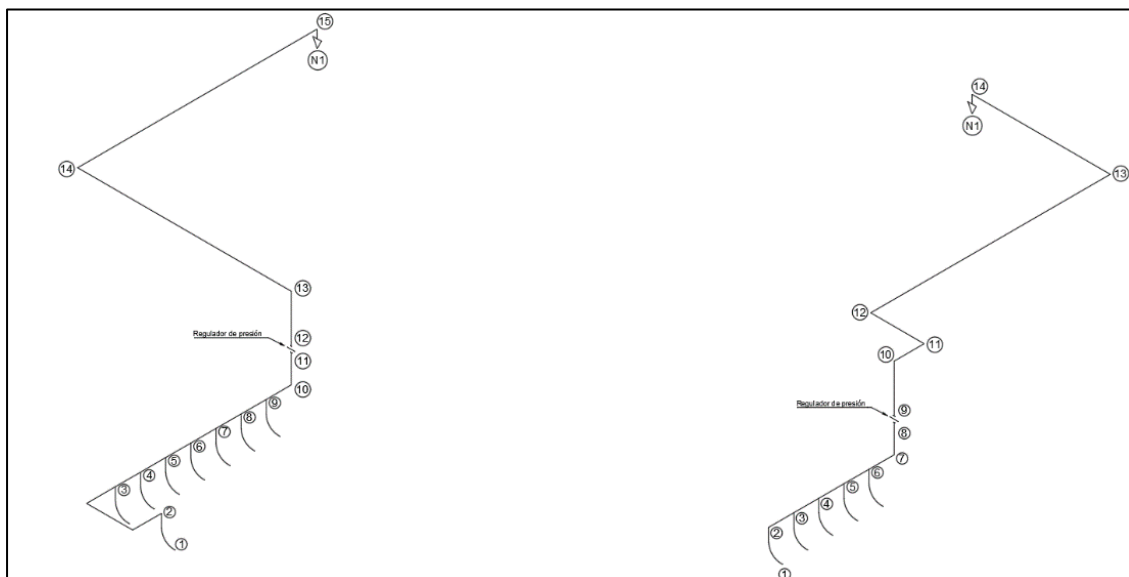
A partir de estas consideraciones y la cantidad de boquillas necesaria para cada cuarto se realizó la distribución de las tuberías desde la batería de cilindros hasta cada cuarto, durante esta ruta se numeraron los nodos para poder realizar el cálculo de caída de presión.

En la ilustración 3.25 se muestra cual es el isométrico definido para poder realizar el cálculo de caída de presión para el cuarto eléctrico.



**Ilustración 3.25.** Distribución de tubería desde batería de cilindros hasta boquillas de cuarto eléctrico. Fuente: Autores.

Por otro lado, en la ilustración 3.26 se observa la distribución de nodos tanto para el cuarto de control como para el cuarto de rectificadores utilizado para realizar el cálculo hidráulico de caída de presión.



**Ilustración 3.26.** Distribución de tubería desde batería de cilindros hasta boquillas de cuarto de control (izquierda) y de rectificadores (derecha). Fuente: Autores.

Los diámetros de cada tramo de tubería se pueden observar en la lámina 8, todo seleccionado con base en el caudal máximo especificado por el fabricante. El cuadro 3.23 indica un resumen del cálculo realizado mediante el software ANSUL INERGEN DESIGNER (diseñador de inergen ansul) de la condición de operación de las boquillas.

**Cuadro 3.23.** Boquillas y diámetro de orificio de las boquillas. Fuente: Autores.

<b>Cuarto</b>	<b>Identificación de boquilla</b>	<b>Diámetro de orificio de la boquilla en mm (")</b>	<b>Presión de descarga (kPa)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>Eléctrico</b>	N1	18,24 (23/32)	5 137	1,99
	N2	18,24 (23/32)	5 137	1,99
	N3	18,24 (23/32)	5 137	1,99
	N4	18,24 (23/32)	5 137	1,99
<b>Control</b>	N1	15,87 (5/8)	4 000	1,16
<b>Rectificadores</b>	N1	11,51 (29/64)	3 751	0,59

Resulta importante aclarar que los diámetros de orificio de boquilla no son indicados por fabricante en su método de cálculo, por lo que es realizado únicamente por el software. Este diámetro debe ser indicado en la orden de solicitud a fábrica para que el orificio se incluya en las boquillas para la entrega del sistema.

- o. Estimar los diámetros de tubería.

Se indica por parte el fabricante el estimar cuales serían los posibles diámetros de tubería que alimentarían a las boquillas desde la batería de cilindros. Para esto se indica en el manual de diseño una tabla que determina el diámetro basado en el caudal y la longitud de la tubería. También se debe indicar cuál sería la cédula de tubería que puede manejar la presión de diseño de los sistemas para lo cual la normativa indica que debe de cumplir con esta presión. Por otro lado, el fabricante indica cédulas de tubería de acero aceptados para presiones y el uso de sistemas de inergen, los cuales incluyen cédula 40, 80 y 160 que deberían de tomarse en consideración. Parte de las recomendaciones de diseño mencionan la ubicación del regulador de presión del manifold lo más cercano a los cilindros para evitar de esta manera el uso de cédulas de tubería mayores para distancias más grandes como se puede observar del cuadro 3.24.

A partir de esta información se genera el cuadro 3.24 que indica cual es el diámetro estimado de tubería tomando en consideración los nodos de tubería indicados en la lámina 8 de los planos que corresponde a los isométricos de los sistemas de agente Inergen.

**Cuadro 3.24.** Diámetros de tuberías para sistema de agente limpio. Fuente: Autores.

Cuarto	Nodos	Diámetro estimado en mm (")	Cédula de tubería	Descripción	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Longitud (m)
<b>Eléctrico</b>	1 - 16	65 (2,5)	160	Manifold	5,04	-
	16 - 20	65 (2,5)	80	Tramos de tubería	5,04	tramos < 6
	20 - 21	50 (2,0)	80	Tee bifurcación	2,52	< 6
	21 - N1	32 (1 1/4)	80	Tubería	1,26	< 6
	21 - N2	32 (1 1/4)	80	Tubería	1,26	< 6
	20 - 24	32 (1 1/4)	80	Tee bifurcación	2,52	< 6
	24 - N3	32 (1 1/4)	80	Tubería	1,26	< 6
	24 - N4	32 (1 1/4)	80	Tubería	1,26	< 6
<b>Control</b>	1 - 12	32 (1 1/4)	80	Manifold	0,82	-
	12 - 13	25 (1,0)	40	Tubería	0,82	< 6
	13 - 14	25 (1,0)	40	Tubería	0,82	< 6
	14 - N1	25 (1,0)	40	Tubería	0,82	< 6
<b>Rectificadores</b>	1 - 9	25 (1,0)	80	Manifold	0,42	-
	9 - 10	19 (3/4)	40	Tubería	0,42	< 6
	10 - 11	19 (3/4)	40	Tubería	0,42	< 6
	11 - 12	19 (3/4)	40	Tubería	0,42	< 6
	12 - 13	50 (2,0)	40	Tubería	0,42	> 6
	13 - N1	19 (3/4)	40	Tubería	0,42	< 6

Del cuadro anterior es importante aclarar que esto es un paso de estimación el cual debe ser corroborado con el cálculo realizado con software para determinar si estas estimaciones cumplen con el tiempo solicitado por la normativa y la presión requerida por la boquilla de descarga de agente. El software es el único método listado y certificado que se acepta como válido para estas estimaciones.

Es importante también indicar que la normativa NFPA solicita que toda tubería hierro negro debe cumplir con las presiones utilizadas en el sistema para lo que el fabricante hace referencia a las tuberías que cumplan la normativa ASTM-A53 además de los accesorios de cambios de dirección que deben ser clase 300 o mayores que cumplan con la normativa ANSI B-16.3, también se indica que los accesorios del manifold de cilindros deben ser clase 2 000 o 3 000 cumpliendo con ANSI B-16.11.

Por último, para las consideraciones de soportes para tubería se utilizan las recomendaciones del fabricante donde se indica lo que se muestra en el cuadro 3.25 para las tuberías utilizadas en el diseño de los sistemas.

**Cuadro 3.25.** Soportería de tubería pasa supresión por agente de Inergen. Fuente: Autores.

Diámetro nominal de tubería mm (")	Máximo espaciamiento entre soportes (m)
25 (1)	3,7
≥40 (1½)	4,6

p. Calcular el área requerida para liberación de presión del cuarto.

El ingreso de agente limpio al cuarto que se va a proteger genera una disminución de oxígeno en el cuarto ya que desplaza el porcentaje de agente que se requiere en el cuarto para alcanzar la concentración de diseño. Al desplazarse este oxígeno inyectando inergen dentro del cuarto se genera más presión dentro del mismo, por esta razón es necesario realizar un cálculo de liberación de presión y evitar sobrepresiones no deseadas.

Para esto el software de diseño realiza una relación entre el caudal de agente que ingresa a cada cuarto y la resistencia estructural del cuarto, para lo cual se utiliza el término de caudal pico que se obtiene como se indica en la siguiente ecuación 3.9.

$$Q_p = 2,7 \times \frac{Q_{90\%}(m^3)}{T_{90\%}(s)} \quad (3.9)$$

Y el valor del área requerida para la liberación de presión utilizando un valor recomendado de 19,5 kg/m<sup>2</sup> de resistencia de las paredes de los cuartos, se determina con la siguiente ecuación 3.10.

$$A(in^2) = \frac{0,0855 \times Q_p(ft^3/min)}{\sqrt{P(lb/ft^2)}} \quad (3.10)$$

Al realizar las conversiones necesarias a unidades del sistema internacional se obtienen los siguientes datos de áreas recomendadas para liberación de presión de cada cuarto que se observan en el cuadro 3.26.



**Cuadro 3.26.** Área de abertura necesaria para ventilación de cada cuarto. Fuente: Autores.

<b>Cuarto</b>	<b>90% Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tiempo descarga 90% (s)</b>	<b>Caudal pico en la abertura (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Área requerida en la abertura (m<sup>2</sup>)</b>
<b>Eléctrico</b>	437,40	86,70	13,60	0,80
<b>Control</b>	89,50	108,70	2,22	0,13
<b>Rectificadores</b>	55,94	132,00	3,14	0,07

Es importante tomar en cuenta nuevamente que este cálculo es una aproximación a lo que se indicará por el programa de diseño el cual es el procedimiento listado para obtener los resultados de supresión deseados en cada cuarto que se quiera proteger.

q. Determinar la cantidad de actuadores piloto

Por último, se realizó la selección de cantidad de actuadores piloto para cada manifold de cilindros basado en el caudal requerido por sistema como se aprecia en el cuadro 3.27 y definido por el fabricante para asegurar la descarga total de agente necesaria en el cuarto.

**Cuadro 3.27.** Actuadores piloto requeridos. Fuente: Autores.

<b>Cuarto</b>	<b>Caudal total (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Actuadores piloto requeridos</b>
<b>Eléctrico</b>	5,04	3
<b>Control</b>	0,82	1
<b>Rectificadores</b>	0,42	1

Esta cantidad de actuadores piloto permite asegurar por parte del fabricante que el sistema activará por completo los cilindros que se necesitan para alcanzar la concentración en cada cuarto. Si no existiesen la cantidad de actuadores piloto que requiere el fabricante la presión de 1 solo actuator no permitiría la activación del manifold completo como lo sería en el caso del cuarto eléctrico.

### **3.6.4. Diseño del sistema de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>.**

Siguiendo la NFPA 12 versión 2011, describe que el dióxido de carbono tiene dos modos de aplicación, estos son: inundación total o aplicación local; en la sección 5.1.2 menciona que, la extinción de fuegos por inundación total se utiliza donde hay un encerramiento permanente alrededor del peligro haciendo posible que la concentración requerida de CO<sub>2</sub> se mantenga durante el tiempo requerido, y en la sección 6.1.2 explica que para la extinción de fuegos superficiales en líquidos inflamables, gases y sólidos poco profundos donde el peligro no está encerrado debe implementarse un sistema de aplicación local, respectivamente.

En este proyecto se hace uso de los dos tipos de aplicación que se mencionaron anteriormente, siendo inundación total utilizado dentro de los generadores y aplicación local para las unidades de lubricación y oleo-hidráulicas.

A continuación, se presenta un paso a paso de los cálculos respectivos para cada unidad:

#### Diseño para los generadores:

##### a. Clasificación del tipo de incendio

En el inciso 9.3.7 de la NFPA 12, se indica que los espacios para equipo eléctrico deben ser tratados como un peligro eléctrico seco en concordancia con los sistemas de inundación total del capítulo 5, dado que el generador cuenta con una carcasa que lo convierte en un espacio encerrado cuenta con las características para instalar un sistema de inundación total, que consiste en colocar boquillas dentro del espacio encerrado, las cuales están conectadas por medio de tuberías fijas a un suministro de CO<sub>2</sub> permanente.

El sistema de inundación total se divide en dos categorías basadas el tipo de incendio que se puede producir según indica la NFPA 12, que pueden ser incendios de superficie o incendios profundos, el inciso 5.2.3 de esta norma explica que, los incendios de superficie involucran líquidos inflamables, gases y sólidos, y los incendios profundos involucran sólidos que están sujetos a fuego latente. [20]

Para este caso se acudió a al anexo A.5.2.3 de la NFPA 12, donde se amplía más este tema, lo cual permitió definir que, debido a la importancia de los generadores y que a pesar de que presenta una mayor caracterización para categorizarlo en fuegos superficiales, existe la posibilidad de que algún componente dentro del mismo adopte una condición de fuego

profundo, como lo es la resina y el fieltro de poliéster que se utiliza para aislar algunos elementos del estator, y por ello es recomendable hacer el diseño de CO<sub>2</sub> para fuego profundo, dado que si existe probabilidad de que suceda es mejor cubrirlo, debido al costo que representaría para la empresa la pérdida del generador.

Para el diseño del sistema de CO<sub>2</sub> clasificado como incendio profundo, se utilizó como guía principal el capítulo 5 de la NFPA 12 y el manual de diseño de sistemas de CO<sub>2</sub> de alta presión de la marca Ansul, que también utiliza como base la NFPA 12. Esta norma menciona dos descargas, la inicial, donde se alcanza la concentración de diseño y la descarga extendida, que debe mantenerse por un tiempo no menor a 20 minutos y considerar cualquier posible fuga.

#### b. Cálculo de la descarga inicial

El requisito de la descarga inicial, según NFPA 12 5.5.2.3 es alcanzar la concentración de diseño en un tiempo máximo de 7 minutos, pero en 2 minutos el 30% de la concentración ya debe estar desarrollada. Por lo tanto, se seleccionan 240 s (4 min) para la descarga inicial, en ese tiempo ya se alcanzará la concentración de diseño requerida, y considerando una descarga con un flujo uniforme; a los 120s (2 min) de iniciada la descarga se tendrá el 50% de la concentración, sobrepasando el 30% solicitado por la norma.

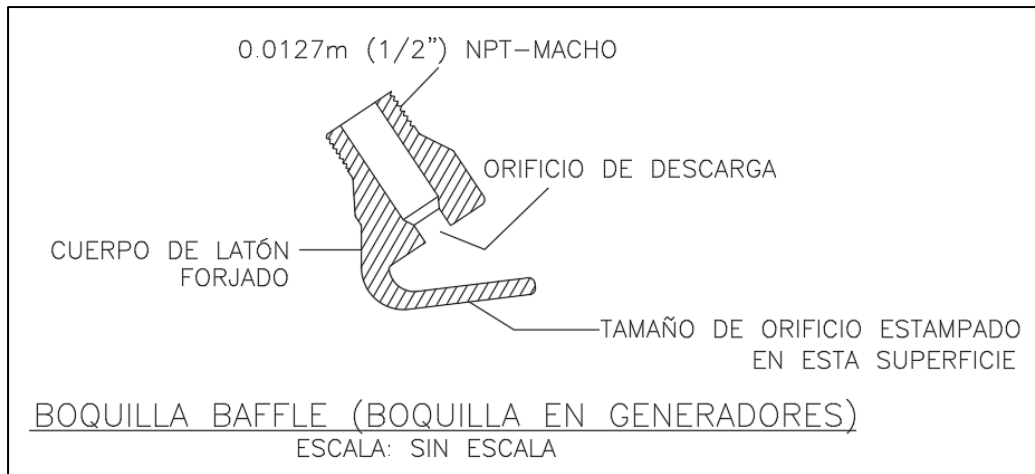
Para definir el factor de volumen de CO<sub>2</sub> de la descarga inicial, con el que se calcula la cantidad mínima de agente requerido, se tienen dos opciones, la sección A.5.5.3 explica que para proteger áreas menores a 56,6 m<sup>3</sup>, como lo es este caso, ya que cada generador ocupa un volumen de 36,14 m<sup>3</sup>, no debe ser menor a 0,45 kg de CO<sub>2</sub> por cada 0,28 m<sup>3</sup>, es decir, al multiplicar estos dos valores, se obtiene un factor de volumen de 1,61 kg/m<sup>3</sup>. Esto se verifica con la segunda opción que da la norma, que es una tabla de factores de inundación para peligros específicos, donde se contempla el caso peligros eléctricos con un volumen menor a 56,6 m<sup>3</sup>, siendo prácticamente el mismo valor obtenido anteriormente, esta tabla se observa como la ilustración 3.27 donde también se indica que la concentración de diseño de 50%.

Concentración de Diseño	Factor de Volumen				Peligro Específico
	pie <sup>3</sup> /lb CO <sub>2</sub>	m <sup>3</sup> /kg CO <sub>2</sub>	lb CO <sub>2</sub> /pie <sup>3</sup>	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	
50	10	0.62	0.100	1.60	Peligros eléctricos secos en general [Espacio 0-2000 pies <sup>3</sup> (56.6 m <sup>3</sup> )]
50	12	0.75	0.083 (200 lb mínimo)	1.33 (91 kg mínimo)	Peligros eléctricos secos en general [Espacios mayores de 2000 pies <sup>3</sup> (56.6m <sup>3</sup> )]
65	8	0.50	0.125	2.00	Almacenaje de archivos (papel al granel), ductos, zanjas cubiertas
75	6	0.38	0.166	2.66	Bóvedas de almacenaje de pieles, recolectores de polvo.

**Ilustración 3.27.** Concentraciones de diseño para la descarga inicial del CO<sub>2</sub>. Fuente [20]

Con estos valores ya definidos y con la concentración definida en la Ilustración 3.27, se puede calcular la cantidad de CO<sub>2</sub> requerido al multiplicar el volumen a proteger por el factor de volumen, obteniendo como resultado 58,08 kg de CO<sub>2</sub> para la descarga inicial. Utilizando dos cilindros de 34 kg (75 lb) cada uno, se estarían suministrando en total 68 kg de CO<sub>2</sub> para la descarga inicial.

Con los datos ya conocidos se procedió a realizar la selección de boquillas, en la sección 4.7.4 de la norma se menciona que las boquillas de descarga deben ser para el uso esperado, listadas o aprobadas para las características de descarga, por lo tanto, se acudió al manual de Ansul para conocer las boquillas que ofrecen y seleccionar la que más se adecue al riesgo que se desea proteger, para este caso se seleccionaron boquillas tipo Baffle como la que se puede observar en la ilustración 3.28, que son especialmente diseñadas para inundación total, provee una descarga en abanico de 180°, lo que permite una descarga de gas rápida y eficiente, comúnmente utilizada para cuartos y áreas encerradas. Estas boquillas suministran un flujo de 0,28 kg/s, que se obtiene de dividir los 68 kg del dióxido de carbono CO<sub>2</sub> entre los 240 s. Colocando dos boquillas, cada una suministra 0,14 kg/s.



**Ilustración 3.28.** Boquilla tipo Baffle utilizada para descargar en los generadores. Fuente: [51]

c. Cálculo de la descarga extendida

También se definieron los parámetros para la descarga extendida, que mantendrá la concentración inicial por al menos 20 minutos, como se mencionó. Utilizando la tabla A.5.5.3(b) suministrada por la NFPA 12, la cual se aprecia en la ilustración 3.29, donde al tener los 1 200 s (20 min) de tiempo y 36,14 m<sup>3</sup> de volumen, la cantidad requerida de CO<sub>2</sub> es de 91,8 kg (200 lb), utilizando dos cilindros de 45,4 kg (100 lb) se alcanza cubrir la descarga extendida. El flujo descargado es de 0,076 kg/s, el cual se obtiene de dividir los 90,8 kg de CO<sub>2</sub> entre los 1 200 s. Con una cantidad de dos boquillas también tipo Baffle.

**Tabla A.5.5.3(b) Descarga prolongada para equipo eléctrico rotatorio recirculante encerrado (Metros cúbicos protegidos durante el tiempo de desaceleración) (Unidades SI)**

lb CO <sub>2</sub>	Tiempo (minutos)							
	5	10	15	20	30	40	50	60
45.4	34.0	28.3	22.6	17.0	14.2	11.3	8.5	5.7
68.1	50.9	42.5	34.0	28.3	21.2	17.0	14.0	11.3
90.8	67.9	55.2	45.3	36.8	28.3	24.1	18.4	14.2
113.5	93.4	69.3	56.6	46.7	36.8	29.7	22.6	17.0
136.2	130.2	87.7	67.9	56.6	46.7	36.8	28.3	19.8
158.9	172.6	116.0	84.9	70.8	56.6	46.7	34.0	25.5
181.6	217.9	152.8	107.5	89.1	70.8	56.6	45.3	34.0
204.3	261.8	192.4	138.7	113.2	87.7	73.6	59.4	45.3
227.0	305.6	229.2	172.6	141.5	110.4	93.4	79.2	62.3
249.7	348.1	268.9	209.4	172.6	138.7	118.9	101.9	87.7
272.4	393.4	308.5	243.4	203.8	169.8	147.2	127.4	110.4
295.1	435.8	348.1	278.8	234.9	199.5	175.5	155.7	135.8
317.8	478.3	384.9	314.1	266.0	229.2	203.8	181.1	158.5

**Ilustración 3.29.** Datos utilizados para obtener los kg de CO<sub>2</sub> necesarios para la descarga extendida. Fuente: Autores.

Es importante destacar que la NFPA 12 versión 2011 en español, que es la que se está utilizando para este diseño, tiene un error de escritura en esta tabla A.5.5.3(b) ya que aparece en las unidades de masa las libras, pero en realidad son kilogramos, esto se confirma al revisar las versiones más recientes en inglés, además de observar que en el título de la tabla hace referencia a las unidades del sistema internacional (SI) tal como se muestra en la ilustración 3.29.

Las baterías de cilindros que se mencionaron deben colocarse en un bastidor según indica NFPA 12 4.6.5.4. con el fin de darles soporte a la hora de la descarga.

#### d. Cálculo de venteo

Para espacios cerrados la norma indica que se debe calcular un área de venteo, donde se libere presión de los vapores inflamables y de la misma descarga del CO<sub>2</sub>, para el cálculo de esta área dan la siguiente ecuación 3.11.

$$X = 239 \frac{Q}{\sqrt{P}} \quad (3.11)$$

Donde X sería el área de ventilación dado en mm<sup>2</sup>, Q es el flujo de dióxido de carbono dado en kg/min y P es la resistencia admisible del recinto en kPa.

El dato de la resistencia admisible es desconocido, lo único que se pudo rescatar de las fichas técnicas del generador es que el material de la carcasa es de acero, por lo tanto se realizó una búsqueda sobre la resistencia de los aceros y se encontró que oscilan entre los 400 y 550 MPa para acero estructural al carbono normado por la ASTM A36/A36M-19, que tiene como alcance placas de calidad estructural para su uso en la construcción remachada, atornillada o soldada de puentes y edificios y también para fines estructurales generales. Entonces se selecciona la menor resistencia, que es de 400 MPa dando como resultado el área de venteo máxima que requerirá el generador, en todo caso, esta área podría reducirse al realizar el estudio de resistencia a la carcasa del generador, también para el flujo descargado se suma tanto la descarga inicial de 17 kg/min como la descarga extendida de 4,54 kg/min.

Entonces sustituyendo los valores de la ecuación 3.11, se obtiene que:

$$X = 239 \frac{21,54}{\sqrt{400000}} = 8,14 \text{ mm}^2$$

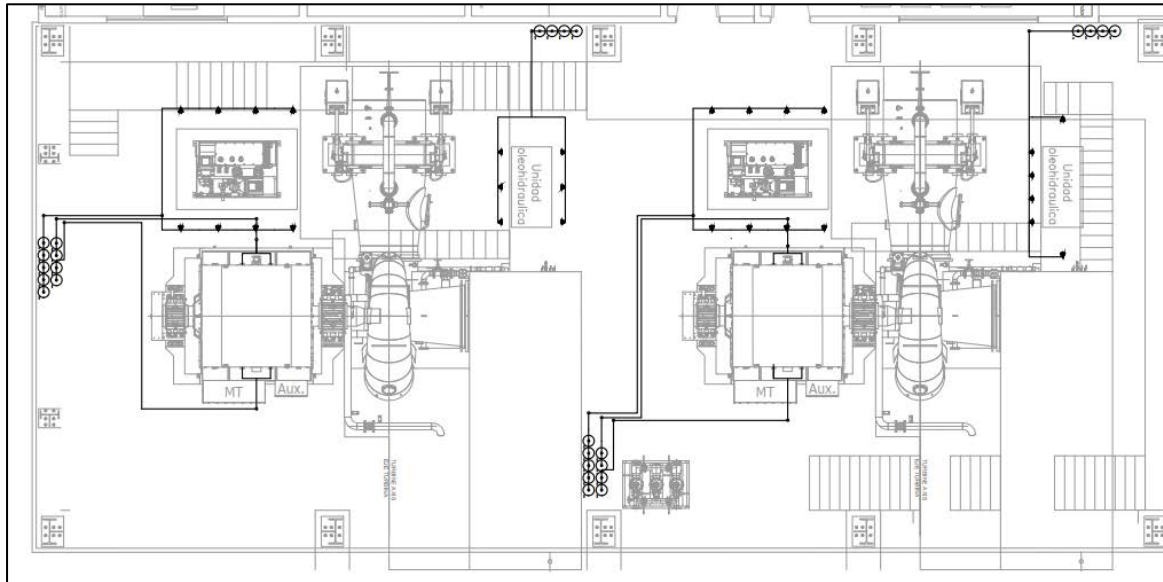
Se requiere como máximo un área de venteo de 8,14 mm<sup>2</sup>, con la que se protege de daños por altas presiones a la unidad generadora.

#### e. Materiales de la tubería

El material de la tubería es hierro negro que es permitido por la NFPA 12 para los sistemas de CO<sub>2</sub>, la cual es muy comercial dentro del mercado costarricense, esta tubería debe ser ASTM 53, además se utiliza acero inoxidable TP304 para conexiones roscadas o soldadas, se recomienda que sea tubería roscada para que se pueda desarmar fácilmente si el mantenimiento del generador así lo requiere, esto es posible dado que bomberos permitió poder desarmar la tubería cuando fuera necesario siempre y cuando el motivo sea por mantenimiento y se diera el aviso respectivo al 911 para avisar que el sistema de CO<sub>2</sub> se encuentra fuera de funcionamiento, de igual manera cuando se vuelve a colocar la tubería se debe hacer la notificación a bomberos de que el sistema ya se encuentra en funcionamiento, esta notificación se debe hacer porque así bomberos toma como máxima prioridad cualquier llamado de PHLNII por incendio, también es importante observar que a la hora del mantenimiento el generador no va a estar funcionando, por lo que el riesgo de incendio es muy poco probable o casi nulo. También es posible colocar accesorios bridados clase 600 si no quisieran utilizar los roscados y para uniones roscadas se recomienda como mínimo acero forjado clase 2000.

Además, la norma específica que la tubería con diámetro igual o menores a 0,020 m (<sup>3</sup>/<sub>4</sub> de pulgada) puede utilizar cedula 40, sin embargo, cuando el diámetro va de 0,025 m (1 pulgada) a 0,10 m (4") se utiliza una cédula 80 como mínimo. La distribución de la tubería se realiza, como se puede apreciar en la ilustración 3.30, en su mayoría, por el área de las trincheras con la intención de reducir las posibles obstrucciones que estas puedan generar dentro del cuarto de turbinas - generadores y así evitar problemas durante el mantenimiento de los equipos, de esta misma forma se realiza la distribución de las baterías de cilindros con CO<sub>2</sub>, colocándolos en espacios donde no den problemas a la hora del mantenimiento de equipos. No se consideró realizar una sola batería de cilindros que cubriera el riesgo más alto porque al descargarse el sistema de CO<sub>2</sub> en una sola unidad, las demás unidades quedarían desprotegidas y la idea con este sistema es maximizar la protección de toda el

área, también se consideró proteger todas las unidades de manera independiente porque la recarga del CO<sub>2</sub> podría tardar varios días en recargarse, primeramente por trámites administrativos de compra de CO<sub>2</sub> y también conociendo la localización del lugar se sabe que no es un sitio de fácil acceso lo que podría retrasar la recarga del sistema.



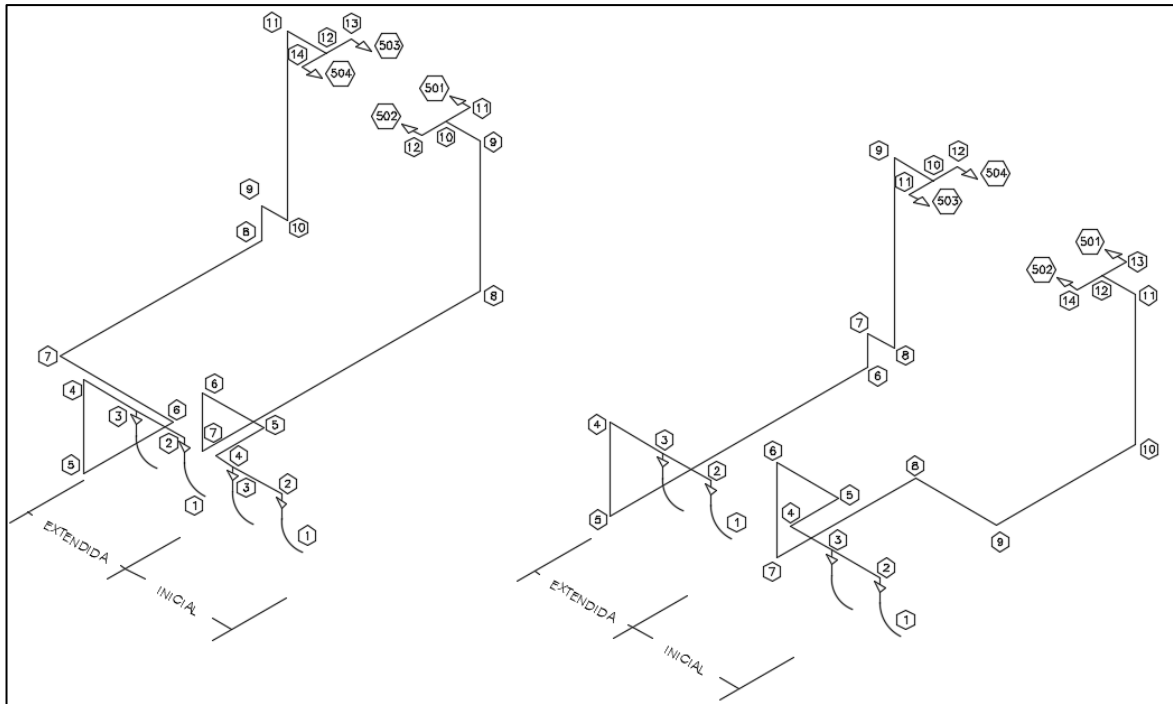
**Ilustración 3.30.** Distribución de tubería del sistema de CO<sub>2</sub>. Fuente: Autores.

La ilustración 3.30 es un extracto de la lámina 7 de los planos adjuntos, donde se puede apreciar de mejor manera cualquier detalle.

#### f. Cálculos con software

El cálculo de presiones, diámetro del orificio de la boquilla y la comprobación de diámetros de tubería se realizan por medio del software de Ansul/Tyco llamado CO<sub>2</sub> Flow calculation program (programa de cálculo de flujo de CO<sub>2</sub>, en español), en su versión 4.2.2 con las distribuciones que se muestran en la ilustración 3.31.





**Ilustración 3.31.** Distribución del sistema de CO<sub>2</sub> para los generadores 1 y 2 respectivamente. Fuente: Autores.

El dimensionamiento, diámetro y cédula de cada sección de tubería se puede apreciar en la lámina 8. Mientras que las presiones y diámetros las boquillas se encuentran en el cuadro 3.28 mostrado a continuación.

**Cuadro 3.28.** Resumen de datos obtenidos en software para las descargas de CO<sub>2</sub> en los generadores. Fuente: Autores.

Generador	Descarga	Identificación de boquilla	Diámetro de orificio de boquilla (mm)	Presión de descarga (kPa)	Peso de descarga (Kg)
1	Inicial	501	2,5	5 102	34,0
		502	2,5	5 102	34,0
	Extendida	503	1,0	5 130	45,4
		504	1,0	5 130	45,4
2	Inicial	501	2,5	5 095	34,0
		502	2,5	5 095	34,0
	Extendida	503	1,0	5 130	45,4
		504	1,0	5 130	45,4

## Diseño en el sistema de lubricación y oleo hidráulico:

Para realizar el diseño, la norma NFPA 12 recomienda seguir los siguientes pasos:

### a. Selección del método de aplicación

Para proteger los equipos se utiliza también el CO<sub>2</sub>, pero ahora al tratarse de un área que no se encuentra encerrada se diseñó un sistema de aplicación local, este sistema, según la NFPA 12 puede cubrir peligros como superficies líquidas, cubriendo o rodeando con CO<sub>2</sub> todas las superficies ardiendo en llamas. [20]

Los sistemas de aplicación local consisten en un suministro fijo de agente de CO<sub>2</sub> conectado a un sistema de tuberías fijas con boquillas diseñadas para descargar el agente directamente al fuego para la protección de una superficie específica. Algunos ejemplos de tales peligros son los tanques de inmersión, los tanques de enfriamiento rápido, las cabinas de pulverización, los transformadores enfriados con aceite y los sistemas de bombas con depósitos hidráulicos. [38]

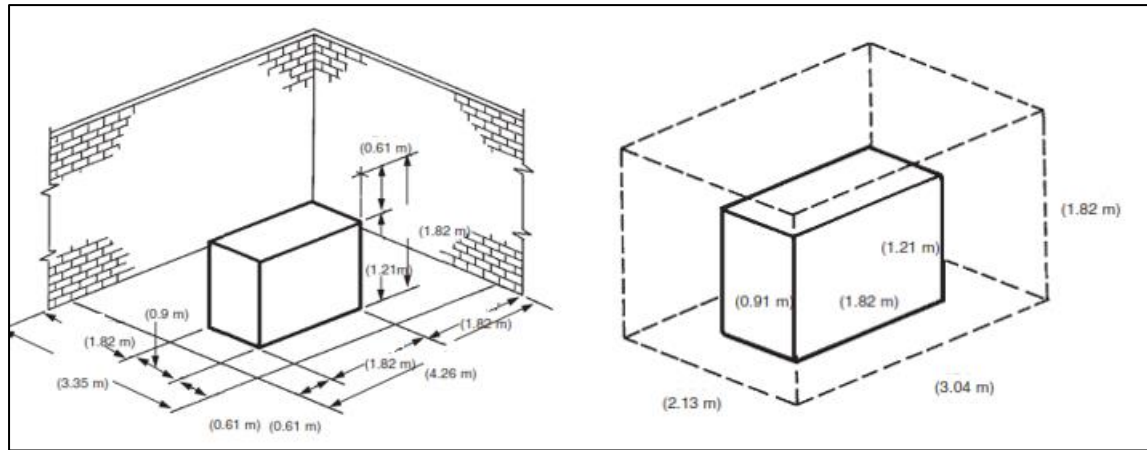
Los sistemas de aplicación local se dividen en dos clasificaciones de diseño, según el método de aplicación requerido:

1. Diseño del sistema de tasa por área
2. Diseño del sistema de tasa por volumen

Para los equipos hidráulicos y de lubricación se diseñó con el método tasa por volumen, ya que este se usa para proteger los riesgos tridimensionales que no están encerrados o como lo menciona la NFPA 12, objetos irregulares tridimensionales que no puede reducirse fácilmente a áreas de superficie equivalente. [20]

### b. Determinar el área y volumen del riesgo

La NFPA 12 indica que se debe suponer un recinto, dado que el equipo que se desea proteger no cuenta con una carcasa o paredes para tomarlo como un volumen encerrado que se pueda inundar, sino que más bien es un equipo expuesto, entonces para definir un volumen que proteger, la norma señala que se debe ampliar como mínimo 0,61 m la mayor dimensión de cada uno de los lados expuestos del equipo que se va a proteger como se muestra en el ejemplo de la ilustración 3.32, además las dimensiones totales de cada lado deber medir al menos 1,2 m (4 pies).



**Ilustración 3.32.** Dimensionamiento de un volumen asumido según la NFPA 12. Fuente: [51].

En el caso del equipo de lubricación y oleo-hidráulico los resultados de cada equipo se muestran en el cuadro 3.29 que se muestra a continuación.

**Cuadro 3.29.** Cálculo del volumen asumido del equipo de lubricación y del equipo oleo-hidráulico. Fuente: Autores.

Lado	Volumen real sistema de lubricación		Volumen asumido sistema de lubricación		Lado	Volumen real sistema oleo-hidráulico		volumen asumido sistema oleo-hidráulico	
	m	m	m	m		m	m	m	m
<b>Largo</b>	2,50	m	3,72	m	<b>Largo</b>	1,30	m	2,52	m
<b>Ancho</b>	1,80	m	3,02	m	<b>Ancho</b>	0,90	m	2,12	m
<b>Área</b>	4,50	m <sup>2</sup>	11,23	m <sup>2</sup>	<b>Área</b>	1,17	m <sup>2</sup>	5,34	m <sup>2</sup>
<b>Alto</b>	1,33	m	1,94	m	<b>Alto</b>	2,40	m	3,01	m
<b>Volumen</b>	5,99	m <sup>3</sup>	21,78	m <sup>3</sup>	<b>Volumen</b>	2,81	m <sup>3</sup>	16,07	m <sup>3</sup>

c. Determinar la tasa de flujo del sistema

La NFPA 12 en su apartado 6.5.1.3 indica que la tasa total de descarga por unidad de volumen asumido es de 0,27 kg/m<sup>3</sup>\*s (1 lb/pe<sup>3</sup>\*min) de agente supresor, por lo que para el sistema de lubricación se necesitan 5,81 kg/s (348,48 kg/min) y para el sistema oleo-hidráulico 4,28 kg/s (257,08 kg/min), esto se obtiene multiplicando el volumen asumido por la tasa de descarga.

d. Selección el tiempo de descarga para el peligro determinado

Este tiempo de descarga se encuentra en la sección 6.3.3 de NFPA 12, donde se dice que el tiempo de descarga mínimo es de 30 s (0,5 min), por lo tanto, se selecciona este dato para el cálculo.

e. Determinar la cantidad de CO<sub>2</sub> necesaria para proteger el peligro

Ahora bien, para conocer el CO<sub>2</sub> requerido se multiplican los flujos de cada sistema por el tiempo de descarga requerido que serían 30 s (0,5 min), pero NFPA 12 también menciona para los sistemas de aplicación local, en la sección 6.3.1.1 que si el almacenaje del sistema de CO<sub>2</sub> es de alta presión se debe aumentar la cantidad de CO<sub>2</sub> en un 40% esto debido a que una porción del CO<sub>2</sub> contenido en el cilindro se convierte en vapor y solamente la parte líquida de la descarga es efectiva, por lo que este porcentaje compensa esa pérdida de líquido convertido en vapor, entonces, haciendo la multiplicación de la tasa de descarga por el tiempo de descarga por el 40% adicional (1,4 en valor no porcentual), da como resultado una cantidad de agente requerido de 243,93 kg de CO<sub>2</sub> para el equipo de lubricación y 179,95 kg de CO<sub>2</sub> para el quipo oleo-hidráulico.

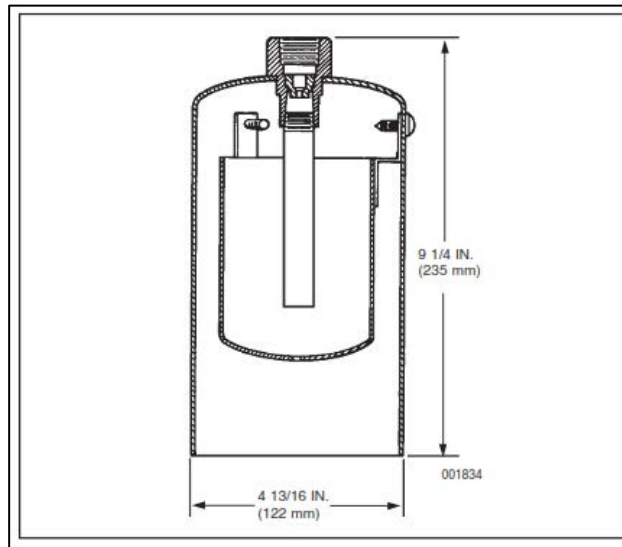
f. Cantidad de cilindros

Utilizando cilindros de 54,40 kg (120 lb), simplemente se divide la cantidad de CO<sub>2</sub> requerida, calculada anteriormente, entre 54,40 kg, lo que da como resultado 5 cilindros para el sistema de lubricación y 4 cilindros para el sistema oleo-hidráulico, ya redondeado a la unidad mayor. Lo que también da un suministro final de 272,16 y 217,72 kg de CO<sub>2</sub> total respectivamente.

g. Ubicación y número de boquillas:

El número de boquillas, utilizando el método de tasa por volumen, se determina según las especificaciones del fabricante, según la capacidad de descarga de cada boquilla, también el fabricante indica el distanciamiento o ubicación de las mismas con respecto al volumen protegido, esta ubicación que da el fabricante se basa también en las especificaciones de NFPA 12 capítulo 6.

Debido a que la cantidad de flujo de CO<sub>2</sub>, es alta, las boquillas que se seleccionan son tipo cono de la marca Ansul con las dimensiones mostradas en la ilustración 3.33, ya que suministran flujos altos que evitan una excesiva cantidad de boquillas más pequeñas.



**Ilustración 3.33.** Boquilla de descarga tipo cono utilizada para el sistema de CO<sub>2</sub> de los equipos oleo-hidráulicos y de lubricación. Fuente: [51].

El mismo manual de Ansul presenta una tabla con el flujo de descarga de estas boquillas y la altura necesaria a la que se debe localizar con respecto al volumen que se va a proteger, estos datos se muestran en el cuadro 3.30, de donde se escoge una boquilla con un flujo de 0,73 kg/s, utilizadas tanto para los equipos oleo-hidráulicos como para los equipos de lubricación, estas se deben colocar a 2,21 m sobre la altura del volumen asumido según el mismo cuadro.

**Cuadro 3.30.** Especificaciones de las boquillas tipo cono. Fuente: [51]

<b>Boquilla tipo cono</b>			
	<b>UL/FM</b>	<b>Lado del cuadrado</b>	
<b>Altura</b>	<b>Tasa de descarga</b>	<b>Líquido</b>	<b>Húmedo</b>
<b>(m)</b>	<b>(kg/s)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>
1,07	0,16	0,06	0,07
1,14	0,20	0,07	0,08
1,22	0,24	0,07	0,09
1,30	0,28	0,08	0,09
1,37	0,31	0,08	0,10
1,45	0,35	0,09	0,10
1,52	0,39	0,09	0,11
1,60	0,43	0,09	0,11
1,68	0,47	0,10	0,11
1,75	0,51	0,10	0,12
1,83	0,54	0,10	0,12
1,91	0,58	0,11	0,13
1,98	0,62	0,11	0,13
2,06	0,66	0,11	0,13
2,13	0,70	0,12	0,14
2,21	0,73	0,12	0,14
2,29	0,77	0,12	0,14
2,36	0,81	0,12	0,15
2,44	0,85	0,13	0,15
2,51	0,88	0,13	0,15
2,59	0,92	0,13	0,15
2,67	0,96	0,13	0,15
2,74	1,00	0,13	0,15

Entonces para obtener la cantidad de boquillas, se divide la tasa de flujo total entre la tasa de flujo por boquilla seleccionado en el cuadro 3.30, donde se obtuvo que para cada equipo de lubricación se requieren 8 boquillas y para el equipo oleo-hidráulico se requieren 6 boquillas para cada equipo, esto redondeando hacia el número mayor.

#### h. Distribución de tuberías, cilindros y boquillas

Considerando que se tiene que estar dando mantenimiento a la maquinaria que se encuentra en ese cuarto de máquinas, los cilindros se colocan en sitios donde no obstaculicen las salidas, ni represente impedimentos para el mantenimiento de los equipos, también se deben montar en un bastidor provisto para esta aplicación como lo menciona la norma, la distribución de los cilindros se puede observar en la ilustración 3.30. Las tuberías, en su mayoría se distribuyen por las trincheras con las que cuenta el cuarto de turbinas, siguiendo

el mismo recorrido que hacen las tuberías del sistema de enfriamiento. La tubería seleccionada es de acero negro con cedula 80 y cedula 40 según sea el tramo y la presión que ejerza el CO<sub>2</sub> sobre la tubería, estos detalles se pueden ver en la lámina 8, donde se utilizan tuberías con diámetros que van desde 0,0127 m (½”) hasta 0,0381 m (1½”). El material de la tubería es también de acero negro como la especificada en del sistema de CO<sub>2</sub> para los generadores, sus accesorios también se recomiendan bridados o roscados con el fin de que se pueda desarmar en el tiempo de mantenimiento de los equipos.

Las boquillas se colocan con ángulos de 60 y 75 grados dirigidas hacia el riesgo, este ángulo permite ampliar o acortar la distancia horizontalmente entre el volumen protegido y la boquilla de descarga ya que se multiplica el ancho del área protegida por un factor de direccionamiento para la localización angular de las boquillas, estos factores se pueden encontrar en el cuadro 3.31, y los distanciamientos de las boquillas con respecto al riesgo, se verán reflejados en la lámina 7.

**Cuadro 3.31.** Factores de direccionamiento para localización angular de las boquillas.

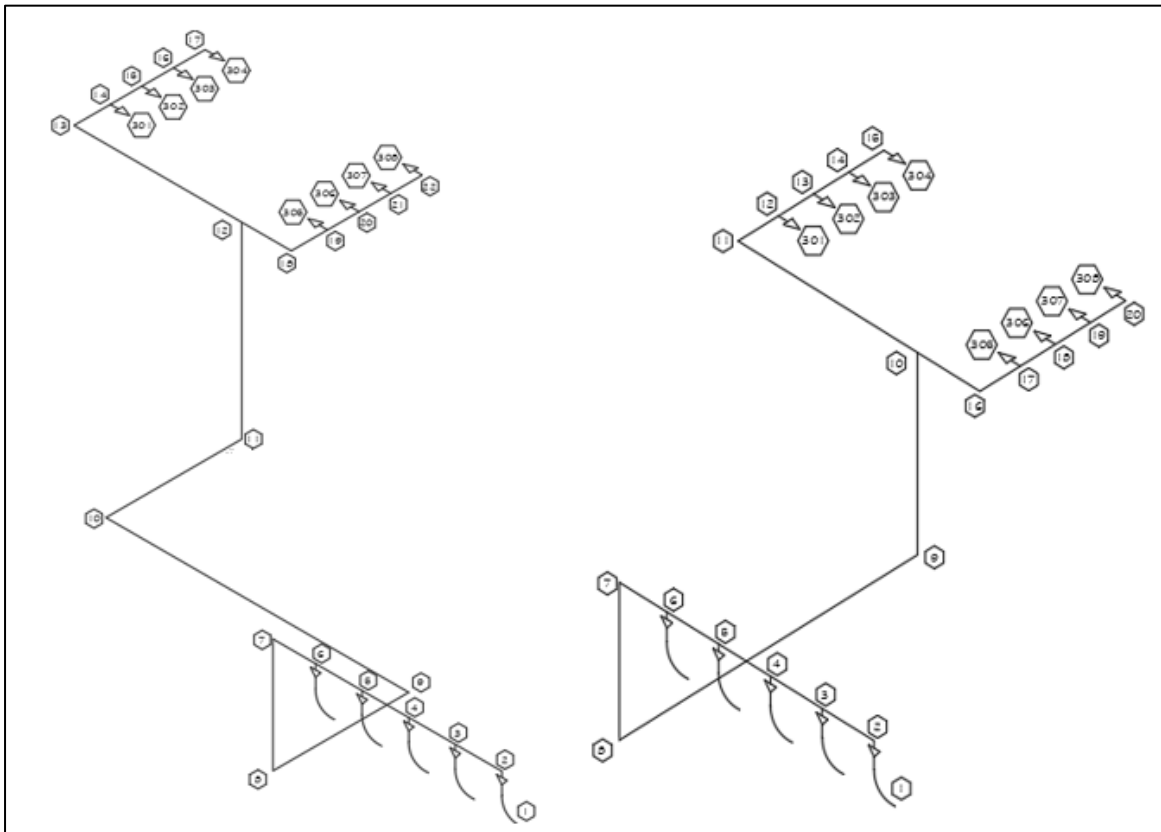
Fuente: [20]

Ángulo de descarga	Factor de dirección
45 – 59	1/4
60 – 74	1/4 – 3/8
75 – 89	3/8 – 1/2
90 (perpendicular)	1/2 (Center)

i. Cálculos con software

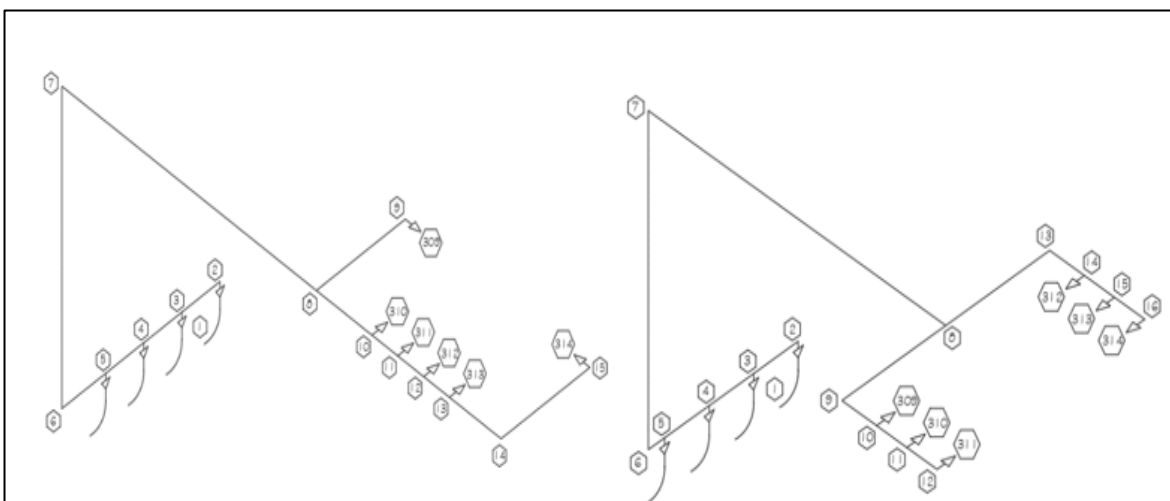
Conociendo la distribución y ubicación de las boquillas se realizó el cálculo de presiones, diámetro del orificio de la boquilla y la comprobación de diámetros de tubería se realizan por medio del software de Ansul/Tyco llamado CO<sub>2</sub> flow calculation program (programa de cálculo de flujo de CO<sub>2</sub>, en español) en su versión 4.2.2 con las siguientes distribuciones mostradas en la ilustración 3.34 para los sistemas de lubricación y la ilustración 3.35 para los sistemas oleo-hidráulicos.

Equipos de lubricación de los generadores:



**Ilustración 3.34.** Diseño del sistema de extinción con CO<sub>2</sub> para los equipos de lubricación de los generadores 1 y 2, respectivamente. Fuente: Autores.

Equipos oleo-hidráulicos:



**Ilustración 3.35.** Diseño del sistema de supresión de CO<sub>2</sub> para los equipos Oleo-hidráulicos 1 y 2, respectivamente. Fuente: Autores.



El dimensionamiento, diámetro y cédula de cada sección de tubería de la ilustración 3.34 e ilustración 3.35 se puede apreciar en la lámina 8. Mientras que las presiones y diámetros del orificio de cada boquilla se encuentran en el cuadro 3.32 para los equipos de lubricación, las cuales se muestran a continuación:

**Cuadro 3.32.** Resumen de datos obtenidos en software para las descargas de CO<sub>2</sub> en los equipos de lubricación. Fuente: Autores.

Equipo de lubricación	Identificación de boquilla	Diámetro de orificio de boquilla (mm)	Presión de descarga (kPa)	Peso de descarga (Kg)
1	301	8,0	3 751	35,3
	302	8,5	3 151	33,2
	303	9,0	3 020	34,5
	304	9,0	3 020	34,5
	305	7,5	4 020	34,1
	306	8,0	3 551	33,9
	307	8,0	3 461	33,2
	308	8,0	3 461	33,2
2	301	8,5	3 378	34,7
	302	10,0	2 572	33,6
	303	10,5	2 392	33,9
	304	10,5	2 386	33,9
	305	8,0	3 675	34,3
	306	9,0	3 054	34,4
	307	9,0	2 930	33,6
	308	9,0	2 930	33,6

También se presenta el cuadro 3.33 similar a al cuadro 3.32 pero ahora con los resultados obtenidos para los equipos oleo-hidráulicos.

**Cuadro 3.33.** Resumen de datos obtenidos en software para las descargas de CO<sub>2</sub> en los equipos oleo-hidráulicos. Fuente: Autores.

Equipo de oleo-hidráulico	Identificación de boquilla	Diámetro de orificio de boquilla (mm)	Presión de descarga (kPa)	Peso de descarga (Kg)
1	309	7,0	4 199	34,6
	310	7,5	4 164	37,5
	311	8,5	3 289	35,9
	312	9,0	3 034	36,4
	313	9,0	2 985	36,1
	314	9,5	2 896	37,1
2	309	9,5	2 689	34,7
	310	10,5	2 482	37,1
	311	10,5	2 475	37,0
	312	9,5	2 689	34,7
	313	10,5	2 482	37,1
	314	10,5	2 475	37,0

Todos los resultados de los cálculos de los sistemas de CO<sub>2</sub> se encuentran tabulados con mayor detalle en el anexo F.4 de este documento.

La soportería para los sistemas de CO<sub>2</sub> es la siguiente: para los generadores se utiliza la misma configuración de soportería del sistema de enfriamiento, ya que ambas tuberías hacen el mismo recorrido, esto consiste en soportes de tubo apernado a la pared con abrazadera para las tuberías verticales y la tubería que baja por trincheras se soportan al piso con abrazaderas directamente o colocadas sobre rieles perforados conocidos como soportes strut sujetadas con abrazaderas, según el fabricante la distancia máxima entre estos soportes es de 1,8 m. Para las unidades de lubricación y oleo-hidráulicas se utiliza el mismo soporte que utilizan los generadores, pero con el siguiente distanciamiento: el equipo de lubricación debe tener una separación máxima entre soportes de 4,6 m, los otros equipos requieren un distanciamiento máximo de 3,7 m. Además, para la tubería que no se puede soportar a la pared o al piso, como lo es la sección de tubería que está sobre el riesgo, se debería utilizar barras de metal ancladas al piso.

### 3.7. Consideraciones de alarma en todos los sistemas.

Los diseños propuestos para supresión de incendios deben contar con un sistema que los active en un eventual incendio, esto se logra colocando dispositivos de detección acorde a lo establecido en la NFPA 72, la normativa de diseño correspondiente y manuales del fabricante, también se consideraron los aparatos de notificación en consideración del personal presente. A continuación, se muestran las consideraciones de cada sistema:

#### 3.7.1. Sistema de alarma para sistema de diluvio

Para el sistema de diluvio se coloca un detector de calor lineal, que se coloca en todo el perímetro de los transformadores, y se escoge el que se menciona en el siguiente cuadro 3.34.

**Cuadro 3.34.** Temperatura de alarma para el sistema de diluvio. Fuente: Autores.

Unidad	Temperatura ambiente máxima de instalación	Temperatura de alarma	Modelo
Transformadores	63 °C	105 °C	TC220

La temperatura de alarma que se escoge para los transformadores que se aprecia en el cuadro 3.34 es de 105 °C, esto debido a que se requiere que esta temperatura sea mayor a la temperatura que alarma al panel de control general de la PHLNII.

### **3.7.2. Sistema de alarma para sistema de agente limpio**

Para el sistema de agente limpio como se mencionó anteriormente se necesita un sistema en conjunto que sea listado para garantizar el sistema por completo. De esta manera se propone utilizar el sistema Autopulse que forma parte del sistema de activación certificado para el sistema de agente limpio Inergen.

De esta manera se utiliza por parte del fabricante una detección cruzada de tipo eléctrica/eléctrica la cual será activada mediante 2 sensores de humo que existan en cada cuarto. A partir de esta consideración es importante tomar en cuenta que se necesitan mínimo 2 sensores de humo por cuarto. El fabricante especifica un máximo de área por detector de humo con una magnitud de 23,2 m<sup>2</sup>, siguiendo este requerimiento se deben de colocar 9 detectores en el cuarto eléctrico, 4 detectores en el cuarto de control y 2 detectores en el cuarto de rectificadores.

Además, se deben de considerar aspectos importantes como una pre alarma, botón de aborto, botón de mantenimiento y un botón de activación manual.

### **3.7.3. Sistema de alarma para sistema de CO<sub>2</sub>**

Los dispositivos que se utilizaron para la detección de incendio de los equipos que se protegen con CO<sub>2</sub> son los detectores de calor lineales, cada unidad generadora, oleo-hidráulica y de lubricación tienen colocados dos pequeños cables a su alrededor (área perimetral de cada unidad), cada uno de estos cables son detectores lineales, y se colocando dos en cada unidad para lograr lo que se conoce como detección cruzada, es decir, ambos cables deben enviar señales al panel principal para que la descarga del agente se active. Se deben seguir las instrucciones del fabricante según el manual de instalación del termocable, para este caso se seleccionó la marca Tyco que indica que el espaciamiento entre el cable no debe exceder los 7,6 m, siendo este espaciamiento el más restrictivo para cumplir con los estándares UL y FM, los cuales se cumplen siempre dado que cada lado del perímetro de los equipos que se van a cubrir tienen una longitud menor a 7,6 m, también menciona que el cable se coloca cerca del riesgo por eso se decide colocarlo a su alrededor, en el caso del generador se coloca en el perímetro interno. Los cables se conectan a una caja de

empalme (junction box, en inglés) donde la señal del termocable pasa al cableado que llega al panel principal.

La temperatura de alarma del cable se selecciona según sea la temperatura ambiente máxima a la que se expone el cable que ya viene definido en el manual, y se encuentra disponible en la web llamado Linear Heat Detector Installation manual 2007 de Safe perteneciente a Tyco, para este caso la temperatura ambiente máxima a la que se expone el cable considera la temperatura de operación de los equipos y la distancia a la que se podrá el cable del mismo, quedando la selección de la temperatura de los cables como se muestra en el cuadro 3.35.

**Cuadro 3.35.** Selección de temperatura del detector de calor lineal. Fuente: Autores.

<b>Unidad</b>	<b>Temperatura ambiente máxima de instalación</b>	<b>Temperatura de alarma</b>	<b>Modelo</b>
<b>Generador</b>	70 °C	105 °C	TC220
<b>Lubricación</b>	50 °C	78 °C	TC172
<b>Oleo-hidráulico</b>	45 °C	68 °C	TC155

En el cuadro anterior se escoge en la temperatura de alarma, la mayor temperatura con respecto a la temperatura ambiente, y a la temperatura que el equipo alarme al sistema de control de la planta en general. El sistema también cuenta con dos luces estroboscópicas con sirena que cubren toda la sala de turbinas específicas para notificar a los ocupantes de esta sala que deben evacuar inmediatamente porque el sistema de CO<sub>2</sub> será descargado en los próximos 30 segundos.

Además, cada unidad cuenta con su estación manual de alarma y su interruptor de mantenimiento, no se colocó un interruptor de aborto porque la NFPA 12 en el apartado 4.5.4.11 dice explícitamente que no se deben colocar estos botones en los sistemas de CO<sub>2</sub>.

## CAPÍTULO 4

### 4. Resultados

Este capítulo contiene los análisis y resultados obtenidos en la planta hidroeléctrica Los Negros II, donde se consideran los análisis de riesgo, análisis de seguridad pasivo, se definen las áreas a proteger, se seleccionan los sistemas contra incendios y se realiza el diseño de cada uno de estos.

#### 4.1. Selección del método de análisis de riesgo

A continuación, se presenta el cuadro 4.1 que corresponde a un ejemplo de la unidad de generación con los valores obtenidos.

**Cuadro 4.1.** Análisis del método del riesgo a la unidad de generación. Fuente: Autores.

Método	Unidad de generación (unidad de lubricación del generador o LOU)					
	B. Cantidades Almacenadas	C. Tipo de proceso	D. Condiciones Almacenamiento	D. Condiciones de Operación	E. Control	F. Edad
	1. Importante 2. Medio 3. Pequeño	1. Continuo 2. Discontinuo	1. Muy severas 2. Severas 3. Poco severas	1. Muy severas 2. Severas 3. Poco severas	1. Control distribuido	1. Nueva 2. Antigua 3. Proyec
<b>Análisis histórico de accidentes</b>	3	1	3	3	1	1
<b>HAZOP</b>	-	1	-	-	1	1
<b>Análisis modo efecto e importancia de fallos</b>	-	-	-	-	1	-
<b>Análisis modo efecto importancia. Y criticidad de fallos</b>	-	-	-	-	1	-
<b>Análisis preliminar de riesgos</b>	-	-	-	-	1	-
<b>Check list</b>	3	-	3	3	1	-
<b>What if?</b>	3	-	3	3	1	-
<b>Índice Mond fuego, explosión y toxicidad</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Índice Dow fuego, explosión</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Safety review</b>	-	-	-	-	-	1
<b>Auditoria de Seguridad</b>	-	-	-	-	-	1

**Continuación cuadro 4.1. Análisis del método del riesgo a la unidad de generación.**

Fuente: Autores.

Método	Unidad de generación (LOU)				
	G. Ampliación o Modificación	H. Vulnerabilidad del Entorno	I. Fase Operativa.	J. Diseño	Sumatoria de puntaje (total)
	1. Ampliación 2. Modificación	1. Poco vulnerable 2. Vulnerable 3. Muy vulnerable	1. P marcha 2. Arranque 3. Funciona 4. Parada	1. Nuevo 2. Antiguo	
<b>Análisis histórico de accidentes</b>	-	2	1 2 3	2	10
<b>HAZOP</b>	-	2	3	-	5
<b>Análisis modo efecto e importancia de fallos</b>	-	-	-	-	1
<b>Análisis modo efecto importancia Y criticidad de fallos</b>	-	-	-	-	1
<b>Análisis preliminar de riesgos</b>	-	-	-	-	1
<b>Check list</b>	-	-	1 2	-	5
<b>What if?</b>	-	-	1 2	-	5
<b>Índice de Mond fuego, explosión y toxicidad</b>	-	-	-	-	1
<b>Índice Dow fuego, explosión</b>	-	-	-	-	1
<b>Safety review</b>	-	-	-	-	1
<b>Auditoria de Seguridad</b>	-	-	-	-	1

Como se puede observar en el cuadro 4.1 la cantidad mayor de puntaje obtenida es en los métodos de análisis histórico, lista de verificación y ¿Qué pasa sí?, todos estos métodos se utilizaron por igual en todas las unidades descritas.

Una vez el procedimiento de elección del método se finalizó, se consideraron las unidades anteriormente seleccionadas para un análisis del riesgo en la planta hidroeléctrica, que se describen y estudian de la siguiente manera.

## 4.2. Análisis histórico

A partir de investigaciones realizadas utilizando medios de comunicaciones digitales, correo electrónico y diarios digitales, se logra crear una base de datos con información nacional e internacional de acontecimientos que han sufrido las plantas hidroeléctricas, referente a incendios. Se consultaron otras fuentes como lo son el Instituto Nacional de Seguros donde no les fue posible proporcionar información sobre los temas consultados, el Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica que respondieron dos situaciones, la primera es que el tipo de información que se solicita solo la puede brindar la institución donde se suscitaron los hechos y la segunda es que el correo con la información solicitada se reenvió a los Bomberos de la Sede de Upala donde no hubo ninguna respuesta.

Los resultados de los accidentes encontrados se muestran en el cuadro B.1 del anexo B, mostrando que la mayor causa de incendio en las plantas hidroeléctricas se debe a la explosión de transformadores, además de ser también un factor que provoca muchas pérdidas materiales y monetarias para la empresa generadora al tener que reemplazar los transformadores e interrumpir el servicio eléctrico durante la emergencia. Seguido de esto, el segundo punto más crítico en una planta hidroeléctrica son los generadores que también son un factor de riesgo de incendio importante que de igual manera puede provocar pérdidas materiales y monetarias.

Para tener un mejor enfoque del análisis y buscando precisar el objetivo por el cual se realizó este análisis, se presenta el cuadro 4.2 que contiene datos concretos sobre la información recolectada que muestra el porcentaje de incendios y explosiones que se han dado en distintas áreas de plantas hidroeléctricas, en el ámbito nacional, internacional y considerando todos los casos, es decir, tanto nacionales como internacionales.

**Cuadro 4.2.** Porcentajes de incendios en distintos sectores de una planta hidroeléctrica.

Fuente: Autores.

<b>Incendios</b>	<b>Transformadores y subestación</b>	<b>Generadores</b>	<b>Otros</b>
<b>Nacionales</b>	100%	0%	0%
<b>Internacionales</b>	50%	25%	25%
<b>Nacionales e internacionales</b>	67%	17%	17%

Basados en el cuadro 4.2 se encontró que nacionalmente la única causa de incendio registrada en la búsqueda realizada fue en transformadores y subestación, esto con cuatro casos encontrados. Al analizar el campo internacional se encontró que no solo en los transformadores se han reportado incendios sino también en los generadores, lo cual tomaría el segundo lugar como causa de incendio en una planta hidroeléctrica con dos casos reportados, según este estudio histórico, siendo la primer causa también la explosión de transformadores con cuatro casos reportados, en la columna de “otros” lo que se contabilizan son dos casos, el primero reportado como incendio en el patio de interruptores y el segundo como incendio en el sistema de cables de potencia, por lo que hacen la diferencia para dar el segundo lugar de causas de incendio a los generadores. Al analizar todo en conjunto con un total investigado de 12 causas de incendio es claro que los transformadores presentan un mayor riesgo con un 67% de los casos registrados.

El registro de datos se ha realizado desde el 2016 hasta el 2019, esto con la intención de tomar en consideración que los equipos utilizados muchos años atrás no son iguales y que ahora se cuenta con mejores tecnologías. También se hizo análisis tanto nacional como internacional, dando como resultado un registro de causas de incendio muy similares tanto para Costa Rica como para otros países.

En general, los daños sufridos por una mala praxis en la protección contra incendios provocan en su gran mayoría pérdidas económicas para la empresa involucrada y afecciones a terceros (los usuarios) dado que se suspende la electricidad, de la cual dependen hospitales, fábricas, centro de información, entre otros. Conociendo la gravedad para los terceros dependientes de electricidad podría terminar en tragedias mayores como lo sucedido en Venezuela, donde empezaron a morir personas en los hospitales ya que los equipos médicos no podían funcionar. También es sabido que los apagones pueden provocar pérdidas de información valiosa en equipos procesadores de información y se puede llegar tener pérdida total de equipos eléctricos y electrónicos.

#### **4.3. ¿Qué pasa sí...? (What if...? de su nombre en inglés)**

Al realizar el análisis del riesgo, se detectó que todas las áreas de la planta y sistemas están relacionadas entre sí, esto quiere decir que, si deja de funcionar algún equipo del sistema, una tubería se agrieta, o si no se cuenta con las condiciones necesarias se debe hacer un paro en toda la planta, por lo que, se dejaría de generar energía eléctrica.



En el momento de estar con el personal y hacer las preguntas relacionadas a las instalaciones, se pudo notar que todo el equipo de trabajo está bastante capacitado y todo el cuarto de máquinas cuenta con los recursos necesarios en caso de que ocurra un riesgo en el proceso de producción de energía que pueda detener la planta. Sin embargo, en el caso de realizar las preguntas relacionadas a los protocolos de emergencia, los detectores de humo y alarma contra incendios, el personal presente no cuenta con la capacidad de afrontar algún siniestro o de actuar según el riesgo presente.

En el cuadro 4.3 se muestran unos ejemplos de las preguntas realizadas a los trabajadores de la planta para poder realizar el análisis del riesgo según el método ¿What if...? Y cómo se mencionó anteriormente, se puede notar que en las preguntas 1 y 2 las respuestas de los operarios están bastante completas y saben exactamente cómo actuar en caso de que alguno de esos eventos ocurra. Por el contrario, en las preguntas 3 y 4; la pregunta 3 no tiene respuesta y en la 4 conocen cómo solucionar el problema, pero están proyectándose, aún no cuenta con una solución definida. En el cuadro B.2 del anexo B se encuentran las tablas completas de todas las preguntas realizadas al equipo de trabajo de la planta Los Negros II.

**Cuadro 4.3.** ¿Resumen de las preguntas del What if...?. Fuente: Autores.

#	¿Qué pasa si...?	Consecuencias	Respuesta de la empresa	Recomendaciones
<b>Instalaciones</b>				
<b>1</b>	¿...hay un aumento de temperatura? (generador, transformador, turbinas, PLC)	Se detiene la planta.	1. Las temperaturas del generador y transformador están constantemente controladas. 2. Va a haber un disparo en el equipo con una temperatura límite. 3. Se analiza la razón y causa de por qué se está dando el aumento de temperatura.	No hay recomendaciones.
<b>2</b>	¿...hay un pico de voltaje en los PLC?	Se daña el PLC, se quema.	La planta tiene un sistema muy completo, muy bien diseñado para evitar las fallas por sobre-voltaje. Tiene una malla puesta a tierra, pararrayos, entre otros sistemas.	No hay recomendaciones.
<b>Personal</b>				
<b>3</b>	¿...no conocen el protocolo de emergencia y evacuación?	No podrían aplicarlo si ocurre una emergencia.	No hay respuesta, debido a que no cuentan con un protocolo.	Deben de realizar un protocolo de emergencia.
<b>4</b>	¿...hay un derrame de químicos?	Podría ser altamente contaminantes o, dependiendo del químico ser explosivos.	"Quieren realizar una bodega de químicos con piso impermeable, para contener los químicos. Se están proyectando de cómo realizar la bodega."	Deben hacer una bodega para contener los químicos.

#### **4.4. Lista de verificación (Check list, de su nombre en inglés)**

Al realizar este análisis se descubrieron ciertas deficiencias en la protección contra incendios que con otros métodos no se habían encontrado. Se detectaron puntos de vulnerabilidad que se deben atacar y reforzar. El cuestionario está diseñado de manera tal que las respuestas que se marcan con “Si” den respuestas a favor de buenas prácticas en cuanto a protección contra incendios, por el contrario, el “No” muestra que no se está dando una correcta atención a las áreas mencionadas en el cuestionario como se puede observar en el cuadro 4.4.

**Cuadro 4.4.** Check list de la planta hidroeléctrica Los Negros II. Fuente: Autores.

#	Pregunta	Si	No	N/A	Observaciones
1	¿Conoce la cantidad de materiales y productos inflamables en la planta?	x			Existe un encargado de llevar un inventario, el inventario se hace todos los meses.
2	¿El almacenamiento de los productos inflamables se realiza en armarios protegidos?		x		Todavía no, pero se tiene un proyecto que tiene una bodega con 3 compartimientos: inflamables, químicos convencionales y químicos tóxicos
3	¿Los residuos combustibles se limpian y depositan en lugares seguros?	x			Existe unas toallas con las que se limpia el aceite y residuos combustibles que se empaican en bolsas plásticas y se llevan a Holcim y se queman en los hornos de esa empresa, Tienen certificación ISO 14000
4	¿Están identificados los posibles focos de ignición?		x		Se cree que los posibles focos de incendio están por toda cuarto de máquinas y subestación
5	¿Se garantiza que un incendio producido en cualquier zona no se propagará libremente al resto del edificio?		x		No tienen barreras corta fuegos entre los cuartos, lo tienen pendiente y son conscientes de que deben tenerlas.
6	¿Se garantiza que un incendio producido en cualquier zona se detectará con prontitud?	x			Con los detectores de humo, siempre se le hacen constantes inspecciones a los mismos, además los encargados deben estar atentos a cualquier eventualidad
7	¿Se poseen extintores suficientes y una distribución correcta?	x			Existe un plano con la ubicación de los extintores, están distribuidos según la NFPA 10
8	¿Hay trabajadores formados y capacitados en el manejo de los medios de lucha contra incendios?		x		Reciben una capacitación cada vez que se les da mantenimiento a los extintores, pero no recuerdan bien la clasificación de extintores
9	¿Existen rótulos de señalización y alumbrado de emergencia para facilitar el acceso al exterior?		x		Si existen, pero hace falta rotulación en algunos sectores de la Planta
10	¿Hay acceso para los vehículos de bomberos?	x			Pero no hay seguridad de que cumplan con la NFPA 1 Capítulo 18, tampoco se sabe si los puentes pueden soportar el peso del camión de bomberos
11	¿Hay mantenimiento periódico de la planta de emergencia?	x			Aproximada cada 6 meses se le da mantenimiento, cambio de filtros, aceites, se hace un arranque semanal
12	¿Hay mantenimiento en las alarmas contra incendios?	x			Se genera un reporte cada vez que se hace mantenimiento e inspección
13	¿Conocen los trabajadores las rutas de evacuación?		x		No hay rutas establecidas

Donde se puede ver, del cuadro 4.4 que, seis preguntas de las trece que se realizaron tuvieron respuesta negativa, esto significa que el 46,15% de las situaciones en cuestión no están aptas para afrontar una situación de incendio. Esto debido a la falta de conocimientos en el campo de la protección contra incendios por parte del personal y la poca protección pasiva con la que cuentan.

Para disminuir los riesgos de incendio y aumentar la seguridad humana dentro de la Planta es necesario tener un cuarto compartimentado donde se almacenen los productos inflamables, establecer rutas de evacuación y un plan de emergencias, hacer la rotulación de emergencia correspondiente y darle capacitaciones a los operarios de la planta para que aprendan a identificar los tipos de extintores, cuales deben utilizarse según sea la clasificación del fuego y actuar según el plan de emergencia establecido.

#### 4.5. Protección pasiva

Las plantas hidroeléctricas deben seguir la norma NFPA 101 para las consideraciones con respecto a la seguridad humana y protección pasiva. Esta establece en su versión 2018 las ocupaciones mostradas en el cuadro 4.5 para PHLNII:

**Cuadro 4.5.** Clasificaciones de las ocupaciones de la planta. Fuente: Autores.

<b>Zona</b>	<b>Clasificación de ocupación</b>
<b>General</b>	Industrial de propósitos especiales
<b>Oficinas</b>	Negocio
<b>Bodegas de almacenaje</b>	Almacenaje

Con respecto de las ocupaciones indicadas en el cuadro 4.5 se pueden determinar las características que deben cumplir elementos considerados importantes en un análisis que involucre el factor de seguridad humana que debe existir en un edificio o recinto como se observa en el cuadro 4.6.

**Cuadro 4.6.** Dimensiones de elementos de seguridad humana. Fuente: Autores.

<b>Medios de egreso</b>				
<b>Ocupación</b>	<b>Ancho mínimo de escaleras (m)</b>	<b>Ancho mínimo de vanos de puertas (m)</b>	<b>Cantidad de medios de egreso</b>	<b>Cumple</b>
<b>Industrial Propósito Especial</b>	0,915	0,90	2	Si
<b>Negocios</b>	0,915	0,90	2	Si
<b>Almacenamiento</b>	0,915	0,90	1	Si
<b>Subestación</b>	-	-	1	Si

Comparando los datos de anchos mínimos del cuadro 4.6 con las distancias reales con las que cuentan las instalaciones, se logró determinar que todas las puertas cumplen con este mínimo siendo la puerta del comedor y de los baños las más pequeñas, con 0,9 m de ancho, y teniendo en la entrada principal cuya puerta es la de mayor dimensión con un vano de 6,0 m de ancho. Ahora bien, para analizar la cantidad de medios de egreso, la NFPA 101 indica que, cuando hay ocupaciones incidentales, como lo es para este caso, se debe cumplir con la cantidad de medios de egreso que se piden para la ocupación principal, que corresponde en este análisis a la ocupación industrial de propósito especial. Esta última ocupación debe cumplir con al menos dos medios de egreso, las instalaciones del PHLNII cuentan con la entrada principal y con la salida que se encuentra entre el cuarto de rectificadores y el cuarto de control por lo que se considera que si cumple con esta condición.

#### **4.5.1. Acceso a equipos industriales**

Dentro de los accesos industriales de la PHLNII, donde se permite el fácil ingreso por medios como: rampas, plataformas, gradas de acceso a las turbinas, al generador, o algún sistema hidráulico para realizar labores de mantenimiento o reparación y que se conviertan en un componente de los medios de egreso en caso de emergencia, se tiene identificadas las escaleras de acceso a equipo industrial y se realiza una verificación donde el cuadro 4.7 nos indica si cumplen o no con la protección pasiva.

**Cuadro 4.7.** Dimensiones de accesos a equipos industriales. Fuente: Autores.

Escalera	Descripción	Dimensiones reales (m)			Cumple
		Largo	Profundidad	Altura	
1	Acceso desde cuarto de trabajo a sección de turbinas	1,35	0,25	0,20	Si
2	Acceso desde bloque de inercia hacia unidad oleo-hidráulica	0,80	0,30	0,20	Si
3	Acceso desde unidad oleo-hidráulica a turbinas	0,70	0,30	0,15	Si
4	Acceso desde pasillo superior a sección de turbinas	1,20	0,28	0,20	Si

Donde se puede observar en el cuadro anterior que los accesos a equipos industriales cumplen con las distancias mínimas, por lo que, no se realiza recomendación.

#### 4.5.2. Distancias de recorrido de seguridad humana

Para este cuarto de máquinas, se cuenta con las distancias de recorrido común que se describieron en el cuadro 3.6 en la columna “sin rociadores”, ya que el edificio no cuenta con un sistema de rociadores automáticos. Por lo que, se tiene el siguiente cuadro 4.8 donde indica el cumplimiento o no de los recorridos:

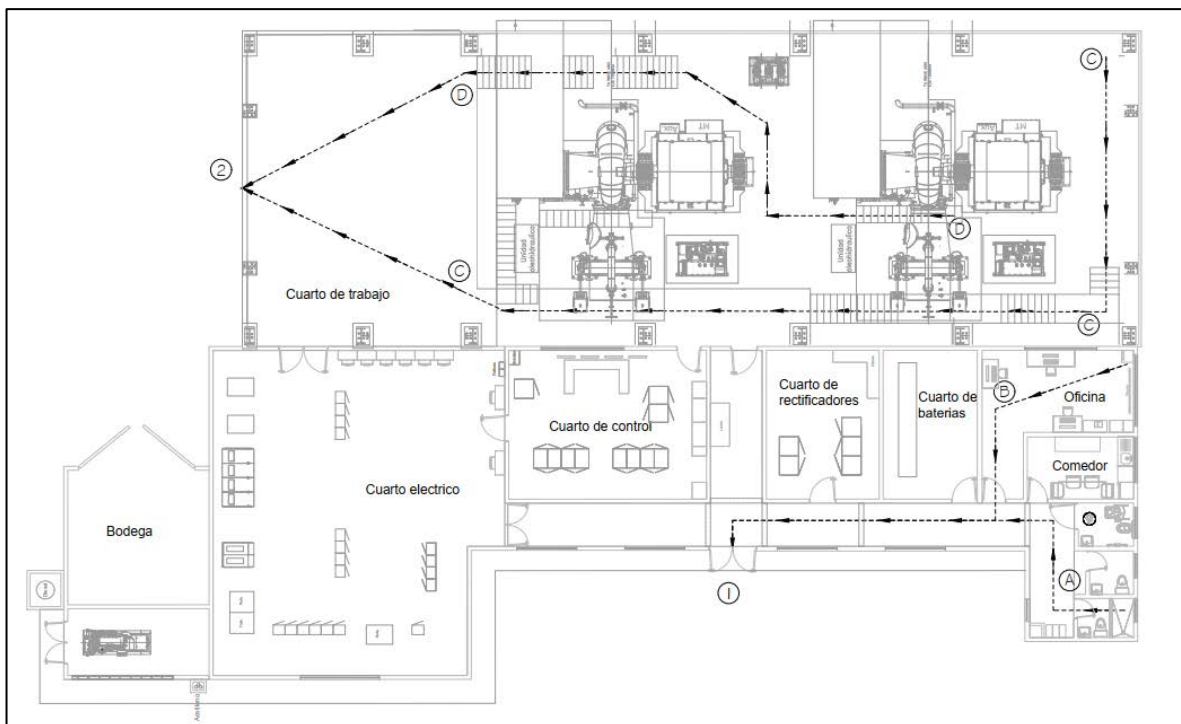
**Cuadro 4.8.** Distancias de recorrido común en PHLNII. Fuente: Autores.

Ruta	Longitud (m)	Cumple
A	20,0	No
B	26,2	No
C	24,8	No

En el cuadro 3.6 también se hace referencia a los pasillos sin salida, y en el recorrido que existe de la oficina hacia la salida 1 existe un pasillo sin salida que se consideró desde la misma salida 1 descrita, el cual tiene una magnitud de 17,4 m de longitud por lo que tampoco se considera aceptable bajo los términos de la normativa NFPA 101. Por esta razón, se recomienda colocar una puerta frente a la zona de los baños, y así reducir la distancia de recorrido común A de la Ilustración 3.3 que no cumple según lo expuesto en el cuadro 4.8

y también se reduciría la distancia máxima de pasillo sin salida. Para los recorridos B y C que tampoco cumplen se propone colocar una escalera vertical fija con protección de espalda adicional en el generador 2 con lo que dejarían de ser recorridos comunes y ya se estaría cumpliendo con los requisitos de recorrido común. Para ambos casos se puede observar la ubicación específica en la lámina 2.

Seguidamente se analiza si las instalaciones cumplen con la distancia de recorrido total; donde se indica que, la máxima distancia desde cualquier punto en el edificio hasta la salida más cercana se determina basada en factores como: las personas presentes, tipo y número de obstrucciones, cantidad y naturaleza de los combustibles que se podrían esperar, entre otros. Para lo cual, se realiza el siguiente análisis de posibles rutas más largas identificadas con las letras A, B, C y D hasta la salida más cercanas identificadas con los números 1 y 2 y sus longitudes correspondientes como se puede observar en la ilustración 4.1.



**Ilustración 4.1.** Distribución de rutas de evacuación más largas posibles en el cuarto de máquinas. Fuente: Autores.

A partir de esta distribución de recorridos se obtiene la información del cuadro 4.9 donde se especifica la longitud de las posibles rutas a las salidas más cercanas.

**Cuadro 4.9.** Longitud de distancias de recorrido a la salida más cercana. Fuente: Autores.

Salida	Ruta	Longitud (m)	Cumple
1	A	21,31	Si
	B	22,61	Si
2	C	38,10	Si
	D	35,30	Si

Donde se puede observar, que en el cuadro anterior la distancia de recorrido máxima es de 38,1 m y por esta razón todas las distancias consideradas cumplen con la distancia de recorrido máxima indicadas en el cuadro 3.6 que se puede tener sin protección de rociadores, para la consideración de seguridad humana.

#### **4.5.3. Compartimentación de recintos**

Al tener trincheras en todos los cuartos de equipos eléctricos, se consideró importante realizar recomendaciones de sellos corta fuego que permitan compartimentación entre los cuartos además de una estanqueidad que permita la instalación correcta de los sistemas de agente limpio.

Por lo que se utilizó el software en línea de 3M para la selección del tipo de sello contra fuego considerando el rango de resistencia al fuego, el tipo de elemento penetrante, el tipo de elemento que atraviesa (piso, pared o techo), entre otros. Donde se considera que el rango de resistencia requerido es de 2 horas, el elemento penetrante son bandejas de cableado, y el elemento que atraviesa este son paredes. Por lo tanto, el software en línea nos arroja una lista de varios sellos que podrían funcionar para este caso, pero el sello seleccionado es el C-AJ-4109. El cual se describe mejor en el anexo C.2.

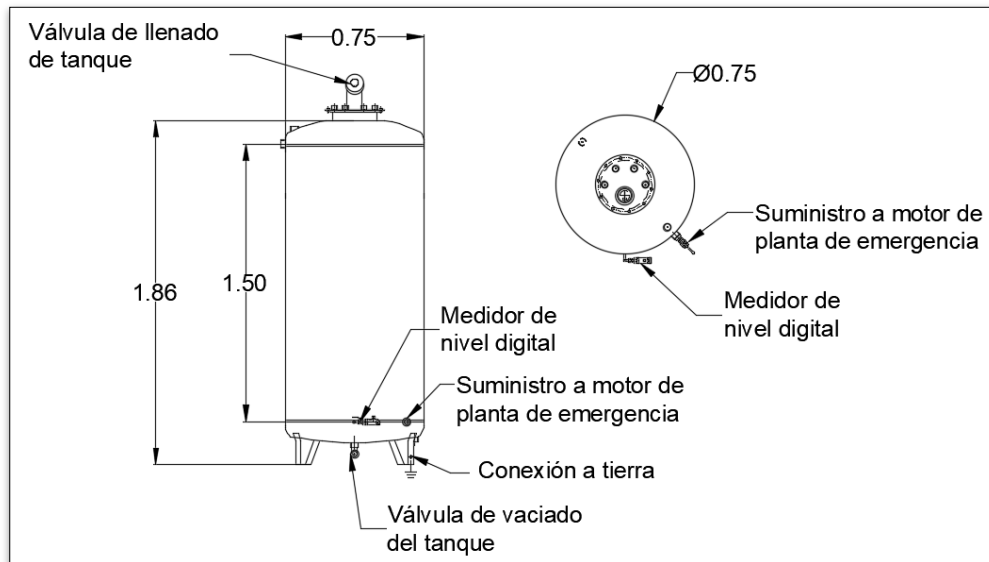
#### **4.5.4. Análisis del tanque Diésel**

El combustible almacenado para la planta de generación de emergencia es Diesel y debe cumplir con lo estipulado por la normativa de NFPA 30 versión 2018, donde se clasifica como un líquido combustible clase II por los apartados de la NFPA 30: 4.2.2 y 4.3.2 ya que tiene un valor de punto de inflamación de 52 °C.

Se cuenta con un tanque de almacenamiento de acero de forma cilíndrica y que está colocado en orientación vertical a un costado del cuarto de máquinas cercana a la planta de generación de emergencia. Sus dimensiones son de 2,0 m de altura y de 0,75 m de diámetro

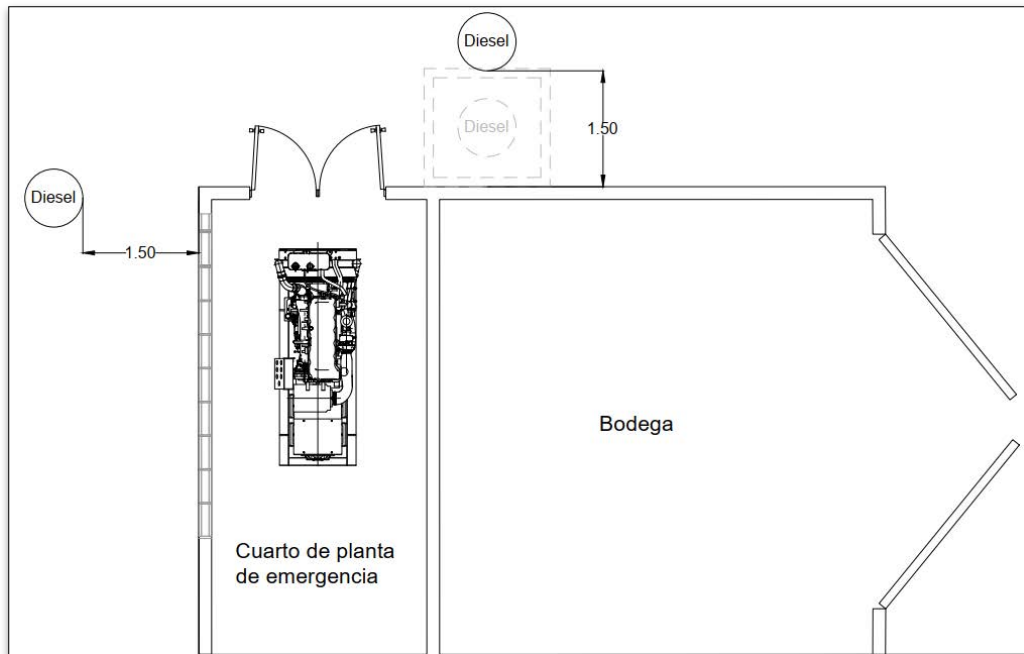


y tiene un volumen de almacenaje de líquido de 600 L (158,73 gal) para lo cual se debe de utilizar lo especificado en el capítulo 22 de NFPA 30. Las dimensiones y descripción del tanque se pueden ver a continuación en la ilustración 4.2.



**Ilustración 4.2.** Tanque de Diésel de planta de emergencia. Fuente: [52]

Además, la presión manométrica que mantiene el tanque es de 0 kPa ya que se mantiene a presión atmosférica, pero considerando la altura de líquido de diésel de 1,5 m se puede aproximar a una presión de 13,7 kPa (2 psi) de columna máximos hasta la válvula de salida al motor de la planta de emergencia. Este tanque no posee ninguna protección de supresión de incendios por lo que se genera la recomendación de distancia estipuladas por norma basado en las tablas 22.4.1.1(a) y 22.4.1.1(b) de la NFPA30 2018 donde se indica 1,5 m hasta el edificio más próximo posible y hasta la vía pública más cercana. De esta manera en la ilustración 4.3 se muestra cual es la ubicación recomendada para el tanque de diésel, en ambos lados del cuarto de la planta de emergencia, se puede observar además la ubicación actual del tanque de diésel con una línea punteada incluyendo su dique de seguridad en caso de derrame.



**Ilustración 4.3.** Ubicación recomendada de tanque diésel para planta de emergencia.  
Fuente: Autores.

Es importante destacar que cualquier ubicación que sea elegida debe incluir un dique de contención en caso de derrame que sea igual o mayor a la cantidad total del tanque de 600 L. Las dimensiones actuales del dique son de 1,1 m de profundidad x 1,2 m de ancho x 0,6 m de altura con una capacidad de 792 L, cumpliendo con lo requerido y por lo tanto se pueden considerar estas dimensiones para la reubicación del tanque.

#### 4.5.5. Análisis de transformadores

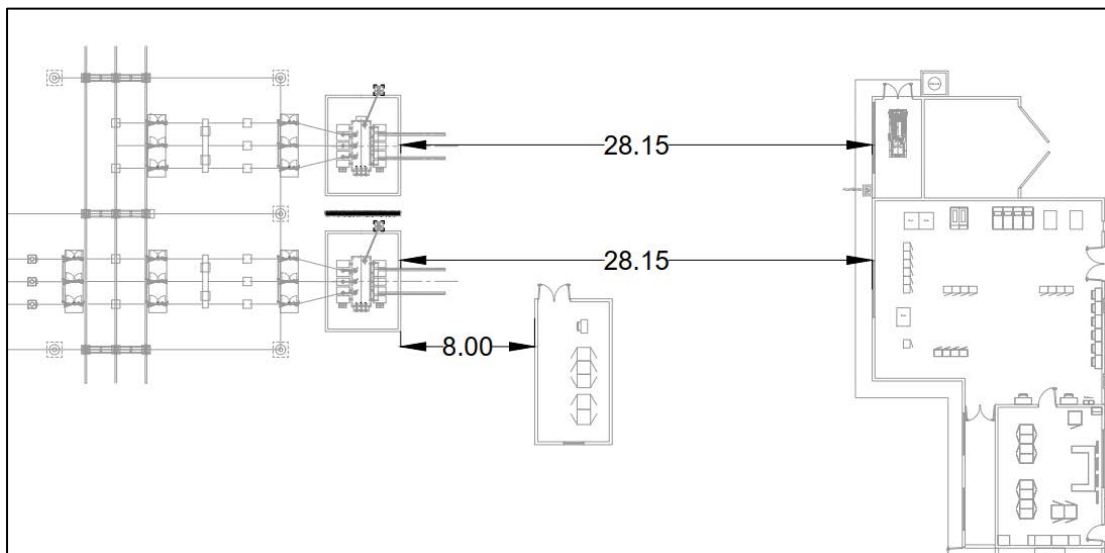
Como resultado de los parámetros descritos en el diseño, se verificaron las dimensiones del muro que separa los transformadores y se ubicaron los datos en el cuadro 4.10.

**Cuadro 4.10.** Verificación de dimensiones de muro corta fuego. Fuente: Autores.

Descripción				
Dimensión	Transformador	Requerida	Real	Cumple
Ancho (m)	3,28	4,0	4,0	Si
Altura (m)	3,70	3,9	4,5	Si

Donde se puede apreciar en el cuadro anterior que, las distancias del muro que divide los transformadores, cumplen con las distancias mínimas requeridas en la protección pasiva.

También, se debe de cumplir con las distancias que recomienda NFPA 850 descritas en el anexo D donde se indica una distancia de 7,6 m respecto a edificios que no tengan un muro corta fuego con resistencia a 2 h que los separe, esto para la cantidad de aceite que manejan los transformadores analizados que corresponde a más de 1893 L. Por esta razón se verifican las distancias con el cuarto de PLC's ubicado en la subestación y el cuarto de máquinas que son los que no poseen separación con muro corta fuego como se observa en la ilustración 4.4.



**Ilustración 4.4.** Distancia entre transformadores y cuarto de máquinas. Fuente: Autores.

Además, en la ilustración 4.4 se puede observar que la distancia que presentan los transformadores al cuarto de máquinas de manera lineal es de 28,15 m por lo que se considera aceptado por normativa para el caso más restrictivo (sin muro corta fuego). Y la distancia al cuarto de PLC se encuentra a 8,0 m de los transformadores, por lo que se también se considera aceptado para el caso más restrictivo de 7,6 m.

#### 4.6. Protección activa

El diseño de los sistemas de supresión contra incendios cumple con el capítulo 6 de la NFPA 850 versión 2020 del cual se obtiene el siguiente análisis.

- Suministro de agua

El suministro debe ser capaz de alimentar el sistema por un tiempo mínimo de dos horas para los siguientes casos:

- El sistema más demandante entre los sistemas fijos de supresión y cualquier demanda del sistema fijo de supresión que podría esperarse que opere simultáneamente con la activación de cualquier sistema.
- Demanda de mangueras de no menos de 1890 L/min (500 GPM).
- Uso incidental de agua para propósitos distintos de la protección contra incendios.

Además, se debe garantizar al menos una fuente confiable de suministro y se debe de analizar si es necesario considerar más de una. De las fuentes que se utilicen, o la cantidad que se consideren necesarias, deben de tener dos conexiones separadas y controladas por válvulas para evitar que se inhabilite alguna.

- Tanques de suministro de agua

Estos deben ser llenados mediante el suministro utilizado en 8 horas para poder abastecer el tiempo mínimo de 2 horas de uso de los sistemas mencionado anteriormente, aunque este tiempo puede extenderse si el suministro inicial excede los requerimientos mínimos de almacenaje sobre una base de relación volumen por tiempo.

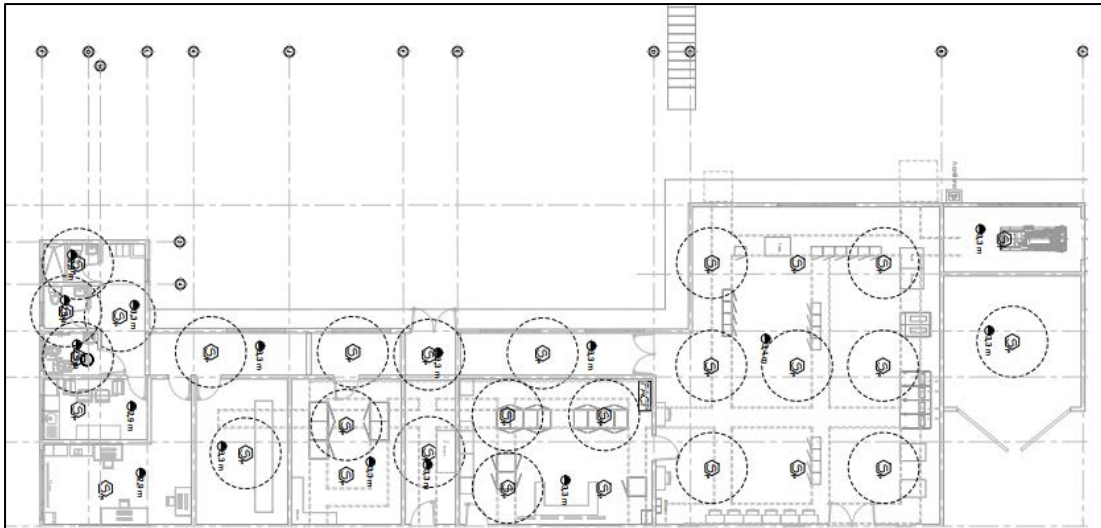
- Supervisión de válvulas

Todo sistema de válvulas debe de ser supervisado por uno de los siguientes métodos:

1. Supervisión eléctrica con señales audibles y visuales en el cuarto de control principal u otra instalación constantemente atendida.
2. Aseguramiento de válvulas en posición abierta. Las llaves deberían estar disponibles solo para personal autorizado.
3. Sellado de válvulas en posición abierta. Esta opción debería seguirse solo cuando las válvulas están dentro de vallas de cerramiento bajo el control del propietario de la propiedad.

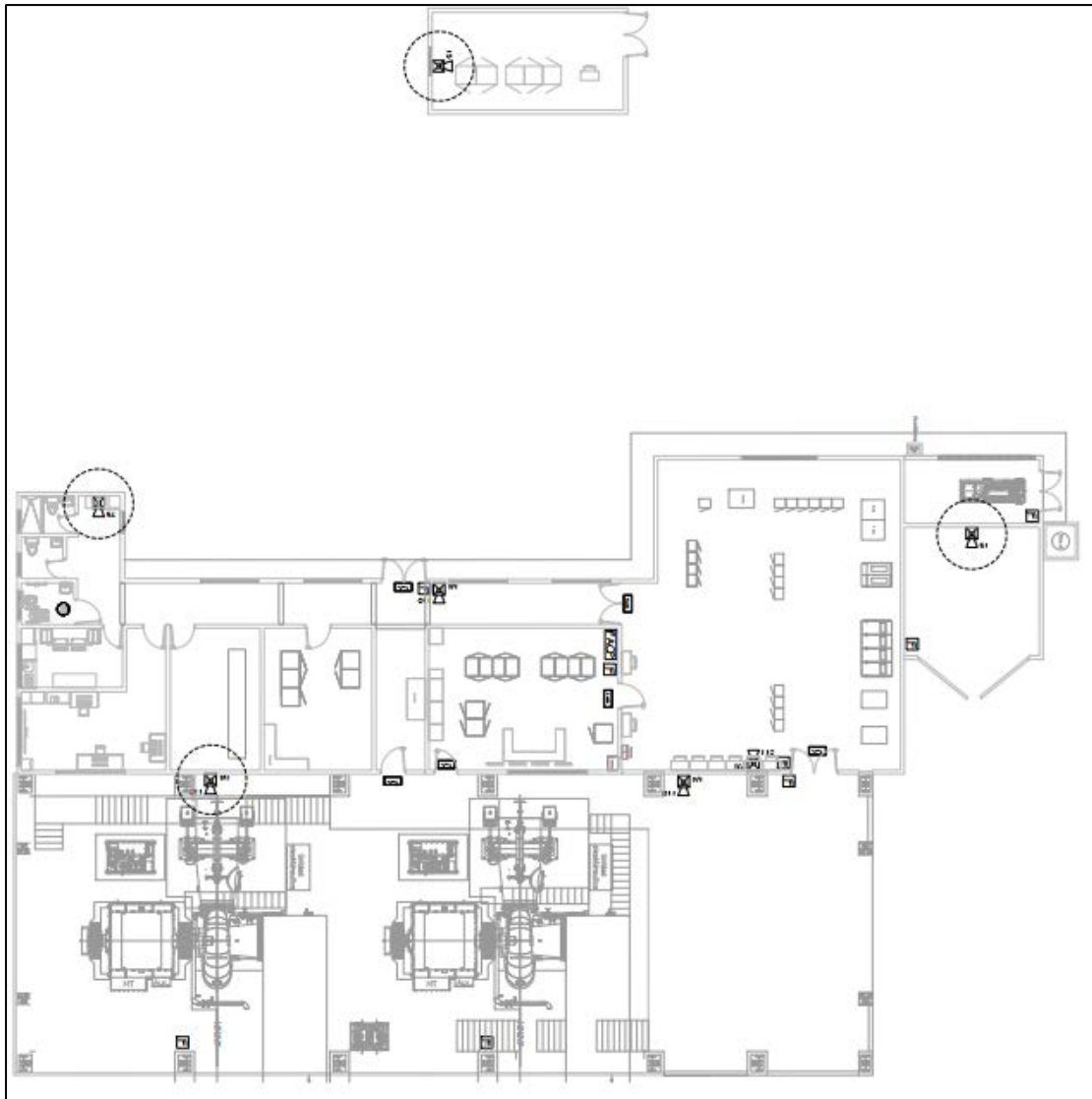
#### 4.6.1. Sistema de detección y notificación

Como recomendaciones y resultados para el sistema de detección se puede observar en la ilustración 4.5, se hace referencia a los detectores existentes en el cuarto de máquinas específicamente en la sección de oficinas y cuartos eléctricos, además, los nuevos recomendados se encierran en un círculo punteado.



**Ilustración 4.5.** Distribución de elementos de iniciación del sistema de detección recomendados en cuarto de máquinas. Fuente: Autores.

Por último, para las recomendaciones en cuanto al sistema de notificación, y al conocer que el nivel sonoro a utilizar en la planta debe ser igual o superior a 95 dB sin alcanzar el máximo permitido de 110 dB. Se realiza una distribución donde se encierran con un círculo punteado los nuevos elementos como se puede observar en la ilustración 4.6.



**Ilustración 4.6.** Distribución de elementos de notificación visible y audible en cuarto de máquinas y subestación. Fuente: Autores.

Se adicionan entonces, un elemento en el cuarto de turbinas, uno en el pasillo por el área de los baños, uno en la bodega y uno en el cuarto de PLCs de la subestación. En la lámina 12 de los planos anexos se pueden observar también la ubicación de las estaciones manuales de activación y de la señalización de las salidas. Para el caso de las estaciones manuales de activación de alarma se hace la comparación respecto a la normativa y se menciona la recomendación de 61 m de distanciamiento entre ellas, y la ubicación en todas las salidas de emergencia, para este caso todas las estaciones manuales cumplen con estos lineamientos por lo que no se realiza ninguna recomendación al respecto.

#### **4.6.2. Sistema de extintores portátiles**

Para realizar este análisis se tomó en cuenta el Manual de disposiciones técnicas generales sobre seguridad humana y protección contra incendios 2013 del BCBCR y la NFPA 10, norma para extintores portátiles contra incendios versión 2018, que menciona en el apartado 5.1.5 que los extintores portátiles se instalan como primera línea de defensa para hacer frente a fuegos de dimensiones limitadas [19], por lo que es una herramienta con la que se debe contar.

La NFPA 10 indica que para realizar una selección adecuada de extintores es indispensable elaborar una clasificación de fuegos, esto es según la clase de fuego con mayor probabilidad de producirse, puede ser fuego clase A, B, C, D o K según sea el caso.

También se efectúa una clasificación de los riesgos, según la NFPA 10 cada área o sala se clasifica de manera general como riesgo ligero, riesgo ordinario o riesgo extra, inclusive se menciona un riesgo específico por fuego en equipos electrónicos clase C. Para realizar esta clasificación se designaron nombres a cada área, por lo que se cuenta con: comedor, oficina, cuarto de baterías, cuarto de rectificadores, cuarto de control, cuarto eléctrico, bodega, cuarto de trabajo, cuarto de turbinas, planta de emergencia y cuarto de subestación.

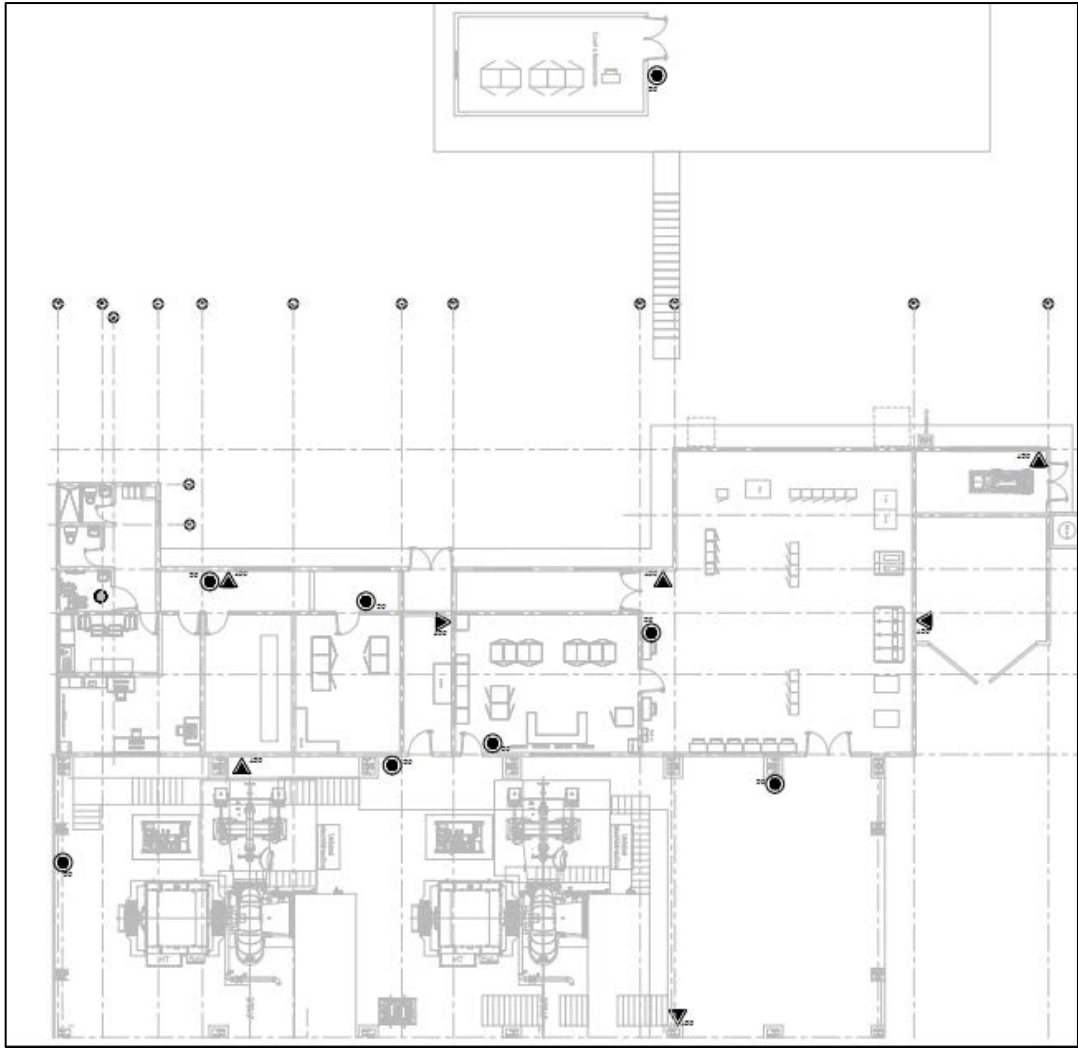
Además, el BCBCR menciona la altura máxima a la que debe estar un extintor según sea su peso y las distancias de recorrido máximas para llegar a un extintor, estos datos se pueden observar en el cuadro 4.11.

**Cuadro 4.11.** Especificaciones del sistema de extintores. Fuente: Autores.

Área	Clasificación de riesgo	Tipo de fuego (extintor)	Altura máxima	Distancia de recorrido
<b>Comedor</b>	Ordinario	A	1,25 m	15 m
<b>Oficina</b>	Ligero	A	1,25 m	15 m
<b>Cuarto de baterías</b>	Ligero	A, B, C	1,25 m	15 m
<b>Cuarto de rectificadores</b>	Riesgo específico	B, C	1,25 m	15 m
<b>Cuarto de control</b>	Riesgo específico	B, C	1,25 m	15 m
<b>Cuarto eléctrico</b>	Riesgo específico	B, C	1,25 m	15 m
<b>Bodega</b>	Ordinario	A, B, C	1,25 m	15 m
<b>Cuarto de trabajo</b>	Ordinario	A, B, C	1,25 m	15 m
<b>Cuarto de turbinas</b>	Extra	B, C	1,25 m	15 m
<b>Planta de emergencia</b>	Extra	B, C	1,25 m	15 m
<b>Cuarto de subestación</b>	Riesgo específico	B, C	1,25 m	15 m

Con los datos obtenidos en el cuadro 4.11 se puede definir si las instalaciones cumplen o no cumplen con estas especificaciones, por lo que se procedió a hacer la verificación: todos los extintores mantienen las distancias de recorrido entre extintores correctas, en todas las áreas se pueden encontrar extintores tanto de tipo ABC (indicado en forma de triángulo) como de tipo BC (indicado con un círculo), esto se puede apreciar en la ilustración 4.7, por lo que también cumple con este requisito. Por último, se debe verificar la altura máxima a la que debe estar colocado el extintor, y es en un rango entre 0,9 m a 1,25 m (3' a 4') que se miden desde el nivel del piso hasta el soporte del extintor, también deben tener una distancia mínima entre el fondo del extintor y el piso de no menor a 0,1 m.





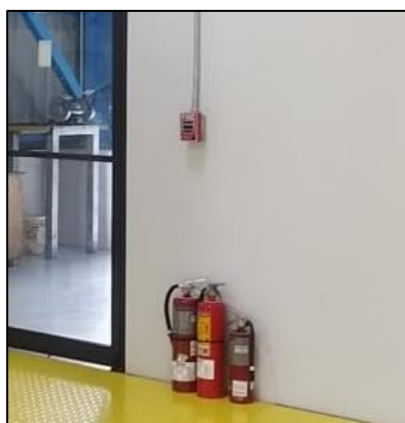
**Ilustración 4.7.** Distribución de extintores. Fuente: Autores.

Con respecto a esto último, se detectó un extintor que no cumplían pues se encontraban en el suelo como se puede observar en la ilustración 4.8, este extintor se encuentra en el cuarto eléctrico y no tiene la altura mínima a la que debería estar del suelo, por lo tanto, se debe hacer esa corrección.



**Ilustración 4.8.** Extintor en cuarto eléctrico. Fuente: Autores.

Otra situación que se encontró en el lugar con respecto a los extintores es hay una batería de extintores, como se aprecia en la ilustración 4.9, también localizada en el cuarto eléctrico que no cuenta con la altura mínima del piso y tampoco hay rotulación de los mismos por lo que es imprescindible rotularlos según se indica en la NFPA 10, ya que en caso de una emergencia se podría utilizar un extintor incorrecto para el tipo de fuego a atacar y tener pérdidas aún mayores.



**Ilustración 4.9.** Batería de extintores del cuarto eléctrico. Fuente: Autores.

El tipo de fuego que se seleccionó para cada área que se encuentran en el cuadro 4.11, son los más predominantes ya que se hicieron pensando en el diseño de extintores, los cuales se emplean para uno o más tipos de incendios, es por eso que cada área puede tener

más de un tipo de fuego, ya analizado esto se eligen los extintores apropiados, que según el BCBCR se clasifican como siguen:

- Para fuegos de clase A: agua, polvo químico polivalente (a base de fosfato amónico).
- Para fuegos clase B: CO<sub>2</sub>, polvo químico y espuma AFFF.
- Para fuegos clase C: CO<sub>2</sub>, polvo químico.

Tomando en consideración que la mayoría de las áreas tiene algún riesgo eléctrico, se recomienda utilizar extintores de CO<sub>2</sub>, ya que para extintores BC se puede utilizar CO<sub>2</sub> o polvo químico, pero en el inciso 5.5.6.1 de la NFPA 10 menciona que no deben instalarse extintores de producto químico seco para la protección de equipos electrónicos delicados.

Los extintores seleccionados deben estar listados y etiquetados según la protección del riesgo que va a cubrir, llámese riesgo clase A, B, C, D o K, además deben tener las instrucciones de operación. Cada extintor debe estar identificado con un cartel que indiquen la ubicación del mismo, estando en estrecha proximidad con el extintor según se indica en la norma NFPA 10, para la colocación de extintores se debe considerar que sean lugares visibles y de fácil acceso, ubicados a lo largo de recorridos normales y entradas inclusive. Con respecto al mantenimiento el BCBCR pide que al menos una vez al año se le de mantenimiento a los extintores. Para cumplir con estos parámetros PHLNII tiene una empresa que se encarga de ello, una vez al año se les da mantenimiento y se verifica que todos los extintores se encuentren correctamente colocados y rotulados, adicional a esto, la empresa da una capacitación sobre el uso de extintores al personal.

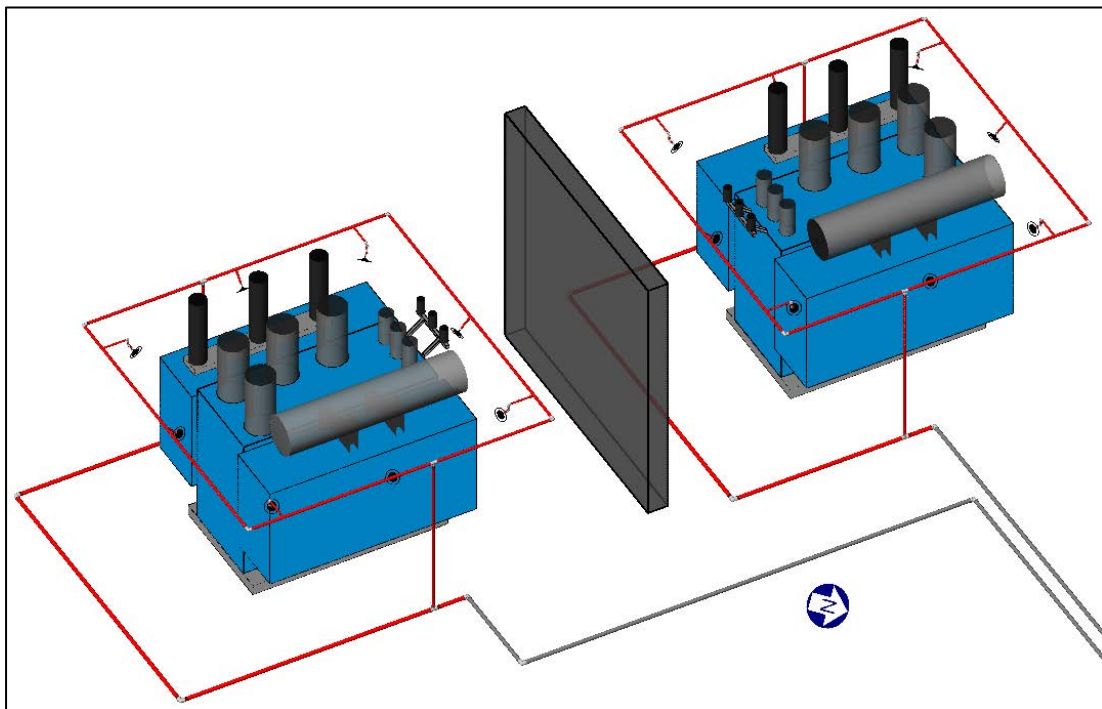
#### **4.6.3. Sistema de diluvio para transformadores**

El diseño final del sistema de diluvio contempla una sola línea de 8 boquillas para cada transformador, con una presión residual de mínimo 210 kPa (30 psi) en cada una y un factor k de 59 L/min/bar<sup>1/2</sup> (4,1 GPM/psi<sup>1/2</sup>). Además, se tiene contemplado en el diseño el sistema de activación que está compuesto por las válvulas de diluvio y el sistema de detección compuesto por un detector de calor lineal que se encuentra en todo el perímetro de la tubería de diluvio y se puede apreciar en la lámina 11 de los planos adjuntos.

Por último, el resultado en cuanto a la presión que el programa para computadora Autosprink, utilizado para este diseño proporciona, es de un rango de presión residual entre 210,0 kPa (30,0 psi) a 216,9 kPa (31,5 psi) en las boquillas del transformador que está al sureste; y de 237,1 kPa (34,4 psi) a 244,8 kPa (35,5 psi), para el otro transformador que se

encuentra al noroeste que se ve en la Ilustración 4.10. Lo que nos indica que las boquillas no varían en más de un 3,14% de presión residual entre ellas, por lo que cumple con el 5% de balanceo que se solicita en la NFPA 15. Conjuntamente, el cálculo hidráulico de Autosprink proporciona el flujo total que requiere el sistema de diluvio, que es de aproximadamente 733,2 L/min (194 GPM), además, este sistema requiere de una reserva de mangueras de 1892 L/min (500 GPM), por lo que se necesita un total de 2625,2 L/min (694 GPM) en 2 horas; lo que significa 314 m<sup>3</sup> de reserva de agua en el tanque.

En la ilustración 4.10 se muestra el diseño en 3D de cómo se vería el arreglo, conexiones y red exterior de los sistemas de diluvio en ambos transformadores, junto con el muro cortafuego, y la flecha en color azul indica el norte del terreno en el plano:



**Ilustración 4.10.** Transformadores con el sistema de diluvio. Fuente: Autores.

Esta ilustración 4.10 se puede apreciar mejor en la lámina 6, donde se aprecian las dimensiones y el tamaño de la tubería que se está utilizando para elaborar el anillo de los transformadores.

#### **4.6.4. Sistema de red exterior y tanque para sistemas de alimentación con agua.**

Esta sección abarca los resultados tanto del diseño de la red exterior, como los diseños del sistema de gabinetes, hidrante y toma de inyección (siamesa) que se propusieron para la planta, además del volumen y la capacidad del tanque que se va a necesitar.

El diseño del sistema de gabinetes está basado en la NFPA 14. Y se diseñó debido a que la autoridad competente, en este caso el BCBCR, solicita un sistema húmedo de gabinetes clase III. Además, la NFPA 14 requiere 946 L/min (250 GPM) de demanda en el caudal de mangueras y una presión residual de 6,9 bar (100 psi). Este sistema de gabinetes representa un volumen de 228 m<sup>3</sup> que deben estar presentes en el tanque.

El hidrante y la red exterior se diseñaron con respecto a la NFPA 24. En este punto es importante mencionar que para saber si era necesario colocar el sistema de hidrantes también se acudió directamente al BCBCR, quienes consultaron a la estación de Upala para conocer si era viable colocar hidrantes en la zona debido al distanciamiento y los caminos que hay entre la estación de bomberos más cercana y PHLNII, dado a que, si el tiempo para la llegada de los bomberos es demasiado o por causa de los malos caminos no se puede llegar, es recomendable no colocarlos, sabiendo que solamente el equipo de bomberos estaría capacitado para utilizarlos. Al recibir respuesta, bomberos determinó que sí es viable colocar hidrantes pues el tiempo estimado de llegada de la unidad de bomberos es de 30 minutos en tanto el estado de los caminos no varíe, por lo que nos recomiendan colocar una toma directa o una red de hidrantes como medida de protección, también mencionaron que se solicita un volumen de agua de 114 m<sup>3</sup> para abastecer el hidrante.

La red exterior estaría conectada al tanque de agua para incendios, que se construiría en la misma zona del tanque de oscilación que está a una altura de 160 m.s.n.m aproximadamente, hasta llegar al primer punto de abastecimiento en la subestación, y luego alimentar en los puntos de hidrantes y los gabinetes que se encuentran a 57 m.s.n.m. Lo que nos indica que hay una diferencia de altura de 103 m entre el punto más alto y el más bajo de la red exterior.

Cómo el sistema va a alimentarse por gravedad y no por un sistema de bombeo, es necesario conocer el caudal y pérdidas de presión que van a estar presentes en esta red, para asegurar que abastezca adecuadamente todos los sistemas antes mencionados. Por lo que, se procedió a hacer un cálculo de Bernoulli para la obtención del caudal, y se obtuvo un valor teórico de 152 L/s (2 410 GPM) de caudal que va a transportar la tubería, y según los

cálculos hidráulicos que se realizaron con el programa de computadora Autosprink, la presión si abastece todos los sistemas con las presiones mínimas que se indican en el siguiente cuadro 4.12.

**Cuadro 4.12.** Presiones y caudales mínimas requeridas de cada sistema de incendio.

Fuente: Autores.

<b>Sistema</b>	<b>Presión mínima en bar (psi)</b>	<b>Caudal L/min (GPM)</b>
Gabinetes	6,90 (100)	946 (250)
Hidrante	1,38 (20)	3 784 (1000)

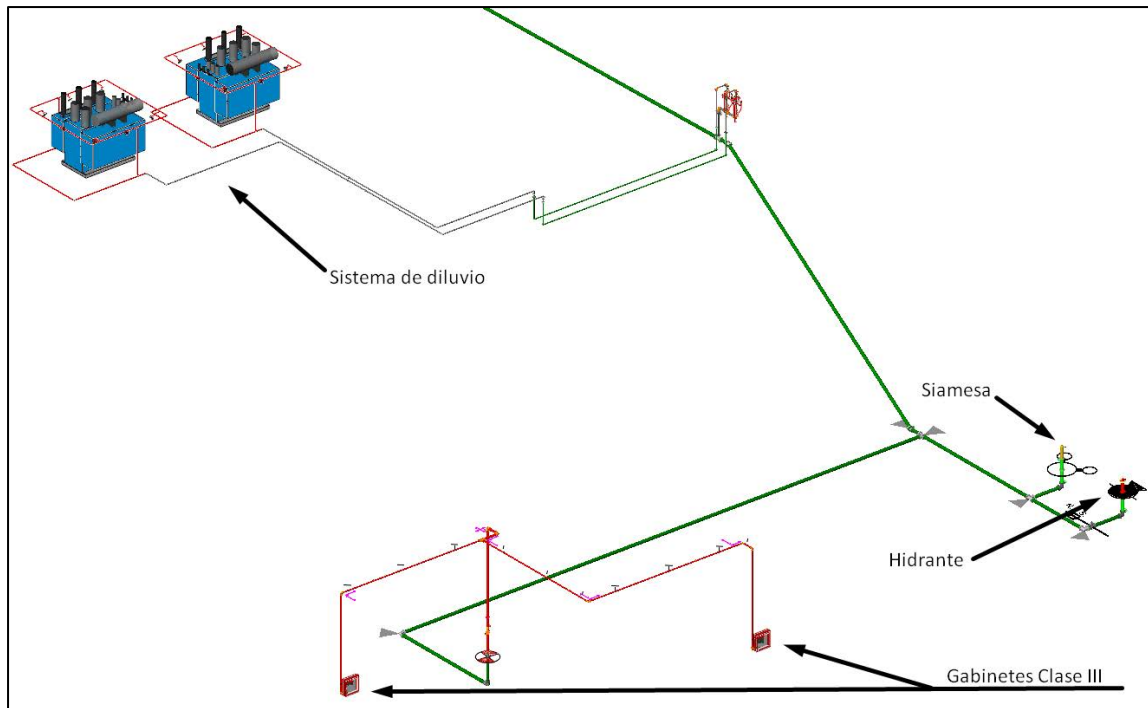
El cuadro 4.12 tiene como datos las presiones y caudales mínimos que requiere cada sistema que se encuentra conectado a la red exterior, y según solicita [21]. Además, cabe resaltar que la red exterior abastece el sistema de diluvio en la subestación, y esta se menciona en el apartado 4.6.4.

En cuanto al diseño, la conexión del hidrante con la tubería principal debe ser de al menos 150 mm (6") de diámetro nominal, y debe tener una válvula de control en la conexión a hidrante a no más de 6,1 m (20') del mismo. Además, el hidrante tiene una cobertura de 180 m de diámetro, por lo que logra cubrir toda el área de cuarto de máquinas y subestación, este se encuentra ubicado a no menos de 12 metros del edificio, y está conectado a la red exterior que alimentan los sistemas fijos de la PHLNII.

La toma de inyección para bomberos, conocida también como siamesa, se diseña de igual forma con la NFPA 24. Y es importante mencionar que esta debe colocarse a no más de 30 m de una fuente confiable, y para este caso la fuente sería el hidrante, por lo que se coloca justo a la par de este.

Los gabinetes clase III se colocaron en las dos entradas que contiene la planta, ya que estos deben cumplir con ser, junto con los extintores, la primera herramienta de ataque al entrar al edificio.

En la ilustración 4.11 se puede observar la ubicación de todos los sistemas antes mencionados.



**Ilustración 4.11.** Conjunto de sistemas de incendios a base de agua. Fuente: Autores.

Por último, en cuanto al tanque, este debe abastecer el riesgo que presenta una mayor demanda, que para este caso el sistema más crítico es el sistema de diluvio (descrito en la sección 4.6.4.). Por lo que el volumen mínimo del tanque debe de ser de al menos  $314 \text{ m}^3$  de agua, y la tubería de descarga de este debe tener una válvula de control instalada del lado del tanque de la válvula de retención.

A continuación, se encuentra el cuadro 4.13 con un resumen de los volúmenes por sistema fijo contra incendio que es abastecido con agua.

**Cuadro 4.13.** Volumen de agua requerido por cada sistema. Fuente: Autores.

Sistema	Volumen ( $\text{m}^3$ )
Hidrantes	114,0
Gabinetes Clase III	228,0
Diluvio	315,2

Donde se puede observar que el sistema que requiere más caudal y espacio en el tanque es el sistema fijo de diluvio, que contempla, además, la reserva de mangueras que solicita [26].

#### 4.6.5. Sistema de agente limpio Inergen para cuartos eléctricos.

En este apartado se presenta cuáles fueron los resultados del diseño de agente limpio para cuartos eléctricos considerados importantes en el proceso de producción de energía eléctrica de la PHLNII. Los resultados que se presentan son un resumen de lo obtenido mediante el software de diseño el cual es el método certificado para poder corroborar los pasos que se siguieron en el capítulo 3 de diseño.

El diseño del agente limpio sigue lo requerido por la NFPA 2001, NFPA 850 y los requerimientos específicos del sistema de supresión a base de gas inerte Inergen de la marca ANSUL. A continuación, en el cuadro 4.14, se presentan los datos ingresados al programa para realizar el diseño.

**Cuadro 4.14.** Datos iniciales del diseño del agente limpio. Fuente: Autores.

<b>Parámetros de diseño</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Unidad</b>
<b>Temperatura mínima</b>	18,0	°C
<b>Temperatura máxima</b>	30,0	°C
<b>Altitud sobre nivel del mar</b>	57,0	m.s.n.m
<b>Volumen cuarto eléctrico</b>	562,4	m <sup>3</sup>
<b>Voltaje en cuarto eléctrico</b>	> 480,0	V
<b>Volumen cuarto de control</b>	179,5	m <sup>3</sup>
<b>Voltaje en cuarto de control</b>	< 480,0	V
<b>Volumen cuarto de rectificadores</b>	104,3	m <sup>3</sup>
<b>Voltaje en cuarto de rectificadores</b>	< 480,0	V

A partir de esto se recuerda que la concentración para voltajes menores a 480 V debe tener un valor mínimo de 38,5 % de agente mientras que para voltajes mayores a 480 V es de 57 %. Sabiendo tanto el volumen como el voltaje que manejan los equipos de cada cuarto se realiza un resumen de los datos del agente limpio otorgados por el software para la cantidad de agente necesaria y disponible para cada cuarto como se observa en el cuadro 4.15.



**Cuadro 4.15.** Cantidad de agente limpio requerida por cuarto. Fuente: Autores.

Cuarto	Cantidad mínima requerida de agente (m <sup>3</sup> )	Cantidad de cilindros	Volumen de agente disponible (m <sup>3</sup> )	Concentración máxima esperada a T <sub>max</sub> (30°C)
Eléctrico	475,9	30	486	59,1
Control	87,5	8	99,44	43,8
Rectificadores	50,8	5	62,15	46,4

Además, se obtiene también las características de descarga del sistema como la cantidad de boquillas, el tipo escogido y sus condiciones de operación esto debido a la distribución de cada cuarto y utilizando boquillas de cobertura lineal máxima de 9,8 m con una cobertura de 360° como se demuestra en el cuadro 4.16.

**Cuadro 4.16.** Características de descarga del sistema de agente limpio. Fuente: Autores.

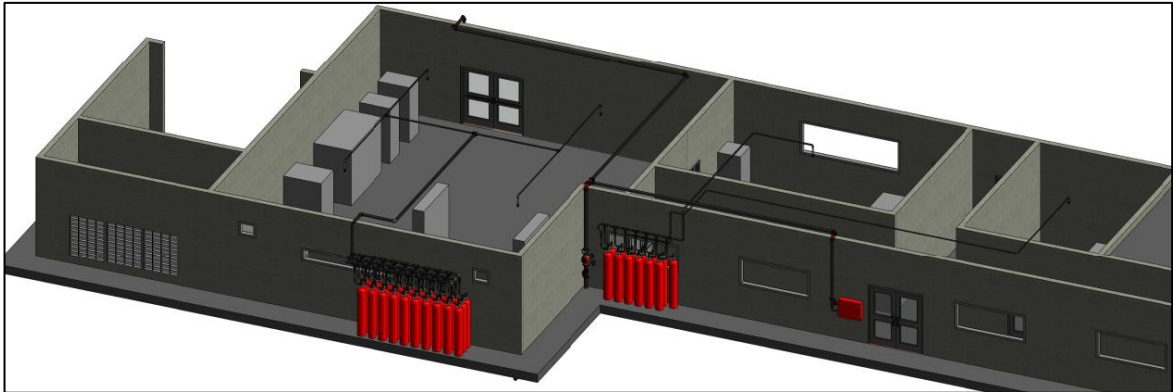
Cuarto	Cantidad total de boquillas	Tipo de boquilla	Caudal de cada boquilla(m <sup>3</sup> /s)	Presión de descarga de cada boquilla (kPa)
Eléctrico	4	360° estándar	1,99	5 137
Control	1	360° acústica	1,17	3 999
Rectificadores	1	360° estándar	0,60	3 751

Por último, se definen a partir del caudal total que maneja cada sistema de cada cuarto la abertura de liberación de presión necesaria por cada cuarto y la cantidad de actuadores piloto para la batería de cilindros como se observa en el cuadro 4.17.

**Cuadro 4.17.** Valores finales de diseño del sistema de agente limpio. Fuente: Autores.

Cuarto	Tiempo descarga 90% (s)	Caudal pico en la abertura (m <sup>3</sup> /s)	Área requerida en la abertura (m <sup>2</sup> )	Actuadores piloto requeridos
Eléctrico	86,7	15,5	0,91	3
Control	108,7	2,3	0,13	1
Rectificadores	132	1,2	0,07	1

Por último, se incluye una visualización en 3D de la distribución de cilindros y sistemas de supresión para cuartos eléctricos a base del agente Inergen realizado con el programa Revit de AutoDesk, en la ilustración 4.12 se observa además la ubicación de los gabinetes clase III y el riser de los mismos para verificar las interferencias entre ellos.



**Ilustración 4.12.** Imagen 3D de los sistemas de supresión por agente limpio Inergen.

Fuente: Autores.

#### **4.6.6. Sistema de dióxido de carbono para generadores y equipo hidráulico**

El sistema de inundación total para los generadores se diseñó bajo la normativa de la NFPA 12, con una concentración del 50% definida para equipo eléctricos secos y un factor de  $1,61 \text{ kg/m}^3$  de  $\text{CO}_2$ , cada generador cuenta con dos descargas que son la descarga inicial y la descarga extendida, que funcionan de la siguiente manera: la descarga inicial libera el agente en un corto tiempo (240 s para este caso), atacando el fuego y suprimiéndolo; al momento de finalizar la descarga inicial continua la descarga extendida, esta tiene un tiempo más prolongado (1 200 s en este caso), su función es mantener la concentración inicial durante ese tiempo para evitar cualquier reignición del fuego.

Se realizan cálculos generales para ambas descargas, tanto la inicial como la extendida, el cuadro 4.18 muestra un resumen de estos cálculos, los cuales se utilizaron también como parámetros iniciales para el cálculo hidráulico del software de Ansul. Los cálculos generales se encuentran más detalladamente en el anexo F.4.

**Cuadro 4.18.** Datos obtenidos en el diseño del sistema de extinción de CO<sub>2</sub> para los generadores. Fuente: Autores.

<b>Datos resumen</b>		
<b>Descarga inicial</b>	Tipo de fuego	Inundación total: fuego profundo
	Cantidad de cilindros	2,0
	Tamaño de cilindro	34,00 kg
	Cantidad de agente	68,00 kg
	Cantidad de boquillas	2,0
<b>Descarga extendida</b>	Tipo de fuego	Inundación total: fuego profundo
	Cantidad de cilindros	2,0
	Tamaño de cilindro	45,40 kg
	Cantidad de agente	90,80 kg
	Cantidad de boquillas	2,0

Al utilizar este software de Ansul el sistema diseñado cumpliría con todos los requisitos para ser listado, como lo solicita la autoridad competente. De estos resultados del cálculo hidráulico se destacan los datos de las boquillas que se presentan en el cuadro 3.28, la memoria de cálculo que arroja el software se puede apreciar en el anexo F.4.

En el caso del diseño para las unidades oleo-hidráulicas y de lubricación, se utilizaron los criterios para aplicación local, dado que estos equipos no se encuentran encerrados, además de esto se utiliza el método de tasa por volumen que indica la NFPA 12, dado que es una superficie irregular que cuenta con bombas, tanques y equipos de distintos volúmenes los cuales no se pueden reducir fácilmente a un área de superficie equivalente con la que se pudiera utilizar otro método. Por lo tanto, el método de tasa por volumen se ajusta mejor para darle protección a estos equipos con una tasa total de descarga utilizada para un sistema básico de 16 kg/min·m<sup>3</sup> de volumen asumido según la NFPA 12.

Estos sistemas liberan el CO<sub>2</sub> en una sola descarga y durante un tiempo mínimo de 30 segundos, pero con una tasa descarga mucho mayor a la de los equipos generadores, esto primeramente por ser equipos que se encuentran al aire libre y se debe asegurar que la descarga va a cumplir su función como supresor, de igual manera la colocación de las boquillas considera, que su ubicación coopere a mantener el CO<sub>2</sub> dentro del volumen asumido y que compense los efectos de cualquier corriente de aire.

A continuación, se presenta el cuadro 4.19, donde se presentan un resumen de los resultados de cálculos generales los cuales se utilizaron como parámetros iniciales en el

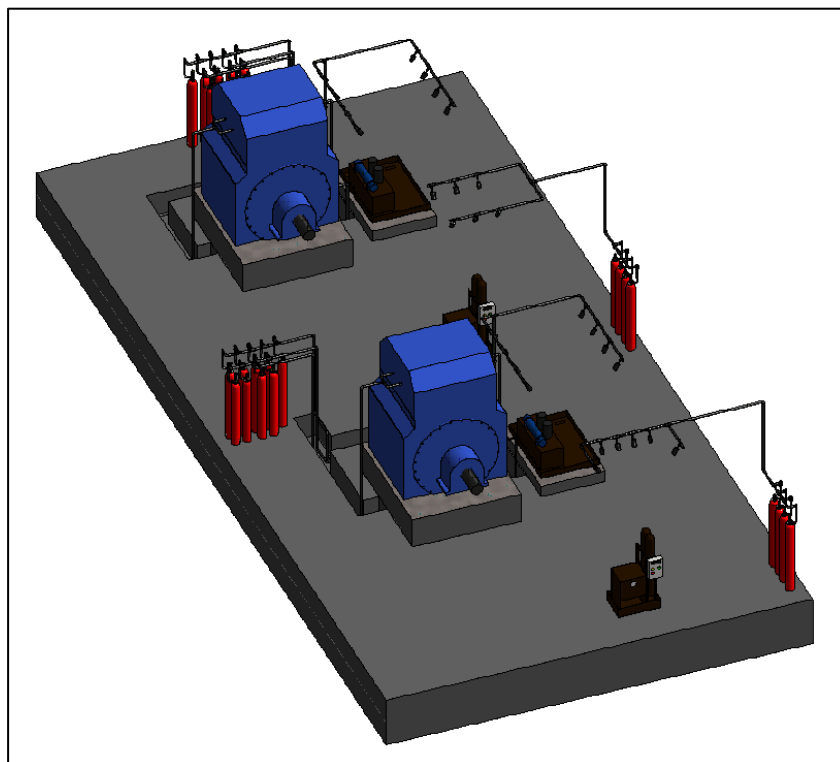
cálculo con el software de Ansul. Estos cálculos generales se encuentran con más detalle en el anexo F.4.

**Cuadro 4.19.** Resumen de valores utilizados en el diseño del sistema de CO<sub>2</sub> para los equipos de lubricación y oleo-hidráulicos. Fuente: Autores.

<b>Equipo</b>	<b>Lubricación</b>	<b>Oleo-hidráulico</b>
<b>Volumen asumido (m<sup>3</sup>)</b>	21,78	16,07
<b>Cantidad de boquillas @ 2,21 m</b>	8,00	6,00
<b>Tasa de descarga (kg/min)</b>	348,48	257,08
<b>Agente requerido (kg)</b>	243,93	179,95
<b>Tamaño del cilindro (kg)</b>	54,40	54,40
<b>Cantidad de cilindros</b>	5,00	4,00

De los datos arrojados por el software, se elabora un cuadro resumen que contiene los datos más relevantes, este cuadro se encuentra en el cuadro 3.32 y cuadro 3.33, también se pueden encontrar las memorias de cálculo del mismo software en el anexo F.4.

A continuación, se muestra la ilustración 4.13 donde se muestra un modelo de los sistemas de CO<sub>2</sub> propuestos para proteger el cuarto de turbinas.



**Ilustración 4.13.** Modelados de los sistemas de CO<sub>2</sub>. Fuente: Autores.

Se recalca que la distribución de tubería se realizó por trincheras en su mayoría como se puede apreciar en la ilustración 4.13, con el fin de evitar obstrucciones a la hora de darle mantenimiento a los equipos.

También se debe considerar la rotulación necesaria en el cuarto de turbinas y darle a conocer al personal los peligros a los que se pueden exponer al estar presentes en una descarga de CO<sub>2</sub>, por lo tanto, deben conocer que el sistema de activación del CO<sub>2</sub> cuenta con una pre-alarma que anuncia cuando algún sistema de estos será descargado en los próximos 30 s y deben evacuar esta área inmediatamente pues según señala la norma una exposición de menos de un minuto con una concentración de 17-30% de CO<sub>2</sub> en el aire, puede producir pérdida de control, convulsiones, coma y muerte.

También se definió que el sistema de detección para estos equipos se haría con detectores lineales de calor, con una configuración de detección cruzada para tener mayor confiabilidad en la activación del sistema.

#### 4.7. Presupuesto de los sistemas

Dentro del presente apartado, se va a desarrollar la cotización que se realizó para todos los sistemas diseñados para el presente trabajo, como se ve en el cuadro 4.20.

**Cuadro 4.20.** Cotización de los sistemas de supresión de la PHLNII. Fuente: Autores.

Sistema	Precio (dólares)	Precio (colones)
CO <sub>2</sub>	\$ 75 287,38	₡ 43 963 312,68
Inergen	\$ 108 303,72	₡ 63 242 874,26
Sistema de detección (CO <sub>2</sub> e Inergen)	\$ 15 501,34	₡ 9 051 852,48
Diluvio	\$ 42 035,08	₡ 24 545 964,62
Gabinetes Clase II	\$ 11 723,56	₡ 6 845 855,63
Red exterior	\$ 82 652,84	₡ 48 264 299,39
Tanque de agua	\$ 36 713,40	₡ 21 438 422,80
Camp site	\$ 3 788,89	₡ 2 212 484,43
<b>Total</b>	<b>\$ 376 006,21</b>	<b>₡ 219 565 066,27</b>

Donde es importante mencionar que dentro de esta cotización se toma en cuenta la mano de obra, y el 13% de I.V.A. sobre mano de obra y los materiales. Además, que se realiza el cambio de dólar a ₡ 583,94 obtenido el 4 de septiembre del 2020.

Por lo tanto, y según el cuadro 4.20 el gran total del sistema contra incendios es de doscientos diecinueve millones quinientos sesenta y cinco mil sesenta y seis colones con veintisiete centavos (₡ 219 565 066,27).

## CAPÍTULO 5

### 5. Conclusiones y recomendaciones

Al finalizar este proyecto se realizaron una serie de comparaciones donde se analizan objetivos y resultados obtenidos que permitieron llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones que se presentan a continuación.

#### 5.1. Conclusiones

Del método para escoger los tipos de análisis del riesgo que mejor se adaptan en la planta Hidroeléctrica Los Negros II, se obtiene que los análisis son: el análisis histórico, el ¿qué pasa sí...? y la lista de verificación.

El análisis histórico muestra que en Costa Rica el punto afectado con respecto a incendios y explosiones en plantas hidroeléctricas se encuentra centralizado en lo que son transformadores, pero mundialmente, las incidencias se han mostrado no solo en transformadores, sino también en generadores, seguido de otras incidencias en menor escala.

El método ¿Qué pasa sí...? Nos indica que las zonas más vulnerables son: el cuarto eléctrico y turbinas. Esto debido a que son las zonas que cuentan con los equipos de mayor relevancia en el proceso de generación de energía dentro del cuarto de máquinas y donde se podría generar un siniestro.

La lista de verificación evidencia que la falta de conocimiento sobre protección contra incendios en la planta hidroeléctrica, por parte de los operarios y personal a cargo, es un punto que podría quebrantar la seguridad y productividad del lugar y por lo cual es importante reforzar aumentando la seguridad pasiva y activa contra incendios.

Con el diseño propuesto se cubre la seguridad pasiva, cualquier incendio se limitará a una sola área específica, siendo esto fundamental para la PHLNII, lo cual impedirá que el fuego se propague hacia otras zonas de la instalación, facilitando la supresión del incendio y evitando mayores pérdidas materiales.

El análisis de riesgos señala elementos críticos que se deben proteger, sin embargo, esto no asegura la continuidad del negocio si se presentara un incendio en elementos que no se consideraron de riesgo elevado, por lo tanto, se propuso también proteger otros sectores y equipos que se encuentran ligados a estos elementos, como lo son las unidades oleo-

hidráulicas, cuarto de control, rectificadores y eléctrico, creando un nivel adecuado y aceptable de protección que asegura la continuidad del negocio.

Todos los sistemas de protección contra incendios se diseñaron siguiendo el Manual de disposiciones técnicas de Benemérito Cuerpo de Bomberos y las normativas NFPA correspondientes. A partir del estudio de estas normas se logró confeccionar una guía general para la protección contra incendios específicamente para plantas hidroeléctricas que incluye tanto protección pasiva como activa.

Se concluye que el sistema por gravedad propuesto logra cumplir con la demanda de presión y caudal requeridos por los sistemas de supresión a base de agua, además de ser la mejor opción para la PHLNII ya que se vuelve un sistema autónomo y así la cabeza de agua aprovecha la topografía del terreno sin necesitar un sistema de bombeo.

Se encontró factible el diseño de los sistemas de protección contra incendios a base de CO<sub>2</sub>, agente limpio y agua, que cubre todos los riesgos de la planta, siguiendo recomendaciones de la normativa NFPA, documentación bibliográfica y opinión de expertos en el tema.

## **5.2. Recomendaciones**

Capacitación del personal para conocer el funcionamiento de los equipos de protección contra incendios y crear un plan de emergencia donde puedan identificar las señales auditivas y visuales para realizar evacuaciones de manera exitosa.

Inspeccionar y dar el mantenimiento adecuado a los extintores, tanque y sistemas de protección contra incendios seleccionados.

Colocar una puerta adicional en área de los baños con salida al exterior para que se cumplan los requisitos de la NFPA 101 sobre recorridos comunes y pasillos sin salida.

Basados en la normativa NFPA 101 es necesario que puertas y ventanas tengan resistencia al fuego para compartimentar las áreas, por lo que se recomienda que las puertas y ventanas que dividan el área de turbinas y oficinas sean certificadas con un mínimo de resistencia al fuego de dos horas.

Para cumplir con las indicaciones de NFPA 30 para el almacenamiento de líquidos derivados del petróleo se recomienda alejar el tanque de diesel de la planta de generación de emergencia, un mínimo de 1,5 m de las paredes de la planta hidroeléctrica LNII.

Se realiza la recomendación de agregar dispositivos puntuales de detección y notificación para la seguridad general de la planta de manera que se pueda cumplir con la NFPA 72 y 850 satisfactoriamente. Esta recomendación queda plasmada en las láminas entregadas específicamente en la lámina 12.



## 6. Bibliografía

- [1] Direccion General de Protección Civil, Guía Técnica de Métodos Cualitativos para el Análisis de Riesgos, Madrid: Propia, 2000.
- [2] Empresa de Servicios Públicos de Heredia, «Especificaciones Técnicas Equipo Electromecánico y de Subestación,» Heredia.
- [3] Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A, «Evaluación Beneficio Costo del Proyecto Rehabilitación de la Planta Hidroeléctrica Los Negros II desde el punto de vista de costo evitado de compra,» Heredia, 2013.
- [4] Empresa de Servicios Públicos de Heredia, «Comprobación y Prueba de Panel de Control de Detección de Incendios Planta Hidroeléctrica Los Negros II,» Upala, 2018.
- [5] J. L. Barrera Lobato, Análisis y Evolución PCI en Centrales Hidroelectricas. Incendios en Transformadores, Madrid, 2012.
- [6] A. Acosta Peñaranda, J. Calderon Quesada y L. D. Espinoza Jiménez, Diseño Detallado del Sistema de Proteccion Contra Incendios para un Transformador Eléctrico y las Subestaciones de Control 2 y 3 del Plantel de Holcim en Agua Caliente de Cartago, San José, 2014.
- [7] J. F. León, «Diseño del sistema de prevención y protección contra incendios para las plantas de generación hidráulicas San Francisco, Ínsula y Esmeralda de la central hidroeléctrica de Caldas S.A E.S.P. CHEC,» Manizales, Colombia, 2014.
- [8] D. Castillo Vargas, J. Hernández Viquez y J. D. Rodríguez Orozco, Análisis y Diseño del Sistema de Supresión contra Incendios para los Edificios de la Sede Central del Tribunal Supremo de Elecciones, Alajuela, 2015.
- [9] Poder Legislativo de la República de Costa Rica, Ley de creación del Instituto Costarricense de Electricidad N°449, San Jose, Costa Rica: Imprenta Nacional, 1949.

- [10] Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, Ley N°7593, San Jose, Costa Rica: Imprenta Nacional, 1996.
- Menna, «COMOFUNCIONA,» 14 Setiembre 2018. [En línea]. Available:
- [11] <https://como-funciona.co/una-turbina-hidraulica/>. [Último acceso: 5 Mayo 2019].
- H. G. G. y. A. N. Mastache, «Selección y dimensionamiento de turbinas hidráulicas para centrales hidroeléctricas,» Abril 2014. [En línea]. Available:
- [12] [http://www.ingenieria.unam.mx/~deptohidraulica/publicaciones/pdf\\_publicaciones/SELECYDIMENSIONAMIENTOdeTURBINAS.pdf](http://www.ingenieria.unam.mx/~deptohidraulica/publicaciones/pdf_publicaciones/SELECYDIMENSIONAMIENTOdeTURBINAS.pdf). [Último acceso: 11 Junio 2019].
- C. Salazar, «El País,» 11 Julio 2018. [En línea]. Available:
- [13] <https://www.elpais.cr/2018/07/11/9853-de-la-electricidad-generada-en-costarica-desde-2014-es-renovable/>. [Último acceso: Marzo 2019].
- [14] N. Smith, Managing Risk in Construction Projects, Oxford, UK: Blackwell, 2006.
- [15] Direccion General de Protección Civil, Metodologías para el análisis del riesgo, visión general, Madrid: propia, 2000.
- [16] Direccion General de Protección Civil, Guía Técnica de Métodos Cuantitativos para el Análisis de Riesgos, Madrid: propia, 2000.
- National Fire Protection Association, «NFPA en Español,» [En línea].
- [17] Available: <https://www.nfpajla.org/nfpa-en-latioamerica/nfpa-en-espanol#qui%C3%A9nes-somos>. [Último acceso: 3 Junio 2019].
- [18] National Fire Protection Association, NFPA 1: Código de incendios, Queency, Masachussetts: Propia, 2012.
- [19] National Fire Protection Association, NFPA 10. Extintores portátiles contra incendios, Queency, Massachusetts: Propia, 2018.

- [20] National Fire Protection Association, NFPA 12. Standards on Carbon Dioxide Extinguishing Systems, Propia, 2011.
- [21] National Fire Protection Association, NFPA 14, Standard for the Installation of Standpipe and Hose Systems, Propia, 2019.
- [22] National Fire Protection Association, NFPA 15. Norma para sistemas fijos protección contra incendios de agua pulverizada, Queency, Massachusetts: Propia, 2017.
- [23] National Fire Protection Association, NFPA 24. Norma para la instalación de la red privada de bomberos y sus accesorios, Queency, Massachusetts: Propia, 2016.
- [24] National Fire Protection Association, NFPA 72: Código nacional de alarmas de incendio y señalización, Propia, 2016.
- [25] National Fire Protection Association, NFPA 101. Código de Vida Humana, Queency, Massachusetts: Propia, 2015.
- [26] National Fire Protection Association, NFPA 850. Práctica recomendada para la protección de incendios en las plantas de generación eléctrica y estaciones de corriente directa y alto voltaje, Queency, Massachusetts: Propia, 2020.
- [27] National Fire Protection Association, NFPA 5000. Building Construction and Safety Code, Queency, Massachusetts: Propia, 2015.
- [28] J. G. Quintiere, Principles of fire behavior, Delmar Publishers .
- [29] P. A. Hitado Escudero, Teoría del fuego, Guadalajara: Propia, 2015.
- [30] F. Gálvez, R. Lopez, A. Llopis y C. Rubio, Física: curso teórico-práctico de fundamentos físicos de la ingeniería, Madrid: Tébar Flores S.L.
- [31] NFSA, Layout, detail and calculation of fire sprinkler systems, New York, USA: propia, 2010.

- [32] National Fire Protection Association, NFPA 101H. Life Safety Code Handbook, Massachusetts, USA: propia, 2018.
- [33] ASTM, ASTM-E814. Fire Test of Penetration Firestop Systems, West Conshohocken, USA: propia, 2017.
- [34] National Fire Protection Association, NFPA-1H. Fire Code, Massachusetts, USA: propia, 2015.
- Universidad Industrial de Santander , «Gabinetes e hidrantes,» [En línea]. Available:  
[35] <https://www.uis.edu.co/webUIS/es/administracion/recursosHumanos/saludOcupacional/programasSubproceso/prevencionAlteracionEmergencias/elementosAtencionEmergencias/gabineteHidranteSYSO.html>. [Último acceso: 14 06 2019].
- Johnson Controls, «tyco-fire.com,» 1 Agosto 2018. [En línea]. Available:  
[36] <https://www.tyco-fire.com/index.php?P=detailprod&S=8020>. [Último acceso: 8 Marzo 2020].
- Johnson Controls, «tyco-fire.com,» 1 Agosto 2018. [En línea]. Available:  
[37] <https://www.tyco-fire.com/index.php?P=detailprod&S=3190>. [Último acceso: 8 Marzo 2020].
- [38] Fike, Industrial Carbon Dioxide Extinguishing Systems, Propia, 2008.
- [39] Á. Climent, W. Rojas, G. Alvarado y B. Benito, Evaluación de la amenaza sísmica en Costa Rica, San Jose: propia, 2008.
- [40] Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, Código Sísmico de Costa Rica, San Jose: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2010.
- [41] JMC Ingeniería de Proyectos S.A., «Cimiento transformador,» propia, Alajuela, 2016.
- [42] A. Morales V, «Informe de Inspección de Sistema de Detección de Incendios,» propia, Alajuela, 2018.

- [43] U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation , CO2 System operation and maintenance, Denver, Colorado: Propia, 2005.
- Tyco Fire Protection Products, Boquillas de pulverización
- [44] PROTECTOSPRAY Tipo 3D direccionales, abiertas, de velocidad media, Lansdale: Propia, 2016.
- National Fire Protection Association, «Fire Protection Systems for Special Hazards,» Quincy, Massachusetts, Propia, 2004, pp. 127-133.
- [45]
- Durman, «FT Sistema Durman C900,» Mayo 2015. [En línea]. Available:
- [46] <https://www.durman.com/descargas/C900/Fichas/FTDurmanC900.pdf>. [Último acceso: 31 Mayo 2020].
- Crane Co, Flow of fluids through valves, fattings and pipe, Stamford, Connecticut, 2013.
- [47]
- Ansul, «Desing, installation, recharge, and maintenance manual. Inergen 150 Bar System.,» Tyco Fire Products LP, Wisconsin, 2018.
- [48]
- Ansul, «Desing, installation, recharge, and maintenance manual. Inergen 200 Bar System.,» Tyco Fire Products LP, Wisconsin, 2018.
- [49]
- National Fire Protection Association, NFPA 2001, «Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems,» Propia, Massachusetts, 2018.
- [50]
- ANSUL, High pressure carbon dioxide systems: Design, installation, recharge, and maintenance manual, Tyco Fire Products LP, 2017.
- [51]
- [52] S.T.E. energy, «600 litres tanque diesel,» propia, Alajuela, 2016.
- Instituto Nacional de Seguridad e higiene en el Trabajo, «Real Decreto 1254/1999,» Boletin Oficial del Estado, Madrid, España, 1999.
- [53]
- S. Mora, «crhoy.com,» 30 Mayo 2018. [En línea]. Available:
- [54] <https://www.crhoy.com/nacionales/proyectos-de-energia-renovable-ganan-terreno-en-el-pais/>. [Último acceso: Abril 2019].

Reliable, «Reliable: Manufacturer & Global Distributor of Fire Protection Products,» Tipos de rociador modelo F1FR, [En línea]. Available:  
[55] <https://www.reliablesprinkler.com/sites/default/files/products/bulletins/014.pdf>.  
[Último acceso: 20 06 2019].

Aguas Integrales S.A, «Aguas Integrales: Rociadores y más,» 20 07 2016.  
[56] [En línea]. Available: <http://blog.aguasintegrales.com/2016/07/20/rociadores-y-mas/>. [Último acceso: 20 06 2019].

National Fire Protection Association, NFPA 22. Standard for Water Tanks for  
[57] Fire Protection, Quincy, Massachusetts: Propia, 2013.

Honeywell, «Fire Sentry SS2 Fiera and Flame Detectors,» Honeywell  
[58] Analytics, North Carolina, 2012.

## ANEXOS

### Anexo A. Clasificación de zonas sísmicas en Costa Rica.

La siguiente información corresponde al zonaje sísmico que se presenta en la provincia de Alajuela y sus correspondientes distritos y cantones para ser utilizado en la selección del factor de vulnerabilidad en el análisis del riesgo realizado.

Provincia	Cantón	Distrito	Zona	
2. Alajuela	1. Alajuela	Todos	III	
	2. San Ramón	Todos	III	
	3. Grecia	Todos	III	
	4. San Mateo	Todos	III	
	5. Atenas	Todos	III	
	6. Naranjo	Todos	III	
	7. Palmares	Todos	III	
	8. Poás	Todos	III	
	9. Orotina	Todos	III	
	10. San Carlos	1. Quesada		III
		2. Florencia		III
		3. Buenavista		III
		4. Aguas Zarcas		III
		5. Venecia		III
		6. Pital		II
7. Fortuna			III	
8. Tigra			III	
9. Palmera			III	
10. Venado			II	
11. Cutris			II	
12. Monterrey			II	
13. Pocosol			II	
11. Alfaro Ruiz	Todos	III		
12. Valverde Vega	Todos	III		
13. Upala	Todos	II		
14. Los Chiles	Todos	II		
15. Guatuso	Todos	II		

**Ilustración A.1.** Clasificación de zonas sísmicas en Alajuela. Fuente: [40]

#### Anexo A.1. Selección de los métodos para el análisis del riesgo

En esta sección se amplían las características consideradas para la clasificación de la instalación del PHLNII y también sus situaciones operativas siguiendo las recomendaciones de la guía técnica de la Dirección General de Protección Civil.

**Extensión:**

Las dimensiones del recinto considerado son solamente las del cuarto de máquinas la cuál es la que incluye la mayoría de equipos y es a la cual se le puede aplicar un análisis de seguridad humana, considerando que es el lugar donde se encuentra la mayoría del tiempo el personal de la planta. Por otro lado, también existe la subestación propia de la planta la cual se encarga de transformar de la energía generada por las dos turbinas de 27 600 V hasta 69 000 V que se produce para poder transportarla hasta la subestación El Mogote del ICE. Esta huella de área no se considera en el análisis anterior debido a que los dos elementos de mayor riesgo que se encuentran en la subestación son los transformadores cuya huella es de 27 m<sup>2</sup> cada uno.

Dentro del cuarto de máquinas existen las siguientes áreas:

- Cuarto de planta de emergencia
- Bodega
- Cuarto eléctrico
- Cuarto de control
- Cuarto de baterías
- Cuarto de rectificadores
- Oficina
- Comedor
- 3 baños
- Área de trabajo
- Área de generación

**Tipo de instalación:**

En la instalación del cuarto de máquinas se genera energía eléctrica aprovechando la energía potencial en una diferencia de altura generada por la geografía del terreno. Esta geografía se aprovecha al instalar un conducto que direcciona el agua hasta el momento en que se convierte en energía cinética la cual es aprovechada por turbinas que la transfieren en energía mecánica, y por último un generador sincrónico que la convierte en energía eléctrica.

Por esta razón se considera que la instalación se encarga de producir y transformar energía eléctrica.

**Tipo de proceso:**

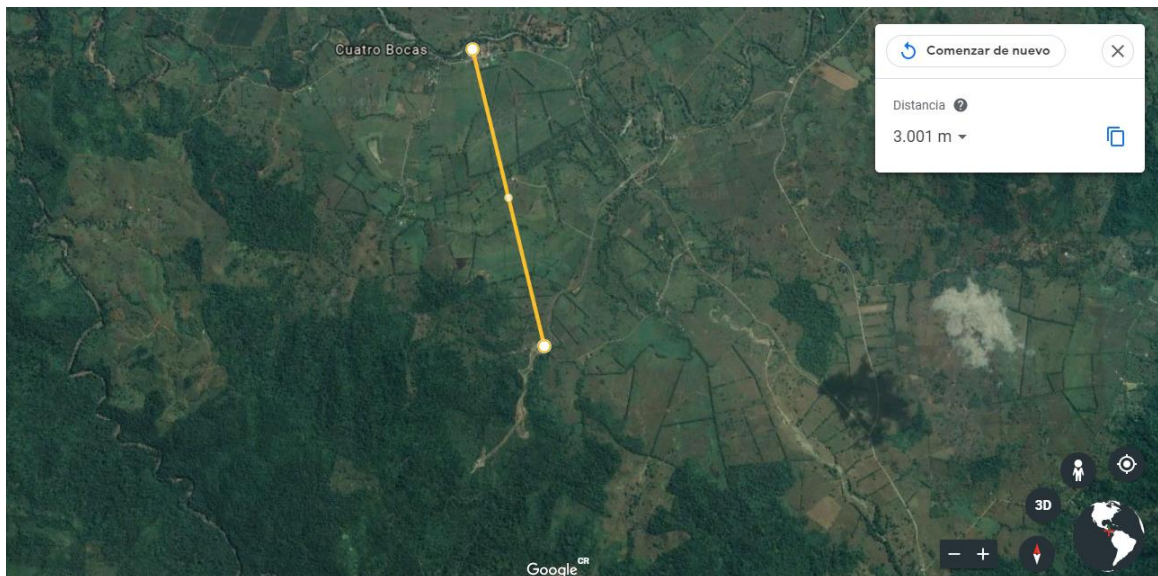
La planta no hace una generación continua de energía ya que la totalidad de la generación depende de la cantidad de agua disponible en el cauce de los ríos que la



abastecen. Además, la finalidad de la planta no es la de generar energía de manera continua, si no de generar lo suficiente para abastecer los picos de consumo (piquear) que se dan en sus abonados, aunque siempre se va a buscar su funcionamiento continuo cuando se cumplan las condiciones necesarias para esto.

### **Entorno de la Instalación:**

En los alrededores de la instalación, como se observa en la Ilustración A.2 se encuentra en su mayoría un área de vegetación abundante y a aproximadamente 3,0 km el pueblo de Cuatro Bocas, Aguas Claras de Upala. Es importante tomar en cuenta esta ubicación ya que se puede apreciar cuáles serían los impactos directos en caso de un incendio, explosión u otra emergencia que se pueda presentar.



**Ilustración A.2.** Vista satelital de la ubicación de la Planta Hidroeléctrica Los Negros II.

Fuente: Autores.

En el pueblo de Cuatro Bocas no se encuentra una urbanización grande de personas, pero si se pueden considerar escuelas, iglesia y algún recinto de reunión pública. El acceso que existe desde el pueblo hasta la planta es completamente sin pavimento e involucra pendientes del terreno considerables para un camión, además existen diferentes puentes que no superan los 3,5 m de ancho.

### **Situaciones operativas:**

Respecto a las situaciones operativas se consideran cuáles son las características de funcionamiento de la planta en términos de generación como se especifica a continuación.

La elección del método se basa en la utilización del Cuadro 2.1 ubicada en el marco teórico para lo cual se debe de realizar la siguiente clasificación:

- **Instalación:** El conjunto de equipos se encuentra en su mayoría en el cuarto de máquinas por lo que la instalación se considera solo esta parte de todo lo que involucra la planta de generación.
- **Unidad:** El cuarto de máquinas se divide en varias unidades para poder lograr su cometido, todas con una función en específico como lo son específicamente:
  - **Unidad de generación:** involucra al conjunto de sistemas hidráulicos, sistema de válvulas, turbinas, generadores e intercambiadores de calor que están directamente asociados a la transferencia de energía mecánica en eléctrica y todo lo que implica para mantenerlo dentro de los parámetros deseados.
  - **Unidad de control:** involucra el cuarto de control, el cuarto eléctrico y el cuarto de PLCs y es la unidad encargada de que todos los sistemas funcionen según los parámetros deseados y donde se puede dar un monitoreo en tiempo real de todos los componentes y su manipulación mediante control automatizado.
  - **Unidad de Respaldo:** involucran tanto el cuarto de la planta de emergencia como el cuarto de baterías que entran en funcionamiento cuando la planta se quede sin suministro eléctrico del servicio público, en primera instancia se adquiere la energía eléctrica de las baterías hasta que la planta de emergencia entre en funcionamiento.
  - **Unidad de operación:** involucra todas las oficinas, baños, comedores y áreas en común que no entren en contacto o conflicto directo con los sistemas de generación de energía.
  - **Unidad de distribución:** involucra en su totalidad a la subestación propia de la planta hidroeléctrica Los Negros II y es donde se da la transformación de voltaje para poder realizar la distribución hacia la subestación El Mogote.
- **Área:** En las instalaciones en estudio no se encontraron áreas que cumplieran una distribución única o entidad de funcionamiento propia.

## Anexo A.2. Criterios para la selección del análisis de riesgos

**Cuadro A.2.1.** Criterios para la selección de un método de identificación de riesgos.

Fuente: [15]

<b>Criterios para la selección de un método de identificación de riesgos</b>		
<b>Criterios generales</b>	Tamaño de la instalación	
	Grande	Más de tres unidades
	Plantilla total de la instalación	
	Pequeña	menor a 50 personas
	Importante	entre 50 y 250 personas
Muy Importante	mayor a 250 personas	
<b>Criterios a aplicar a cada unidad</b>	Cantidades almacenadas	
	Almacenamiento independiente	
	Pequeño	Cantidad < Umbral 1
	Mediano	Umbral 1 < Cantidad < Umbral 2
	Grande	Cantidad > Umbral 2
	Proceso	
	Pequeño	Cantidad < Umbral 3
	Importante	Cantidad > Umbral 3
	Tipo de proceso	
	Continuo o Discontinuo	
	Condiciones de almacenamiento/operación	
	Almacenamiento	
	Severas	$T_{\text{almacenamiento}(^{\circ}\text{C})} - 10 > T_{\text{ebullición}(^{\circ}\text{C})}$
	No Severas	$T_{\text{almacenamiento}(^{\circ}\text{C})} < T_{\text{ebullición}(^{\circ}\text{C})}$
	Operación	
	Muy Severas	$P_{\text{operación}} > 50 \text{ bar}$
		y $T_{\text{operación}} > 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$
		o reacciones exotérmicas
	Severas	$P_{\text{operación}} > 50 \text{ bar}$
		o $T_{\text{operación}} > 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$
		o reacciones exotérmicas
	Poco Severas	$P_{\text{operación}} < 50 \text{ bar}$
		y $T_{\text{operación}} < 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$
		o no hay reacciones exotérmicas
	Edad de la unidad	
	Nueva	< 10 años
	Antigua	> 10 años
En fase de proyecto		
Vulnerabilidad del entorno		
Poco Vulnerable	$FV < 10$	
Vulnerable	$10 < FV < 30$	
Muy Vulnerable	$FV > 30$	

### Anexo A.3. Cálculo del factor de vulnerabilidad

Cuadro A.3.1. Cálculo del factor de vulnerabilidad del entorno. Fuente: [15]

<b>Cálculo del Factor de Vulnerabilidad del Entorno</b>				
	Grave	Medio	Ligero	Nulo
<b>A. Existe riesgo de contaminación de aguas destinadas al consumo humano o agrícola</b>	10	7	5	-
<b>B. Existe riesgo de que un vertido afecte áreas recreativas, de producción pesquera o de interés ecológico</b>	10	7	5	-
		SI	NO	
<b>C. Existe densidad de población &gt; 3 000 habitantes/km<sup>2</sup> en un área de 5,0 km de radio</b>		10	-	
<b>D. Existe concentración de población &gt; 10 000 personas en un área de 5,0 km de radio.</b>		10	-	
<b>E. Existen instalaciones afectadas por el artículo 6 del Real Decreto 886 a distancia &lt; 1 km</b>		10	-	
<b>F. Existen servicios públicos:</b>				
<b>Concentraciones de población de alto riesgo (hospitales, escuelas, residencias) a distancia &lt; 5,0 km.</b>		10	-	
<b>Puntos de concentración transitoria de población (estadios deportivos, terminales de autobuses, estaciones de ferrocarril, centros comerciales de gran superficie) a distancia &lt; 2,0 km.</b>		10	-	
<b>G. Áreas protegidas de patrimonio público a distancia &lt; 2,0 km.</b>		10	-	
<b>H. Sistemas de carreteras y vías de transporte. Carreteras con gran volumen de tráfico o líneas férreas a una distancia &lt; 500,0 m.</b>		10	-	
<b>I. Aeropuerto a distancia &lt; 5,0 km</b>		10	-	
<b>J. Zona crítica por motivos político-sociales</b>		10	-	
<b>K. Zona de clasificación sísmica</b>		10	-	
<b>L. Zona inundable</b>		10	-	

Cálculo del Factor de Vulnerabilidad

$$FV = \sum_{i=A}^L P_i \quad (\text{A.1})$$

Donde Pi es la puntuación asociada al factor i.

#### Anexo A.4. Análisis de las sustancias y sus de condiciones de almacenamiento y operación

Para obtener los umbrales de riesgo de las condiciones de almacenaje de productos se acudió al decreto 1254/1999 [53] que es la versión actualizada del decreto 886/1988 del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo para poder clasificarlo, del cual se extrajo la información presentada en el cuadro A.4.1 como se puede observar a continuación.

**Cuadro A.4. 1.** Umbrales de riesgo asociados a la cantidad de los productos derivados del petróleo en toneladas. Fuente: [53].

<b>Productos derivados del petróleo:</b>
a. Gasolina y Naftas
b. Queroseno (incluido carboreactores)
c. Gasóleos (incluidos los gasóleos de automoción, los de calefacción y componentes usados en las mezclas de gasóleos comerciales)
2 500
25 000

De manera tal que si se tiene una cantidad menor al umbral 1 que corresponde a 2 500 ton entonces se considera que la cantidad de almacenamiento dependiente es pequeña, por otro lado, si el umbral 3 que corresponde a 25 000 ton es considerada una cantidad de sustancia en un proceso grande esto basados en el cuadro A.2.1 del Anexo A.2.

Seguidamente se realiza el cálculo de la clasificación de severidad de las condiciones de almacenamiento de las sustancias en cada unidad descrita en el Anexo A.1 mediante las fórmulas A.2 y A.3.

$$\text{Severas: } T_{\text{almacenamiento}(^{\circ}\text{C})} - 10^{\circ}\text{C} \geq T_{\text{ebullición}(^{\circ}\text{C})} \quad (\text{A.2})$$

$$\text{No Severas: } T_{\text{almacenamiento}(^{\circ}\text{C})} \leq T_{\text{ebullición}(^{\circ}\text{C})} \quad (\text{A.3})$$

Por último, se realiza el análisis de las condiciones de operación de las sustancias de la planta utilizando las relaciones descritas en el cuadro A.2.1 respecto a la temperatura de operación y la presión de operación de las mismas. La clasificación se da entonces en tres niveles de severidad definidas como: muy severas, severas y poco severas esto para cada unidad analizada.

## Anexo A.5. Resultados de elección del método de análisis del riesgo

La planta cumple con varias unidades como se mencionó anteriormente, pero todas ellas cumplen con la misma ubicación geográfica, riesgo que pudiera generar a la población aledaña y consideraciones generales de la planta, las cuales se describen en el cuadro A.2.1

**Cuadro A.5.1.** Factores generales de análisis del riesgo asociadas a la PHLNII.

Método	A. Generales	
	Tamaño	
	Instalación de más de 3 unidades	Plantilla 1 < 50 personas 2 ≥ 250 personas 3 ≥ 500 personas
Análisis histórico de accidente		1
HAZOP		
Análisis modo efecto e importan. Fallos		
Análisis modo efecto y criticidad de fallos		
Análisis preliminar de riesgos		
Check list		
What if?		
Índice Mond: fuego, explosión y toxicidad	1	
Índice Dow: fuego, explosión y toxicidad	1	
Safety review		-
Auditoría de seguridad		-

Fuente: Autores.

Bajo estas consideraciones descritas en el cuadro A.2.1 se genera un puntaje al análisis histórico de accidente dentro de la selección del método correcto para las instalaciones, así como para los métodos de índice de Mond e índice de Dow. Es importante considerar que la PHLNII fue construida en el 2018 por lo que todas las unidades de la planta tienen menos de 10 años y se consideran como unidades nuevas, tampoco se van a diseñar instalaciones o sistemas hidráulico que generen algún riesgo, sino todo lo contrario para protegerlos, por lo que el diseño de las unidades se tomará como “Antiguo”. Por último, la condición de mayor riesgo que se genera en toda la planta para lo que respecta a la afectación a los alrededores se podría presentar cuando la planta esté en su condición de generación eléctrica, para la cual se aplica entonces el criterio de la vulnerabilidad del entorno severo en las unidades que corresponde. Esto quiere decir que si una unidad no posee equipo que genere un riesgo durante la generación de energía entonces su vulnerabilidad del entorno será “poco vulnerable”. A partir de esto también se considera que el proceso continuo y discontinuo de las unidades se relaciona al momento de generación de la planta, por ejemplo, el sistema de lubricación tendrá una función continua durante el

tiempo en que se genera energía ya que los cojinetes de generadores deberán estar en movimiento.

A continuación, se detalla el análisis asignado a cada unidad considerando el puntaje anterior obtenido para los métodos mencionados.

### **Unidad de generación**

La unidad de generación se utiliza para indicar el cuarto de turbinas y generadores, en el cual existen sistemas que son indispensables para la generación de energía y que manejan condiciones de operación que es importante tomar en consideración como lo son los equipos de lubricación del generador y el sistema oleo hidráulico que se encarga del funcionamiento de la válvula mariposa que permite el paso del agua hacia la turbina. Para ambos elementos se realiza el análisis del riesgo que involucra su fluido de trabajo y características asociadas un riesgo.

**Cuadro A.5.2.** Unidad de generación, sistema de lubricación del generador (LOU).

Fuente: Autores.

Método	Unidad de generación (unidad de lubricación del generador o LOU)					
	B. Cantidades Almacenadas	C. Tipo de proceso	D. Condiciones Almacenamiento	D. Condiciones de Operación	E. Control	F. Edad
	1. Importante 2. Medio 3. Pequeño	1. Continuo 2. Discontinuo	1. Muy severas 2. Severas 3. Poco severas	1. Muy severas 2. Severas 3. Poco severas	1. Control distrib	1. Nueva 2. Antigua 3. Proyec
<b>Análisis histórico de accidentes</b>	3	1	3	3	1	1
<b>HAZOP</b>	-	1	-	-	1	1
<b>Análisis modo efecto e importancia de fallos</b>	-	-	-	-	1	-
<b>Análisis modo efecto imporancia. Y criticidad de fallos</b>	-	-	-	-	1	-
<b>Análisis preliminar de riesgos</b>	-	-	-	-	1	-
<b>Check list</b>	3	-	3	3	1	-
<b>What if?</b>	3	-	3	3	1	-
<b>Índice Mond fuego, explosión y toxicidad</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Índice Dow fuego, explosión</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Safety review</b>	-	-	-	-	-	1
<b>Auditoria de Seguridad</b>	-	-	-	-	-	1



**Continuación cuadro A.5.2. Unidad de generación, sistema de lubricación del generador (LOU). Fuente: Autores.**

Método	Unidad de generación (LOU)				Sumatoria de puntaje (total)
	G. Ampliación o Modificación	H. Vulnerabilidad del Entorno	I. Fase Operativa.	J. Diseño	
	1. Ampliación 2. Modificación	1. Poco vulnerable 2. Vulnerable 3. Muy vulnerable	1. P marcha 2. Arranque 3. Funciona 4. Parada	1. Nuevo 2. Antiguo	
<b>Análisis histórico de accidentes</b>	-	2	1 2 3	2	10
<b>HAZOP</b>	-	2	3	-	5
<b>Análisis modo efecto e importancia de fallos</b>	-	-	-	-	1
<b>Análisis modo efecto importancia Y criticidad de fallos</b>	-	-	-	-	1
<b>Análisis preliminar de riesgos</b>	-	-	-	-	1
<b>Check list</b>	-	-	1 2	-	5
<b>What if?</b>	-	-	1 2	-	5
<b>Índice de Mond fuego, explosión y toxicidad</b>	-	-	-	-	1
<b>Índice Dow fuego, explosión</b>	-	-	-	-	1
<b>Safety review</b>	-	-	-	-	1
<b>Auditoria de Seguridad</b>	-	-	-	-	1

Las cantidades de aceite utilizado y almacenado por el sistema de lubricación son menores al umbral de productos derivados del petróleo indicado en el cuadro A.4.1 por lo que se considera entonces una cantidad pequeña. Y sus condiciones de almacenaje y operación son “no severas” y “poco severas” respectivamente.

Como se puede observar del cuadro A.5.2 los 4 métodos de análisis del riesgo recomendados para el sistema de lubricación del generador dentro de la unidad de generación serían los de mayor puntaje y por lo tanto el análisis histórico de accidentes, el análisis de HAZOP, el análisis por lista de verificación o check list y el análisis ¿qué pasa sí? o what if? Se toma en consideración que al realizar un análisis de HAZOP no es posible analizar las fases operativas de puesta en marcha y arranque, por lo que no se tomará en cuenta para el análisis.

Seguidamente se analizó el otro sistema importante dentro de la unidad de generación como lo es el sistema de lubricación de los generadores sincrónicos.

**Cuadro A.5.3.** Unidad de generación, sistema oleo hidráulico (HPU). Fuente: Autores.

Método	Unidad de generación (sistema oleo hidráulico o HPU)					
	B. Cantidades Almacenadas	C. Tipo de proceso	D. Condiciones Almacenamiento	D. Condiciones de Operación	E. Control	F. Edad
	1. Importante 2. Medio 3. Pequeño	1. Continuo 2. Discontinuo	1. Muy severas 2. Severas 3. Poco severas	1. Muy severas 2. Severas 3. Poco severas	1. Control distrib	1. Nueva 2. Antigua 3. Proyecto
<b>Análisis histórico de accidentes</b>	3	2	3	2	1	1
<b>HAZOP</b>	-	-	-	2	1	1
<b>Análisis modo efecto e importancia de fallos</b>	-	-	-	-	1	-
<b>Análisis modo efecto importancia y criticidad de fallos</b>	-	-	-	-	1	-
<b>Análisis preliminar de riesgos</b>	-	-	-	-	1	-
<b>Check list</b>	3	2	3	-	1	-
<b>What if?</b>	3	2	3	-	1	-
<b>Índice Mond fuego, explosión y toxicidad</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Índice Dow fuego, explosión</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Safety review</b>	-	-	-	-	-	1
<b>Auditoria de Seguridad</b>	-	-	-	-	-	1

**Continuación cuadro A.5.3. Unidad de generación, sistema oleo hidráulico (HPU).**

Fuente: Autores.

Método	Unidad de generación (sistema oleo hidráulico o HPU)				
	G. Ampliación o Modificación	H. Vulnerabilidad del Entorno	I. Fase Operativa.	J. Diseño	Sumatoria de puntaje (total)
	1. Ampliación 2. Modificación	1. Poco vulnerable 2. Vulnerable 3. Muy vulnerable	1. P marcha 2. Arranque 3. Funciona 4. Parada	1. Nuevo 2. Antiguo	
<b>Análisis histórico de accidentes</b>	-	2	1 2 4	2	10
<b>HAZOP</b>	-	2	-	-	4
<b>Análisis modo efecto e importancia de fallos</b>	-	-	-	-	1
<b>Análisis modo efecto importancia Y criticidad de fallos</b>	-	-	-	-	1
<b>Análisis preliminar de riesgos</b>	-	-	-	-	1
<b>Check list</b>	-	-	1 2 4	-	5
<b>What if?</b>	-	-	1 2 4	-	5
<b>Índice de Mond fuego, explosión y toxicidad</b>	-	-	-	-	1
<b>Índice Dow fuego, explosión</b>	-	-	-	-	1
<b>Safety review</b>	-	-	-	-	1
<b>Auditoria de Seguridad</b>	-	-	-	-	1

Las cantidades de aceite utilizado y almacenado por el sistema de oleo hidráulico son menores al umbral de productos derivados del petróleo indicado en el cuadro A.4.1 por lo que se considera entonces una cantidad pequeña. Sus condiciones de almacenaje y son “no severas”, por otro lado sus condiciones de operación se clasifican como “severas” ya que el sistema oleo hidráulico trabaja a una presión mayor a 50 bar. También su proceso es considerado discontinuo ya que el sistema olehidráulico no esta en funcionamiento cuando se da el proceso de generación de energía eléctrica, este funciona solo para abrir o cerrar el paso del agua para iniciar o finalizar el proceso.

Como se puede observar del cuadro A.5.3 los 3 métodos de análisis del riesgo recomendados para el sistema de lubricación del generador dentro de la unidad de

generación serían los de mayor puntaje y por lo tanto el análisis histórico de accidentes, el análisis por lista de verificación o check list y el análisis ¿qué pasa sí? o what if?.

### Unidad de control

La unidad de control se utiliza para indicar el cuarto de control el cual posee todos los monitoreos que se pueden realizar en la planta para las turbinas, generadores, transformadores, unidades hidráulicas y cámaras de seguridad. Desde este centro de control se mandan señales para activar o desactivar los equipos y se mantiene una visión general de la condición de operación de los mismos. Este cuarto siempre está habitado, pero no siempre se están manipulando de los equipos, sino que existe un monitoreo continuo para detener u optimizar el proceso de generación de energía, por lo que se considera de tipo discontinuo cuando la planta está generando energía.

**Cuadro A.5.4.** Unidad de control. Fuente: Autores.

Método	Unidad de control					
	B. Cantidades Almacenadas	C. Tipo de proceso	D. Condiciones Almacenamiento	D. Condiciones de Operación	E. Control	F. Edad
	1. Importante 2. Medio 3. Pequeño	1. Continuo 2. Discontinuo	1. Muy severas 2. Severas 3. Poco severas	1. Muy severas 2. Severas 3. Poco severas	1. Control distrib	1. Nueva 2. Antigua 3. Proyecto
Análisis histórico de accidentes	-	2	-	-	1	1
HAZOP	-	-	-	-	1	1
Análisis modo efecto e importancia de fallos	-	-	-	-	1	-
Análisis modo efecto importancia y criticidad de fallos	-	-	-	-	1	-
Análisis preliminar de riesgos	-	-	-	-	1	-
Check list	-	2	-	-	1	-
What if?	-	2	-	-	1	-
Índice Mond fuego, explosión y toxicidad	-	-	-	-	-	-
Índice Dow fuego, explosión	-	-	-	-	-	-
Safety review	-	-	-	-	-	1
Auditoria de Seguridad	-	-	-	-	-	1

**Continuación cuadro A.5.4. Unidad de control. Fuente: Autores.**

Método	Unidad de control				
	G. Ampliación o Modificación	H. Vulnerabilidad del Entorno	I. Fase Operativa.	J. Diseño	Sumatoria de puntaje (total)
	1. Ampliación 2. Modificación	1. Poco vulnerable 2. Vulnerable 3. Muy vulnerable	1. P marcha 2. Arranque 3. Funciona 4. Parada	1. Nuevo 2. Antiguo	
<b>Análisis histórico de accidentes</b>	-	1	1 2 3 4	2	7
<b>HAZOP</b>	-	-	3	-	3
<b>Análisis modo efecto e importancia de fallos</b>	-	-	-	-	1
<b>Análisis modo efecto importancia Y criticidad de fallos</b>	-	-	-	-	1
<b>Análisis preliminar de riesgos</b>	-	-	-	-	1
<b>Check list</b>	-	1	1 2 4	-	4
<b>What if?</b>	-	1	1 2 4	-	4
<b>Índice de Mond fuego, explosión y toxicidad</b>	-	-	-	-	1
<b>Índice Dow fuego, explosión</b>	-	-	-	-	1
<b>Safety review</b>	-	-	-	-	1
<b>Auditoria de Seguridad</b>	-	-	-	-	1

La unidad de control no posee sustancias como derivadas del petróleo que puedan generar un riesgo por lo que no se considera el rubro de cantidades almacenadas ni condiciones de almacenamiento así como tampoco las condiciones de operación involucran presiones ni temperaturas considerables.

Como se puede observar del cuadro A.5.4 los 3 métodos de análisis del riesgo recomendados para la unidad de control serían los de mayor puntaje y por lo tanto el análisis histórico de accidentes, el análisis por lista de verificación o check list y el análisis ¿qué pasa sí? o what if?

## Unidad de respaldo.

La unidad de respaldo se utiliza para indicar tanto la planta de generación eléctrica como el cuarto de baterías. En la planta de generación existe un motor diesel y por ende también un contenedor de almacenamiento diesel. El cuarto de baterías cumple con lo requerido por NFPA 850 de cumplir con un extractor de aire y no posee sustancias derivadas del petróleo ni temperaturas de magnitud considerable, por lo que se realiza en análisis para la planta de generación.

**Cuadro A.5.5.** Unidad de respaldo. Fuente: Autores.

Método	Unidad de respaldo					
	B. Cantidades Almacenadas	C. Tipo de proceso	D. Condiciones Almacenamiento	D. Condiciones de Operación	E. Control	F. Edad
	1. Importante 2. Medio 3. Pequeño	1. Continuo 2. Discontinuo	1. Muy severas 2. Severas 3. Poco severas	1. Muy severas 2. Severas 3. Poco severas	1. Control distrib	1. Nueva 2. Antigua 3. Proyecto
<b>Análisis histórico de accidentes</b>	3	2	3	2	1	1
<b>HAZOP</b>	-	-	-	2	1	1
<b>Análisis modo efecto e importancia de fallos</b>	-	-	-	-	1	-
<b>Análisis modo efecto importancia y criticidad de fallos</b>	-	-	-	-	1	-
<b>Análisis preliminar de riesgos</b>	-	-	-	-	1	-
<b>Check list</b>	3	2	3	-	1	-
<b>What if?</b>	3	2	3	-	1	-
<b>Índice Mond fuego, explosión y toxicidad</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Índice Dow fuego, explosión</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Safety review</b>	-	-	-	-	-	1
<b>Auditoria de Seguridad</b>	-	-	-	-	-	1

**Continuación cuadro A.5.5. Unidad de respaldo. Fuente: Autores.**

Método	Unidad de respaldo				
	G. Ampliación o Modificación	H. Vulnerabilidad del Entorno	I. Fase Operativa.	J. Diseño	Sumatoria de puntaje (total)
	1. Ampliación 2. Modificación	1. Poco vulnerable 2. Vulnerable 3. Muy vulnerable	1. P marcha 2. Arranque 3. Funciona 4. Parada	1. Nuevo 2. Antiguo	
<b>Análisis histórico de accidentes</b>	-	2	4	2	10
<b>HAZOP</b>	-	2	-	-	4
<b>Análisis modo efecto e importancia de fallos</b>	-	-	-	-	1
<b>Análisis modo efecto importancia Y criticidad de fallos</b>	-	-	-	-	1
<b>Análisis preliminar de riesgos</b>	-	-	-	-	1
<b>Check list</b>	-	-	4	-	5
<b>What if?</b>	-	-	4	-	5
<b>Índice de Mond fuego, explosión y toxicidad</b>	-	-	-	-	1
<b>Índice Dow fuego, explosión</b>	-	-	-	-	1
<b>Safety review</b>	-	-	-	-	1
<b>Auditoria de Seguridad</b>	-	-	-	-	1

La cantidad de diesel utilizado y almacenado por el motor para la generación de energía eléctrica de respaldo es menor al umbral de productos derivados del petróleo indicado en el cuadro A.4.1 por lo que se considera entonces una cantidad pequeña. Y sus condiciones de almacenaje son “no severas” y de operación “severas” ya que una bomba de diesel para alimentación trabaja a una presión mayor a 50 bar.

La unidad de respaldo solo funciona cuando la planta no está generando energía por lo que se considera entonces un proceso discontinuo y además solo tiene una fase operativa cuando se está en una fase de proceso “detenida”. Como se puede observar del cuadro A.5.5 los 3 métodos de análisis del riesgo recomendados para la unidad de control serían los de mayor puntaje y por lo tanto el análisis histórico de accidentes, el análisis por lista de verificación o check list y el análisis ¿qué pasa sí? o what if.?

### Unidad de operación.

La unidad de operación se utiliza para indicar las oficinas y zonas comunes que existen en la PHLNII en la cual no existen equipos electromecánicos de alto riesgo ni tampoco se almacenan sustancias peligrosas o derivadas del petróleo.

**Cuadro A.5.6.** Unidad de operación. Fuente: Autores.

Método	Unidad de operación					
	B. Cantidades Almacenadas	C. Tipo de proceso	D. Condiciones Almacenamiento	D. Condiciones de Operación	E. Control	F. Edad
	1. Importante 2. Medio 3. Pequeño	1. Continuo 2. Discontinuo	1. Muy severas 2. Severas 3. Poco severas	1. Muy severas 2. Severas 3. Poco severas	1. Control distrib	1. Nueva 2. Antigua 3. Proyecto
<b>Análisis histórico de accidentes</b>	-	2	-	-	1	1
<b>HAZOP</b>	-	-	-	-	1	1
<b>Análisis modo efecto e importancia de fallos</b>	-	-	-	-	1	-
<b>Análisis modo efecto importancia y criticidad de fallos</b>	-	-	-	-	1	-
<b>Análisis preliminar de riesgos</b>	-	-	-	-	1	-
<b>Check list</b>	-	2	-	-	1	-
<b>What if?</b>	-	2	-	-	1	-
<b>Índice Mond fuego, explosión y toxicidad</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Índice Dow fuego, explosión</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Safety review</b>	-	-	-	-	-	1
<b>Auditoria de Seguridad</b>	-	-	-	-	-	1



**Continuación cuadro A.5.6. Unidad de operación. Fuente: Autores.**

Método	Unidad de operación				Sumatoria de puntaje (total)
	G. Ampliación o Modificación	H. Vulnerabilidad del Entorno	I. Fase Operativa	J. Diseño	
	1. Ampliación 2. Modificación	1. Poco vulnerable 2. Vulnerable 3. Muy vulnerable	1. Puesta en marcha 2. Arranque 3. Funcionamiento 4. Parada	1. Nuevo 2. Antiguo	
<b>Análisis histórico de accidentes</b>	-	1	1 2 3 4	2	7
<b>HAZOP</b>	-	-	3	-	3
<b>Análisis modo efecto e importancia de fallos</b>	-	-	-	-	1
<b>Análisis modo efecto importancia Y criticidad de fallos</b>	-	-	-	-	1
<b>Análisis preliminar de riesgos</b>	-	-	-	-	1
<b>Check list</b>	-	1	1 2 4	-	4
<b>What if?</b>	-	1	1 2 4	-	4
<b>Índice de Mond fuego, explosión y toxicidad</b>	-	-	-	-	1
<b>Índice Dow fuego, explosión</b>	-	-	-	-	1
<b>Safety review</b>	-	-	-	-	1
<b>Auditoria de Seguridad</b>	-	-	-	-	1

Fuente: Autores.

Como se puede observar en el cuadro A.5.6 no se consideran cantidades almacenadas, condiciones de operación y almacenamiento como se mencionó anteriormente. Por otro lado, el proceso es discontinuo ya que durante el proceso de generación eléctrica no es usual que las oficinas estén ocupadas por todos los ocupantes.

La unidad de operación es considerada poco vulnerable ya que no tiene equipo que genere riesgo a los alrededores y puede ser utilizada en cualquier fase de operación de la planta, por último, se observa la puntuación del cuadro A.5.6 los 3 métodos de análisis del riesgo recomendados para la unidad de control serían los de mayor puntaje y por lo tanto el

análisis histórico de accidentes, el análisis por lista de verificación o check list y el análisis ¿qué pasa sí? o what if?

### Unidad de distribución.

La unidad de distribución se utiliza para indicar la subestación donde se encuentran los transformadores encargados de elevar el voltaje para poder distribuir la energía eléctrica y que esta pueda llegar a la subestación El Mogote que será su destino final.

**Cuadro A.5.7.** Unidad de distribución. Fuente: Autores.

Método	Unidad de distribución					
	B. Cantidades Almacenadas	C. Tipo de proceso	D. Condiciones Almacenamiento	D. Condiciones de Operación	E. Control	F. Edad
	1. Importante 2. Medio 3. Pequeño	1. Continuo 2. Discontinuo	1. Muy severas 2. Severas 3. Poco severas	1. Muy severas 2. Severas 3. Poco severas	1. Control distrib	1. Nueva 2. Antigua 3. Proyec
<b>Análisis histórico de accidentes</b>	3	1	3	3	1	1
<b>HAZOP</b>	-	1	-	-	1	1
<b>Análisis modo efecto e importacia de fallos</b>	-	-	-	-	1	-
<b>Análisis modo efecto imporancia y criticidad de fallos</b>	-	-	-	-	1	-
<b>Análisis preliminar de riesgos</b>	-	-	-	-	1	-
<b>Check list</b>	3	-	3	3	1	-
<b>What if?</b>	3	-	3	3	1	-
<b>Índice Mond fuego, explosión y toxicidad</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Índice Dow fuego, explosión</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Safety review</b>	-	-	-	-	-	1
<b>Auditoria de Seguridad</b>	-	-	-	-	-	1

Fuente: Autores.

**Continuación cuadro A.5.7. Unidad de distribución. Fuente: Autores.**

Método	Unidad de operación				
	G. Ampliación o Modificación	H. Vulnerabilidad del Entorno	1. Fase Operativa	J. Diseño	Sumatoria de puntaje (total)
	1. Ampliación 2. Modificación	1. Poco vulnerable 2. Vulnerable 3. Muy vulnerable	1. Puesta en marcha 2. Arranque 3. Funcionamiento 4. Parada	1. Nuevo 2. Antiguo	
<b>Análisis histórico de accidentes</b>	-	2	1 2 3	2	10
<b>HAZOP</b>	-	2	3	-	5
<b>Análisis modo efecto e importancia de fallos</b>	-	-	-	-	1
<b>Análisis modo efecto importancia Y criticidad de fallos</b>	-	-	-	-	1
<b>Análisis preliminar de riesgos</b>	-	-	-	-	1
<b>Check list</b>	-	-	1 2	-	5
<b>What if?</b>	-	-	1 2	-	5
<b>Índice de Mond fuego, explosión y toxicidad</b>	-	-	-	-	1
<b>Índice Dow fuego, explosión</b>	-	-	-	-	1
<b>Safety review</b>	-	-	-	-	1
<b>Auditoria de Seguridad</b>	-	-	-	-	1

Los transformadores tienen un depósito de aceite mineral con el cual mantienen un rango de temperatura de operación deseado, esta cantidad de aceite en ambos transformadores es menor a la cantidad del umbral 1 indicado en el cuadro A.4.1 por lo que es considerado como pequeño. Para el proceso de generación de energía el proceso de los transformadores es continuo y sus condiciones de almacenamiento y operación son poco severos.

La unidad de distribución solo funciona cuando la planta está generando energía por lo que se tiene tres fases operativas. Como se puede observar del cuadro A.5.7 los 4 métodos

de análisis del riesgo recomendados para el sistema distribución serían los de mayor puntaje y por lo tanto el análisis histórico de accidentes, el análisis de HAZOP, el análisis por lista de verificación o check list y el análisis ¿qué pasa sí? o what if? Se toma en consideración que al realizar un análisis de HAZOP no es posible analizar las fases operativas de puesta en marcha y arranque, por lo que no se tomará en cuenta para el análisis.

.

## Anexo B. Análisis de los métodos seleccionados

Este anexo contiene las tablas con la información que se utilizó para realizar el análisis histórico y el análisis ¿Qué pasa si...?, junto con las preguntas que se le efectuaron al equipo de trabajo de PHLNII.

**Cuadro B.1.** Tabla completa de análisis histórico sobre incendios en plantas hidroeléctricas. Fuente: Autores.

Accidente	Fecha	Ubicación	Causa	Consecuencias
<b>Nacionales</b>	28/06/2017	Desamparados	Incendio en subestación eléctrica	Aproximadamente 100 mil personas sin fluido eléctrico por al menos 3 horas
	17/04/2017	Brasil, Santa Ana	Explosión en transformadores, Ingeniería inadecuada, mantenimiento inadecuado, estándares y procesos inadecuados	Aunque el incidente no presentó personal lesionado las condiciones pudieron causar víctimas mortales considerando que, la primera explosión en el sistema pudo tener afectación del personal cercano al área por proyecciones de materiales y la segunda explosión se presentó momentos antes de que el personal ingresara en el sitio para inspeccionar
	16/06/2017	La palmera de San Carlos	Incendio en transformadores	No hubo afectaciones
	15/03/2016	Cartago	Explosión de transformador	Un hombre con quemaduras graves
<b>Internacionales</b>	21/04/2019	Zulia, Venezuela	Explosión de transformadores	interrupción en algunos circuitos de la costa occidental en Zulia
	26/03/2019	Guri, al sur de Venezuela	Incendio en los generadores (sabotaje)	sobrecarga en el sistema de subestaciones, 16 estados del país sin electricidad
	11/3/2019	Caracas, Venezuela	Explosión de transformadores	Dejar sin electricidad a varios barrios, se ordenó la suspensión de clases y de la jornada laboral.
	27/12/2018	Queens, USA	Explosión de transformadores	Explosiones en zonas de Long Island City y Astoria, daño en el servicio de trenes subterráneos en el área y orden temporal para que los aviones se detuvieran, apagones en la ciudad de New York
	27/10/2017	Avenida Winston Churchill, Cupey, Puerto Rico	Incendio en el generador eléctrico	Se quema un salón de belleza
	17/03/2017	Condado del Rey, Panamá	Explosión de transformadores	Se interrumpió el servicio eléctrico en las provincias de Panamá y Colón, se perdieron unos 500 megavatios que se despachaban en ese momento a nivel nacional.
	21/09/2016	San Juan, Puerto Rico	Incendio en el patio de interruptores	Tres cuartas partes del país sin servicio de energía eléctrica
	15/02/2016	Guatapé, Antioquia, Colombia	Incendio del sistema de cables de potencia (Error humano)	\$20mil millones en pérdidas

**Cuadro B.2.** Tabla completa del ¿Qué pasa si...?. Fuente: Autores.

#	¿Qué pasa si...?	Consecuencias	Respuesta de la empresa	Recomendaciones
<b>Instalaciones</b>				
1	¿...hay sobrepresión en la tubería de conducción?	Si ocurre una sobrepresión ocurre un disparo en la unidad de las turbinas, lo que causa que la válvula de mariposa de las turbinas se cierre.	"Hay rutinas de mantenimiento para detectar problemas. Las mayores sobrepresiones se dan cerca de la turbina cuando hay un cierre rápido, en esa zona la tubería tiene un espesor más ancho que en el resto del sistema, precisamente para evitar que se dañe la tubería."	Mantener las rutinas de inspección del sistema de tuberías periódicamente.
2	¿...hay sobrepresión en las tuberías de presión?	Si ocurre una sobrepresión ocurre un disparo en la unidad de las turbinas, lo que causa que la válvula de mariposa de las turbinas se cierre.	"Mismas condiciones de diseño que las tuberías de conducción."	Mantener las rutinas de inspección del sistema de tuberías periódicamente.
3	¿...hay una fuga de agua en una de las tuberías de conducción?	Hay que vaciar la tubería, se cierra por varios días.	"En la planta de Carrillos pasó y se tuvo que parar la planta por 20 días para poder reparar la tubería (la de presión)"	Inspección periódica de las tuberías.
4	¿...hay una fuga de agua en una de las tuberías de presión?	Hay que vaciar la tubería, se cierra por varios días.	"La primera acción inmediata es que se tiene una válvula de conducción y se cierra para mantener el sistema y evitar el derrame de agua."	Inspección periódica de las tuberías.
5	¿...hay un aumento de temperatura? (generador, transformador, turbinas, PLC)	Se detiene la planta hasta detectar la razón por la que se está calentando el aparato.	"Las temperaturas del generador y transformador están constantemente controladas, y se analiza la razón y causa de por qué se da. Va a haber un disparo en el equipo con una temperatura límite. Causas: que el sistema donde se toma agua para usar en el intercambiador de calor esté atascado (cada generador y sistema de lubricación tiene intercambiador. Cada equipo tiene sistema de ventilación). En esta planta se cuenta con filtros para evitar partículas donde se toma el agua."	Tener detectores que envíen señales en caso de que una temperatura sea muy elevada o esté fuera del límite permitido.

**Continuación cuadro B.2.** Continuación tabla completa del ¿Qué pasa sí...? Fuente: Autores.

#	¿Qué pasa si...?	Consecuencias	Respuesta de la empresa	Recomendaciones
6	¿... explota un transformador?	La subestación queda en pérdida parcial.	"Antes de que se inicie el incendio la planta tuvo que haber disparado el sistema, se espera que ya se haya detenido la planta y des energizado por completo todo el sistema."	Realizar un protocolo de protección para el personal, de evacuación y que des energice la planta. Colocar un sistema que reduzca la temperatura en caso de calor externo.
7	¿...un transformador sale de funcionamiento ?	No hay condición de arranque del sistema. No hay producción.	"Ni siquiera arrancarían la planta."	Revisión periódica para detectar cualquier avería en el sistema.
8	¿...la subestación sale de servicio?	Se dejaría de percibir un lucro cesante de aproximadamente 700 millones de colones por mes.	"Depende de, ya que la planta trabaja en dos grupos. Puede que no se dañen ambas partes de la subestación y solo salga alguna parte de servicio."	Inspección periódica de las unidades de la subestación.
9	¿...hay un fallo en los PLC?	Este es el cerebro de la planta, recibe todas las señales por lo que, si se daña, dejaría sin datos a todo el equipo de trabajo.	"Si fuera de máquina sería un fallo propiamente de la unidad. Pero si fuera común afectaría toda la planta. Todo equipo que tenga un control es monitoreado por el PLC, hay muchas señales que dan un paso a paso y si el PLC no está recibiendo esas señales no se puede llevar a cabo las operaciones."	Estar en constante inspección de los datos de los PLC o cualquier anomalía en el sistema.
10	¿...hay un pico de voltaje en los PLC?	Se daña el PLC, se quema.	"La planta tiene un sistema muy completo, muy bien diseñado para evitar las fallas por sobrevoltaje, muy baja impedancia, tiene una malla a tierra, que hace que esos picos no sucedan ¡muy importante! Los sobrevoltajes prácticamente no pasan, pero hay pararrayos."	Contar con sistema pararrayos, y malla puesta a tierra.

**Continuación cuadro B.2.** Continuación tabla completa del ¿Qué pasa sí...? Fuente: Autores.

#	¿Qué pasa sí...?	Consecuencias	Respuesta de la empresa	Recomendaciones
11	¿...la planta sale de servicio?	Se dejaría de percibir un lucro cesante de aproximadamente 700 millones de colones por mes.	No contestó claro la pregunta.	Mantenimiento.
12	¿...se va la energía en un día?	Se necesita del voltaje para poder generar. Si no hay electricidad no se puede generar.	"Tienen autoconsumo, y se alimentan de la línea de transmisión de la subestación el Mogote. Si hay algún problema con la línea de transmisión a Mogote, no se puede generar. Si se va la electricidad es porque hubo un daño en la línea de transmisión."	Tener una planta de emergencia.
13	¿...las señales de alarma se activan?	Si se activan se alertan los operarios e inspeccionan.	"Se detecta la causa. No tienen ningún protocolo de emergencia. Para el simulacro nacional les dieron provisionalmente un punto de reunión."	Preparar un protocolo de emergencia.
14	¿...no se activan los detectores de humo?	Si hay un siniestro y no se activan, puede que se alerte el personal hasta percibir el olor y se pierde tiempo de evacuación.	"Tienen un panel de detectores de humo, y lo tienen dividido por 4 zonas: 1. Bahía 2. Oficinas 3. Cuarto de interruptores 4. Bodega. Depende del horario así va a ser el tiempo de repuesta de los operarios para reaccionar al detector. En una auditoría les hicieron una no conformidad debido a que no está en un informe las inspecciones de los detectores (con un simulador de humo). Tiene que estar alguien cerca para darse cuenta que hay un incendio"	Si se daña uno y no se dieron cuenta, fue porque no se realizó bien la prueba del sistema por lo que se recomienda tener un paso a paso para la realización de la prueba.
15	¿...el cuarto de baterías inicia un incendio?	Si se inicia un incendio y no se extraen correctamente los gases puede ocurrir una explosión.	"Es como una UPS con capacidad para 12 horas. Es un cuarto donde solo las baterías están, tiene extractor y ventilador de aire. El operador debe ir al cuarto de baterías por lo menos dos veces por día. Cada mes se le realiza un mantenimiento predictivo (pruebas de impedancia y otras inspecciones). Se tiene de un tiempo record para reestablecer y que no pare la planta"	Se recomienda realizar un check list del mantenimiento preventivo que le hacen a las baterías.



**Continuación cuadro B.2.** Continuación tabla completa del ¿Qué pasa sí...? Fuente: Autores.

#	¿Qué pasa si...?	Consecuencias	Respuesta de la empresa	Recomendaciones
16	¿...sale de funcionamiento la planta de emergencia?	Si hay una avería no se cuenta con nada para sostener la planta.	"Da voltaje y corriente a cuarto de máquinas cuando no funciona la línea de transmisión. Es un riesgo que no funcione, siempre y cuando haya una avería."	Mantenimiento periódico.
17	¿...hay sobrepresión en las turbinas? (¿puede ocurrir?)	No puede ocurrir	"Una vez cayó una de las puertas de las turbinas por falta de mantenimiento, e impidió la salida del agua por lo que, al no salir agua, se devolvía y lo que tuvo que hacer es desactivar la turbina. Las turbinas están diseñadas para que una sobrepresión nunca haga ningún daño. Primero falla un tubo antes de que falle la turbina por lo que la sobrepresión nunca llega a la turbina."	No hay recomendaciones.
18	¿...el sensor de temperatura en las turbinas falla?	Si se sobrecaliente el cojinete se daña la máquina por completo.	"Lo que se caliente son los cojinetes debido a la fricción, este calentamiento se combate con el sistema de lubricación, además que en el PLC hay una alarma para que indique, si el PLC no detecta esta alarma dispara la máquina."	Contar con sistema de lubricación y ventilación.
19	¿...el sistema de bombeo de aceite tiene un fallo?	No enciende la máquina.	"Si es antes del arranque, la máquina ni si quiera arranca, si es durante se realiza el disparo."	Inspección del sistema periódicamente.
20	¿...la grúa no está en funcionamiento? (¿cuándo funciona y cuándo no?)	Si ocurre una anomalía con algún dispositivo del área de generación no se podría revisar debido a que la grúa está en mal estado.	"La grúa es un equipo disponible como herramienta para mantenimiento (chequeos o si hay que sacar equipo pesado) De ninguna manera se le puede poner nada a su paso."	Probar periódicamente si el sistema de carga está en funcionamiento.
21	¿...cae un rayo en el cuarto de máquinas?	Podría quemar alguno de los equipos eléctricos del cuarto de máquinas.	"Tiene pararrayos y hay una buena malla puesta a tierra."	Contar con pararrayos u otros sistemas que eviten los efectos de los rayos.
22	¿... se inunda la válvula de mantenimiento? (ubicada después de la tubería de oscilación)	No pasa nada siempre y cuando el agua no llegue a los equipos eléctricos.	"Mientras no toque el servo control, se dañarían los elementos que hacen que la válvula abra y cierre."	No hay recomendaciones.

**Continuación cuadro B.2.** Continuación tabla completa del ¿Qué pasa sí...? Fuente: Autores.

#	¿Qué pasa si...?	Consecuencias	Respuesta de la empresa	Recomendaciones
<b>Personal</b>				
23	¿...una persona resulta herida?	Tienen que esperar al menos una hora hasta que llegue una ambulación y se podría agravar la condición de la persona herida.	"Lo que hacen es llamar inmediatamente a la ambulancia."	Preparar un botiquín de emergencia.
24	¿...no conocen el protocolo de emergencia y evacuación?	No podrían aplicarlo si ocurre una emergencia.	No hay respuesta, debido a que no cuentan con un protocolo.	Deben de realizar un protocolo de emergencia.
25	¿...el personal presente no sabe utilizar los equipos de emergencia (manuales)?	No podrían utilizar el equipo en el caso de que ocurra una emergencia.	"Cada vez que se hacen recarga de los extintores, se hace un repaso de cómo utilizarlos. Pero no saben cómo utilizarlos."	Deben de realizar un entrenamiento periódico para conocer bien cómo utilizar el equipo en caso de una emergencia.
26	¿...no cuenta con las fichas técnicas de los equipos y químicos que utilizan?	Es esencial conocer cuál es el contenido químico que se tiene en la empresa por si bomberos debe intervenir, saber con cuál agente extintor atacar el siniestro.	"Es obligatorio tener las hojas, en la empresa. Además de conocer donde se encuentra."	Tener al alcance las MSDS de todos los químicos.
<b>Medio Ambiente</b>				
27	¿...hay un desastre natural?	Se tiene que ampliar turnos, y cantidad de personal en los turnos. Lo que implica aumento salarial.	"Si durante un desastre natural la planta está operando normalmente, se sigue trabajando, de lo contrario se evacua. Salud Ocupacional no ha hecho un protocolo para la planta de los negros II."	Realizar un protocolo de evacuación en caso de emergencia.
28	¿...el cuarto de baterías genera gases? ¿...la concentración es muy alta?	Si hay gran concentración y no se cuenta con un extractor podría ocurrir una explosión si está dentro de los límites de inflamabilidad.	"Tiene un extractor y una entrada de aire. El extractor puede fallar y puede coincidir con la falla del sistema de baterías. Si el operador no realiza la inspección correctamente empieza a haber un olor extraño del gas. No tiene un equipo o método para medir concentración de gas."	Contar con un extractor.

**Continuación cuadro B.7.** Continuación tabla completa del ¿Qué pasa si...? Fuente: Autores.

#	¿Qué pasa si...?	Consecuencias	Respuesta de la empresa	Recomendaciones
<b>Medio Ambiente</b>				
29	¿...hay un derrame del tanque de Diesel?	Si el tanque no tiene Diesel, no arranca la planta, perdería minutos u horas de producción. Además, que es contaminante.	"El tanque de Diesel está dentro de una pila, lo que debería de contener el Diesel, en caso de un derrame. El operador siempre está atento."	Buscar la manera de contener el Diesel en caso de un derrame.
30	¿...hay una fuga de aceite? (generador, transformador, turbinas, PLC)	Puede contaminar el ambiente, o incluso el agua si llega en contacto con el río.	"Todos los equipos tienen un medio de contención de derrame. En el caso de la central de presión y de cavitación tienen una bandeja de control de derrames. Si es una tubería, todo cae en una poza de "achique", esta tiene un control, donde el aceite queda por encima y una bomba extrae el fondo y se va recogiendo el aceite."	Tener un medio de contención de derrame.
29	¿...hay un derrame del tanque de Diesel?	Si el tanque no tiene Diesel, no arranca la planta, perdería minutos u horas de producción. Además, que es contaminante.	"El tanque de Diesel está dentro de una pila, lo que debería de contener el Diesel, en caso de un derrame. El operador siempre está atento."	Buscar la manera de contener el Diesel en caso de un derrame.
30	¿...hay una fuga de aceite? (generador, transformador, turbinas, PLC)	Puede contaminar el ambiente, o incluso el agua si llega en contacto con el río.	"Todos los equipos tienen un medio de contención de derrame. En el caso de la central de presión y de cavitación tienen una bandeja de control de derrames. Si es una tubería, todo cae en una poza de "achique", esta tiene un control, donde el aceite queda por encima y una bomba extrae el fondo y se va recogiendo el aceite."	Tener un medio de contención de derrame.
31	¿...hay un derrame de químicos?	Podría ser altamente contaminantes o, dependiendo del químico ser explosivos.	"Quieren realizar una bodega de químicos con piso impermeable, para contener los químicos. Se están proyectando de cómo realizar la bodega."	Deben hacer una bodega para contener los químicos.

**Continuación cuadro B.8.** Continuación tabla completa del ¿Qué pasa sí...? Fuente: Autores.

#	¿Qué pasa si...?	Consecuencias	Respuesta de la empresa	Recomendaciones
32	¿...el desfogue tiene manchas de aceite?	Podría contaminar el río.	"Son aguas rápidas, por lo que una mancha no se va a quedar acumulada, por lo que es difícil de detectar. Sin embargo, en el momento en que detecten una se espera que los operadores encuentren con prontitud por qué y que está causando el derrame."	Tener un medio de contención de derrame de aceites.
33	¿...se obstruye el desfogue?	Podría dañar las turbinas.	"Ocurre la sobrepresión, pero son casos muy puntuales."	Estar en constante chequeo, que no haya ningún obstáculo en el desfogue.

## **Anexo C. Protección pasiva de la planta**

En este apartado se describe de una manera más amplia el análisis de protección pasiva, donde se desarrolla la clasificación que se le otorga a la PHLNII, el riesgo que presenta, la carga de ocupantes y el análisis de compartimentación.

### **Anexo C.1. Cálculo de carga de ocupantes**

Al tener la carga de ocupantes se puede calcular también el ancho mínimo de los componentes de los medios de egreso, principalmente escaleras y rampas. Este cálculo se realiza basado en la cantidad de personas multiplicado por factor de capacidad que también se encuentra establecido en la norma NFPA 101, específicamente de la tabla 7.3.3.1, con un factor de capacidad para escaleras de 7,6 mm, el cual es que se utilizó para este análisis dado que el lugar no cuenta con rampas.

Este ancho calculado es posible compararlo con anchos prescriptivos que se encuentran en la misma norma, definidos en cada capítulo por ocupación y en el capítulo 7 de medios de egreso. Este ancho prescriptivo es el ancho mínimo que debe tener el componente sin considerar la carga de ocupantes, por lo tanto, se debe comparar el ancho mínimo prescriptivo con el ancho mínimo calculado y seleccionar el mayor. En el cuadro C.1.1 se muestra que siempre es mayor el ancho prescriptivo, por lo tanto, las escaleras deben ser de al menos 915 milímetros.

También es necesario conocer el ancho mínimo con el que deben contar los vanos de las puertas, este valor mínimo se obtiene de Manual de disposiciones técnicas generales sobre seguridad humana y protección contra incendios del BCBCR, donde establece que este ancho mínimo debe ser de 900 mm, el cual se encuentra en el cuadro C.1.1.

La cantidad de medios de egreso también son valores establecidos en la NFPA 101, la cantidad mínima que debe tener cada ocupación se establecen en el cuadro C.1.1, esta cantidad se compara con la cantidad real con las que cuenta el edificio y con esto se verifica si cumple o no con los requerimientos normativos en cuanto a seguridad humana.

**Cuadro C.1.1.** Capacidad de los medios de egreso. Fuente: Autores.

<b>Medios de egreso</b>				
<b>Ocupación</b>	<b>Industrial Propósito Especial</b>	<b>Negocios</b>	<b>Almacenamiento</b>	<b>Subestación</b>
<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	366	62	54	40
<b>Factor de carga de ocupantes (m<sup>2</sup>/persona)</b>	N/A	14	46,5	N/A
<b>Carga de ocupantes (personas)</b>	6	5	2	6
<b>Factor de capacidad en escaleras (mm/persona)</b>	7,6	7,6	7,6	7,6
<b>Ancho mínimo de escaleras (mm)</b>	45,6	38	15,2	45,6
<b>Ancho mínimo prescriptivo de escaleras (mm)</b>	915	915	915	-
<b>Ancho mínimo prescriptivo de vanos de puertas (mm)</b>	900	900	900	900
<b>Cantidad de medios de egreso</b>	2	2	1	1

### **Anexo C.2. Compartimentación de la PHLNII**

La importancia de la compartimentación en las instalaciones de cualquier ocupación, es para evitar que los gases generados por incendios se propaguen a lo largo del edificio y que pueda ocurrir una catástrofe. Por lo que es realmente necesario tener todos los cuartos debidamente separados, y para este caso, se tienen las siguientes características con respecto a las dimensiones de las trincheras y el cableado que se utiliza como sigue:

#### Dimensiones:

- Sección con achurado: 0,7 m (27,6", 2,3') de ancho y 0,6 m (23,6", 2') de profundidad.
- Sección sin achurado: 0,8 m (31,5", 2,63') de ancho y 0,6 m de profundidad, ancho de pared 0,20 m (7,9", 0,66').
- Dimensión de cableado 40 x 10 cm (15,75" x 4").
- Área de cableado (0,04 m<sup>2</sup> (400 cm<sup>2</sup>) (62 pulg<sup>2</sup>).

El cableado que se utiliza en la PHLNII es el siguiente:

- Media tensión: RE4H1R, cable de cobre y aluminio con (EPR/XLPE)
- Baja tensión: FG7OR
- FG7OH2R
- FR20HH2R
- FR2XHOHRAR BK 23
- MODBUS RTU
- UTP/FTP CAT 6
- Fibra óptica Monomodal 62,5/125um

Además, las características que se colocaron en el software de 3M, para poder seleccionar el sello más adecuado son las siguientes:

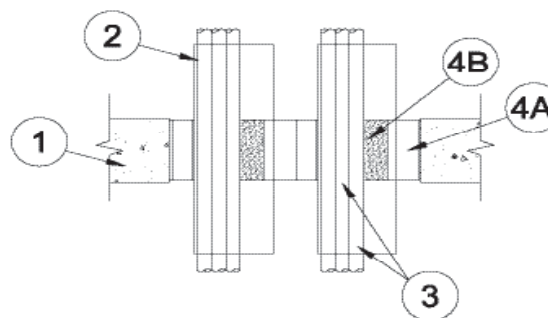
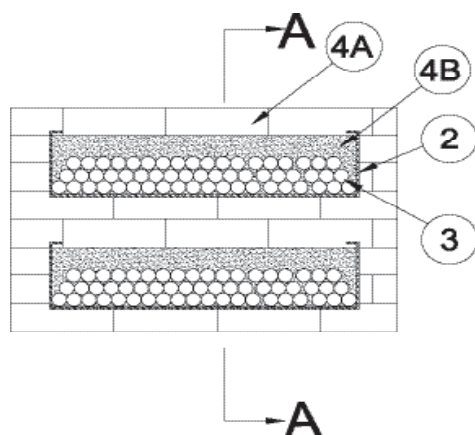
- Categoría: a través de penetraciones.
- Elemento penetrante: bandeja de cableado.
- Barrera: pared de concreto.
- F-rating: 2 horas.
- Abertura: rectangular.

Y con estos datos se desplegó una lista de sellos que podrían funcionar para este caso, del cual se selecciona el sello con el nombre C-AJ-4109, que es un sistema compuesto por un bloque en color café, tipo almohadillas que se van colocando en toda la abertura de forma que queden lo suficientemente compactadas, entre ellas y entre las paredes; después se va rellenando con una espuma en las pequeñas aberturas que la almohadilla no pudo cubrir. A continuación, se adjunta la ficha técnica del sello seleccionado:

# System No. C-AJ-4109

July 01, 2016

ANSI/UL1479 (ASTM E814)	CAN/ULC S115
F Rating — 2 Hr	F Rating — 2 Hr
T Rating — 3/4 Hr	FT Rating — 3/4 Hr
L Rating At Ambient — Less Than 1 CFM/sq ft	FH Rating — 2 Hr
L Rating At 400 F — Less Than 1 CFM/sq ft	FTH Rating — 3/4 Hr
	L Rating At Ambient — Less Than 5.1 L/s/m <sup>2</sup>
	L Rating At 400 F — Less Than 5.1 L/s/m <sup>2</sup>



- Floor or Wall Assembly** — Min 4-1/2 in. (114 mm) thick reinforced lightweight or normal weight (100-150 pcf or 1600-2400 kg/m<sup>3</sup>) concrete. Wall may also be constructed of any UL Classified **Concrete Blocks\***. Max area of opening is 600 in<sup>2</sup> (3871 cm<sup>2</sup>) with max dimension of 30 in. (762 mm).  
See **Concrete Blocks (CAZT)** category in the Fire Resistance Directory for names of manufacturers.
- Cable Trays\*** — A maximum of two 24 in. (610 mm) wide by 6 in. (152 mm) deep (or smaller) open-ladder cable tray with channel-shaped side rails formed of min 0.047 in. (1.2 mm) thick aluminum or galv steel and with 1-1/2 in. (38 mm) wide by 1 in. (25 mm) channel shape rungs spaced 9 in. (229 mm) OC. The annular space between the cable trays shall be min 2 in. (51 mm) to max 7 in. (178 mm). The annular space between the cable tray and the periphery of the opening shall be min 2 in. (51 mm) at rails and min 1/2 in. (13 mm) at rungs. Cable trays to be rigidly supported on both sides of floor or wall assembly.
- Cables** — Aggregate cross-sectional area of cables in each cable tray to be max 45 percent of the cross-sectional area of the cable tray. Any combination of the following types and sizes of copper conductor or fiber optic cables may be used:
  - Max 1/C, 750 kcmil (or smaller) copper conductor cable with cross-linked polyethylene (XLPE) insulation and polyvinyl chloride (PVC) jacket.
  - Max 7/C No. 12 AWG (or smaller) copper conductor power and control cables with cross-linked polyethylene (XLPE) insulation or polyvinyl chloride (PVC) jacket.
  - Max 3/C No. 2/0 AWG (or smaller) copper conductor SER cable with polyvinyl chloride (PVC) insulation and jacket.
  - Max 3/C No. 2/0 AWG (or smaller) copper conductor PVC jacketed aluminum clad or steel clad TECK 90 cable.
  - Max 300 pair, 200 pair, and 150 pair (or smaller) No. 22 AWG copper conductor telephone cable with PVC insulation and jacket materials.
  - Max 110/125 fiber optic (F.O.) cable with PVC insulation and jacket.
  - Max 3/C (with ground) No. 14 AWG (or smaller) nonmetallic sheathed (Romex) cable with PVC insulation and jacket materials.
  - Max RG/U (or smaller) coaxial cable with fluorinated ethylene (FE) or PVC insulation and jacket material.
  - Max 4 pair No. 24 AWG (or smaller) copper conductor Cat 5e or Cat 6 telephone cable with PVC insulation and jacket materials.
- Through Penetrating Product\*** — Any cables, **Armored Cable+** or **Metal Clad Cable+** currently Classified under the Through Penetrating Product category. See **Through Penetrating Product (XHLY)** category in the Fire Resistance Directory for names of manufacturers.
- Max three conductor No. 12 AWG (or smaller) MC (BX) copper cable with polyvinyl chloride insulation and jacket materials..
- Firestop System** — The firestop system shall consist of the following:
  - Fill, Void or Cavity Material\*** — Blocks installed with 5 in. (127 mm) dimension projecting through opening flush with bottom surface of floor or centered in wall. In solid concrete floors or walls thicker than 5 in. (127 mm), the fire block can be installed flush with top or bottom surface of floor or flush with one side of wall. In concrete block walls, fire block to fill the entire thickness of wall opening unless concrete block is solid filled. Blocks to be firmly packed to fill the opening area between and around the penetrants. Blocks can be cut to fit around penetrants and within smaller annular spaces.  
**3M COMPANY 3M FIRE PROTECTION PRODUCTS** — 3M™ Fire Barrier Block B258, 3M™ Fire Barrier Plank PK39
  - Fill, Void or Cavity Material\*** — **Foam** — Fill material to be forced between blocks and periphery of opening to the max extent possible. Fill material to be injected in-between blocks and penetrants to the full depth of the blocks, as well as in any visible voids/openings between blocks (Item 4B). In addition, foam shall be injected to the maximum extent possible within the interstices between all cables in the cable tray.  
**3M COMPANY 3M FIRE PROTECTION PRODUCTS** — Fire Barrier Rated Foam, FIP 1-Step

Through Penetrations

Cable Trays

4000 Series

Concrete

CAJ



System No. C-AJ-4109 *continued*

\* Indicates such products shall bear the UL or cUL Certification Mark for jurisdictions employing the UL or cUL Certification (such as Canada), respectively.



Through Penetrations

Cable Trays

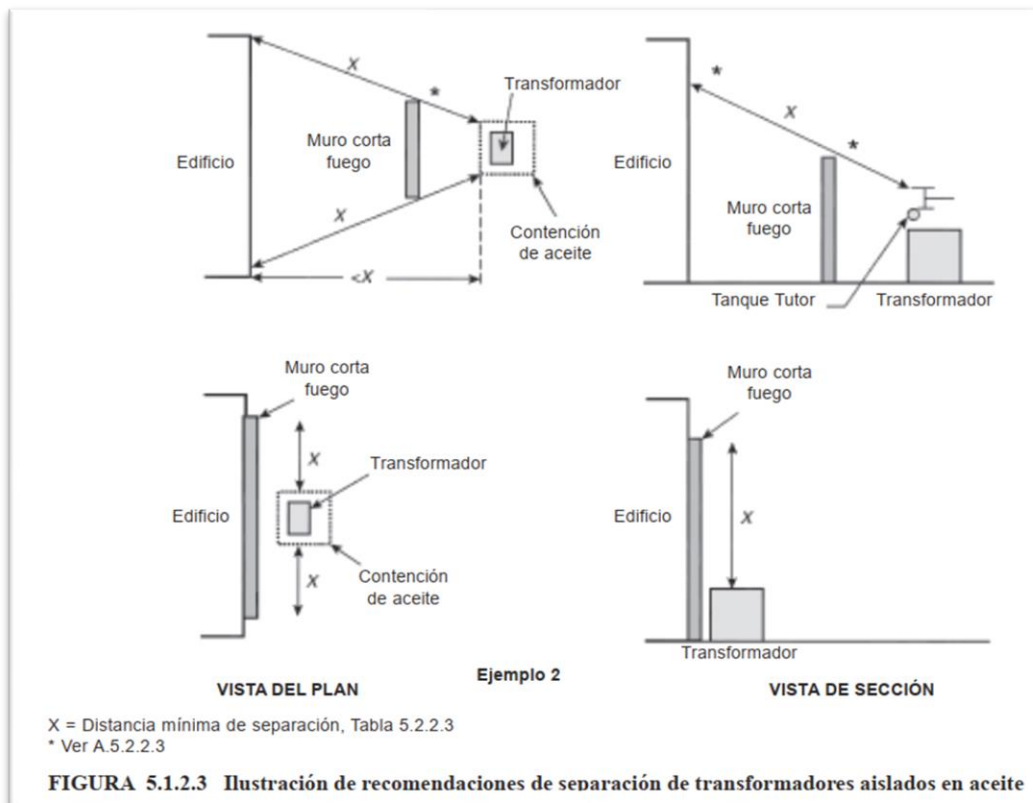
4000 Series

Concrete

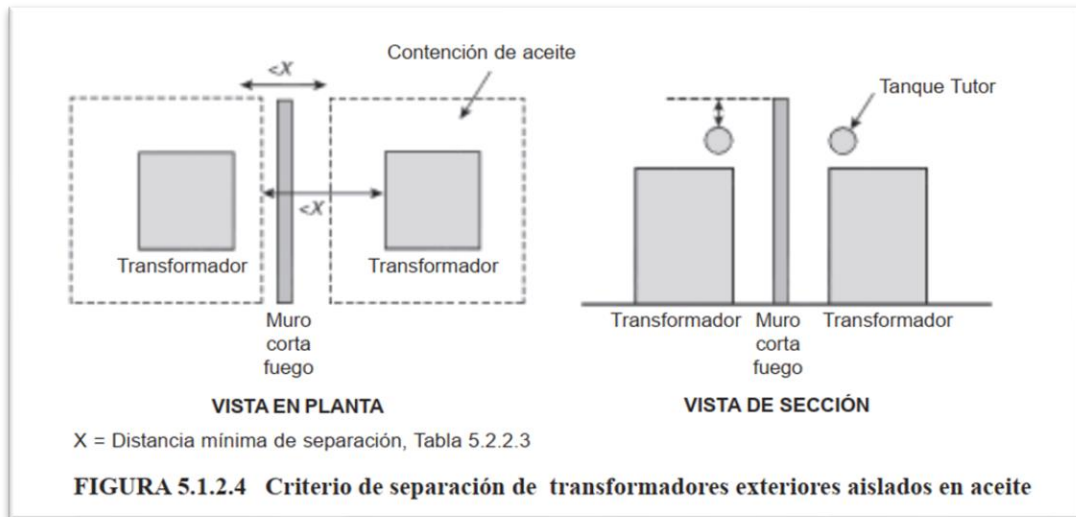
CAJ

## Anexo D. Requerimientos de ubicación de transformadores según NFPA 850.

El anexo D hace referencia a la distribución que recomienda la NFPA 850 respecto a la distancia que debe de cumplir un transformador de exteriores que tenga una capacidad de almacenamiento de aceite igual o mayor a 1 893 L (500 gal) tanto desde un edificio como la distancia que se debe de cumplir entre ellos como se puede observar en las siguientes ilustraciones D.1 y D.2 donde la distancia se especifica con una X en todos los casos.



**Ilustración D.1.** Distancia recomendada entre un transformador con más de 1893 L de aceite y una edificación en caso de no existir un muro corta fuego. Fuente: [26].



**Ilustración D.2.** Distancia recomendada entre transformadores con más de 1893 L de aceite en caso de no existir un muro corta fuego. Fuente: [26].

La distancia X debe de cumplir con lo establecido en el cuadro D.1 donde se indica la separación según sea la cantidad de aceite que corresponde a los transformadores, esto se da para el caso en que no exista un muro de separación entre ellos con las dimensiones especificadas.

**Cuadro D.1.** Separación entre transformadores aislados en aceite. Fuente: [26]

<b>Tabla 5.1.2.3 Criterios de separación de transformadores exteriores aislados en aceite</b>			
<b>Capacidad de aceite del transformador</b>		<b>Separación mínima sin muro contra incendios</b>	
<b>Gal</b>	<b>L</b>	<b>Pies</b>	<b>m</b>
< 500	<1,893	<i>Vea 5.1.2.2.</i>	
500–5,000	1,893–18,925	25	7.6
> 5,000	>18,925	50	15.2

## **Anexo E. Características técnicas del equipo de la planta**

En esta sección se describen con mayor detenimiento los equipos que están presentes en el cuarto de máquinas de la PHLNII para un mejor enfoque en la protección que se debe de aplicar, esto basado en los documentos propios de la ESPH para la adquisición, instalación y puesta en marcha de la planta.

- Transformadores

En la planta existen dos tipos de transformadores: los externos y los internos. Los transformadores externos están clasificados como transformadores de enfriamiento por aceite, mientras que los transformadores internos están clasificados como secos o sea sin aceite para su enfriamiento.

Los transformadores externos son de marca S.T.E. Energy cuentan con un tanque de aceite mineral de 5 000 kg modelo Transag 10 lb de la misma marca.

Los transformadores internos están ubicados en el cuarto eléctrico y son de la marca S.T.E. Energy.

- Unidad oleo hidráulica (HPU hydraulic power unit, por sus siglas en inglés)

Es la unidad encargada de accionar la válvula mariposa que permite el paso de agua a las turbinas y utiliza el aceite clasificado como ISO VG 46 y tienen un tanque con capacidad de 160 litros cada una.

- Generador

Existen dos unidades de generadores, ambos con las mismas especificaciones, marca Motortecnica de eje horizontal, la capacidad nominal de cada uno es de 16 550 kVa y voltaje nominal de 13,8 kV, con 12 polos y velocidad sincrónica de 600 rpm. Los generadores se ubican en el cuarto de generación (cuarto de turbinas y genradores).

- Unidad de lubricación del generador

Cada generador se conecta con un sistema de lubricación con las siguientes características:

Marca Motortecnica con una capacidad de almacenamiento de aceite VG 68 de 500 litros, cuenta con tres bombas de 98 m<sup>3</sup> y tres correspondientes motores de 3,6 kW, 480 Vac, 60 Hz y 1 146 rpm, para dar un caudal de 104 L/min a 6 bar de presión.

- Turbina

Hay dos turbinas tipo Francis de eje horizontal marca Andritz Hydro, fabricadas en el año 2016, cada una tiene una caída neta de diseño de 125,85 m y un caudal nominal de 12,25 m<sup>3</sup>/s. tiene una potencia nominal de 14 310 kW con una velocidad nominal de 600 rpm. El diámetro del rodete es de 1,195 m y la abertura de los alabes a condiciones nominales es del 77%.

- Baterías

El cuarto de baterías está equipado con un extractor de gases centrífugo de media presión equipado con turbina multipala, con certificación ATEX, diseñado para trabajar en atmósferas explosivas modelo CMP-620-4T, cuenta también con un ducto de aire de acero galvanizado y con 61 baterías marca GNB Industrial Power, Modelo Classic 6 OPZS 420 LA, las cuales son baterías industriales convencionales con un diseño de placas tubulares con un voltaje nominal de 2 V, son de plomo-acido con electrolito líquido (ácido sulfúrico diluido  $d_N = 1,24 \pm 0,01$  kg/l), son de bajo mantenimiento y cumplen con la norma DIN 40736.

## **Anexo F. Cálculos hidráulicos de los sistemas activos**

## **Anexo F.1. Sistema de diluvio**



# Hydraulic Overview

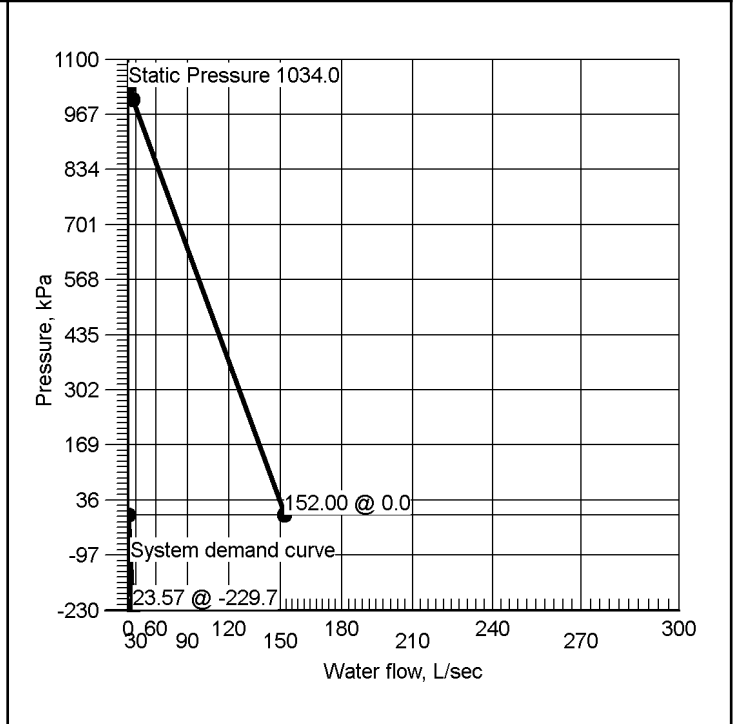
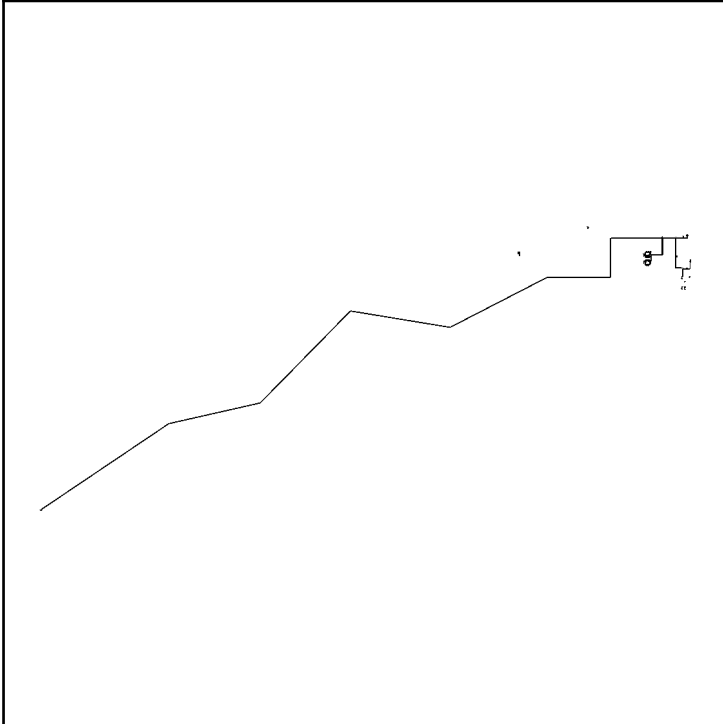
Job Number: 1  
Report Description: Sistema de Diluvio

Job	
Job Number 1	Design Engineer
Job Name: Planta Hidroeléctrica Los Negros II	Phone <span style="float: right;">FAX</span>
Address 1 Aguas Claras	State Certification/License Number
Address 2 Upala	AHJ
Address 3 Alajuela	Job Site/Building

System		
Density NA	Area of Application NA	
Most Demanding Sprinkler Data 4.1 K-Factor 1.43 at 210.0	Hose Streams 0.00	
Coverage Per Sprinkler NA	Number Of Sprinklers Calculated 16	Number Of Sprinklers Calculated 0
System Pressure Demand 0.0	System Flow Demand 23.57	
Total Demand 23.57 @ 0.0	Pressure Result +1001.1 (100.0%)	

Supplies					Check Point Gauges				
Node	Name	Flow(L/sec)	Hose Flow(L/sec)	Static(kPa)	Residual(kPa)	Identifier	Pressure(kPa)	K-Factor(K)	Flow(L/sec)
1	Water Supply	152.00		1034.0	0.0				

## Sistema de diluvio Water Supply at Node 1 (152.00, 0.00, 1034.0, 0.0)







# Hydraulic Summary

Job Number: 1  
Report Description: Sistema de Diluvio

Job	
Job Number 1	Design Engineer
Job Name: Planta Hidroeléctrica Los Negros II	State Certification/License Number
Address 1 Aguas Claras	AHJ
Address 2 Upala	Job Site/Building
Address 3 Alajucla	Drawing Name Sistema de diluvio

System	Remote Area(s)	
Most Demanding Sprinkler Data 4.1 K-Factor 1.43 at 210.0	Occupancy NA	Job Suffix Manually Flowing
Hose Allowance At Source 0.00	Density NA	Area of Application NA
Additional Hose Supplies <u>Node</u> <u>Flow(L/sec)</u>	Number Of Sprinklers Calculated 16	Number Of Nozzles Calculated 0
	Coverage Per Sprinkler NA	
AutoPeak Results: Pressure For Remote Area(s) Adjacent To Most Remote Area		
Total Hose Streams 0.00		
System Flow Demand 23.57	Total Water Required (Including Hose Allowance) 23.57	
Maximum Pressure Unbalance In Loops 0.0		
Maximum Velocity Above Ground 5.58 between nodes 21 and 199		
Maximum Velocity Under Ground 5.94 between nodes 11 and 21		
Volume capacity of Wet Pipes 4503.52gal	Volume capacity of Dry Pipes	

Supplies									
Node	Name	Hose Flow (L/sec)	Static (kPa)	Residual (kPa) @	Flow (L/sec)	Available (kPa) @	Total Demand (L/sec)	Required (kPa)	Safety Margin (kPa)
1	Water Supply		1034.0	0.0	152.00	1001.1	23.57	0.0	1230.8

Contractor			
	Contractor Number	Contact Name	Contact Title
Name of Contractor:		Phone	Extension
Address 1		FAX	
Address 2		E-mail	
Address 3		Web-Site	



## Summary Of Outflowing Devices

Job Number: 1

Report Description: Sistema de Diluvio

Device		Actual Flow (L/sec)	Minimum Flow (L/sec)	K-Factor (K)	Pressure (kPa)		
Sprinkler	301	1.52	1.43	4.1	236.5		
Sprinkler	302	1.50	1.43	4.1	231.8		
Sprinkler	303	1.50	1.43	4.1	232.1		
Sprinkler	304	1.52	1.43	4.1	238.9		
Sprinkler	305	1.52	1.43	4.1	237.4		
Sprinkler	306	1.50	1.43	4.1	231.4		
Sprinkler	307	1.50	1.43	4.1	232.1		
Sprinkler	308	1.51	1.43	4.1	236.4		
Sprinkler	309	1.44	1.43	4.1	214.5		
Sprinkler	310	1.43	1.43	4.1	210.6		
⇒ Sprinkler	<b>311</b>	<b>1.43</b>	<b>1.43</b>	<b>4.1</b>	<b>210.0</b>		
Sprinkler	312	1.45	1.43	4.1	215.5		
Sprinkler	313	1.45	1.43	4.1	216.9		
Sprinkler	314	1.43	1.43	4.1	210.7		
Sprinkler	315	1.43	1.43	4.1	210.4		
Sprinkler	316	1.44	1.43	4.1	214.7		

⇒ Most Demanding Sprinkler Data



# Node Analysis

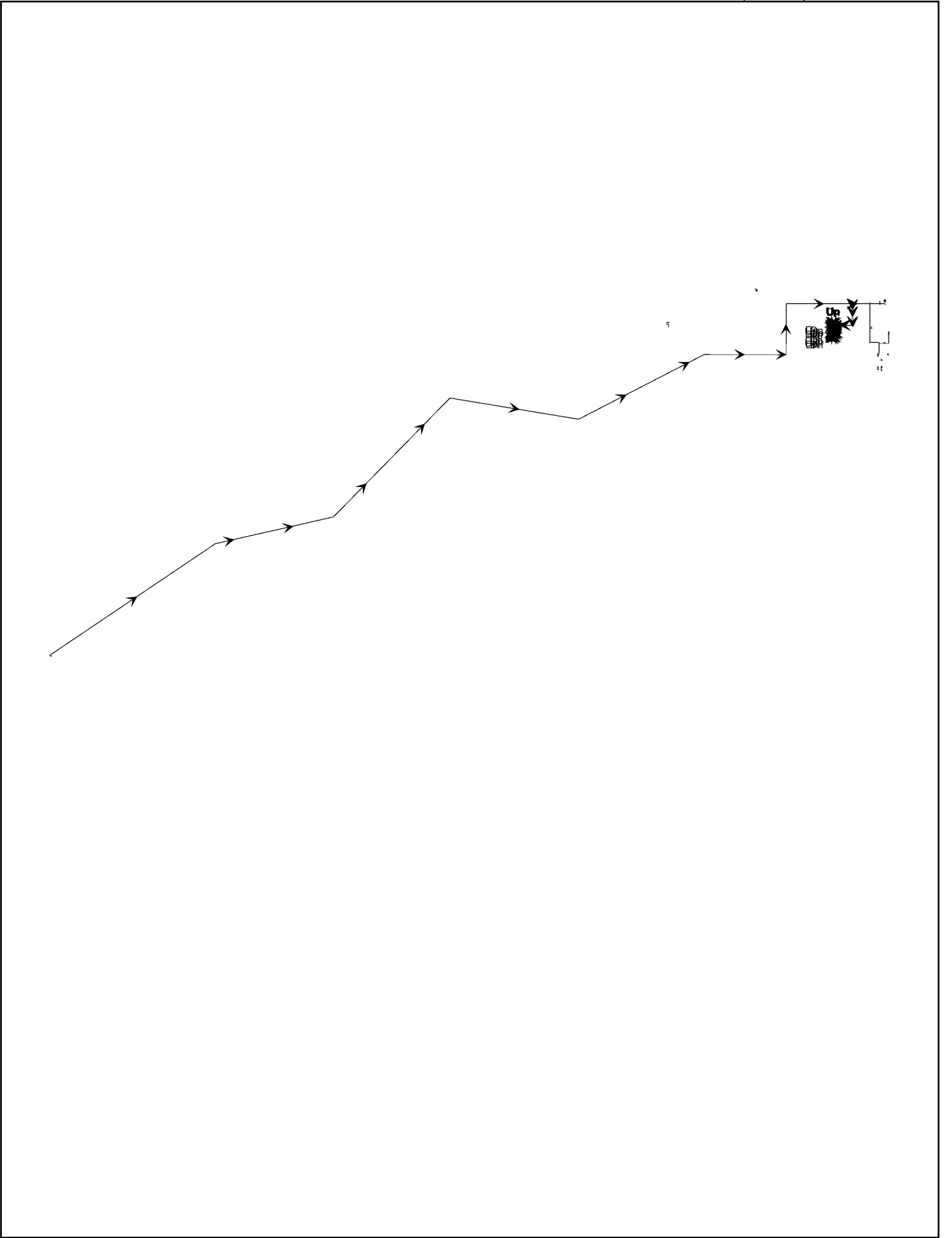
Job Number: 1

Report Description: Sistema de Diluvio

Node	Elevation(Meter)	Fittings	Pressure(kPa)	Discharge(L/sec)
1	108.61m	S	-229.7	23.57
301	11.40m	Spr(-236.5)	236.5	1.52
302	11.40m	Spr(-231.8)	231.8	1.50
303	11.40m	Spr(-232.1)	232.1	1.50
304	11.40m	Spr(-238.9)	238.9	1.52
305	11.40m	Spr(-237.4)	237.4	1.52
306	11.40m	Spr(-231.4)	231.4	1.50
307	11.40m	Spr(-232.1)	232.1	1.50
308	11.40m	Spr(-236.4)	236.4	1.51
309	11.40m	Spr(-214.5)	214.5	1.44
310	11.40m	Spr(-210.6)	210.6	1.43
311	11.40m	Spr(-210.0)	210.0	1.43
312	11.40m	Spr(-215.5)	215.5	1.45
313	11.40m	Spr(-216.9)	216.9	1.45
314	11.40m	Spr(-210.7)	210.7	1.43
315	11.40m	Spr(-210.4)	210.4	1.43
316	11.40m	Spr(-214.7)	214.7	1.44
8	7.70m	T(10.20m)	690.6	
9	8.76m		614.5	
11	8.76m		594.2	
19	8.76m		520.1	
21	8.76m		491.0	
90	9.04m		670.9	
100	9.35m	T(3.05m)	665.3	
102	9.71m	BV(1.83m)	637.7	
104	9.71m	BV(1.83m)	653.4	
111	9.35m	LtE(0.91m)	665.1	
178	11.57m	PO(1.52m)	242.5	
179	11.57m	PO(1.52m)	242.2	
183	11.57m	PO(1.52m)	242.7	
186	11.57m	T(2.44m)	249.0	
187	8.93m	E(1.22m)	295.9	
188	11.57m	PO(1.52m)	244.6	
189	11.57m	PO(1.52m)	243.1	
198	11.57m	T(2.44m)	252.7	
199	8.93m	T(2.44m)	318.3	
202	11.57m	PO(1.52m)	242.0	
206	11.57m	PO(1.52m)	242.0	
207	11.57m	PO(1.52m)	242.7	
227	11.57m	PO(1.52m)	219.5	
228	11.57m	PO(1.52m)	220.2	
232	11.57m	PO(1.52m)	219.6	
238	11.57m	T(2.44m)	229.4	
239	8.93m	T(2.44m)	291.9	
240	11.57m	PO(1.52m)	220.5	
241	11.57m	PO(1.52m)	222.0	
243	11.57m	T(2.44m)	225.9	
244	8.93m	E(1.22m)	270.8	
247	11.57m	PO(1.52m)	220.2	
251	11.57m	PO(1.52m)	220.0	
252	11.57m	PO(1.52m)	219.7	

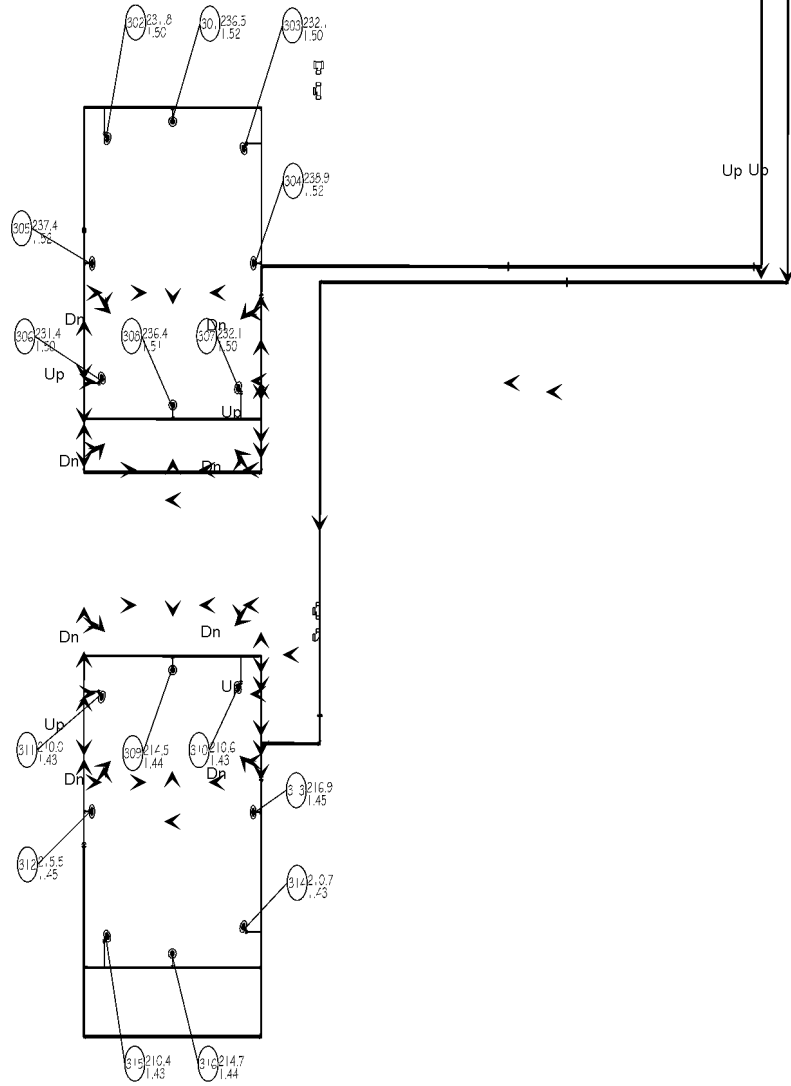


# Flow Diagram (Top View)





# Flow Diagram (Current View)



**Anexo F.2. Sistema de la red exterior y gabinetes.**



# Hydraulic Overview

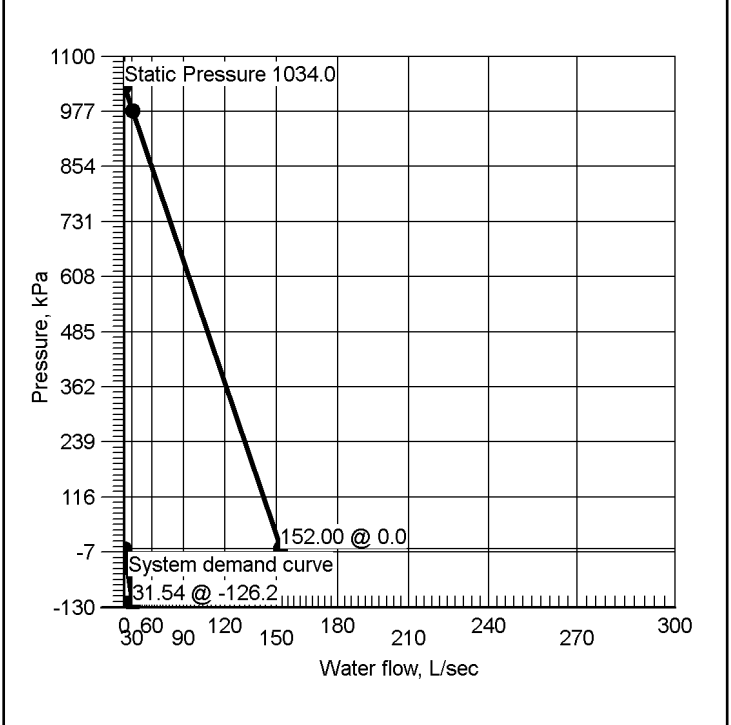
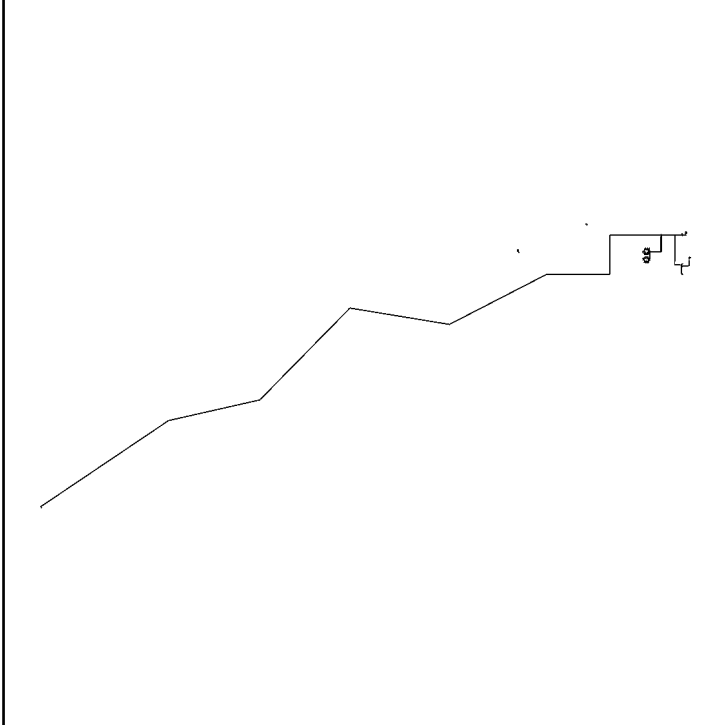
Job Number: 1  
Report Description: Sistema de Gabinetes Clase III

Job	
Job Number 1	Design Engineer Estudiantes UCR
Job Name: Planta Hidroeléctrica Los Negros II	Phone FAX
Address 1 Aguas Claras	State Certification/License Number
Address 2 Upala	AHJ
Address 3 Alajuela	Job Site/Building

System		
Density NA	Area of Application NA	
Most Demanding Sprinkler Data K-Factor at	Hose Streams 31.54	
Coverage Per Sprinkler NA	Number Of Sprinklers Calculated 0	Number Of Sprinklers Calculated 0
System Pressure Demand 0.0	System Flow Demand 31.54	
Total Demand 31.54 @ 0.0	Pressure Result +977.6 (100.0%)	

Supplies					Check Point Gauges				
Node	Name	Flow(L/sec)	Hose Flow(L/sec)	Static(kPa)	Residual(kPa)	Identifier	Pressure(kPa)	K-Factor(K)	Flow(L/sec)
1	Water Supply	152.00		1034.0	0.0				

## Sistema de Red exterior Water Supply at Node 1 (152.00, 0.00, 1034.0, 0.0)





# Hydraulic Summary

Job Number: 1  
Report Description: Sistema de Gabintes Clase III

Job																	
Job Number 1					Design Engineer												
Job Name: Planta Hidroeléctrica Los Negros II					State Certification/License Number												
Address 1 Aguas Claras					AHJ												
Address 2 Upala					Job Site/Building												
Address 3 Alajuéla					Drawing Name Sistema de Red exterior												
System					Remote Area(s)												
Most Demanding Sprinkler Data K-Factor at					Occupancy NA			Job Suffix Manually Flowing									
Hose Allowance At Source 0.00					Density NA			Area of Application NA									
Additional Hose Supplies					Number Of Sprinklers Calculated 0		Number Of Nozzles Calculated 0		Coverage Per Sprinkler NA								
<table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Node</th> <th style="text-align: left;">Flow(L/sec)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hose At Node 223</td> <td>15.77</td> </tr> <tr> <td>Hose At Node 272</td> <td>15.77</td> </tr> </tbody> </table>					Node	Flow(L/sec)	Hose At Node 223	15.77	Hose At Node 272	15.77	AutoPeak Results: Pressure For Remote Area(s) Adjacent To Most Remote Area						
Node	Flow(L/sec)																
Hose At Node 223	15.77																
Hose At Node 272	15.77																
Total Hose Streams 31.54																	
System Flow Demand 31.54			Total Water Required (Including Hose Allowance) 31.54														
Maximum Pressure Unbalance In Loops 0.0																	
Maximum Velocity Above Ground 4.48 between nodes 268 and 223																	
Maximum Velocity Under Ground 3.50 between nodes 24 and 23																	
Volume capacity of Wet Pipes 4503.52gal			Volume capacity of Dry Pipes														
Supplies																	
Node	Name	Hose Flow (L/sec)	Static (kPa)	Residual (kPa) @	Flow (L/sec)	Available (kPa) @	Total Demand (L/sec)	Required (kPa)	Safety Margin (kPa)								
1	Water Supply		1034.0	0.0	152.00	977.6	31.54	0.0	1103.8								
Contractor																	
Contractor Number					Contact Name			Contact Title									
Name of Contractor:					Phone			Extension									
Address 1					FAX												
Address 2					E-mail												
Address 3					Web-Site												





## Summary Of Outflowing Devices

Job Number: 1

Report Description: Sistema de Gabintes Clase III

Device		Actual Flow (L/sec)	Minimum Flow (L/sec)	K-Factor (K)	Pressure (kPa)		
Hose	223	15.77	15.77	0	619.9		
Hose	272	15.77	15.77	25	689.3		

⇒ Most Demanding Sprinkler Data



# Node Analysis

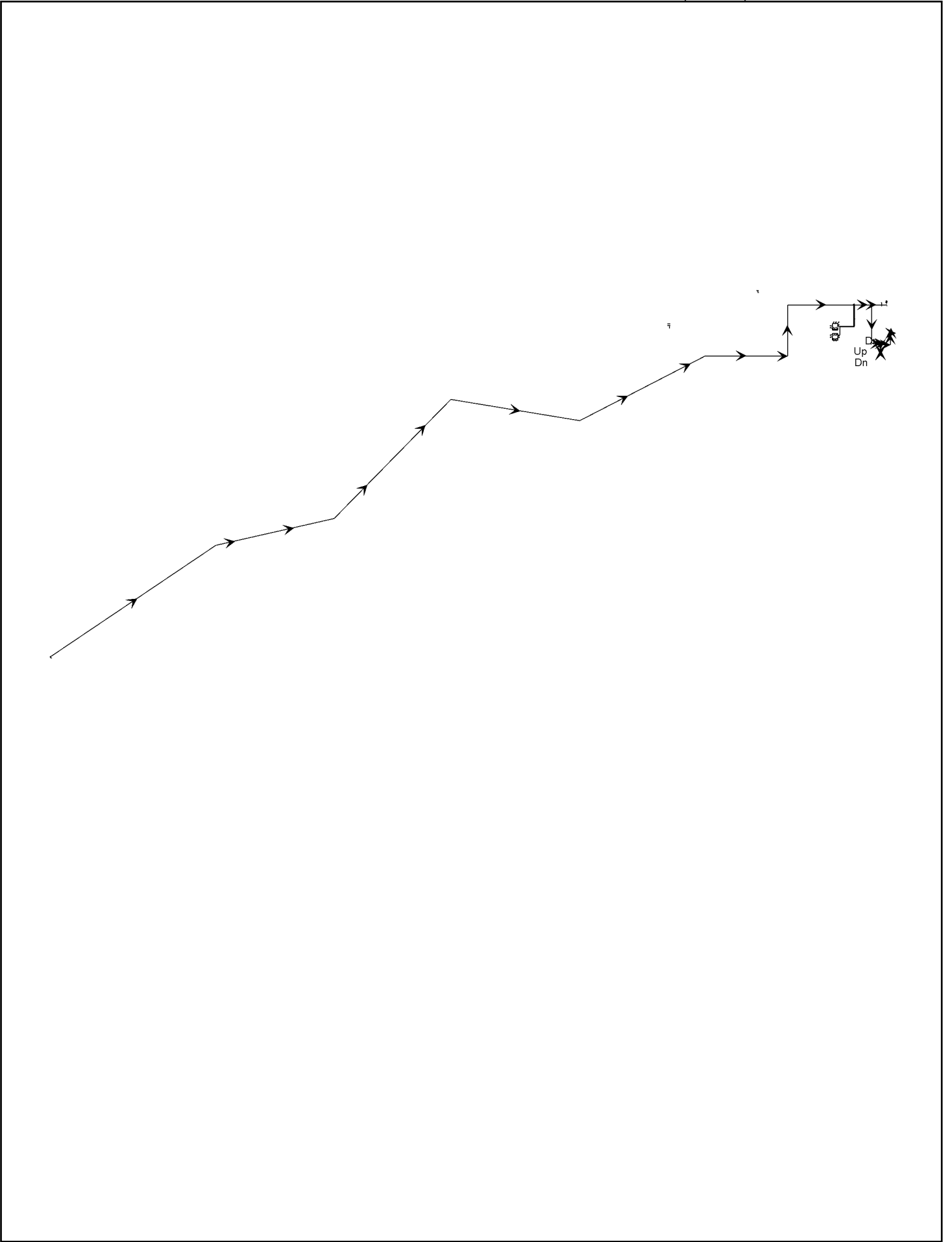
Job Number: 1

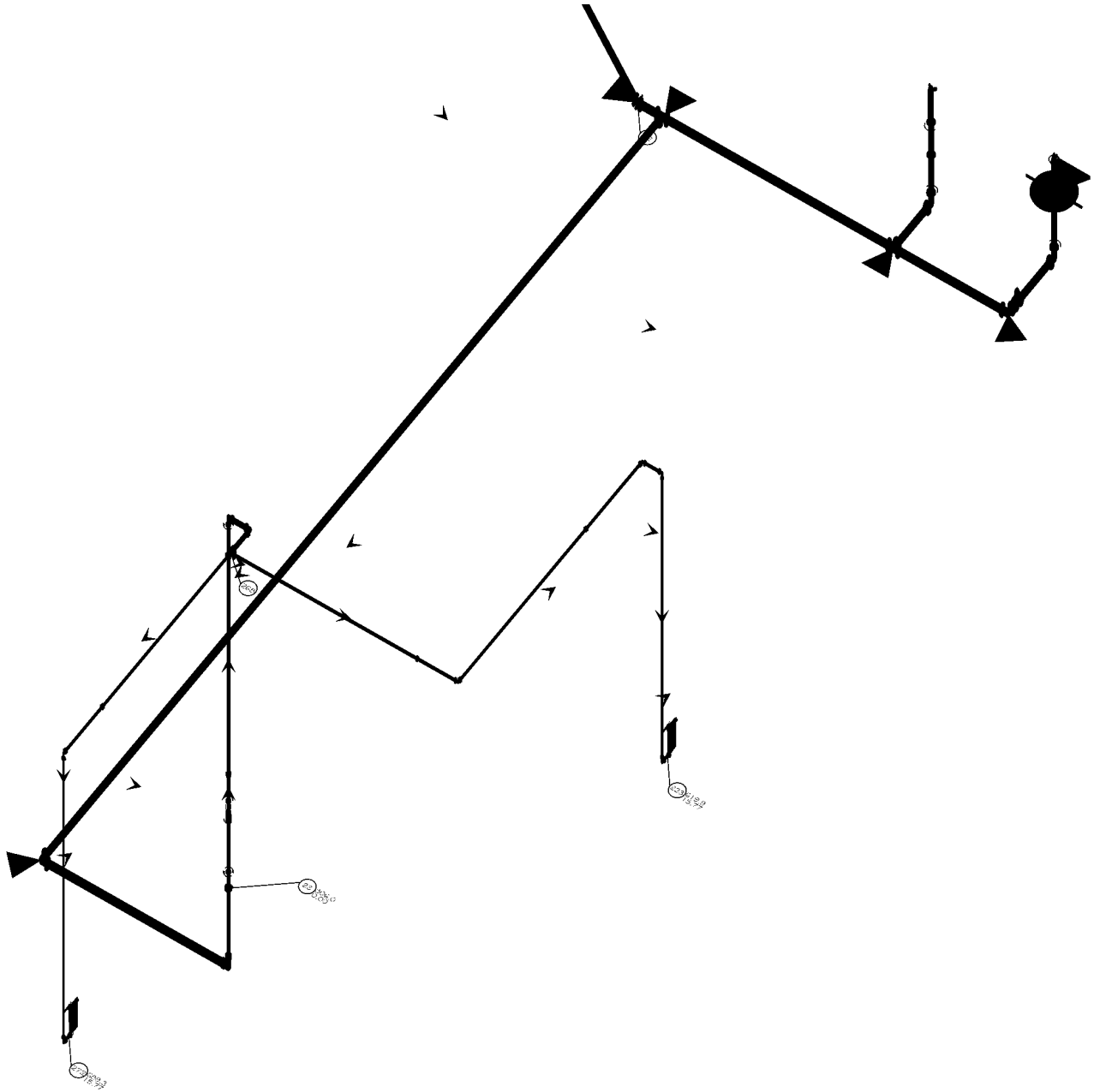
Report Description: Sistema de Gabintes Clase III

Node	Elevation(Meter)	Fittings	Pressure(kPa)	Discharge(L/sec)
1	108.61m	S	-126.2	31.54
223	1.13m	Hose	619.9	15.77
272	1.13m	Hose(-689.3)	689.3	15.77
8	7.70m	T(10.20m)	744.6	
9	8.76m		734.3	
11	8.76m		734.3	
12	-1.83m	Ee2(3.36m)	835.1	
19	8.76m		734.3	
21	8.76m		734.3	
23	-0.38m		806.0	
24	-1.83m	E(5.10m)	826.6	
90	9.04m		731.4	
100	9.35m	T(3.05m)	728.4	
102	9.71m	BV(1.83m)	724.9	
104	9.71m	BV(1.83m)	724.9	
178	11.57m	PO(2.44m)	706.7	
179	11.57m	PO(1.52m)	706.7	
183	11.57m	PO(1.52m)	706.7	
186	11.57m	T(2.44m)	706.7	
187	8.93m	E(1.52m)	732.5	
188	11.57m	PO(1.52m)	706.7	
189	11.57m	PO(1.52m)	706.7	
198	11.57m	T(2.44m)	706.7	
199	8.93m	T(2.44m)	732.5	
202	11.57m	PO(2.44m)	706.7	
206	11.57m	PO(2.44m)	706.7	
207	11.57m	PO(2.44m)	706.7	
227	11.57m	PO(2.44m)	706.7	
228	11.57m	PO(1.52m)	706.7	
232	11.57m	PO(2.44m)	706.7	
238	11.57m	T(2.44m)	706.7	
239	8.93m	T(2.44m)	732.5	
240	11.57m	PO(2.44m)	706.7	
241	11.57m	PO(1.52m)	706.7	
243	11.57m	T(2.44m)	706.7	
244	8.93m	E(1.22m)	732.5	
247	11.57m	PO(2.44m)	706.7	
251	11.57m	PO(2.44m)	706.7	
252	11.57m	PO(2.44m)	706.7	
268	6.51m	T(5.02m)	701.3	



# Flow Diagram (Top View)





### **Anexo F.3. Sistema del agente limpio Inergen.**

**ANSUL**  
**INERGEN DESIGNER**  
Version 5.1.3

Data file name: G:\Mi unidad\Otros\UCR\T  
TFG UCR\Inergen\Cálculos REV4\Cuarto Electrico - Inergen 200 bar.inr with unsaved revisions  
Job:

REMARKS: Riesgo Clase C > 480 V

**Hazard Area Information**

Area: Cuarto Eléctrico

Design concentration 57% at 18.° Celsius  
Estimated maximum concentration 59.5% at maximum hazard temperature 30.° Celsius  
Net volume of enclosure 563.6 cubic meters  
Minimum INERGEN required 475.9 cubic meters  
Approximate INERGEN supplied 486. cubic meters  
Flooding factor .853 cubic meters of INERGEN per cubic meters of enclosure volume  
Maximum allowable wall strength 19.5 kgs./sq.m.  
Area consists of one volume  
Volume 1: Length 12.88 m Width 12.87 m Height 3.4 m  
4 nozzles. Nozzle identifiers: 301, 302, 303, 304

**Agent Storage Conditions**

Number of cylinders: 30 each containing 16.2 cubic meters of INERGEN.  
Total agent 486. cubic meters  
SI units (meters, cubic meters, kiloPascals) are specified  
Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Pipe Data Input**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Elev (m)	90's	Side Tee	Thru Tee	Union/Cplg	Qty cu m	Eql (m)
1	2	1/2 - 40 T	0.00	0.00	0	0	0	0		11.58
2	3	2 1/2 - DFLT	0.31	0.00	1	0	0	0		0.00
3	4	2 1/2 - DFLT	0.31	0.00	0	1	0	0	2 cyl	0.00
4	5	2 1/2 - DFLT	0.31	0.00	0	1	0	0	3 cyl	0.00
5	6	2 1/2 - DFLT	0.31	0.00	0	1	0	0	4 cyl	0.00
6	7	2 1/2 - DFLT	0.31	0.00	0	1	0	0	5 cyl	0.00
7	8	2 1/2 - DFLT	0.31	0.00	0	1	0	0	6 cyl	0.00
8	9	2 1/2 - DFLT	0.31	0.00	0	1	0	0	7 cyl	0.00
9	10	2 1/2 - DFLT	0.31	0.00	0	1	0	0	8 cyl	0.00
10	11	2 1/2 - DFLT	0.31	0.00	0	1	0	0	9 cyl	0.00
11	12	2 1/2 - DFLT	0.31	0.00	0	1	0	0	10 cyl	0.00
12	13	2 1/2 - DFLT	0.31	0.00	1	0	0	0	10 cyl	0.00
13	14	2 1/2 - DFLT	0.15	0.00	0	1	0	0	20 cyl	0.00

**ANSUL**  
**INERGEN DESIGNER**  
 UL listed EX4510, FM Approved (P.I.) 3022155, ULC listed CEx1151  
 Version 5.1.3

Data file name: G:\Mi unidad\Otros\UCR\TFG UCR\Inergen\Cálculos REV4\Cuarto Electrico - Inergen 200 bar.inr with unsaved revisions  
 Job Number:

**Pipe Data Input(Continued)**

File: Data file name: G:\Mi unidad\Otros\UCR\TFG UCR\Inergen\Cálculos REV4\Cuarto Electrico - Inergen 200

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Elev (m)	90's	Side Tee	Thru Tee	Union/Cplg	Qty Qty	Eql (m)
14	15	2 1/2 - DFLT	0.30	0.30	0	1	0	0	30 cyl	0.00
15	16	0 - DFLT	0.00	0.00	0	0	0	0		Orifice
16	17	0 - DFLT	1.00	1.00	0	0	0	0		0.00
17	18	0 - DFLT	0.95	0.00	1	0	0	0		0.00
18	19	0 - DFLT	1.00	0.00	1	0	0	0		0.00
19	20	0 - DFLT	6.70	0.00	1	0	0	0		0.00
20	21	0 - DFLT	3.00	0.00	0	1	0	0		0.00
21	22	0 - DFLT	3.45	0.00	0	1	0	0		0.00
22	301	0 - DFLT	0.10	-0.10	1	0	0	0	121.50	0.00
21	23	0 - DFLT	3.45	0.00	0	1	0	0		0.00
23	302	0 - DFLT	0.10	-0.10	1	0	0	0	121.50	0.00
20	24	0 - DFLT	3.00	0.00	0	1	0	0		0.00
24	25	0 - DFLT	3.45	0.00	0	1	0	0		0.00
25	303	0 - DFLT	0.10	-0.10	1	0	0	0	121.50	0.00
24	26	0 - DFLT	3.45	0.00	0	1	0	0		0.00
26	304	0 - DFLT	0.10	-0.10	1	0	0	0	121.50	0.00

**ANSUL**  
**INERGEN DESIGNER**  
 UL listed EX4510, FM Approved (P.I.) 3022155, ULC listed CEx1151  
 Version 5.1.3

Data file name: G:\Mi unidad\Otros\UCR\T  
 TFG UCR\Inergen\Cálculos REV4\Cuarto Electrico - Inergen 200 bar.inr with unsaved revisions  
 Job Number for

REMARKS: Riesgo Clase C > 480 V

**Agent Storage Conditions**

Storage pressure is 19995 kPa at 21.1 degrees Celsius.  
 16.2 cubic meters of INERGEN stored in each of 30 cylinders.  
 Total agent in storage is 486.0 cubic meters.  
 Time to discharge 437.4 cubic meters (90% of INERGEN) is 86.7 seconds  
 Maximum pressure downstream of manifold orifice is 11990 kPa

**Concentrations**

Area	Volume	95% Time (sec)	Cu M INERGEN	Maximum Concentration at Max. Temp.	Minimum Concentration at Min. Temp.	Requested Concentration at Min Temp.
Cuarto Eléctrico	563.6	113	485.9	59.1% at 30.°C	57.6% at 18.°C	57% at 18.°C
Sea level equivalent oxygen: 8.5% at 30°C						

NOTICE: Design for this area meets the requirements of NFPA 2001 for unoccupied spaces only.  
 Concentrations are based on altitude of 57 m mean sea level.

**Free Vent Calculation**

Area	Peak Rate	Maximum Wall Strength	Minimum Free Vent Area
Cuarto Eléctrico	930.6 cmm	19.5 kgs./sq.m.	9072 sq. cm.

**Pressure Drop Results**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Equip Length(m)	Elev (m)	Tee/ Mfld	Start kPa	Term kPa	Flow (cmm)
1	2	1/2 40 T	0.0	11.6	0.0	MFLD	9494	9273	15.9
2	3	2 1/2 160T	0.3	1.9	0.0	MFLD	9273	9287	15.9
3	4	2 1/2 160T	0.3	3.5	0.0	MFLD	9287	9287	31.9
4	5	2 1/2 160T	0.3	3.5	0.0	MFLD	9287	9287	47.8
5	6	2 1/2 160T	0.3	3.5	0.0	MFLD	9287	9287	63.7
6	7	2 1/2 160T	0.3	3.5	0.0	MFLD	9287	9287	79.7



**ANSUL**  
**INERGEN DESIGNER**  
 UL listed EX4510, FM Approved (P.I.) 3022155, ULC listed CEx1151  
 Version 5.1.3

Data file name: G:\Mi unidad\Otros\UCR\T  
 TFG UCR\Inergen\Cálculos REV4\Cuarto Electrico - Inergen 200 bar.inr with unsaved revisions  
 Job Number:

**Pressure Drop Results (Continued)**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Equip Length(m)	Elev (m)	Tee/ Mfld	Start kPa	Term kPa	Flow (cmm)
7	8	2 1/2 160T	0.3	3.5	0.0	MFLD	9287	9280	95.6
8	9	2 1/2 160T	0.3	3.5	0.0	MFLD	9280	9267	111.5
9	10	2 1/2 160T	0.3	3.5	0.0	MFLD	9267	9260	127.5
10	11	2 1/2 160T	0.3	3.5	0.0	MFLD	9260	9253	143.4
11	12	2 1/2 160T	0.3	3.5	0.0	MFLD	9253	9246	159.3
12	13	2 1/2 160T	0.3	1.9	0.0	MFLD	9246	9239	159.3
13	14	2 1/2 160T	0.2	3.4	0.0	MFLD	9239	9170	318.7
14	15	2 1/2 160T	0.3	3.5	0.3	MFLD	9170	9032	478.
15	16	ORIFICE 1.000 INCHES		DRILL NO. 1			9032	4109	478.
16	17	3 80 T	1.0	1.0	1.0		4109	5447	478.
17	18	3 80 T	1.0	3.2	0.0		5447	5419	478.
18	19	3 80 T	1.0	3.2	0.0		5419	5392	478.
19	20	3 80 T	6.7	8.9	0.0		5392	5309	478.
20	21	2 1/2 80 T	3.0	6.5	0.0	BULL	5309	5281	239.
21	22	1 1/2 80 T	3.5	5.7	0.0	BULL	5281	5157	119.5
22	301	1 1/2 80 T	0.1	1.2	-0.1		5157	5137	119.5
21	23	1 1/2 80 T	3.5	5.7	0.0	BULL	5281	5157	119.5
23	302	1 1/2 80 T	0.1	1.2	-0.1		5157	5137	119.5
20	24	2 1/2 80 T	3.0	6.5	0.0	BULL	5309	5281	239.
24	25	1 1/2 80 T	3.5	5.7	0.0	BULL	5281	5157	119.5
25	303	1 1/2 80 T	0.1	1.2	-0.1		5157	5137	119.5
24	26	1 1/2 80 T	3.5	5.7	0.0	BULL	5281	5157	119.5
26	304	1 1/2 80 T	0.1	1.2	-0.1		5157	5137	119.5

Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Pipe and Fittings**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	90's	Side Tee	Thru Tee	Unions/ Cplgs	Eql (m)
1	2	1/2 40 T	0.0	0	0	0	0	Cyl Valve 11.5824 m

2 (Continued)

**ANSUL**  
**INERGEN DESIGNER**  
 UL listed EX4510, FM Approved (P.I.) 3022155, ULC listed CEx1151  
 Version 5.1.3

Data file name: G:\Mi unidad\Otros\UCR\T  
 TFG UCR\Inergen\Cálculos REV4\Cuarto Electrico - Inergen 200 bar.inr with unsaved revisions  
 Job Number:

**Pipe and Fittings(Continued)**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	90's	Side Tee	Thru Tee	Unions/Cplgs	EqL (m)
2	3	2 1/2 160T	0.3	1	0	0	0	
3	4	2 1/2 160T	0.3	0	1	0	0	
4	5	2 1/2 160T	0.3	0	1	0	0	
5	6	2 1/2 160T	0.3	0	1	0	0	
6	7	2 1/2 160T	0.3	0	1	0	0	
7	8	2 1/2 160T	0.3	0	1	0	0	
8	9	2 1/2 160T	0.3	0	1	0	0	
9	10	2 1/2 160T	0.3	0	1	0	0	
10	11	2 1/2 160T	0.3	0	1	0	0	
11	12	2 1/2 160T	0.3	0	1	0	0	
12	13	2 1/2 160T	0.3	1	0	0	0	
13	14	2 1/2 160T	0.2	0	1	0	0	
14	15	2 1/2 160T	0.3	0	1	0	0	
15	16	2 1/2 160T		0	0	0	0	Man. Orifice
16	17	3 80 T	1.0	0	0	0	0	
17	18	3 80 T	1.0	1	0	0	0	
18	19	3 80 T	1.0	1	0	0	0	
19	20	3 80 T	6.7	1	0	0	0	
20	21	2 1/2 80 T	3.0	0	1	0	0	
21	22	1 1/2 80 T	3.5	0	1	0	0	
22	301	1 1/2 80 T	0.1	1	0	0	0	
21	23	1 1/2 80 T	3.5	0	1	0	0	
23	302	1 1/2 80 T	0.1	1	0	0	0	
20	24	2 1/2 80 T	3.0	0	1	0	0	
24	25	1 1/2 80 T	3.5	0	1	0	0	
25	303	1 1/2 80 T	0.1	1	0	0	0	
24	26	1 1/2 80 T	3.5	0	1	0	0	

**ANSUL**  
**INERGEN DESIGNER**

UL listed EX4510, FM Approved (P.I.) 3022155, ULC listed CEx1151  
Version 5.1.3

Data file name: G:\Mi unidad\Otros\UCR\T  
TFG UCR\Inergen\Cálculos REV4\Cuarto Electrico - Inergen 200 bar.inr with unsaved revisions  
Job Number:

**Pipe and Fittings(Continued)**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	90's	Side Tee	Thru Tee	Unions/ Cplgs	Eq (m)
26	304	1 1/2 80 T	0.1	1	0	0	0	

**Nozzle Performance Summary**

Nozzle Number	Nominal Pipe Size	Drill Number	Drill Diameter	Quantity (cu m) Discharged	Area Name
301	1 1/2 80 T	23/32	0.718	121.5	Cuarto Eléctrico
302	1 1/2 80 T	23/32	0.718	121.5	Cuarto Eléctrico
303	1 1/2 80 T	23/32	0.718	121.5	Cuarto Eléctrico
304	1 1/2 80 T	23/32	0.718	121.5	Cuarto Eléctrico

**Messages/Errors**

ANSUL 200 bar INERGEN DESIGNER Version number 5.1.3  
Calculation done on 18/7/2020 at 14:31:03  
Concentrations are based on an altitude of 57 m above mean sea level.  
Altitude correction factor is 0.99  
WARNING Time to discharge 95% of INERGEN required for minimum design concentration is greater than 60 seconds in one or more areas.  
Concentrations higher than 52%. Design meets the requirements of NFPA 2001 for normally unoccupied spaces only.  
Sea level equivalent oxygen concentrations less than 10%. Design meets requirements of NFPA 2001 for normally unoccupied spaces only.

Pipe schedule selected for pipe sizes downstream of the manifold orifice is based on the maximum pipe pressure for Grade A-53B, A-106B Seamless. To determine if other grades are acceptable, verify that the maximum pipe pressures for other grades are equal to or greater than the maximum anticipated downstream pressure.

**Calculation by** Distribuidora Larce  
Michael Alcázar  
San Jose 10104 Costa Rica  
Telephone: 506-221-1100  
Fax: 000-000-0000

**ANSUL**  
**INERGEN DESIGNER**  
Version 2.1.2

Data file name: G:\Mi unidad\Otros\UCR\T  
TFG UCR\Inergen\Cálculos REV4\Cuarto de Control - Inergen 150 bar.inr with unsaved revisions  
Job:

Country: Costa Rica  
REMARKS: Riesgo Clase C < 480 V

**Hazard Area Information**

Area: Cuarto de Control

Design concentration 38.5% at 18.° Celsius  
Estimated maximum concentration 43.9% at maximum hazard temperature 30.° Celsius  
Net volume of enclosure 179.5 cubic meters  
Minimum INERGEN required 87.2 cubic meters  
Approximate INERGEN supplied 99.4 cubic meters  
Flooding factor .491 cubic meters of INERGEN per cubic meters of enclosure volume  
Maximum allowable wall strength 19.5 kgs./sq.m.  
Area consists of one volume  
Volume 1: Length 7.37 m Width 7.38 m Height 3.3 m  
1 nozzles. Nozzle identifiers: 301

**Agent Storage Conditions**

Number of cylinders: 8 each containing 12.43 cubic meters of INERGEN.  
Total agent 99.44 cubic meters  
SI units (meters, cubic meters, kiloPascals) are specified  
Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Pipe Data Input**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Elev (m)	90's	Side Tee	Thru Tee	Union/ Cplg	Qty cu m	Eql (m)
1	2	1/2 - 40 T	0.00	0.00	0	0	0	0		11.58
2	3	1 1/2 - DFLT	0.31	0.00	1	0	0	0		0.00
3	4	1 1/2 - DFLT	0.31	0.00	0	1	0	0	2 cyl	0.00
4	5	1 1/2 - DFLT	0.31	0.00	0	1	0	0	3 cyl	0.00
5	6	1 1/2 - DFLT	0.31	0.00	0	1	0	0	4 cyl	0.00
6	7	1 1/2 - DFLT	0.31	0.00	0	1	0	0	5 cyl	0.00
7	8	1 1/2 - DFLT	0.31	0.00	0	1	0	0	6 cyl	0.00
8	9	1 1/2 - DFLT	0.31	0.00	0	1	0	0	7 cyl	0.00
9	10	1 1/2 - DFLT	0.31	0.00	0	1	0	0	8 cyl	0.00
10	11	1 1/2 - DFLT	0.30	0.30	1	0	0	0	8 cyl	0.00
11	12	0 - DFLT	0.00	0.00	0	0	0	0		Orifice
12	13	1 1/2 - DFLT	1.00	1.00	0	0	0	0		0.00

**ANSUL**  
**INERGEN DESIGNER**

UL listed EX4510, FMRC Approved (J.I.) 2Y0A9.AF, ULC listed CEx1151  
Version 2.1.2

Data file name: G:\Mi unidad\Otros\UCR\T  
TFG UCR\Inergen\Cálculos REV4\Cuarto de Control - Inergen 150 bar.inr with unsaved revisions  
Job Number:

**Pipe Data Input(Continued)**

File: Data file name: G:\Mi unidad\Otros\UCR\TFG UCR\Inergen\Cálculos REV4\Cuarto de Control - Inergen 150 bar.inr with unsaved revisions

<b>Sec Start</b>	<b>Sec End</b>	<b>Nominal Pipe Size</b>	<b>Length (m)</b>	<b>Elev (m)</b>	<b>90's</b>	<b>Side Tee</b>	<b>Thru Tee</b>	<b>Union/ Cplg</b>	<b>Qty Qty</b>	<b>EqI (m)</b>
13	14	1 1/2 - DFLT	5.40	0.00	1	0	0	0		0.00
14	15	1 1/2 - DFLT	3.10	0.00	1	0	0	0		0.00
15	301	1 1/2 - DFLT	0.10	-0.10	1	0	0	0	99.40	0.00

**ANSUL**  
**INERGEN DESIGNER**  
 UL listed EX4510, FMRC Approved (J.I.) 2Y0A9.AF, ULC listed CEx1151  
 Version 2. 1. 2

Data file name: G:\Mi unidad\Otros\UCR\T  
 TFG UCR\Inergen\Cálculos REV4\Cuarto de Control - Inergen 150 bar.inr with unsaved revisions  
 Job Number for

Country: Costa Rica  
 REMARKS: Riesgo Clase C < 480 V

**Agent Storage Conditions**

Storage pressure is 14996 kPa at 21.1 degrees Celsius.  
 12.43 cubic meters of INERGEN stored in each of 8 cylinders.  
 Total agent in storage is 99.4 cubic meters.  
 Time to discharge 89.5 cubic meters (90% of INERGEN) is 108.7 seconds  
 Maximum pressure downstream of manifold orifice is 9136 kPa

**Concentrations**

Area	Volume	95% Time (sec)	Cu M INERGEN	Maximum Concentration at Max. Temp.	Minimum Concentration at Min. Temp.	Requested Concentration at Min Temp.
Cuarto de Control	179.5	88	99.4	43.7% at 30.°C	42.4% at 18.°C	38.5% at 18.°C

Sea level equivalent oxygen: 11.8% at 30°C

Concentrations are based on altitude of 57 m mean sea level.

**Free Vent Calculation**

Area	Peak Rate	Maximum Wall Strength	Minimum Free Vent Area
Cuarto de Control	136.3 cmm	19.5 kgs./sq.m.	1328 sq. cm.

**Pressure Drop Results**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Equip Length(m)	Elev (m)	Tee/ Mfld	Start kPa	Term kPa	Flow (cmm)
1	2	1/2 40 T	0.0	11.6	0.0	MFLD	7122	7033	8.7
2	3	1 1/2 80 T	0.3	1.5	0.0	MFLD	7033	7040	8.7
3	4	1 1/2 80 T	0.3	2.6	0.0	MFLD	7040	7040	17.5
4	5	1 1/2 80 T	0.3	2.6	0.0	MFLD	7040	7040	26.2
5	6	1 1/2 80 T	0.3	2.6	0.0	MFLD	7040	7040	35.
6	7	1 1/2 80 T	0.3	2.6	0.0	MFLD	7040	7033	43.7

**ANSUL**  
**INERGEN DESIGNER**

UL listed EX4510, FMRC Approved (J.I.) 2Y0A9.AF, ULC listed CEx1151  
Version 2.1.2

Data file name: G:\Mi unidad\Otros\UCR\T  
TFG UCR\Inergen\Cálculos REV4\Cuarto de Control - Inergen 150 bar.inr with unsaved revisions  
Job Number:

**Pressure Drop Results (Continued)**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Equip Length(m)	Elev (m)	Tee/ Mfld	Start kPa	Term kPa	Flow (cmm)
7	8	1 1/2 80 T	0.3	2.6	0.0	MFLD	7033	7019	52.5
8	9	1 1/2 80 T	0.3	2.6	0.0	MFLD	7019	7012	61.2
9	10	1 1/2 80 T	0.3	2.6	0.0	MFLD	7012	6998	69.9
10	11	1 1/2 80 T	0.3	1.4	0.3	MFLD	6998	6991	69.9
11	12	ORIFICE .438 INCHES	DRILL NO. 7/16				6991	2992	69.9
12	13	1 1/2 40 T	1.0	1.0	1.0		2992	4075	69.9
13	14	1 1/2 40 T	5.4	6.6	0.0		4075	4033	69.9
14	15	1 1/2 40 T	3.1	4.3	0.0		4033	4006	69.9
15	301	1 1/2 40 T	0.1	1.3	-0.1		4006	3999	69.9

Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Pipe and Fittings**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	90's	Side Tee	Thru Tee	Unions/ Cplgs	EqL (m)
1	2	1/2 40 T	0.0	0	0	0	0	Cyl Valve 11.5824 m
2	3	1 1/2 80 T	0.3	1	0	0	0	
3	4	1 1/2 80 T	0.3	0	1	0	0	
4	5	1 1/2 80 T	0.3	0	1	0	0	Man. Orifice
5	6	1 1/2 80 T	0.3	0	1	0	0	
6	7	1 1/2 80 T	0.3	0	1	0	0	
7	8	1 1/2 80 T	0.3	0	1	0	0	
8	9	1 1/2 80 T	0.3	0	1	0	0	
9	10	1 1/2 80 T	0.3	0	1	0	0	
10	11	1 1/2 80 T	0.3	1	0	0	0	
11	12	1 1/2 80 T		0	0	0	0	
12	13	1 1/2 40 T	1.0	0	0	0	0	
13	14	1 1/2 40 T	5.4	1	0	0	0	

2 (Continued)

**ANSUL**  
**INERGEN DESIGNER**

UL listed EX4510, FMRC Approved (J.I.) 2Y0A9.AF, ULC listed CEx1151  
Version 2.1.2

Data file name: G:\Mi unidad\Otros\UCR\T  
TFG UCR\Inergen\Cálculos REV4\Cuarto de Control - Inergen 150 bar.inr with unsaved revisions  
Job Number:

**Pipe and Fittings(Continued)**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	90's	Side Tee	Thru Tee	Unions/ Cplgs	Eq (m)
14	15	1 1/2 40 T	3.1	1	0	0	0	
15	301	1 1/2 40 T	0.1	1	0	0	0	

**Nozzle Performance Summary**

Nozzle Number	Nominal Pipe Size	Drill Number	Drill Diameter	Quantity (cu m) Discharged	Area Name
301	1 1/2 40 T	5/8	0.625	99.4	Cuarto de Control

**Messages/Errors**

ANSUL 150 bar INERGEN DESIGNER Version number 2.1.2  
Calculation done on 18/7/2020 at 16:59:21  
Concentrations are based on an altitude of 57 m above mean sea level.  
Altitude correction factor is 0.99  
WARNING Time to discharge 95% of INERGEN required for minimum design concentration is greater than 60 seconds in one or more areas.

Pipe schedule selected for pipe sizes downstream of the manifold orifice is based on the maximum pipe pressure for Grade A-53B, A-106B Seamless. To determine if other grades are acceptable, verify that the maximum pipe pressures for other grades are equal to or greater than the maximum anticipated downstream pressure.

**Calculation by** Distribuidora Larce  
Michael Alcázar  
San Jose 10104 Costa Rica  
Telephone: 506-221-1100  
Fax: 000-000-0000



**ANSUL**  
**INERGEN DESIGNER**  
Version 2. 1. 2

Data file name: G:\Mi unidad\Otros\UCR\T  
TFG UCR\Inergen\Cálculos REV4\Cuarto de Rectificadores - Inergen 150 bar.inr with unsaved revisions  
Job:

REMARKS: Riesgo Clase C < 480 V

**Hazard Area Information**

Area: Cuarto de Rectificadores

Design concentration 38.5% at 18.° Celsius  
Estimated maximum concentration 46.4% at maximum hazard temperature 30.° Celsius  
Net volume of enclosure 104.2 cubic meters  
Minimum INERGEN required 50.7 cubic meters  
Approximate INERGEN supplied 62.2 cubic meters  
Flooding factor .491 cubic meters of INERGEN per cubic meters of enclosure volume  
Maximum allowable wall strength 19.5 kgs./sq.m.  
Area consists of one volume  
Volume 1: Length 5.62 m Width 5.62 m Height 3.3 m  
1 nozzles. Nozzle identifiers: 301

**Agent Storage Conditions**

Number of cylinders: 5 each containing 12.43 cubic meters of INERGEN.  
Total agent 62.15 cubic meters  
SI units (meters, cubic meters, kiloPascals) are specified  
Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Pipe Data Input**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Elev (m)	90's	Side Tee	Thru Tee	Union/ Cplg	Qty cu m	Eql (m)
1	2	1/2 - 40 T	0.00	0.00	0	0	0	0		11.58
2	3	1 - DFLT	0.31	0.00	1	0	0	0		0.00
3	4	1 - DFLT	0.92	0.00	2	1	0	0	2 cyl	0.00
4	5	1 - DFLT	0.31	0.00	0	1	0	0	3 cyl	0.00
5	6	0 - DFLT	0.31	0.00	0	1	0	0	4 cyl	0.00
6	7	0 - DFLT	0.31	0.00	0	1	0	0	5 cyl	0.00
7	8	0 - DFLT	0.30	0.30	1	0	0	0	5 cyl	0.00
8	9	0 - DFLT	0.00	0.00	0	0	0	0		Orifice
9	10	0 - DFLT	1.00	1.00	0	0	0	0		0.00
10	11	0 - DFLT	0.40	0.00	1	0	0	0		0.00
11	12	0 - DFLT	1.70	0.00	1	0	0	0		0.00
12	13	0 - DFLT	12.00	0.00	1	0	0	0		0.00
13	14	0 - DFLT	4.00	0.00	1	0	0	0		0.00
14	301	0 - DFLT	0.10	-0.10	1	0	0	0	62.20	0.00

1 (End of Data Input File Printout)

**ANSUL**  
**INERGEN DESIGNER**  
 UL listed EX4510, FMRC Approved (J.I.) 2Y0A9.AF, ULC listed CEx1151  
 Version 2.1.2

Data file name: G:\Mi unidad\Otros\UCR\T  
 TFG UCR\Inergen\Cálculos REV4\Cuarto de Rectificadores - Inergen 150 bar.inr with unsaved revisions  
 Job Number for

REMARKS: Riesgo Clase C < 480 V

**Agent Storage Conditions**

Storage pressure is 14996 kPa at 21.1 degrees Celsius.  
 12.43 cubic meters of INERGEN stored in each of 5 cylinders.  
 Total agent in storage is 62.2 cubic meters.  
 Time to discharge 55.9 cubic meters (90% of INERGEN) is 132.0 seconds  
 Maximum pressure downstream of manifold orifice is 9115 kPa

**Concentrations**

Area	95% Time Volume (sec)	Cu M INERGEN	Maximum Concentration at Max. Temp.	Minimum Concentration at Min. Temp.	Requested Concentration at Min Temp.
Cuarto de Rectificadores	104.2	90	62.2	46.1% at 30.°C	44.8% at 18.°C
				38.5% at 18.°C	
				Sea level equivalent oxygen: 11.3% at 30°C	

Concentrations are based on altitude of 57 m mean sea level.

**Free Vent Calculation**

Area	Peak Rate	Maximum Wall Strength	Minimum Free Vent Area
Cuarto de Rectificadores	70.5 cmm	19.5 kgs./sq.m.	687 sq. cm.

**Pressure Drop Results**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Equiv Length(m)	Elev (m)	Tee/ Mfld	Start kPa	Term kPa	Flow (cmm)
1	2	1/2 40 T	0.0	11.6	0.0	MFLD	7122	7067	7.2
2	3	1 80 T	0.3	1.0	0.0	MFLD	7067	7067	7.2
3	4	1 80 T	0.9	3.8	0.0	MFLD	7067	7060	14.3
4	5	1 80 T	0.3	1.8	0.0	MFLD	7060	7046	21.5
5	6	1 80 T	0.3	1.8	0.0	MFLD	7046	7033	28.6
6	7	1 80 T	0.3	1.8	0.0	MFLD	7033	7005	35.8

**ANSUL**  
**INERGEN DESIGNER**

UL listed EX4510, FMRC Approved (J.I.) 2Y0A9.AF, ULC listed CEx1151  
Version 2.1.2

Data file name: G:\Mi unidad\Otros\UCR\T

TFG UCR\Inergen\Cálculos REV4\Cuarto de Rectificadores - Inergen 150 bar.inr with unsaved revisions

Job Number:

**Pressure Drop Results (Continued)**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Equip Length(m)	Elev (m)	Tee/ Mfld	Start kPa	Term kPa	Flow (cmm)
7	8	1 80 T	0.3	1.0	0.3	MFLD	7005	6991	35.8
8	9	ORIFICE .313 INCHES	DRILL NO. 5/16				6991	3006	35.8
9	10	1 40 T	1.0	1.0	1.0		3006	4075	35.8
10	11	1 40 T	0.4	1.2	0.0		4075	4054	35.8
11	12	1 40 T	1.7	2.5	0.0		4054	4020	35.8
12	13	1 40 T	12.0	12.8	0.0		4020	3833	35.8
13	14	1 40 T	4.0	4.8	0.0		3833	3765	35.8
14	301	1 40 T	0.1	0.9	-0.1		3765	3751	35.8

Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Pipe and Fittings**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	90's	Side Tee	Thru Tee	Unions/ Cplgs	EqL (m)
1	2	1/2 40 T	0.0	0	0	0	0	Cyl Valve 11.5824 m
2	3	1 80 T	0.3	1	0	0	0	
3	4	1 80 T	0.9	2	1	0	0	
4	5	1 80 T	0.3	0	1	0	0	Man. Orifice
5	6	1 80 T	0.3	0	1	0	0	
6	7	1 80 T	0.3	0	1	0	0	
7	8	1 80 T	0.3	1	0	0	0	
8	9	1 80 T		0	0	0	0	
9	10	1 40 T	1.0	0	0	0	0	
10	11	1 40 T	0.4	1	0	0	0	
11	12	1 40 T	1.7	1	0	0	0	
12	13	1 40 T	12.0	1	0	0	0	
13	14	1 40 T	4.0	1	0	0	0	
14	301	1 40 T	0.1	1	0	0	0	

**ANSUL**  
**INERGEN DESIGNER**  
**UL listed EX4510, FMRC Approved (J.I.) 2Y0A9.AF, ULC listed CEx1151**  
**Version 2.1.2**

Data file name: G:\Mi unidad\Otros\UCR\T  
TFG UCR\Inergen\Cálculos REV4\Cuarto de Rectificadores - Inergen 150 bar.inr with unsaved revisions  
Job Number:

**Nozzle Performance Summary**

Nozzle Number	Nominal Pipe Size	Drill Number	Drill Diameter	Quantity (cu m) Discharged	Area Name
301	1 40 T	29/64	0.453	62.2	Cuarto de Rectificadores

**Messages/Errors**

ANSUL 150 bar INERGEN DESIGNER Version number 2.1.2  
Calculation done on 18/7/2020 at 14:28:41  
Concentrations are based on an altitude of 57 m above mean sea level.  
Altitude correction factor is 0.99  
WARNING Time to discharge 95% of INERGEN required for minimum design concentration is greater than 60 seconds in one or more areas.

Pipe schedule selected for pipe sizes downstream of the manifold orifice is based on the maximum pipe pressure for Grade A-53B, A-106B Seamless. To determine if other grades are acceptable, verify that the maximum pipe pressures for other grades are equal to or greater than the maximum anticipated downstream pressure.

**Calculation by** Distribuidora Larce  
Michael Alcázar  
San Jose 10104 Costa Rica  
Telephone: 506-221-1100  
Fax: 000-000-0000

## Anexo F.4. Sistema del CO<sub>2</sub>.

En los cuadros A.1, A.2 y A.3 se muestran los cálculos generales que se realizaron para los generadores, las unidades de lubricación y las unidades oleo-hidráulicas, en ese orden.

**Cuadro A.1.** Cálculos generales del sistema de CO<sub>2</sub> para los generadores. Fuente: Autores.

<b>Diseño sistema contra incendios a base de CO<sub>2</sub>: inundación total</b>			
<b>Nombre del riesgo</b>	Unidad generadora		
<b>Paso a)</b>	<b>Clasificación del tipo de incendio</b>		
<b>Consideraciones generales</b>			
Riesgo	Generador recirculatorio		
Tipo de fuego	Fuego profundo (Deep seated fires)		
Volumen	36,14	[m <sup>3</sup> ]	
Concentración de diseño	50,00		
<b>Paso b)</b>	<b>Cálculos de la descarga inicial</b>		
Clasificación	Fuego profundo		
<b>Cálculo de cantidad de agente</b>			
Factor de volumen de CO <sub>2</sub>	1,61	[kg/m <sup>3</sup> ]	
Cantidad mínima total de CO <sub>2</sub>	58,08	[kg]	
Cantidad de CO <sub>2</sub> por cilindro	34,00	[kg]	
Cantidad de Cilindros de CO <sub>2</sub>	2,00		
Cantidad total de CO <sub>2</sub> suministrado	68,00	[kg]	
<b>Cálculo de boquillas</b>			
Cantidad de boquillas	2,00		
Cantidad total de CO <sub>2</sub> suministrado por boquilla	34,00	[kg]	
Tiempo de descarga	240,00	[s]	
Flujo de CO <sub>2</sub> descargado	17,00	[kg/min]	0,28 [kg/s]
Tipo de boquilla	Boquilla tipo Baffle		
<b>Paso c)</b>	<b>Cálculos de la descarga extendida</b>		
Tipo de sistema	Inundación total		
<b>Cálculo de cantidad de agente</b>			
Tiempo de desaceleración	20,00	[min]	
Cantidad de CO <sub>2</sub>	90,80	[kg]	
Flujo de CO <sub>2</sub> descargado	4,54	[kg/min]	
<b>Cálculo de cantidad de cilindros</b>			
Cantidad de CO <sub>2</sub> por cilindro	45,40	[kg]	
Cantidad de Cilindros de CO <sub>2</sub>	2,00		
Cantidad total de CO <sub>2</sub> suministrado	90,80	[kg]	
<b>Cálculo de boquillas</b>			
Cantidad de boquillas	2,00		
Cantidad total de CO <sub>2</sub> suministrado por boquilla	45,40	[kg]	
Tiempo de descarga	1 200	[s]	
Tipo de boquilla	Boquilla tipo Baffle		
Cantidad de flujo total descargado	4,54	[kg/min]	0,076 [kg/s]

**Cuadro A.2.** Cálculos generales para los sistemas de CO<sub>2</sub> de las unidades de lubricación.

Fuente: Autores.

<b>Diseño sistema contra incendios a base de CO<sub>2</sub>: aplicación local por volumen</b>				
<b>Nombre del riesgo</b>	Unidad lubricación			
<b>Paso a)</b>	<b>Selección del método de aplicación</b>			
<b>Consideraciones generales</b>				
Riesgo	Unidad de lubricación			
Tipo de fuego	Aplicación local de tasa por volumen			
<b>Paso b)</b>	<b>Determinar el área y el volumen del riesgo</b>			
<b>Determinar el volumen real del riesgo</b>				
Largo	2,50	[m]	8,20	[pie]
Ancho	1,80	[m]	5,91	[pie]
Área	4,50	[m <sup>2</sup> ]	48,44	[pie <sup>2</sup> ]
Alto	1,33	[m]	4,36	[pie]
Volumen	5,99	[m <sup>3</sup> ]	211,36	[pie <sup>3</sup> ]
<b>Determinar el volumen asumido del riesgo</b>				
Largo	3,72	[m]	12,20	[pie]
Ancho	3,02	[m]	9,91	[pie]
Área	11,23	[m <sup>2</sup> ]	120,87	[pie <sup>2</sup> ]
Alto	1,94	[m]	6,36	[pie]
Volumen	21,78	[m <sup>3</sup> ]	769,15	[pie <sup>3</sup> ]
<b>Paso c)</b>	<b>Determinar la tasa de flujo del sistema</b>			
Volumen	21,78	[m <sup>3</sup> ]	769,15	[pie <sup>3</sup> ]
Tasa descarga	16,00	[kg/min·m <sup>3</sup> ]	1,00	[lb/ pie <sup>3</sup> ·min]
Flujo del Sistema	348,48	[kg/min]	769,15	[lb/min]
<b>Paso d)</b>	<b>Selección del tiempo de descarga</b>			
Tiempo descarga	30,00	[s]	0,50	[min]
<b>Paso e)</b>	<b>Cálculo de la cantidad de agente</b>			
Volumen	21,78	[m <sup>3</sup> ]	769,15	[pie <sup>3</sup> ]
Flujo del Sistema	348,48	[kg/min]	769,15	[lb/min]
Factor CO <sub>2</sub> Líquido	1,40	-	1,40	-
Tiempo descarga	0,50	[min]	0,50	[min]
CO <sub>2</sub> requerido	243,93	[kg]	538,40	[lb]

**Cuadro A.3.** Cálculos generales para los sistemas de CO<sub>2</sub> de las unidades oleo-hidráulicas. Fuente: Autores.

<b>Diseño sistema contra incendios a base de CO<sub>2</sub>: aplicación local por volumen</b>				
<b>Nombre del riesgo</b>	Unidad oleo-hidráulica			
<b>Paso a)</b>	<b>Selección del método de aplicación</b>			
<b>Consideraciones generales</b>				
<b>Riesgo</b>	Unidad oleo-hidráulica			
<b>Tipo de fuego</b>	Aplicación local de tasa por volumen			
<b>Paso b)</b>	<b>Determinar el área y el volumen del riesgo</b>			
<b>Determinar el volumen real del riesgo</b>				
Largo	1,30	[m]	4,27	[ pie]
Ancho	0,90	[m]	2,95	[ pie]
Área	1,17	[m <sup>2</sup> ]	12,59	[ pie <sup>2</sup> ]
Alto	2,40	[m]	7,87	[ pie]
Volumen	2,81	[m <sup>3</sup> ]	99,16	[ pie <sup>3</sup> ]
<b>Determinar el volumen asumido del riesgo</b>				
Largo	2,52	[m]	8,27	[ pie]
Ancho	2,12	[m]	6,95	[ pie]
Área	5,34	[m <sup>2</sup> ]	57,47	[ pie <sup>2</sup> ]
Alto	3,01	[m]	9,87	[ pie]
Volumen	16,07	[m <sup>3</sup> ]	567,41	[ pie <sup>3</sup> ]
<b>Paso c)</b>	<b>Determinar la tasa de flujo del sistema</b>			
Volumen	16,07	[m <sup>3</sup> ]	567,41	[ pie <sup>3</sup> ]
Tasa descarga	16,00	[kg/min·m <sup>3</sup> ]	1,00	[lb/pie <sup>3</sup> ·min]
Flujo del Sistema	257,08	[kg/min]	567,41	[lb/min]
<b>Paso d)</b>	<b>Selección del tiempo de descarga</b>			
Tiempo descarga	30,00	[s]	0,50	[min]
<b>Paso e)</b>	<b>Cálculo de la cantidad de agente</b>			
Volumen	16,07	[m <sup>3</sup> ]	567,41	[ pie <sup>3</sup> ]
Flujo del Sistema	257,08	[kg/min]	567,41	[lb/min]
Factor CO <sub>2</sub> Líquido	1,40	-	1,40	-
Tiempo descarga	0,50	[min]	0,50	[min]
CO <sub>2</sub> requerido	179,95	[kg]	397,19	[lb]

**Ansul Engineering**  
**CO2 FLOW CALCULATION PROGRAM**  
 Version 4. 2. 2

Data Input File: Data file: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\EREE 1 - Desc  
 Job:  
 Customer:  
 Address:

REMARKS: EREE 1 Descarga Extendida

**System Conditions**

Number of cylinders: 2 each containing 45.4 kgs CO2. Total agent 90.8 kgs  
 SI units (meters, kilograms, kiloPascals) are specified  
 Total flooding system  
 Quantity of carbon dioxide is specified for each nozzle  
 Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Pipe Data Input**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Elev (m)	90's	Side Tee	Thru Tee	Union/Cplg	Qty CO2	Eql (m)
1	2	1/2 - 40T	0.03	0.00	0	0	0	0	0.00	11.6
2	3	0 - DFT	0.31	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
3	4	0 - DFT	0.88	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
4	5	0 - DFT	2.50	-2.50	1	0	0	0	0.00	0.0
5	6	0 - DFT	1.00	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
6	7	0 - DFT	4.93	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
7	8	0 - DFT	3.64	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
8	9	0 - DFT	0.50	0.50	1	0	0	0	0.00	0.0
9	10	0 - DFT	0.51	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
10	11	0 - DFT	4.30	4.30	1	0	0	0	0.00	0.0
11	12	0 - DFT	0.34	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
12	13	0 - DFT	0.35	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
13	503	0 - DFT	0.30	0.00	1	0	0	0	45.40	0.0
12	14	0 - DFT	0.35	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
14	504	0 - DFT	0.30	0.00	1	0	0	0	45.40	0.0



Data input file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\EREE 1 - Descarga

REMARKS: EREE 1 Descarga Extendida  
SI units (meters, kilograms, kiloPascals) are specified  
Total flooding system  
Quantity of carbon dioxide is specified for each nozzle

**Agent Storage Conditions**

Nominal Storage Pressure is 5171 kPa at 21 degrees Celsius  
45.4 kgs of carbon dioxide is stored in each of 2 cylinders.  
Total carbon dioxide discharged is 91 kgs

**Pressure Drop Results**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Equip Length(m)	Elev (m)	Tee/ Mfld	Start kPa	Term kPa	Flow (kgs/min)
1	2	1/2 40 T	0.0	11.6	0.0	CV-98	5171	5171	1.55
2	3	1/2 40 T	0.3	1.9	0.0	1 cyl	5171	5171	1.55
3	4	1/2 40 T	0.9	4.0	0.0	2 cyl	5171	5171	3.1
4	5	1/2 40 T	2.5	4.1	-2.5		5171	5171	3.1
5	6	1/2 40 T	1.0	2.6	0.0		5171	5171	3.1
6	7	1/2 40 T	4.9	6.5	0.0		5171	5171	3.1
7	8	1/2 40 T	3.6	5.2	0.0		5171	5171	3.1
8	9	1/2 40 T	0.5	2.1	0.5		5171	5164	3.1
9	10	1/2 40 T	0.5	2.1	0.0		5164	5164	3.1
10	11	1/2 40 T	4.3	5.9	4.3		5164	5130	3.1
11	12	1/2 40 T	0.3	1.9	0.0		5130	5130	3.1
12	13	1/2 40 T	0.4	3.5	0.0	BHT	5130	5130	1.55
13	503	1/2 40 T	0.3	1.9	0.0		5130	5130	1.55
12	14	1/2 40 T	0.4	3.5	0.0	BHT	5130	5130	1.55
14	504	1/2 40 T	0.3	1.9	0.0		5130	5130	1.55

Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Nozzle Performance Summary**

Nozzle Number	Nominal Pipe Size	Nozzle Code	Weight (kgs) Discharged	Initial Vapor Time (sec)	Liquid Time (sec)	End of Discharge Time (sec)
503	1/2 40 T	1.00	45.4	17.2	1245.9	1263.2
504	1/2 40 T	1.00	45.4	17.2	1245.9	1263.2

Total carbon dioxide discharged is 91 kgs

**Ansul/Tyco Fire Protection Products**

**HP CO2 FLOW CALCULATIONS**

Version 4. 2. 2

Data input file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\EREE 1 - Descarga Ext

**Messages**

Hydraulic calculation was successful.

The system is calculated using nozzle codes rounded and fixed at nearest 1/2 code. Convergence of nozzle flow rate and pressure to  $\pm 2.5\%$

Calculation performed on 25/05/2020 02:06:59 p. m.

Calculation by Ansul Mexico, SA de CV

Michael Alcázar

Mexico 54090

Telephone: 555-321-2362

Fax: 000-000-0000

25/05/2020 Time: 02:07:11 p. m.

**Ansul Engineering**  
**CO2 FLOW CALCULATION PROGRAM**  
 Version 4. 2. 2

Data Input File: Data file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\EREE 1  
 Job:  
 Customer:  
 Address:

REMARKS: EREE 1 Descarga Inicial

**System Conditions**

Number of cylinders: 2 each containing 34 kgs CO2. Total agent 68 kgs  
 SI units (meters, kilograms, kiloPascals) are specified  
 Total flooding system for Deep Seated hazard  
 Quantity of CO2 is specified for each nozzle  
 Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Pipe Data Input**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Elev (m)	90's	Side Tee	Thru Tee	Union/Cplg	Qty CO2	Eql (m)
1	2	1/2 - 40T	0.03	0.00	0	0	0	0	0.00	11.6
2	3	0 - DFT	0.31	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
3	4	0 - DFT	0.20	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
4	5	0 - DFT	0.30	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
5	6	0 - DFT	1.22	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
6	7	0 - DFT	2.50	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
7	8	0 - DFT	4.33	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
8	9	0 - DFT	4.80	4.80	1	0	0	0	0.00	0.0
9	10	0 - DFT	1.04	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
10	11	0 - DFT	0.35	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
11	501	0 - DFT	0.30	0.00	1	0	0	0	34.00	0.0
10	12	0 - DFT	0.35	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
12	502	0 - DFT	0.30	0.00	1	0	0	0	34.00	0.0

Data input file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\EREE 1 - Descarga

REMARKS: EREE 1 Descarga Inicial

SI units (meters, kilograms, kiloPascals) are specified

Total flooding system for Deep Seated hazard

Quantity of carbon dioxide is specified for each nozzle

**Agent Storage Conditions**

Nominal Storage Pressure is 5171 kPa at 21 degrees Celsius

34 kgs of carbon dioxide is stored in each of 2 cylinders.

Total carbon dioxide discharged is 68 kgs

36 kgs discharged during first two minutes of flow

**Pressure Drop Results**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Equiv Length(m)	Elev (m)	Tee/ Mfld	Start kPa	Term kPa	Flow (kgs/min)
1	2	1/2 40 T	0.0	11.6	0.0	CV-98	5171	5171	9.07
2	3	1/2 40 T	0.3	1.9	0.0	1 cyl	5171	5171	9.07
3	4	1/2 40 T	0.2	3.3	0.0	2 cyl	5171	5171	18.13
4	5	1/2 40 T	0.3	1.9	0.0		5171	5171	18.13
5	6	1/2 40 T	1.2	2.8	0.0		5171	5171	18.13
6	7	1/2 40 T	2.5	4.1	0.0		5171	5157	18.13
7	8	1/2 40 T	4.3	5.9	0.0		5157	5150	18.13
8	9	1/2 40 T	4.8	6.4	4.8		5150	5102	18.13
9	10	1/2 40 T	1.0	2.6	0.0		5102	5102	18.13
10	11	1/2 40 T	0.4	3.5	0.0	BHT	5102	5102	9.07
11	501	1/2 40 T	0.3	1.9	0.0		5102	5102	9.07
10	12	1/2 40 T	0.4	3.5	0.0	BHT	5102	5102	9.07
12	502	1/2 40 T	0.3	1.9	0.0		5102	5102	9.07

Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Nozzle Performance Summary**

Nozzle Number	Nominal Pipe Size	Nozzle Code	Weight (kgs) Discharged	Initial Vapor Time (sec)	Liquid Time (sec)	End of Discharge Time (sec)
501	1/2 40 T	2.50	34.0	2.9	159.3	162.1
502	1/2 40 T	2.50	34.0	2.9	159.3	162.1

Total carbon dioxide discharged is 68 kgs

**Ansul/Tyco Fire Protection Products**

**HP CO2 FLOW CALCULATIONS**

Version 4. 2. 2

Data input file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\EREE 1 - Descarga Inicio

**Messages**

Hydraulic calculation was successful.

The system is calculated using nozzle codes rounded and fixed at nearest 1/2 code. Convergence of nozzle flow rate and pressure to  $\pm 2.5\%$

Calculation performed on 25/05/2020 02:18:10 p. m.

Calculation by Ansul Mexico, SA de CV

Michael Alcázar

Mexico 54090

Telephone: 555-321-2362

Fax: 000-000-0000

25/05/2020 Time: 02:18:46 p. m.

**Ansul Engineering**  
**CO2 FLOW CALCULATION PROGRAM**  
 Version 4. 2. 2

Data Input File: Data file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\EREE 2  
 Job:  
 Customer:  
 Address:

REMARKS: EREE 2 Descarga Extendida

**System Conditions**

Number of cylinders: 2 each containing 45.4 kgs CO2. Total agent 90.8 kgs  
 SI units (meters, kilograms, kiloPascals) are specified  
 Total flooding system  
 Quantity of carbon dioxide is specified for each nozzle  
 Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Pipe Data Input**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Elev (m)	90's	Side Tee	Thru Tee	Union/Cplg	Qty CO2	Eq1 (m)
1	2	1/2 - 40T	0.03	0.00	0	0	0	0	0.00	11.6
2	3	0 - DFT	0.31	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
3	4	0 - DFT	0.61	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
4	5	0 - DFT	2.50	-2.50	1	0	0	0	0.00	0.0
5	6	0 - DFT	4.97	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
6	7	0 - DFT	0.50	0.50	1	0	0	0	0.00	0.0
7	8	0 - DFT	0.51	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
8	9	0 - DFT	4.30	4.30	1	0	0	0	0.00	0.0
9	10	0 - DFT	0.34	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
10	11	0 - DFT	0.35	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
11	503	0 - DFT	0.30	0.00	1	0	0	0	45.40	0.0
10	12	0 - DFT	0.35	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
12	504	0 - DFT	0.30	0.00	1	0	0	0	45.40	0.0

Data input file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\EREE 2 - Descarga

REMARKS: EREE 2 Descarga Extendida  
SI units (meters, kilograms, kiloPascals) are specified  
Total flooding system  
Quantity of carbon dioxide is specified for each nozzle

**Agent Storage Conditions**

Nominal Storage Pressure is 5171 kPa at 21 degrees Celsius  
45.4 kgs of carbon dioxide is stored in each of 2 cylinders.  
Total carbon dioxide discharged is 91 kgs

**Pressure Drop Results**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Equip Length(m)	Elev (m)	Tee/ Mfld	Start kPa	Term kPa	Flow (kgs/min)
1	2	1/2 40 T	0.0	11.6	0.0	CV-98	5171	5171	1.55
2	3	1/2 40 T	0.3	1.9	0.0	1 cyl	5171	5171	1.55
3	4	1/2 40 T	0.6	3.7	0.0	2 cyl	5171	5171	3.1
4	5	1/2 40 T	2.5	4.1	-2.5		5171	5171	3.1
5	6	1/2 40 T	5.0	6.5	0.0		5171	5171	3.1
6	7	1/2 40 T	0.5	2.1	0.5		5171	5164	3.1
7	8	1/2 40 T	0.5	2.1	0.0		5164	5164	3.1
8	9	1/2 40 T	4.3	5.9	4.3		5164	5130	3.1
9	10	1/2 40 T	0.3	1.9	0.0		5130	5130	3.1
10	11	1/2 40 T	0.4	3.5	0.0	BHT	5130	5130	1.55
11	503	1/2 40 T	0.3	1.9	0.0		5130	5130	1.55
10	12	1/2 40 T	0.4	3.5	0.0	BHT	5130	5130	1.55
12	504	1/2 40 T	0.3	1.9	0.0		5130	5130	1.55

Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Nozzle Performance Summary**

Nozzle Number	Nominal Pipe Size	Nozzle Code	Weight (kgs) Discharged	Initial Vapor Time (sec)	Liquid Time (sec)	End of Discharge Time (sec)
503	1/2 40 T	1.00	45.4	13.1	1248.0	1261.1
504	1/2 40 T	1.00	45.4	13.1	1248.0	1261.1

Total carbon dioxide discharged is 91 kgs

**Ansul/Tyco Fire Protection Products**

**HP CO2 FLOW CALCULATIONS**

Version 4. 2. 2

Data input file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\EREE 2 - Descarga Ext

**Messages**

Hydraulic calculation was successful.

The system is calculated using nozzle codes rounded and fixed at nearest 1/2 code. Convergence of nozzle flow rate and pressure to  $\pm 2.5\%$

Calculation performed on 25/05/2020 02:32:26 p. m.

Calculation by Ansul Mexico, SA de CV

Michael Alcázar

Mexico 54090

Telephone: 555-321-2362

Fax: 000-000-0000

25/05/2020 Time: 02:32:49 p. m.



**Ansul Engineering**  
**CO2 FLOW CALCULATION PROGRAM**  
 Version 4. 2. 2

Data Input File: Data file: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\EREE 2 - Desc  
 Job:  
 Customer:  
 Address:

REMARKS: EREE 2 Descarga Inicial

**System Conditions**

Number of cylinders: 2 each containing 34 kgs CO2. Total agent 68 kgs  
 SI units (meters, kilograms, kiloPascals) are specified  
 Total flooding system for Deep Seated hazard  
 Quantity of CO2 is specified for each nozzle  
 Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Pipe Data Input**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Elev (m)	90's	Side Tee	Thru Tee	Union/Cplg	Qty CO2	Eql (m)
1	2	1/2 - 40T	0.03	0.00	0	0	0	0	0.00	11.6
2	3	0 - DFT	0.31	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
3	4	0 - DFT	0.20	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
4	5	0 - DFT	0.20	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
5	6	0 - DFT	0.92	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
6	7	0 - DFT	2.50	-2.50	1	0	0	0	0.00	0.0
7	8	0 - DFT	1.92	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
8	9	0 - DFT	4.63	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
9	10	0 - DFT	2.85	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
10	11	0 - DFT	4.80	4.80	1	0	0	0	0.00	0.0
11	12	0 - DFT	0.75	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
12	13	0 - DFT	0.35	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
13	501	0 - DFT	0.30	0.00	1	0	0	0	34.00	0.0
12	14	0 - DFT	0.35	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
14	502	0 - DFT	0.30	0.00	1	0	0	0	34.00	0.0

Data input file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\EREE 2 - Descarga

REMARKS: EREE 2 Descarga Inicial  
SI units (meters, kilograms, kiloPascals) are specified  
Total flooding system for Deep Seated hazard  
Quantity of carbon dioxide is specified for each nozzle

**Agent Storage Conditions**

Nominal Storage Pressure is 5171 kPa at 21 degrees Celsius  
34 kgs of carbon dioxide is stored in each of 2 cylinders.  
Total carbon dioxide discharged is 68 kgs  
36 kgs discharged during first two minutes of flow

**Pressure Drop Results**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Equiv Length(m)	Elev (m)	Tee/ Mfld	Start kPa	Term kPa	Flow (kgs/min)
1	2	1/2 40 T	0.0	11.6	0.0	CV-98	5171	5171	9.03
2	3	1/2 40 T	0.3	1.9	0.0	1 cyl	5171	5171	9.03
3	4	1/2 40 T	0.2	3.3	0.0	2 cyl	5171	5171	18.06
4	5	1/2 40 T	0.2	1.8	0.0		5171	5171	18.06
5	6	1/2 40 T	0.9	2.5	0.0		5171	5171	18.06
6	7	1/2 40 T	2.5	4.1	-2.5		5171	5157	18.06
7	8	1/2 40 T	1.9	3.5	0.0		5157	5157	18.06
8	9	1/2 40 T	4.6	6.2	0.0		5157	5150	18.06
9	10	1/2 40 T	2.9	4.4	0.0		5150	5137	18.06
10	11	1/2 40 T	4.8	6.4	4.8		5137	5095	18.06
11	12	1/2 40 T	0.8	2.3	0.0		5095	5095	18.06
12	13	1/2 40 T	0.4	3.5	0.0	BHT	5095	5095	9.03
13	501	1/2 40 T	0.3	1.9	0.0		5095	5095	9.03
12	14	1/2 40 T	0.4	3.5	0.0	BHT	5095	5095	9.03
14	502	1/2 40 T	0.3	1.9	0.0		5095	5095	9.03

Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Nozzle Performance Summary**

Nozzle Number	Nominal Pipe Size	Nozzle Code	Weight (kgs) Discharged	Initial Vapor Time (sec)	Liquid Time (sec)	End of Discharge Time (sec)
501	1/2 40 T	2.50	34.0	3.8	159.5	163.2
502	1/2 40 T	2.50	34.0	3.8	159.5	163.2

**Ansul/Tyco Fire Protection Products**

**HP CO2 FLOW CALCULATIONS**

Version 4. 2. 2

Data input file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\EREE 2 - Descarga Inicio

**Nozzle Performance Summary (Continued)**

Nozzle Number	Nominal Pipe Size	Nozzle Code	Weight (kgs) Discharged	Initial Vapor Time (sec)	Liquid Time (sec)	End of Discharge Time (sec)
------------------	----------------------	----------------	----------------------------	-----------------------------	----------------------	--------------------------------

Total carbon dioxide discharged is 68 kgs

**Messages**

Hydraulic calculation was successful.

The system is calculated using nozzle codes rounded and fixed at nearest 1/2 code. Convergence of nozzle flow rate and pressure to  $\pm 2.5\%$

Calculation performed on 25/05/2020 02:40:44 p. m.

Calculation by Ansul Mexico, SA de CV

Michael Alcázar

Mexico 54090

Telephone: 555-321-2362

Fax: 000-000-0000

25/05/2020 Time: 02:41:05 p. m.

**Ansul Engineering**  
**CO2 FLOW CALCULATION PROGRAM**  
Version 4. 2. 2

Data Input File: Data file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\ULG 1.h  
Job:  
Customer:  
Address:

REMARKS: Unidad de Lubricacion Generador 1

**System Conditions**

Number of cylinders: 5 each containing 54.4 kgs CO2. Total agent 272 kgs  
SI units (meters, kilograms, kiloPascals) are specified  
Local Application system  
Flow rate is specified for each nozzle  
Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Pipe Data Input**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Elev (m)	90's	Side Tee	Thru Tee	Union/Cplg	Qty CO2	Eql (m)
1	2	1/2 - 40T	0.03	0.00	0	0	0	0	0.00	11.6
2	3	1 1/2 - DFT	0.31	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
3	4	1 1/2 - DFT	0.31	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
4	5	1 1/2 - DFT	0.31	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
5	6	1 1/2 - DFT	0.31	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
6	7	1 1/2 - DFT	0.70	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
7	8	1 1/2 - DFT	2.50	-2.50	1	0	0	0	0.00	0.0
8	9	1 1/2 - DFT	1.20	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
9	10	1 1/2 - DFT	4.90	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
10	11	1 1/2 - DFT	1.29	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
11	12	1 1/2 - DFT	4.65	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
12	13	0 - DFT	2.66	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
13	14	3/4 - DFT	0.46	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
14	301	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
14	15	1/2 - DFT	0.93	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
15	302	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
15	16	1/2 - DFT	0.93	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
16	303	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
16	17	0 - DFT	0.93	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
17	304	0 - DFT	0.10	0.00	1	0	0	0	44.00	0.0
12	18	3/4 - DFT	0.36	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
18	19	3/4 - DFT	0.46	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0

**Pipe Data Input(Continued)**

Data Input File: Data file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\ULG 1.

<b>Sec Start</b>	<b>Sec End</b>	<b>Nominal Pipe Size</b>	<b>Length (m)</b>	<b>Elev (m)</b>	<b>90's</b>	<b>Side Tee</b>	<b>Thru Tee</b>	<b>Union/ Cplg</b>	<b>Qty CO2</b>	<b>EqI (m)</b>
19	305	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
19	20	0 - DFT	0.93	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
20	306	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
20	21	0 - DFT	0.93	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
21	307	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
21	22	0 - DFT	0.93	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
22	308	0 - DFT	0.10	0.00	1	0	0	0	44.00	0.0

Data input file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\ULG 1.hp2

REMARKS: Unidad de Lubricacion Generador 1  
SI units (meters, kilograms, kiloPascals) are specified  
Local Application system  
Flow rate is specified for each nozzle

**Agent Storage Conditions**

Nominal Storage Pressure is 5171 kPa at 21 degrees Celsius  
54.4 kgs of carbon dioxide is stored in each of 5 cylinders.  
Total carbon dioxide discharged is 272 kgs

**Pressure Drop Results**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Equip Length(m)	Elev (m)	Tee/ Mfld	Start kPa	Term kPa	Flow (kgs/min)
1	2	1/2 40 T	0.0	11.6	0.0	CV-98	5171	4661	70.59
2	3	1 1/2 80 T	0.3	4.1	0.0	1 cyl	4661	4661	70.59
3	4	1 1/2 80 T	0.3	7.8	0.0	2 cyl	4661	4661	141.18
4	5	1 1/2 80 T	0.3	7.8	0.0	3 cyl	4661	4647	211.76
5	6	1 1/2 80 T	0.3	7.8	0.0	4 cyl	4647	4626	282.35
6	7	1 1/2 80 T	0.7	8.2	0.0	5 cyl	4626	4578	352.94
7	8	1 1/2 80 T	2.5	6.3	-2.5		4578	4544	352.94
8	9	1 1/2 80 T	1.2	5.0	0.0		4544	4509	352.94
9	10	1 1/2 80 T	4.9	8.7	0.0		4509	4426	352.94
10	11	1 1/2 80 T	1.3	5.0	0.0		4426	4399	352.94
11	12	1 1/2 80 T	4.7	8.4	0.0		4399	4316	352.94
12	13	3/4 40 T	2.7	6.8	0.0	BHT	4316	3875	178.53
13	14	3/4 40 T	0.5	2.5	0.0		3875	3758	178.53
14	301	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	3758	3751	45.77
14	15	1/2 40 T	0.9	2.0	0.0	Thru	3758	3151	132.76
15	302	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	3151	3151	43.12
15	16	1/2 40 T	0.9	2.0	0.0	Thru	3151	3041	89.64
16	303	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	3041	3020	44.84
16	17	1/2 40 T	0.9	2.0	0.0	Thru	3041	3041	44.8
17	304	1/2 40 T	0.1	1.7	0.0		3041	3020	44.8
12	18	3/4 40 T	0.4	4.5	0.0	BHT	4316	4116	174.41
18	19	3/4 40 T	0.5	2.5	0.0		4116	4020	174.41
19	305	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	4020	4020	44.28
19	20	1/2 40 T	0.9	2.0	0.0	Thru	4020	3551	130.13

**Ansul/Tyco Fire Protection Products**

**HP CO2 FLOW CALCULATIONS**

Version 4. 2. 2

Data input file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\ULG 1.hp2

**Pressure Drop Results (Continued)**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Equip Length(m)	Elev (m)	Tee/ Mfld	Start kPa	Term kPa	Flow (kgs/min)
20	306	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	3551	3551	44.0
20	21	1/2 40 T	0.9	2.0	0.0	Thru	3551	3475	86.13
21	307	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	3475	3461	43.07
21	22	1/2 40 T	0.9	2.0	0.0	Thru	3475	3475	43.07
22	308	1/2 40 T	0.1	1.7	0.0		3475	3461	43.07

Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Nozzle Performance Summary**

Nozzle Number	Nominal Pipe Size	Nozzle Code	Weight (kgs) Discharged	Initial Vapor Time (sec)	Liquid Time (sec)	End of Discharge Time (sec)
301	1/2 40 T	8.00	35.3	0.7	32.7	33.4
302	1/2 40 T	8.50	33.2	0.7	32.7	33.4
303	1/2 40 T	9.00	34.5	0.7	32.6	33.4
304	1/2 40 T	9.00	34.5	0.8	32.6	33.4
305	1/2 40 T	7.50	34.1	0.7	32.7	33.4
306	1/2 40 T	8.00	33.9	0.7	32.7	33.4
307	1/2 40 T	8.00	33.2	0.7	32.7	33.4
308	1/2 40 T	8.00	33.2	0.8	32.6	33.4

Total carbon dioxide discharged is 272 kgs

**Messages**

Hydraulic calculation was successful.

Shortest liquid discharge time for Local Application Nozzle is 32.6 sec

The system is calculated using nozzle codes rounded and fixed at nearest 1/2 code. Convergence of nozzle flow rate and pressure to ±2.5%

Calculation performed on 25/05/2020 03:31:45 p. m.

Calculation by Ansul Mexico, SA de CV

Michael Alcázar

Mexico 54090

Telephone: 555-321-2362

Fax: 000-000-0000

25/05/2020 Time: 03:33:19 p. m.

**Ansul Engineering**  
**CO2 FLOW CALCULATION PROGRAM**  
 Version 4. 2. 2

Data Input File: Data file: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\ULG 2.hp2  
 Job:  
 Customer:  
 Address:

REMARKS: Unidad de Lubricacion Generador 2

**System Conditions**

Number of cylinders: 5 each containing 54.4 kgs CO2. Total agent 272 kgs  
 SI units (meters, kilograms, kiloPascals) are specified  
 Local Application system  
 Flow rate is specified for each nozzle  
 Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Pipe Data Input**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Elev (m)	90's	Side Tee	Thru Tee	Union/Cplg	Qty CO2	Eq1 (m)
1	2	1/2 - 40T	0.03	0.00	0	0	0	0	0.00	11.6
2	3	1 1/4 - DFT	0.31	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
3	4	1 1/4 - DFT	0.31	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
4	5	1 1/4 - DFT	0.31	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
5	6	1 1/4 - DFT	0.31	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
6	7	1 1/4 - DFT	0.68	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
7	8	1 1/4 - DFT	2.50	-2.50	1	0	0	0	0.00	0.0
8	9	1 1/4 - DFT	2.95	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
9	10	1 1/4 - DFT	4.65	4.65	1	0	0	0	0.00	0.0
10	11	0 - DFT	2.66	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
11	12	0 - DFT	0.47	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
12	301	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
12	13	0 - DFT	0.93	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
13	302	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
13	14	0 - DFT	0.93	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
14	303	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
14	15	0 - DFT	0.93	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
15	304	0 - DFT	0.10	0.00	1	0	0	0	44.00	0.0
10	16	0 - DFT	0.36	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
16	17	0 - DFT	0.47	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
17	305	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
17	18	0 - DFT	0.93	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0



**Pipe Data Input(Continued)**

Data Input File: Data file: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\ULG 2.hp2

<b>Sec Start</b>	<b>Sec End</b>	<b>Nominal Pipe Size</b>	<b>Length (m)</b>	<b>Elev (m)</b>	<b>90's</b>	<b>Side Tee</b>	<b>Thru Tee</b>	<b>Union/ Cplg</b>	<b>Qty CO2</b>	<b>EqI (m)</b>
18	306	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
18	19	0 - DFT	0.93	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
19	307	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
19	20	0 - DFT	0.93	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
20	308	0 - DFT	0.10	0.00	1	0	0	0	44.00	0.0

Data input file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\ULG 2.hp2

REMARKS: Unidad de Lubricacion Generador 2  
SI units (meters, kilograms, kiloPascals) are specified  
Local Application system  
Flow rate is specified for each nozzle

**Agent Storage Conditions**

Nominal Storage Pressure is 5171 kPa at 21 degrees Celsius  
54.4 kgs of carbon dioxide is stored in each of 5 cylinders.  
Total carbon dioxide discharged is 272 kgs

**Pressure Drop Results**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Equip Length(m)	Elev (m)	Tee/ Mfld	Start kPa	Term kPa	Flow (kgs/min)
1	2	1/2 40 T	0.0	11.6	0.0	CV-98	5171	4661	70.61
2	3	1 1/4 80 T	0.3	3.5	0.0	1 cyl	4661	4661	70.61
3	4	1 1/4 80 T	0.3	6.7	0.0	2 cyl	4661	4640	141.22
4	5	1 1/4 80 T	0.3	6.7	0.0	3 cyl	4640	4606	211.83
5	6	1 1/4 80 T	0.3	6.7	0.0	4 cyl	4606	4557	282.44
6	7	1 1/4 80 T	0.7	7.1	0.0	5 cyl	4557	4461	353.05
7	8	1 1/4 80 T	2.5	5.7	-2.5		4461	4371	353.05
8	9	1 1/4 80 T	3.0	6.1	0.0		4371	4247	353.05
9	10	1 1/4 80 T	4.7	7.8	4.7		4247	4020	353.05
10	11	3/4 40 T	2.7	6.8	0.0	BHT	4020	3530	176.74
11	12	3/4 40 T	0.5	2.5	0.0		3530	3385	176.74
12	301	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	3385	3378	44.98
12	13	1/2 40 T	0.9	2.0	0.0	Thru	3385	2572	131.76
13	302	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	2572	2572	43.66
13	14	1/2 40 T	0.9	2.0	0.0	Thru	2572	2427	88.1
14	303	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	2427	2392	44.06
14	15	1/2 40 T	0.9	2.0	0.0	Thru	2427	2427	44.04
15	304	1/2 40 T	0.1	1.7	0.0		2427	2386	44.04
10	16	3/4 40 T	0.4	4.5	0.0	BHT	4020	3806	176.31
16	17	3/4 40 T	0.5	2.5	0.0		3806	3675	176.31
17	305	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	3675	3675	44.49
17	18	1/2 40 T	0.9	2.0	0.0	Thru	3675	3054	131.83
18	306	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	3054	3054	44.64
18	19	1/2 40 T	0.9	2.0	0.0	Thru	3054	2951	87.19

**Ansul/Tyco Fire Protection Products**

**HP CO2 FLOW CALCULATIONS**

Version 4. 2. 2

Data input file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\ULG 2.hp2

**Pressure Drop Results (Continued)**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Equip Length(m)	Elev (m)	Tee/ Mfld	Start kPa	Term kPa	Flow (kgs/min)
19	307	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	2951	2930	43.61
19	20	1/2 40 T	0.9	2.0	0.0	Thru	2951	2951	43.58
20	308	1/2 40 T	0.1	1.7	0.0		2951	2930	43.58

Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Nozzle Performance Summary**

Nozzle Number	Nominal Pipe Size	Nozzle Code	Weight (kgs) Discharged	Initial Vapor Time (sec)	Liquid Time (sec)	End of Discharge Time (sec)
301	1/2 40 T	8.50	34.7	0.5	32.8	33.3
302	1/2 40 T	10.00	33.6	0.5	32.8	33.3
303	1/2 40 T	10.50	33.9	0.5	32.8	33.3
304	1/2 40 T	10.50	33.9	0.6	32.7	33.3
305	1/2 40 T	8.00	34.3	0.4	32.8	33.3
306	1/2 40 T	9.00	34.4	0.4	32.8	33.3
307	1/2 40 T	9.00	33.6	0.5	32.8	33.3
308	1/2 40 T	9.00	33.6	0.5	32.7	33.3

Total carbon dioxide discharged is 272 kgs

**Messages**

Hydraulic calculation was successful.

Shortest liquid discharge time for Local Application Nozzle is 32.7 sec

The system is calculated using nozzle codes rounded and fixed at nearest 1/2 code. Convergence of nozzle flow rate and pressure to  $\pm 2.5\%$

Calculation performed on 25/05/2020 03:37:50 p. m.

Calculation by Ansul Mexico, SA de CV

Michael Alcázar

Mexico 54090

Telephone: 555-321-2362

Fax: 000-000-0000

25/05/2020 Time: 03:38:03 p. m.

**Ansul Engineering**  
**CO2 FLOW CALCULATION PROGRAM**  
Version 4. 2. 2

Data Input File: Data file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\UOH 1.h  
Job:  
Customer:  
Address:

REMARKS: Unidad Oleohidraulica 1

**System Conditions**

Number of cylinders: 4 each containing 54.4 kgs CO2. Total agent 217.6 kgs  
SI units (meters, kilograms, kiloPascals) are specified  
Local Application system  
Flow rate is specified for each nozzle  
Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Pipe Data Input**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Elev (m)	90's	Side Tee	Thru Tee	Union/Cplg	Qty CO2	Eq1 (m)
1	2	1/2 - 40T	0.03	0.00	0	0	0	0	0.00	11.6
2	3	1 1/4 - 80T	0.30	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
3	4	1 1/4 - 80T	0.30	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
4	5	1 1/4 - 80T	0.30	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
5	6	0 - 80T	1.22	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
6	7	0 - DFT	3.22	3.22	1	0	0	0	0.00	0.0
7	8	0 - DFT	2.14	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
8	9	0 - DFT	0.74	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
8	10	0 - DFT	0.86	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
9	309	0 - DFT	0.10	0.00	1	0	0	0	44.00	0.0
10	11	1/2 - DFT	0.58	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
10	310	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
11	12	1/2 - DFT	0.58	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
11	311	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
12	13	0 - DFT	0.58	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
13	14	0 - DFT	0.86	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
12	312	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
14	15	0 - DFT	0.84	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
13	313	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
15	314	0 - DFT	0.10	0.00	1	0	0	0	44.00	0.0

Data input file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\UOH 1.hp2

REMARKS: Unidad Oleohidraulica 1  
SI units (meters, kilograms, kiloPascals) are specified  
Local Application system  
Flow rate is specified for each nozzle

**Agent Storage Conditions**

Nominal Storage Pressure is 5171 kPa at 21 degrees Celsius  
54.4 kgs of carbon dioxide is stored in each of 4 cylinders.  
Total carbon dioxide discharged is 218 kgs

**Pressure Drop Results**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Equip Length(m)	Elev (m)	Tee/ Mfld	Start kPa	Term kPa	Flow (kgs/min)
1	2	1/2 40 T	0.0	11.6	0.0	CV-98	5171	4716	67.01
2	3	1 1/4 80 T	0.3	3.5	0.0	1 cyl	4716	4716	67.01
3	4	1 1/4 80 T	0.3	6.7	0.0	2 cyl	4716	4695	134.01
4	5	1 1/4 80 T	0.3	6.7	0.0	3 cyl	4695	4675	201.02
5	6	1 1/4 80 T	1.2	7.6	0.0	4 cyl	4675	4613	268.03
6	7	1 1/4 80 T	3.2	6.4	3.2		4613	4530	268.03
7	8	1 80 T	2.1	4.5	0.0		4530	4220	268.03
8	9	1/2 40 T	0.7	3.9	0.0	Side	4220	4206	42.65
8	10	1 80 T	0.9	2.5	0.0	Thru	4220	4164	225.38
9	309	1/2 40 T	0.1	1.7	0.0		4206	4199	42.65
10	11	1/2 40 T	0.6	1.6	0.0	Thru	4164	3289	179.25
10	310	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	4164	4164	46.12
11	12	1/2 40 T	0.6	1.6	0.0	Thru	3289	3034	135.03
11	311	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	3289	3289	44.23
12	13	1/2 40 T	0.6	1.6	0.0	Thru	3034	2999	90.25
13	14	1/2 40 T	0.9	1.9	0.0	Thru	2999	2999	45.76
12	312	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	3034	3034	44.77
14	15	1/2 40 T	0.8	2.4	0.0		2999	2930	45.76
13	313	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	2999	2985	44.49
15	314	1/2 40 T	0.1	1.7	0.0		2930	2896	45.76

Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Nozzle Performance Summary**

Nozzle Number	Nominal Pipe Size	Nozzle Code	Weight (kgs) Discharged	Initial Vapor Time (sec)	Liquid Time (sec)	End of Discharge Time (sec)
309	1/2 40 T	7.00	34.6	0.4	34.6	35.0

**Ansul/Tyco Fire Protection Products**

**HP CO2 FLOW CALCULATIONS**

Version 4. 2. 2

Data input file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\UOH 1.hp2

**Nozzle Performance Summary (Continued)**

Nozzle Number	Nominal Pipe Size	Nozzle Code	Weight (kgs) Discharged	Initial Vapor Time (sec)	Liquid Time (sec)	End of Discharge Time (sec)
310	1/2 40 T	7.50	37.5	0.3	34.6	35.0
311	1/2 40 T	8.50	35.9	0.3	34.6	35.0
312	1/2 40 T	9.00	36.4	0.4	34.6	35.0
313	1/2 40 T	9.00	36.1	0.4	34.6	35.0
314	1/2 40 T	9.50	37.1	0.5	34.5	35.0

Total carbon dioxide discharged is 218 kgs

**Messages**

Hydraulic calculation was successful.

Shortest liquid discharge time for Local Application Nozzle is 34.5 sec

The system is calculated using nozzle codes rounded and fixed at nearest 1/2 code. Convergence of nozzle flow rate and pressure to  $\pm 2.5\%$

Calculation performed on 28/05/2020 10:17:30 p. m.

Calculation by Ansul Mexico, SA de CV

Michael Alcázar

Mexico 54090

Telephone: 555-321-2362

Fax: 000-000-0000

28/05/2020 Time: 10:22:39 p. m.

**Ansul Engineering**  
**CO2 FLOW CALCULATION PROGRAM**  
 Version 4. 2. 2

Data Input File: Data Input File: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\UOH 2.H  
 Job:  
 Customer:  
 Address:

REMARKS: Unidad Oleohidraulica 2

**System Conditions**

Number of cylinders: 4 each containing 54.4 kgs CO2. Total agent 217.6 kgs  
 SI units (meters, kilograms, kiloPascals) are specified  
 Local Application system  
 Flow rate is specified for each nozzle  
 Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature

**Pipe Data Input**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Elev (m)	90's	Side Tee	Thru Tee	Union/Cplg	Qty CO2	Eql (m)
1	2	1/2 - 40T	0.03	0.00	0	0	0	0	0.00	11.6
2	3	1 - 80T	0.30	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
3	4	1 - 80T	0.30	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
4	5	0 - 80T	0.30	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
5	6	0 - 80T	0.30	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
6	7	0 - DFT	2.39	2.39	1	0	0	0	0.00	0.0
7	8	0 - DFT	2.13	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
8	9	1 - DFT	1.64	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
9	10	1/2 - DFT	1.45	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
10	309	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
10	11	0 - DFT	0.95	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
11	310	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
11	12	0 - DFT	0.95	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
12	311	0 - DFT	0.10	0.00	1	0	0	0	44.00	0.0
8	13	1 - DFT	1.64	0.00	0	1	0	0	0.00	0.0
13	14	1/2 - DFT	1.45	0.00	1	0	0	0	0.00	0.0
14	312	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
14	15	0 - DFT	0.95	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
15	313	0 - DFT	0.10	0.00	0	1	0	0	44.00	0.0
15	16	0 - DFT	0.95	0.00	0	0	1	0	0.00	0.0
16	314	0 - DFT	0.10	0.00	1	0	0	0	44.00	0.0

Data input file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\UOH 2.hp2

REMARKS: Unidad Oleohidraulica 2

SI units (meters, kilograms, kiloPascals) are specified

Local Application system

Flow rate is specified for each nozzle

**Agent Storage Conditions**

Nominal Storage Pressure is 5171 kPa at 21 degrees Celsius

54.4 kgs of carbon dioxide is stored in each of 4 cylinders.

Total carbon dioxide discharged is 218 kgs

**Pressure Drop Results**

Sec Start	Sec End	Nominal Pipe Size	Length (m)	Equip Length(m)	Elev (m)	Tee/ Mfld	Start kPa	Term kPa	Flow (kgs/min)
1	2	1/2 40 T	0.0	11.6	0.0	CV-98	5171	4723	66.69
2	3	1 80 T	0.3	2.7	0.0	1 cyl	4723	4723	66.69
3	4	1 80 T	0.3	5.1	0.0	2 cyl	4723	4675	133.38
4	5	1 80 T	0.3	5.1	0.0	3 cyl	4675	4578	200.07
5	6	1 80 T	0.3	5.1	0.0	4 cyl	4578	4406	266.76
6	7	1 80 T	2.4	4.8	2.4		4406	4109	266.76
7	8	1 80 T	2.1	4.5	0.0		4109	3806	266.76
8	9	1 80 T	1.6	6.4	0.0	BHT	3806	3744	133.38
9	10	1/2 40 T	1.5	3.0	0.0		3744	2689	133.38
10	309	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	2689	2689	42.55
10	11	1/2 40 T	1.0	2.0	0.0	Thru	2689	2517	90.83
11	310	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	2517	2482	45.45
11	12	1/2 40 T	1.0	2.0	0.0	Thru	2517	2517	45.38
12	311	1/2 40 T	0.1	1.7	0.0		2517	2475	45.38
8	13	1 80 T	1.6	6.4	0.0	BHT	3806	3744	133.38
13	14	1/2 40 T	1.5	3.0	0.0		3744	2689	133.38
14	312	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	2689	2689	42.55
14	15	1/2 40 T	1.0	2.0	0.0	Thru	2689	2517	90.83
15	313	1/2 40 T	0.1	3.2	0.0	Side	2517	2482	45.45
15	16	1/2 40 T	1.0	2.0	0.0	Thru	2517	2517	45.38
16	314	1/2 40 T	0.1	1.7	0.0		2517	2475	45.38

Calculation based on 21.1 degree Celsius pre-discharge Pipeline Temperature



**Ansul/Tyco Fire Protection Products**

**HP CO2 FLOW CALCULATIONS**

Version 4.2.2

Data input file name: G:\Mi unidad\Otros\TFG UCR\Carbon Dioxide HP\Cálculos REV2\UOH 2.hp2

**Nozzle Performance Summary**

Nozzle Number	Nominal Pipe Size	Nozzle Code	Weight (kgs) Discharged	Initial Vapor Time (sec)	Liquid Time (sec)	End of Discharge Time (sec)
309	1/2 40 T	9.50	34.7	0.3	34.8	35.1
310	1/2 40 T	10.50	37.1	0.3	34.8	35.1
311	1/2 40 T	10.50	37.0	0.4	34.7	35.1
312	1/2 40 T	9.50	34.7	0.3	34.8	35.1
313	1/2 40 T	10.50	37.1	0.3	34.8	35.1
314	1/2 40 T	10.50	37.0	0.4	34.7	35.1

Total carbon dioxide discharged is 218 kgs

**Messages**

Hydraulic calculation was successful.

Shortest liquid discharge time for Local Application Nozzle is 34.7 sec

The system is calculated using nozzle codes rounded and fixed at nearest 1/2 code. Convergence of nozzle flow rate and pressure to  $\pm 2.5\%$

Calculation performed on 28/05/2020 10:23:35 p. m.

Calculation by Ansul Mexico, SA de CV

Michael Alcázar

Mexico 54090

Telephone: 555-321-2362

Fax: 000-000-0000

28/05/2020 Time: 10:24:00 p. m.

## Anexo G. Cotización de los diferentes sistemas

**Cuadro G.1.** Tanque de agua para incendios de concreto. Fuente: Autores.

<b>Cotización del tanque</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Unitario</b>	<b>Total</b>
<b>Varilla #3 (12 metros)</b>	\$ 4,49	\$ 1 260,78
<b>Varilla #4 (12 metros)</b>	\$ 8,01	\$ 3 606,53
<b>Varilla #6 (12 metros)</b>	\$ 19,04	\$ 228,52
<b>Mano de obra (Varillas)</b>	\$ 2.038,33	\$ 2 038,33
<b>Concreto de losa (con mano de obra)</b>	\$ 428,13	\$ 15 859,51
<b>Concreto de pared (con mano de obra)</b>	\$ 428,13	\$ 12 586,91
<b>Concreto de vigas (con mano de obra)</b>	\$ 428,13	\$ 1 132,82
<b>Precio total</b>		\$ 36 713,40

24 de julio del 2020

**Empresa de Servicios Públicos de Heredia**

**Ref.: Sistema de Protección Contra Incendios para el proyecto hidroeléctrico Los Negros II ubicado en Aguas Claras de Upala, Alajuela.**

Q/Ref.: QS-20-1339

Estimado Ing.;

SALVAVIDAS se complace en presentar esta oferta por el suministro, fabricación, materiales, transporte e instalación del sistema contra incendios para el proyecto hidroeléctrico **Los Negros II** ubicado en **Alajuela**. Estos sistemas serán abastecidos de una nueva red de tuberías enterrada de **6"** de diámetro. Esta oferta está basada en los planos suministrados.

## **I. PRECIO**

**Nuestro precio para la realización de los trabajos antes mencionados es por la cantidad de:**

**GRAN TOTAL - \$ 124,507.02 + 13% I.V.A.**

**(Ciento veinticuatro mil quinientos siete con 02/100 Dólares Americanos más 13% Impuesto al Valor Agregado)**

**Se incluye impuestos de nacionalización de los equipos y materiales, de igual forma los gastos por nacionalización, bodegaje y transportes locales.**

Nuestros precios son fijos e incluyen **el suministro de materiales de importación (puestos en sitio)**, fabricación, la instalación, puesta en marcha y prueba del sistema, así como la capacitación al personal y la entrega de los respectivos manuales de operación y mantenimiento.

## II. DESGLOSE DE PRECIOS

Item	Description	Qty	Unit	U/P	Total
<b>I</b>	<b>Sistema de Gabinetes Contra Incendios</b>	<b>1</b>	<b>Global</b>	<b>\$ 10,374.83</b>	<b>\$ 10,374.83</b>
1.00	4" Tubería Principal HN, Accesorios & Soportería	9	ml	\$ 113.07	\$ 965.61
2.00	2-½" Tubería Principal HN, Accesorios & Soportería	36	ml	\$ 57.20	\$ 2,075.35
3.00	1-½" Tubería Principal HN, Accesorios & Soportería	1	Global	\$ 37.08	\$ 33.74
4.00	4" Riser Check Valve / Trim / BFV / Sensor VSR-F	1	Kit	\$ 934.01	\$ 934.01
5.00	Gabinetes Clase III, con acabado en acero al carbono color blanco	2	Kit	\$ 907.29	\$ 1,814.58
6.00	Mano de Obra	1	Global	\$ 4,551.53	\$ 4,551.53
<b>II</b>	<b>Sistema de Diluvio</b>	<b>1</b>	<b>Global</b>	<b>\$ 37,199.19</b>	<b>\$ 37,199.19</b>
1.00	Tubería HN, Accesorios, Rociadores & Soportería	1	Global	\$ 3,829.62	\$ 3,829.62
2.00	Tubería Galvanizada, Accesorios & Soportería	1	Global	\$ 5,148.88	\$ 5,148.88
3.00	2" Válvula PreAction, Double Interlock, Compresor & Kit de Mantto Aire	2	Kit	\$ 5,411.89	\$ 10,823.78
4.00	Boquillas D3	16	Spk	\$ 94.77	\$ 1,516.29
5.00	Mano de Obra	1	Global	\$ 15,880.63	\$ 15,880.63
<b>III</b>	<b>Red Exterior Enterrada</b>	<b>1</b>	<b>Global</b>	<b>\$ 73,144.11</b>	<b>\$ 73,144.11</b>
1.00	6" Tubería C900 con accesorios DI	884	ml	\$ 38.25	\$ 33,814.13
2.00	2" Tubería CPVC & Accesorios	1	Global	\$ 5,148.88	\$ 5,148.88
3.00	6" Hidrante con Válvula & Accesorios DI	1	Kit	\$ 3,609.43	\$ 3,609.43
4.00	6" x 2-½" x 2-½" - Toma Siamesa de pedestal con check & Accesorios	1	Kit	\$ 1,593.66	\$ 1,593.66
5.00	6" Lead-in & Accesorios DI	1	Kit	\$ 625.30	\$ 625.30
6.00	6" Lead-in & Accesorios DI	1	Kit	\$ 600.00	\$ 600.00
7.00	2" Lead-in & Accesorios DI	2	Kit	\$ 550.10	\$ 1,100.20
8.00	Mano de Obra	1	Global	\$ 26,652.51	\$ 26,652.51
<b>IV</b>	<b>Camp Site</b>	<b>1</b>	<b>Global</b>	<b>\$ 3,788.89</b>	<b>\$ 3,788.89</b>
<i>TOTAL DE MANO DE OBRA ANTES DEL IMPUESTO</i>					\$ 50,873.56
<i>TOTAL DE MATERIALES ANTES DE IMPUESTO</i>					\$ 73,633.46
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 124,507.02</b>
<i>13% I. V. A. SOBRE MANO DE OBRA</i>					\$ 6,613.56
<i>13% I. V. A. SOBRE MATERIALES</i>					\$ 9,572.35
<b>GRAN TOTAL</b>					<b>\$ 140,692.93</b>

## III. ALCANCES DE LA OFERTA

- ✓ Suministro e instalación de tuberías en hierro galvanizado, accesorios, boquillas y soportería.
- ✓ Suministro e instalación de tuberías en hierro negro, accesorios, gabinetes de mangueras, soportería y soportería antisísmica.
- ✓ Suministro e instalación de tuberías en policloruro de vinilo clorado (CPVC) y accesorios.
- ✓ Suministro e instalación de tubería enterrada C-900 con accesorios en hierro dúctil.
- ✓ Suministro e instalación de toma siamesa de pedestal con válvula check y poste de hierro dúctil.
- ✓ Suministro e instalación de hidrantes húmedos con válvula de compuerta NRS.
- ✓ Marcas de los Equipos considerados:

- Marca de tuberías HN: Weifang East, Jinan Mech o similar.
- Marca de tuberías HGalvanizado: Bull Moose, Wheatland o similar.
- Marca de tuberías CPVC: BlazeMaster, Durman o similares
- Marca de tuberías C-900: Sanderson Pipe, North American Pipe, Durman, o similar.
- Marca de accesorios: Zurn, Profit, Smith Cooper, Jinan, Sigma, Star o similar.
- Marca de rociadores: Tyco, Viking, Reliable o similar.
- Marca de soportes: Caddy, Tolco, Anvil, Argco, o similar.
- Marca de válvulas: Tyco, Zurn, Nibco, Muller o similar.
- Marca de gabinetes: Guardian, Potter Roemer o similar.

#### IV. DISEÑO, PLANOS, APROBACIONES

A. SALVAVIDAS tomará como base de la oferta los planos actuales de diseño, los planos son los siguientes:

- ✓ Lámina 1/3 / junio 2020.
- ✓ Lámina 2/3 / junio 2020.
- ✓ Lámina 3/3 / junio 2020.

#### V. EQUIPOS Y MATERIALES

A. Todos los materiales considerados para los sistemas contra incendios son listados UL y aprobados FM y cumplen con los estándares de fabricación de productos para sistemas contra incendios de acuerdo a las normas NFPA.

B. Todos los materiales de importación para la tubería aérea del sistema de diluvio y/o gabinetes de manguera serán aprobados UL/FM para incendio y su instalación será de acuerdo con la N.F.P.A. Se utilizará tubería cédula 10 aprobada para incendio o el equivalente para diámetros mayores a 64mm (2-1/2") para utilizarse con accesorios ranurados. Toda la tubería roscada será cédula 40 aprobada para incendio para diámetros menores a 50mm (2") con accesorios roscados. Toda la tubería será pintada con una base de anticorrosivo y un acabado final de color Rojo Internacional.

C. **Todos los materiales de importación para la tubería aérea del sistema de diluvio serán aprobados UL/FM para incendio y su instalación será de acuerdo con la N.F.P.A. Se utilizará tubería galvanizada cédula 40 aprobada para incendio con accesorios galvanizados. Toda la tubería será pintada con una base de anticorrosivo y un acabado final de color Rojo Internacional.**

D. Todos los materiales para la tubería enterrada serán aprobados UL/FM para su instalación de acuerdo con la NFPA 24. Se utilizará tubería PVC AWWA C900 Clase **200** con accesorios de junta mecánica en hierro dúctil y CPVC con accesorios plásticos aprobados para incendio.

- E. Suministro e instalación de gabinetes clase III, modelo 1550-A, marca Guardian, superficiales con acabado en acero al carbono, con rack de mangueras y válvula en 1½” con restrictor de presión modelo 3010-16, válvula en 2½”, modelo 5035, con tapas y cadena.

## VI. TIEMPO ESTIMADO DE IMPLEMENTACION DEL SISTEMA:

- ✓ Se estima que el tiempo de fabricación e importación de los materiales es de 8 a 10 semanas.
- ✓ Se estima que el tiempo de la implementación del sistema de diluvio y gabinetes después de contar con los materiales en proyecto es de 4 a 6 semanas.
- ✓ Se estima que el tiempo de la implementación de la red principal de tubería enterrada después de contar con los materiales en sitio es de 4 a 6 semanas.
- ✓ **Nota 1: el horario considerado es de lunes a viernes de 7am a 5pm.**
- ✓ Nota 2: El tiempo de entrega tanto de fabricación e importación de los materiales y la instalación de los sistemas solamente aplica para semanas naturales (entiéndase que no se incluyen días feriados y se respetan tanto los de Costa Rica como los de nuestros proveedores en Estados Unidos).
- ✓ Nota 3: Los tiempos de entrega en suministro de materiales ofrecidos son definidos por los fabricantes y/o proveedores y podrán ser modificados por ellos sin previo aviso, sin que esto implique alguna responsabilidad para Salvavidas (según art. 363, Código de Comercio).
- ✓ **Nota 4: Debido a la Emergencia Sanitaria del COVID-19, nuestros tiempos en la fabricación, despacho o importación de los materiales pueden variar debido a cambios en Fábrica en Estados Unidos, transportistas locales en Estados Unidos, transportistas internacionales (importación marítima y/o aérea).**

Los tiempos antes indicados dependerán mucho de la flexibilidad y coordinación para trabajar en las diferentes áreas.

## VII. FORMA DE PAGO:

Todos los precios están expresados en U.S. Dólares, y los pagos deberán realizarse con base al siguiente detalle:

- 20% Adelanto para la compra de materiales.
- 40% Contra Materiales en proyecto, total o entregas parciales.
- 35% Contra el avance de obra en pagos parciales.
- 5% Restante una vez aprobado y entregado el sistema a plena satisfacción de “cliente” Teniendo un plazo de 7 días naturales para emitir aprobación, debiendo reembolsar las retenciones practicadas durante la obra dentro de los 30 días naturales. Esto incluye cualquier certificado de garantías adicionales.

Las políticas de cobro de los avances se regirán bajo los siguientes términos o cláusulas:

- ✓ Una vez comunicada a “cliente” que el avance está terminado cuenta con máximo 7 días naturales para su aprobación.
- ✓ Una vez aprobado el avance, se emitirá factura Oficial por el avance debiendo pagarla en los siguientes 8 días o, de acuerdo al crédito con el que el Cliente cuente actualmente con Salvavidas.
- ✓ Una vez aprobado el avance y emitida la factura, deberán respetar los plazos de pagos, según la cláusula (b) en este párrafo. Desconocemos relación comercial entre “cliente” y quién lo contrató, al igual que desconocemos la posición de administrador. Nuestra relación comercial es con “cliente”, quedando obligado a cumplir con los pagos.
- ✓ En caso de cambios y/o trabajos adicionales estos serán cobrados y facturados aparte y no interferirán con pagos de avances ya aprobados, igualmente para estos cambios y/o trabajos extras rigen los mismos plazos de aprobación y pagos cláusula (b). De igual forma no se deberán aplicar retenciones sobre estos cambios y/o extras.
- ✓ Cualquier situación imputable a “cliente” que ocasione atrasos en el avance no serán causa de rehusar el pago hasta en la parte del avance terminado. Concediendo un plazo de 7 días naturales para tener las condiciones necesarias para la continuación de la obra.

En las órdenes de compra y/o contratos debe aparecer el monto en dólares americanos según esta oferta indica. Las facturas serán hechas en dólares americanos y los pagos podrán ser girados en moneda local siempre y cuando se utilice el tipo de cambio vigente al día en que se giró el cheque para el pago.

✓ **Información Bancaria**

**Beneficiario:** Salvavidas de Centroamérica S.A.  
**Cédula Jurídica:** 3-101-118017  
**Moneda:** Dólares Americanos (\$)

*Nota 1: Favor enviar comprobante de pago y hacer referencia al número de factura o referencia de oferta.*

**Banco Nacional de Costa Rica**

Número de Cuenta 100-02-037-600015-9  
Cuenta IBAN CR83 0151 0371 0026 0001 51

**BAC**

Número de Cuenta 904-943099  
Cuenta IBAN CR56 0102 0000 9049 4309 90

**VIII. VIGENCIA DE LA OFERTA:**

- ✓ Nuestra oferta es válida por 60 días naturales.

## IX. ALCANCES NO CONSIDERADOS EN LA OFERTA:

Nuestra oferta no incluye lo siguiente:

- ✓ Del Sistema de Diluvio y/o Gabinetes no se incluye:
  - No se incluye el remover ni reparar cielos falsos, ni los pasos o perforaciones por paredes o pisos.
  - No se incluye el firestop para sellos de tuberías en paredes cortafuego.
  - No se incluye la estructura para soportar los gabinetes de mangueras en paredes livianas de gypsum cuando estos sean empotrados.
  - No se incluye ni se considera la estructura primaria o secundaria de la edificación ni el estudio estructural para el soporte de tuberías contra incendio. Se asume que la misma se encuentra presente y está diseñada para soportar el peso de la tubería llena de agua.
  - No se incluye la rotulación o señalización de gabinetes ni extintores.
  - No se incluye la estructura para soportar las tuberías del sistema de diluvio.
  - No se incluye el sistema de activación automáticos del sistema de diluvio.
- ✓ De la Red Principal de Tuberías Enterradas, no se incluye:
  - No se incluye el zanjeado, material de relleno, calles, adoquines, zacates, concreto, paso de calles, compactación del terreno, etc. para la tubería enterrada ni las reparaciones.
  - No se incluyen los bloques de Inercia para la tubería enterrada.
  - No se incluye el suministro ni la instalación del o los hidrantes de la red pública.
- ✓ No se incluye el panel de control del sistema de Alarma y Detección de Incendios, ni los módulos ni dispositivo, no obstante, los equipos deben ser monitoreados.
- ✓ No se incluye el sistema de luces de emergencia ni señales de evacuación.
- ✓ **No se incluye el suministro ni la instalación de sistemas de riesgos especiales tales como preacción, espuma, agente limpio, entre otros.**
- ✓ **No se incluye ningún trabajo de obra civil.**
- ✓ No se incluye el trámite con el departamento de Ingeniería de Bomberos para realizar las pruebas y revisión del o los sistemas ya que, se requiere que sea el cliente o dueño quien se encargue de esto. De ser necesario, Salvavidas de Centroamérica S.A. estará presente para ayudar con la misma siempre y cuando, sea avisado con anticipación.
- ✓ No se incluyen costos de póliza de Todo Riesgo de Construcción. Se requiere que el Cliente suministro el alcance de la misma y todos los datos que describen el proyecto para poder cotizar la misma.
- ✓ No se incluyen trámites ni permisos municipales ni el costo de estos.
- ✓ No se incluyen trámites de aprobación de planos ni los costos asociados a estos.
- ✓ No se incluye personal de Salud & Seguridad Ocupacional.
- ✓ No se incluyen costos de exámenes de laboratorio para el personal tales como prueba doping (paneles de drogas), morfina, oftalmológico, audiometría, entre otros.
- ✓ No se incluyen los gastos de emisión de fianzas ni/o garantías bancarias.
- ✓ No se incluyen los costos de electricidad ni agua necesarios para el desarrollo de la instalación.
- ✓ No se incluye la entrega de normas NFPA, otras normas o estándares.



- ✓ **No se incluyen protecciones especiales debido al COVID-19 tales como: caretas, gabachas, guantes, lavatorios, traslados especiales dentro de la planta, toldos, entre otros.**

#### **X. ALCANCES INCLUIDOS EN LA OFERTA:**

Nuestra oferta incluye lo siguiente:

- ✓ La disposición de todos los equipos necesarios para la instalación del sistema.
- ✓ Pintura para toda la tubería aérea de acero con una mano de anticorrosivo fast dry y dos manos de acabado de color rojo.

#### **XI. NOTAS ACLARATORIAS GENERALES:**

- ✓ Los materiales sobrantes en proyecto son propiedad de Salvavidas de Centroamérica S.A. ya que, se considera traer más material de los ofertados dados los imprevistos que puedan surgir en el mismo. En caso de tratarse de un cliente exonerado de impuestos, Salvavidas de Centroamérica le propondrá al cliente venderle los materiales o pagar los impuestos de los mismos.
- ✓ La garantía por los equipos, materiales y mano de obra es por un año válida si al sistema se le brinda mantenimiento preventivo documentado de acuerdo a la N.F.P.A. 25.
- ✓ Si el "Cliente" final se encuentra bajo el Régimen Tributario Especial (Zona Franca, Entidad Gubernamental, entre otros) y, por tanto, goza de exoneración parcial o total de Impuesto de Ventas o cualquier otro tipo de arancel; esto no exonera al "Cliente" directo de Salvavidas de Centroamérica S.A. de este beneficio, en caso de ser una empresa que no se encuentre bajo Régimen. **Esto significa que cualquier gasto, pago de impuestos, servicios de agencia aduanal, bodegajes, movimientos internos y fletes al sitio de la obra, correrán por cuenta del "Cliente" directo de Salvavidas.**
- ✓ Si el "Cliente" final se encuentra bajo el Régimen Tributario Especial (Zona Franca, Entidad Gubernamental, entre otros) se requiere el documento de exoneración desde el momento de la formalización del proyecto y en caso de ser subcontratados, una carta del Cliente bajo el Régimen Tributario Especial que autorice al Contratista a recibir facturas a su nombre. En los casos en donde se facture a nombre del Contratista, se incluirán los impuestos correspondientes ya que, este no goza del Régimen Tributario Especial. Todo lo anterior está basado en las nuevas disposiciones del Ministerio de Hacienda y Factura Electrónica.
- ✓ *En caso que se produzcan tiempos muertos por falta de habilitación de áreas para trabajar, y producto de esto no se pueda realizar avance en la instalación del sistema, se procederá a pasar una extra por el tiempo perdido del personal. El costo estimado por hora hombre diario aproximado es de **US \$35.00**.*
- ✓ *En caso que se produzcan tiempos muertos en proyecto, no será responsabilidad de Salvavidas el retraso en la entrega final del mismo.*
- ✓ Salvavidas de Centroamérica S.A. utiliza factura electrónica por lo que, el trámite de facturas se realizará electrónicamente. Se requiere que el Cliente suministre un correo electrónico

autorizado para proceder con la facturación de acuerdo a las disposiciones del Ministerio de Hacienda.

- ✓ En caso de que el Cliente requiera suspender los trabajos y SalvaVIDAS haya incurrido en gastos de materiales, se le cobrará al Cliente un 25% de Re-Stocking sobre el monto de los materiales que ya hayan sido comprados.

## XII. **CONDICIONES ADICIONALES**

- ✓ Nuestra oferta es por la instalación del proyecto desde el suministro, instalación, pruebas y capacitación del personal. Además, incluye la entrega de los planos finales (**Red lines**), manuales de los equipos y el entrenamiento en sitio.

Deseamos destacar que, siendo **SALVAVIDAS DE CENTROAMÉRICA S.A.** la empresa líder en la región en el diseño, suministro, instalación y mantenimiento de sistemas de protección contra incendio, podemos proporcionar a su empresa la asistencia técnica que requiera en este campo.

Sinceramente apreciamos la oportunidad que nos brindó para poder ofrecerles una solución para sus necesidades en protección contra incendios, les reiteramos nuestra total disposición a fin de detallar más ampliamente nuestra propuesta en caso de que así lo estimen conveniente.

Atentamente,



Digitally signed by  
MARCELA MARIA  
SAUMA QUIROS  
(FIRMA)  
Date: 2020.07.24  
19:30:24 -06'00'

Ing. Marcela M. Sauma Q.   
SalvaVIDAS de Centroamérica S.A. AFILIADA CERTIFICADA EN  
PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Dirección: 125 m Este de las piscinas de Plaza Víquez, San José, Costa Rica  
Apartado Postal: 296-1000  
Teléfono: (506) 2221-1100  
Fax: (506) 2255-2162  
Sitio web: www.dilarce.com



## SISTEMA DE SUPRESIÓN DE INCENDIOS

### ANSUL INERGEN® FIRE SUPPRESSION SYSTEMS

**COTIZACIÓN:** 001-20

**FECHA:** 19/7/2020

#### DATOS DEL CLIENTE

**CONTACTO:** Julián - UCR SIUA  
**PROYECTO:** Planta Hidroeléctrica  
**TELÉFONO:** 8987-9212  
**CORREO ELECTRÓNICO:** julanesve@gmail.com

#### DATOS DEL ASESOR

**ATENCIÓN LARCE:** Michael Alcázar Fallas  
**CORREO ELECTRÓNICO:** malcazar@dilarce.com  
**TELÉFONO:** 2221-1100 / 8704-1883

#### VENTAJAS

- Diseñado a niveles de concentración no dañinos para la vida humana.
- Da continuidad al negocio.

#### SISTEMAS

- Garantiza la funcionalidad y no destrucción de los equipos.

#### INERGEN:

- No contribuye al agotamiento de la capa de ozono ni al calentamiento global.
- Agente supresor con gran capacidad de retención en el cuarto.
- Recarga de agente supresor a nivel nacional.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNITARIO	TOTAL
1	Sistema de Inergen 200 bar para Cuarto Eléctrico	\$ 67 314,00	\$ 67 314,00
1	Sistema de Inergen 150 bar para Cuarto de Control	\$ 17 181,00	\$ 17 181,00
1	Sistema de Inergen 150 bar para Cuarto Rectificadores	\$ 11 349,00	\$ 11 349,00
<b>SUBTOTAL</b>			<b>\$ 95 844,00</b>
13% IVA			\$ 12 459,72
<b>PRECIO TOTAL*</b>			<b>\$ 108 303,72</b>

\*PRECIO EN DOLARES USD

**FORMA DE PAGO:** 50% adelanto con orden de compra.  
50% a la entrega del equipo en bodega.

**ENTREGA EQUIPO:** 6 a 8 semanas

**ENTREGA INSTALACIÓN:** no incluye

**VALIDEZ DE LA OFERTA:** 30 días.

**GARANTÍA:** 12 meses, por defectos de fabricación

#### NOTAS:

- Esta oferta se realizó según diseño previo.
- Esta oferta no incluye ningún tipo de obra civil, aberturas u orificios en pared, piso o techo. Los mismos de ser necesarios correran por cuenta del cliente.
- No se incluye costos de instalación ni puesta en marcha. En caso de ser necesarios se cotiza por separado.

**NUESTROS SISTEMAS CUMPLEN CON:****Underwriters Laboratories, Inc., (UL)****National Fire Protection Association (NFPA)**

NFPA 2001 "Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems"

**Sistema de Inergen 200 bar para Cuarto Eléctrico**

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PARTE
30	Marinette Filled Cylinder, INERGEN, Std., 575 cu.ft. w/CV98 Valve, 200 Bar ISO/USA/TC	440000
30	Flexible Discharge Bend	427082
1	Actuator, Electric, HF	73327
1	Booster Actuator	428949
1	Actuator, Lever for HF Actuator	70846
1	Orifice Nipple, 2 1/2 in. NPT, specify orifice size	417057
4	Nozzle, INERGEN, 1 1/2 in. NPT, 360 deg.	417366
4	Nozzle Deflector Shield, INERGEN, 1 1/2 in.	417720
4	Back Frame, 5 Cylinder	79641
2	Cylinder Clamp - 2 Cylinder	73091
2	Cylinder Clamp - 3 Cylinder	73092

**Sistema de Inergen 150 bar para Cuarto de Control**

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PARTE
8	Container, INERGEN, CR, 435 cu. feet (12.3 cu. meters) UN	441653
8	Flexible Discharge Bend	427082
1	Actuator, Electric, HF	73327
1	Booster Actuator	428949
1	Actuator, Lever for HF Actuator	70846
1	Orifice Union, 1 1/2 in. NPT	416681
1	ANSUL Acoustic Nozzle Assembly (requires part number 445715)	445710
1	Orifice Pipe Assembly (Must Specify Orifice Size)	445715
1	Back Frame, 2 Cylinder	79638
1	Back Frame, 5 Cylinder	79641

**Sistema de Inergen 150 bar para Cuarto Rectificadores**

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PARTE
5	Container, INERGEN, CR, 435 cu. feet (12.3 cu. meters) UN	441653
5	Flexible Discharge Bend	427082
1	Actuator, Electric, HF	73327
1	Booster Actuator	428949
1	Actuator, Lever for HF Actuator	70846
1	Orifice Union, 1 in. NPT	416679
1	Nozzle, INERGEN, 1 in. NPT, 360 deg.	417364
1	Nozzle Deflector Shield, INERGEN, 1 in.	417714
1	Back Frame, 2 Cylinder	79638
1	Back Frame, 5 Cylinder	79641
4	Bolt and Nut, 27 in. (Double Row, 435 cu. ft.)	418503
2	Cylinder Clamp - 3 Cylinder	73092

Dirección: 125 m Este de las piscinas de Plaza Víquez, San José, Costa Rica  
Apartado Postal: 296-1000  
Teléfono: (506) 2221-1100  
Fax: (506) 2255-2162  
Sitio web: www.dilarce.com



## SISTEMA DE SUPRESIÓN DE INCENDIOS ANSUL HIGH PRESSURE CARBON DIOXIDE SYSTEMS

**COTIZACIÓN:** 002-20

**FECHA:** 19/7/2020

### DATOS DEL CLIENTE

**CONTACTO:** Nataly Fonseca - UCR SIUA  
**PROYECTO:** Planta Hidroeléctrica  
**TELÉFONO:** 6281-551  
**CORREO ELECTRÓNICO:** nataly2789@hotmail.com

### DATOS DEL ASESOR

**ATENCIÓN LARCE:** Michael Alcázar Fallas  
**CORREO ELECTRÓNICO:** malcazar@dilarce.com  
**TELÉFONO:** 2221-1100 / 8704-1883

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNITARIO	TOTAL
2	Sistema de CO2 a Alta Presión para Generador (descarga inicial)	\$ 4 104,00	\$ 8 208,00
2	Sistema de CO2 a Alta Presión para Generador (descarga extendida)	\$ 4 944,00	\$ 9 888,00
2	Sistema de CO2 a Alta Presión para Unidad Oleohidráulica	\$ 11 127,00	\$ 22 254,00
2	Sistema de CO2 a Alta Presión para Unidad Lubricación	\$ 13 138,00	\$ 26 276,00
<b>SUBTOTAL</b>			<b>\$ 66 626,00</b>
<b>13% IVA</b>			<b>\$ 8 661,38</b>
<b>PRECIO TOTAL*</b>			<b>\$ 75 287,38</b>

\*PRECIO EN DOLARES USD

**FORMA DE PAGO:** 50% adelanto con orden de compra.  
50% a la entrega del equipo en bodega.  
**ENTREGA EQUIPO:** 6 a 8 semanas  
**ENTREGA INSTALACIÓN:** no incluye  
**VALIDEZ DE LA OFERTA:** 30 días.  
**GARANTÍA:** 12 meses, por defectos de fabricación

**NOTAS:**

- Esta oferta se realizó según diseño previo.
- Esta oferta no incluye ningún tipo de obra civil, aberturas u orificios en pared, piso o techo. Los mismos de ser necesarios correran por cuenta del cliente.
- No se incluye costos de instalación ni puesta en marcha. En caso de ser necesarios se cotiza por separado.

### NUESTROS SISTEMAS CUMPLEN CON:

**Underwriters Laboratories (UL)**

**National Fire Protection Association (NFPA)**

NFPA 12 "Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems"



**Sistema de CO2 a Alta Presión para Generador (descarga inicial)**

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PARTE
2	Cylinder, CO2, CR, 75 lb. w/CV98 Valve	426247
2	Flexible Discharge Bend	427082
1	Actuator, Electric, HF	73327
1	Booster Actuator	428949
1	Actuator, Lever for HF Actuator	70846
1	22 in. (559 mm) carriage bolt with nut (for double row 75 lb (34 kg) containers)	73254
1	Cylinder Clamp - 2 Cylinder	73091
2	Nozzle, Baffle w/Strainer, 1/2 in., B1 - B3	426119
1	Odorizer, w/Ampoule	42278

**Sistema de CO2 a Alta Presión para Generador (descarga extendida)**

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PARTE
2	Container, HPCO2, CR, 100 lb. (45.4 kg) UN	441671
2	Flexible Discharge Bend	427082
1	Actuator, Electric, HF	73327
1	Booster Actuator	428949
1	Actuator, Lever for HF Actuator	70846
1	26 in. (660 mm) carriage bolt with nut (for double row 100 lb (45.4 kg) containers)	73255
1	Cylinder Clamp - 2 Cylinder	73091
1	Valve, Check, Threaded, 1/2 in.	40860
2	Nozzle, Baffle w/Strainer, 1/2 in., B1 - B3	426119
1	Odorizer, w/Ampoule	42278

**Sistema de CO2 a Alta Presión para Unidad Oleohidráulica**

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PARTE
5	Container, HPCO2, CR, 100 lb. (45.4 kg) UN	441671
5	Flexible Discharge Bend	427082
1	Actuator, Electric, HF	73327
1	Booster Actuator	428949
1	Actuator, Lever for HF Actuator	70846
1	Back Frame, 4 Cylinder	79640
2	12.5 in. (318 mm) carriage bolt with nut (for single row 100 lb (45.4 kg) containers)	73252
2	Cylinder Clamp - 2 Cylinder	73091
6	Nozzle, Cone, 1/2 in., C3 - C11	426105
1	Odorizer, w/Ampoule	42278

**Sistema de CO2 a Alta Presión para Unidad Lubricación**

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PARTE
5	Container, HPCO2, CR, 120 lb. (54.1 kg) UN	441669
5	Flexible Discharge Bend	427082
1	Actuator, Electric, HF	73327
1	Booster Actuator	428949
1	Actuator, Lever for HF Actuator	70846
2	Back Frame, 5 Cylinder	79641
8	Nozzle, Cone, 1/2 in., C3 - C11	426105
1	Odorizer, w/Ampoule	42278

Dirección: 125 m Este de las piscinas de Plaza Víquez, San José, Costa Rica  
Apartado Postal: 296-1000  
Teléfono: (506) 2221-1100  
Fax: (506) 2255-2162  
Sitio web: www.dilarce.com



## SISTEMA DE CONTROL Y DETECCIÓN AUTOPULSE DETECTION AND CONTROL SYSTEMS

**COTIZACIÓN:** 003-20

**FECHA:** 19/7/2020

### DATOS DEL CLIENTE

**CONTACTO:** Julián - UCR SIUA  
**PROYECTO:** Planta Hidroeléctrica  
**TELÉFONO:** 8987-9212  
**CORREO ELECTRÓNICO:** julanesve@gmail.com

### DATOS DEL ASESOR

**ATENCIÓN LARCE:** Michael Alcázar Fallas  
**CORREO ELECTRÓNICO:** malcazar@dilarce.com  
**TELÉFONO:** 2221-1100 / 8704-1883

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNITARIO	TOTAL
1	Sistema de control AUTOPULSE Z20 de ANSUL	\$ 2 774,00	\$ 2 774,00
1	Dispositivos para Cuarto Eléctrico	\$ 2 132,00	\$ 2 132,00
1	Dispositivos para Cuarto de Control	\$ 1 662,00	\$ 1 662,00
1	Dispositivos para Cuarto Rectificadores	\$ 1 474,00	\$ 1 474,00
2	Dispositivos para Generador (descarga inicial y extendida)	\$ 946,00	\$ 1 892,00
2	Dispositivos para Unidad Oleohidráulica	\$ 946,00	\$ 1 892,00
2	Dispositivos para Unidad de Lubricación	\$ 946,00	\$ 1 892,00
<b>SUBTOTAL</b>			<b>\$ 13 718,00</b>
<b>13% IVA</b>			<b>\$ 1 783,34</b>
<b>PRECIO TOTAL*</b>			<b>\$ 15 501,34</b>

\*PRECIO EN DOLARES USD

**FORMA DE PAGO:** 50% adelanto con orden de compra.  
50% a la entrega del equipo en bodega.  
**ENTREGA EQUIPO:** 6 a 8 semanas  
**ENTREGA INSTALACIÓN:** no incluye  
**VALIDEZ DE LA OFERTA:** 30 días.  
**GARANTÍA:** 12 meses, por defectos de fabricación

**NOTAS:**

- Esta oferta se realizó según diseño previo.
- Esta oferta no incluye ningún tipo de obra civil, aberturas u orificios en pared, piso o techo. Los mismos de ser necesarios correrán por cuenta del cliente.
- Garantía no cubre daños ocasionados por altos voltajes o fenómenos naturales como descargas eléctricas o malas prácticas de instalación.
- No se incluye costos de instalación ni puesta en marcha. En caso de ser necesarios se cotiza por separado.

### NUESTROS SISTEMAS CUMPLEN CON:

**Underwriters Laboratories (UL)**

**National Fire Protection Association (NFPA)**

NFPA 72® "National Fire Alarm and Signaling Code®"



**Sistema de control AUTOPULSE Z20 de ANSUL**

<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PARTE</b>
1	Autopulse branded Hybrid w/ 4 conventional 3 A NACs 6 A output/battery	4007-9101AR
1	AUTOPULSE NAC Extender, 120V UL	4009-9201AR
1	NAC Card, 4PT, IDNET	4009-9807
4	Batteries 12 V 18 Ah	2081-9275

**Dispositivos para Cuarto Eléctrico**

<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PARTE</b>
1	Relay Module 2 A resistive @ 32 VDC	4007-9809
1	Coil Supervise Module 2 A	430687
1	Suppression Release Peripheral w/Enclosure	4090-9006
9	SSD True Alarm Photoelectric	4098-9714
9	SSD True Alarm Photoelectric Base	4098-9792
4	Supervised IAMs	4090-9001
1	IAM Relay, IDNet	4090-9002
1	EOL Resistor harness 4.7K	4081-9003
1	EOL 1.8K 1/2W	4081-9005
1	Abort Switch Surface Mount	433941
1	Maintenance Switch w/Lamp Flush	433936
1	6" Bell, 24 VDC	439030
1	Pull Station NBG-12LR	435471
1	Horn/Strobe Multi-tone Multi-cd	433357

**Dispositivos para Cuarto de Control**

<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PARTE</b>
1	Relay Module 2 A resistive @ 32 VDC	4007-9809
1	Coil Supervise Module 2 A	430687
1	Suppression Release Peripheral w/Enclosure	4090-9006
4	SSD True Alarm Photoelectric	4098-9714
4	SSD True Alarm Photoelectric Base	4098-9792
4	Supervised IAMs	4090-9001
1	IAM Relay, IDNet	4090-9002
1	EOL Resistor harness 4.7K	4081-9003
1	EOL 1.8K 1/2W	4081-9005
1	Abort Switch Surface Mount	433941
1	Maintenance Switch w/Lamp Flush	433936
1	6" Bell, 24 VDC	439030
1	Pull Station NBG-12LR	435471
1	Horn/Strobe Multi-tone Multi-cd	433357



**Dispositivos para Cuarto Rectificadores**

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PARTE
1	Relay Module 2 A resistive @ 32 VDC	4007-9809
1	Coil Supervise Module 2 A	430687
1	Suppression Release Peripheral w/Enclosure	4090-9006
2	SSD True Alarm Photoelectric	4098-9714
2	SSD True Alarm Photoelectric Base	4098-9792
4	Supervised IAMs	4090-9001
1	IAM Relay, IDNet	4090-9002
1	EOL Resistor harness 4.7K	4081-9003
1	EOL 1.8K 1/2W	4081-9005
1	Abort Switch Surface Mount	433941
1	Maintenance Switch w/Lamp Flush	433936
1	6" Bell, 24 VDC	439030
1	Pull Station NBG-12LR	435471
1	Horn/Strobe Multi-tone Multi-cd	433357

**Dispositivos para Generador (descarga inicial y extendida)**

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PARTE
1	Relay Module 2 A resistive @ 32 VDC	4007-9809
1	Coil Supervise Module 2 A	430687
1	Suppression Release Peripheral w/Enclosure	4090-9006
3	Supervised IAMs	4090-9001
1	EOL Resistor harness 4.7K	4081-9003
1	EOL 1.8K 1/2W	4081-9005
1	Maintenance Switch w/Lamp Flush	433936
1	6" Bell, 24 VDC	439030
1	Pull Station NBG-12LR	435471
1	Horn/Strobe Multi-tone Multi-cd	433357

**Dispositivos para Unidad Oleohidráulica**

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PARTE
1	Relay Module 2 A resistive @ 32 VDC	4007-9809
1	Coil Supervise Module 2 A	430687
1	Suppression Release Peripheral w/Enclosure	4090-9006
3	Supervised IAMs	4090-9001
1	EOL Resistor harness 4.7K	4081-9003
1	EOL 1.8K 1/2W	4081-9005
1	Maintenance Switch w/Lamp Flush	433936
1	6" Bell, 24 VDC	439030
1	Pull Station NBG-12LR	435471
1	Horn/Strobe Multi-tone Multi-cd	433357

### Dispositivos para Unidad Lubricación

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PARTE
1	Relay Module 2 A resistive @ 32 VDC	4007-9809
1	Coil Supervise Module 2 A	430687
1	Suppresion Release Peripheral w/Enclosure	4090-9006
3	Supervised IAMs	4090-9001
1	EOL Resistor harness 4.7K	4081-9003
1	EOL 1.8K 1/2W	4081-9005
1	Maintenance Switch w/Lamp Flush	433936
1	6" Bell, 24 VDC	439030
1	Pull Station NBG-12LR	435471
1	Horn/Strobe Multi-tone Multi-cd	433357

**Anexo H. Memorias de soportería sismo resistente.**

# TOLBrace™ Seismic Bracing Calculations

**Project Address:** Proyecto Flnal de Graduación  
 Upala  
 Alajuela  
 Job #

**Contractor:** Salvavidas  
**Address:** Heredia  
 Belen  
**Phone:** (506) 2293-1248  
**Licence:**



Calculations based on 2016 NFPA Pamphlet #13

Brace Information	TOLCO™ Brace Components																		
<b>Maximum Brace Length</b> 7' 0" (2.134 m) <b>Diameter of Brace</b> 1" <b>Type of Brace</b> Sch.40 <b>Angle of Brace</b> 45° Min. <b>Least Rad. of Gyration</b> 0.42" (11 mm) <b>L/R Value</b> 200 <b>Max Horizontal Load</b> 1310 lbs (594 kg)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 35%;">TOLCO™ Component</th> <th style="width: 20%;">Listed Load</th> <th style="width: 45%;">Adjusted Load</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fig. 1001 Clamp</td> <td>2015 lbs (914 kg)</td> <td>1425 lbs (646 kg)</td> </tr> <tr> <td>Fig.980 Universal Swivel</td> <td>2015 lbs (914 kg)</td> <td>1425 lbs (646 kg)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">See Fastener Information</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">*Calculation Based on CONCENTRIC Loading</td> </tr> <tr> <td colspan="3">*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.</td> </tr> </tbody> </table>	TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load	Fig. 1001 Clamp	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)	Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)	See Fastener Information			*Calculation Based on CONCENTRIC Loading			*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.		
TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load																	
Fig. 1001 Clamp	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)																	
Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)																	
See Fastener Information																			
*Calculation Based on CONCENTRIC Loading																			
*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.																			
	<b>Seismic Brace Assembly Detail</b>																		
	<b>Brace Identification on Plans</b> 4-vías-100 mm Riser <b>Brace Type</b> Lateral [ ] Longitudinal [ ] 4-Way [X]																		
Fastener Information																			
<b>Orientation to Connecting Surface</b> NFPA Type B <b>Fastener Type</b> POWERS BANG-IT <b>Diameter</b> 1/2in. <b>Length</b> 1 3/4in. <b>Maximum Load</b> 217 lbs (98 kg) <b>Prying Factor</b> 1.156																			

Sprinkler System Load Calculation (Fpw = CpWp)					
Cp = 0.9					
Diameter	Type	Length	Total Length	Weight Per Unit Length	Total Weight
4" (100 mm)	Sch. 40	7 ft (2.1 m)	7 ft (2.1 m)	16.4 lb/ft (24.41 kg/m)	115 lbs (52 kg)
Subtotal Weight					115 lbs (52 kg)
Wp (incl. 15%)					132 lbs (60 kg)
<b>Main Size</b> 4"	<b>Type/Sch.</b> Sch. 40	<b>Spacing (ft)</b> 7	<b>Total (Fpw)</b>		119 lbs (54 kg)
<b>Maximum Fpw per 9.3.5.5.2 (if applicable)</b>					N/A

# TOLBrace™ Seismic Calculations

Proyecto Final de Graduación

Job #

Upala



Brace Identification	4-vías-100 mm Riser
Brace Type (Per NFPA#13)	NFPA Type B
Braced Pipe (ft)	4" Sch.40 Steel Pipe
Spacing of Brace	7' 0" (2.13 m)
Orientation of Brace	Riser
Bracing Material	1" Sch.40
Maximum Brace Length	7' 0" (2.13 m)
Slenderness Ratio used for Load Calculation	200
True Angle of Brace for Calculation	45°
Type of Fastener	POWERS BANG-IT 1/2in. x 1 3/4in. (3,000 PSI Sand Light Weight Concre
Length of Fastener	1 3/4in.

## Summary of Pipe within Zone of Influence

4" Sch.40 Steel Pipe (101.6 mm)	7 ft (2.1 m)

G-Factor Used 0.9

Allowance for Heads and Fittings 15%

### Conclusions

Total Adjusted Load of Pipe in Zone of Influence	119 lbs (54 kg)
Material Capacity	1310 lbs (594 kg)
Fastener Capacity	217 lbs (98 kg)
Fig. 1001 Clamp	1425 lbs (646 kg)
Fig.980 Universal Swivel	1425 lbs (646 kg)
Structural Member	Pared

Calculations prepared by UCR

\* The description of the Structural Member is for informational purposes only.  
 TOLBrace™ software calculates the brace assembly only, not the structure it is attached to.  
 Calculated with TOLBrace™ 8  
 Visit us at [www.tolco.com](http://www.tolco.com)

# TOLBrace™ Seismic Bracing Calculations

**Project Address:** Proyecto Flnal de Graduación  
 Upala  
 Alajuela  
 Job #

**Contractor:** Salvavidas  
**Address:** Heredia  
 Belen  
**Phone:** (506) 2293-1248  
**Licence:**



Calculations based on 2016 NFPA Pamphlet #13

Brace Information	TOLCO™ Brace Components																		
<b>Maximum Brace Length</b> 7' 0" (2.134 m) <b>Diameter of Brace</b> 1" <b>Type of Brace</b> Sch.40 <b>Angle of Brace</b> 45° Min. <b>Least Rad. of Gyration</b> 0.42" (11 mm) <b>L/R Value</b> 200 <b>Max Horizontal Load</b> 1310 lbs (594 kg)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;">TOLCO™ Component</th> <th style="width: 20%;">Listed Load</th> <th style="width: 20%;">Adjusted Load</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fig. 1001 Clamp</td> <td>2015 lbs (914 kg)</td> <td>1425 lbs (646 kg)</td> </tr> <tr> <td>Fig.980 Universal Swivel</td> <td>2015 lbs (914 kg)</td> <td>1425 lbs (646 kg)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">See Fastener Information</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">*Calculation Based on CONCENTRIC Loading</td> </tr> <tr> <td colspan="3">*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.</td> </tr> </tbody> </table>	TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load	Fig. 1001 Clamp	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)	Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)	See Fastener Information			*Calculation Based on CONCENTRIC Loading			*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.		
TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load																	
Fig. 1001 Clamp	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)																	
Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)																	
See Fastener Information																			
*Calculation Based on CONCENTRIC Loading																			
*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.																			
	<b>Seismic Brace Assembly Detail</b>																		
	<b>Brace Identification on Plans</b> LAT-100 mm Gabinetes <b>Brace Type</b> Lateral [X] Longitudinal [ ] 4-Way [ ]																		
<b>Fastener Information</b>																			
<b>Orientation to Connecting Surface</b> NFPA Type B <b>Fastener Type</b> Bolt <b>Diameter</b> 1/2n. (12 mm) <b>Length</b> N/A <b>Maximum Load</b> 2050 lbs (930 kg) <b>Prying Factor</b> N/A																			

## Sprinkler System Load Calculation (Fpw = CpWp)

Cp = 0.9

Diameter	Type	Length	Total Length	Weight Per Unit Length	Total Weight
4" (100 mm)	Sch. 40	40 ft (12.2 m)	40 ft (12.2 m)	16.4 lb/ft (24.41 kg/m)	656 lbs (298 kg)
2.5" (65 mm)	Sch. 40	11 ft (3.4 m)	11 ft (3.4 m)	7.89 lb/ft (11.74 kg/m)	87 lbs (39 kg)
Subtotal Weight					743 lbs (337 kg)
Wp (incl. 15%)					854 lbs (388 kg)
<b>Main Size</b> 4"	<b>Type/Sch.</b> Sch. 40	<b>Spacing (ft)</b> 40	<b>Total (Fpw)</b>		769 lbs (349 kg)
<b>Maximum Fpw per 9.3.5.5.2 (if applicable)</b>					1402 lb (635 kg)

# TOLBrace™ Seismic Calculations

Proyecto Final de Graduación

Job #

Upala



Brace Identification	LAT-100 mm Gabinetes
Brace Type (Per NFPA#13)	NFPA Type B
Braced Pipe (ft)	4" Sch.40 Steel Pipe
Spacing of Brace	40' 0" (12.19 m)
Orientation of Brace	Lateral
Bracing Material	1" Sch.40
Maximum Brace Length	7' 0" (2.13 m)
Slenderness Ratio used for Load Calculation	200
True Angle of Brace for Calculation	45°
Type of Fastener	1/2 (12mm) Bolt
Length of Fastener	N/A

## Summary of Pipe within Zone of Influence

4" Sch.40 Steel Pipe (101.6 mm)	40 ft (12.2 m)
2.5" Sch.40 Steel Pipe (63.5 mm)	11 ft (3.4 m)

G-Factor Used 0.9

Allowance for Heads and Fittings 15%

### Conclusions

Total Adjusted Load of Pipe in Zone of Influence	769 lbs (349 kg)
Material Capacity	1310 lbs (594 kg)
Fastener Capacity	2050 lbs (930 kg)
Fig. 1001 Clamp	1425 lbs (646 kg)
Fig.980 Universal Swivel	1425 lbs (646 kg)
Structural Member	Viga

Calculations prepared by UCR

\* The description of the Structural Member is for informational purposes only.  
 TOLBrace™ software calculates the brace assembly only, not the structure it is attached to.  
 Calculated with TOLBrace™ 8  
 Visit us at [www.tolco.com](http://www.tolco.com)

# TOLBrace™ Seismic Bracing Calculations

**Project Address:** Proyecto Flnal de Graduación  
 Upala  
 Alajuela  
 Job #

**Contractor:** Salvavidas  
**Address:** Heredia  
 Belen  
**Phone:** (506) 2293-1248  
**Licence:**



Calculations based on 2016 NFPA Pamphlet #13

Brace Information	TOLCO™ Brace Components																		
<b>Maximum Brace Length</b> 7' 0" (2.134 m) <b>Diameter of Brace</b> 1" <b>Type of Brace</b> Sch.40 <b>Angle of Brace</b> 45° Min. <b>Least Rad. of Gyration</b> 0.42" (11 mm) <b>L/R Value</b> 200 <b>Max Horizontal Load</b> 1310 lbs (594 kg)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 35%;">TOLCO™ Component</th> <th style="width: 30%;">Listed Load</th> <th style="width: 35%;">Adjusted Load</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fig. 4LA Clamp</td> <td>1000 lbs (454 kg)</td> <td>707 lbs (321 kg)</td> </tr> <tr> <td>Fig.980 Universal Swivel</td> <td>2015 lbs (914 kg)</td> <td>1425 lbs (646 kg)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">See Fastener Information</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">*Calculation Based on CONCENTRIC Loading</td> </tr> <tr> <td colspan="3">*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.</td> </tr> </tbody> </table>	TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load	Fig. 4LA Clamp	1000 lbs (454 kg)	707 lbs (321 kg)	Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)	See Fastener Information			*Calculation Based on CONCENTRIC Loading			*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.		
TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load																	
Fig. 4LA Clamp	1000 lbs (454 kg)	707 lbs (321 kg)																	
Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)																	
See Fastener Information																			
*Calculation Based on CONCENTRIC Loading																			
*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.																			
	<b>Seismic Brace Assembly Detail</b>																		
<b>Fastener Information</b>																			
<b>Orientation to Connecting Surface</b> NFPA Type B <b>Fastener Type</b> Bolt <b>Diameter</b> 1/2n. (12 mm) <b>Length</b> N/A <b>Maximum Load</b> 2050 lbs (930 kg) <b>Prying Factor</b> N/A	<b>Brace Identification on Plans</b> LON-100 mm Gabinetes <b>Brace Type</b> Lateral [ ] Longitudinal [X] 4-Way [ ]																		

Sprinkler System Load Calculation (Fpw = CpWp)					
Cp = 0.9					
Diameter	Type	Length	Total Length	Weight Per Unit Length	Total Weight
4" (100 mm)	Sch. 40	22 ft (6.7 m)	22 ft (6.7 m)	16.4 lb/ft (24.41 kg/m)	361 lbs (164 kg)
Subtotal Weight					361 lbs (164 kg)
Wp (incl. 15%)					415 lbs (188 kg)
<b>Main Size</b> 4"	<b>Type/Sch.</b> Sch. 40	<b>Spacing (ft)</b> 22	<b>Total (Fpw)</b>		374 lbs (169 kg)
<b>Maximum Fpw per 9.3.5.5.2 (if applicable)</b>					N/A



# TOLBrace™ Seismic Calculations

Proyecto Final de Graduación

Job #

Upala



Brace Identification	LON-100 mm Gabinetes
Brace Type (Per NFPA#13)	NFPA Type B
Braced Pipe (ft)	4" Sch.40 Steel Pipe
Spacing of Brace	22' 0" (6.71 m)
Orientation of Brace	Longitudinal
Bracing Material	1" Sch.40
Maximum Brace Length	7' 0" (2.13 m)
Slenderness Ratio used for Load Calculation	200
True Angle of Brace for Calculation	45°
Type of Fastener	1/2 (12mm) Bolt
Length of Fastener	N/A

## Summary of Pipe within Zone of Influence

4" Sch.40 Steel Pipe (101.6 mm)	22 ft (6.7 m)

G-Factor Used 0.9

Allowance for Heads and Fittings 15%

### Conclusions

Total Adjusted Load of Pipe in Zone of Influence	373 lbs (169 kg)
Material Capacity	1310 lbs (594 kg)
Fastener Capacity	2050 lbs (930 kg)
Fig. 4LA Clamp	707 lbs (321 kg)
Fig.980 Universal Swivel	1425 lbs (646 kg)
Structural Member	Viga

Calculations prepared by UCR

\* The description of the Structural Member is for informational purposes only.  
 TOLBrace™ software calculates the brace assembly only, not the structure it is attached to.  
 Calculated with TOLBrace™ 8  
 Visit us at [www.tolco.com](http://www.tolco.com)

# TOLBrace™ Seismic Bracing Calculations

**Project Address:** Proyecto Flnal de Graduación  
 \_\_\_\_\_  
 Upala  
 \_\_\_\_\_  
 Alajuela  
 \_\_\_\_\_  
 Job # \_\_\_\_\_

**Contractor:** Salvavidas  
**Address:** Heredia  
 Belen  
**Phone:** (506) 2293-1248  
**Licence:** \_\_\_\_\_



Calculations based on 2016 NFPA Pamphlet #13

Brace Information	TOLCO™ Brace Components																		
<b>Maximum Brace Length</b> <u>7' 0" (2.134 m)</u> <b>Diameter of Brace</b> <u>1"</u> <b>Type of Brace</b> <u>Sch.40</u> <b>Angle of Brace</b> <u>45° Min.</u> <b>Least Rad. of Gyration</b> <u>0.42" (11 mm)</u> <b>L/R Value</b> <u>200</u> <b>Max Horizontal Load</b> <u>1310 lbs (594 kg)</u>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 35%;">TOLCO™ Component</th> <th style="width: 20%;">Listed Load</th> <th style="width: 45%;">Adjusted Load</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fig. 1001 Clamp</td> <td>2015 lbs (914 kg)</td> <td>1425 lbs (646 kg)</td> </tr> <tr> <td>Fig.980 Universal Swivel</td> <td>2015 lbs (914 kg)</td> <td>1425 lbs (646 kg)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">See Fastener Information</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">*Calculation Based on CONCENTRIC Loading</td> </tr> <tr> <td colspan="3">*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.</td> </tr> </tbody> </table>	TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load	Fig. 1001 Clamp	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)	Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)	See Fastener Information			*Calculation Based on CONCENTRIC Loading			*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.		
TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load																	
Fig. 1001 Clamp	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)																	
Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)																	
See Fastener Information																			
*Calculation Based on CONCENTRIC Loading																			
*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.																			
	<b>Seismic Brace Assembly Detail</b>																		
	<b>Brace Identification on Plans</b> LAT-65 mm Gabinetes <b>Brace Type</b> Lateral [X] Longitudinal [ ] 4-Way [ ]																		
<b>Fastener Information</b>																			
<b>Orientation to Connecting Surface</b> <u>NFPA Type B</u> <b>Fastener Type</b> <u>Bolt</u> <b>Diameter</b> <u>1/2n. (12 mm)</u> <b>Length</b> <u>N/A</u> <b>Maximum Load</b> <u>2050 lbs (930 kg)</u> <b>Prying Factor</b> <u>N/A</u>																			

Sprinkler System Load Calculation (Fpw = CpWp)					
Cp = <u>0.9</u>					
Diameter	Type	Length	Total Length	Weight Per Unit Length	Total Weight
2.5" (65 mm)	Sch. 40	40 ft (12.2 m)	40 ft (12.2 m)	7.89 lb/ft (11.74 kg/m)	316 lbs (143 kg)
2.5" (65 mm)	Sch. 40	14 ft (4.3 m)	14 ft (4.3 m)	7.89 lb/ft (11.74 kg/m)	110 lbs (50 kg)
Subtotal Weight					426 lbs (193 kg)
Wp (incl. 15%)					490 lbs (222 kg)
<b>Main Size</b> 2.5"	<b>Type/Sch.</b> Sch. 40	<b>Spacing (ft)</b> 40	<b>Total (Fpw)</b>		441 lbs (200 kg)
<b>Maximum Fpw per 9.3.5.5.2 (if applicable)</b>					463 lb (210 kg)

# TOLBrace™ Seismic Calculations

Proyecto Final de Graduación

Job #

Upala



Brace Identification	LAT-65 mm Gabinetes
Brace Type (Per NFPA#13)	NFPA Type B
Braced Pipe (ft)	2.5" Sch.40 Steel Pipe
Spacing of Brace	40' 0" (12.19 m)
Orientation of Brace	Lateral
Bracing Material	1" Sch.40
Maximum Brace Length	7' 0" (2.13 m)
Slenderness Ratio used for Load Calculation	200
True Angle of Brace for Calculation	45°
Type of Fastener	1/2 (12mm) Bolt
Length of Fastener	N/A

## Summary of Pipe within Zone of Influence

2.5" Sch.40 Steel Pipe (63.5 mm)	40 ft (12.2 m)
2.5" Sch.40 Steel Pipe (63.5 mm)	14 ft (4.3 m)

G-Factor Used 0.9

Allowance for Heads and Fittings 15%

### Conclusions

Total Adjusted Load of Pipe in Zone of Influence	441 lbs (200 kg)
Material Capacity	1310 lbs (594 kg)
Fastener Capacity	2050 lbs (930 kg)
Fig. 1001 Clamp	1425 lbs (646 kg)
Fig.980 Universal Swivel	1425 lbs (646 kg)
Structural Member	Viga

Calculations prepared by UCR

\* The description of the Structural Member is for informational purposes only.  
 TOLBrace™ software calculates the brace assembly only, not the structure it is attached to.  
 Calculated with TOLBrace™ 8  
 Visit us at [www.tolco.com](http://www.tolco.com)

# TOLBrace™ Seismic Bracing Calculations

**Project Address:** Proyecto FInal de Graduación  
 Upala  
 Alajuela  
 Job #

**Contractor:** Salvavidas  
**Address:** Heredia  
 Belen  
**Phone:** (506) 2293-1248  
**Licence:**



Calculations based on 2016 NFPA Pamphlet #13

Brace Information	TOLCO™ Brace Components																		
<b>Maximum Brace Length</b> 7' 0" (2.134 m) <b>Diameter of Brace</b> 1" <b>Type of Brace</b> Sch.40 <b>Angle of Brace</b> 45° Min. <b>Least Rad. of Gyration</b> 0.42" (11 mm) <b>L/R Value</b> 200 <b>Max Horizontal Load</b> 1310 lbs (594 kg)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 35%;">TOLCO™ Component</th> <th style="width: 25%;">Listed Load</th> <th style="width: 40%;">Adjusted Load</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fig. 4LA Clamp</td> <td>1000 lbs (454 kg)</td> <td>707 lbs (321 kg)</td> </tr> <tr> <td>Fig.980 Universal Swivel</td> <td>2015 lbs (914 kg)</td> <td>1425 lbs (646 kg)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">See Fastener Information</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">*Calculation Based on CONCENTRIC Loading</td> </tr> <tr> <td colspan="3">*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.</td> </tr> </tbody> </table>	TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load	Fig. 4LA Clamp	1000 lbs (454 kg)	707 lbs (321 kg)	Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)	See Fastener Information			*Calculation Based on CONCENTRIC Loading			*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.		
TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load																	
Fig. 4LA Clamp	1000 lbs (454 kg)	707 lbs (321 kg)																	
Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)																	
See Fastener Information																			
*Calculation Based on CONCENTRIC Loading																			
*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.																			
	<b>Seismic Brace Assembly Detail</b>																		
	<b>Brace Identification on Plans</b> LON-65 mm Gabinetes <b>Brace Type</b> Lateral [ ] Longitudinal [X] 4-Way [ ]																		
<b>Fastener Information</b> <b>Orientation to Connecting Surface</b> NFPA Type B <b>Fastener Type</b> Bolt <b>Diameter</b> 1/2n. (12 mm) <b>Length</b> N/A <b>Maximum Load</b> 2050 lbs (930 kg) <b>Prying Factor</b> N/A																			

Sprinkler System Load Calculation (Fpw = CpWp)					
Cp = 0.9					
Diameter	Type	Length	Total Length	Weight Per Unit Length	Total Weight
2.5" (65 mm)	Sch. 40	28 ft (8.5 m)	28 ft (8.5 m)	7.89 lb/ft (11.74 kg/m)	221 lbs (100 kg)
Subtotal Weight					221 lbs (100 kg)
Wp (incl. 15%)					254 lbs (115 kg)
<b>Main Size</b> 2.5"	<b>Type/Sch.</b> Sch. 40	<b>Spacing (ft)</b> 28	<b>Total (Fpw)</b>		229 lbs (104 kg)
<b>Maximum Fpw per 9.3.5.5.2 (if applicable)</b>					N/A

# TOLBrace™ Seismic Calculations

Proyecto Final de Graduación

Job #

Upala



Brace Identification	LON-65 mm Gabinetes
Brace Type (Per NFPA#13)	NFPA Type B
Braced Pipe (ft)	2.5" Sch.40 Steel Pipe
Spacing of Brace	28' 0" (8.53 m)
Orientation of Brace	Longitudinal
Bracing Material	1" Sch.40
Maximum Brace Length	7' 0" (2.13 m)
Slenderness Ratio used for Load Calculation	200
True Angle of Brace for Calculation	45°
Type of Fastener	1/2 (12mm) Bolt
Length of Fastener	N/A

## Summary of Pipe within Zone of Influence

2.5" Sch.40 Steel Pipe (63.5 mm)	28 ft (8.5 m)

G-Factor Used 0.9

Allowance for Heads and Fittings 15%

### Conclusions

Total Adjusted Load of Pipe in Zone of Influence	229 lbs (104 kg)
Material Capacity	1310 lbs (594 kg)
Fastener Capacity	2050 lbs (930 kg)
Fig. 4LA Clamp	707 lbs (321 kg)
Fig.980 Universal Swivel	1425 lbs (646 kg)
Structural Member	Viga

Calculations prepared by UCR

\* The description of the Structural Member is for informational purposes only.  
 TOLBrace™ software calculates the brace assembly only, not the structure it is attached to.  
 Calculated with TOLBrace™ 8  
 Visit us at [www.tolco.com](http://www.tolco.com)

# TOLBrace™ Seismic Bracing Calculations

**Project Address:** Proyecto Flnal de Graduación  
 Upala  
 Alajuela  
 Job #

**Contractor:** Salvavidas  
**Address:** Heredia  
 Belen  
**Phone:** (506) 2293-1248  
**Licence:**



Calculations based on 2016 NFPA Pamphlet #13

Brace Information	TOLCO™ Brace Components																		
<b>Maximum Brace Length</b> 7' 0" (2.134 m) <b>Diameter of Brace</b> 1" <b>Type of Brace</b> Sch.40 <b>Angle of Brace</b> 45° Min. <b>Least Rad. of Gyration</b> 0.42" (11 mm) <b>L/R Value</b> 200 <b>Max Horizontal Load</b> 1310 lbs (594 kg)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">TOLCO™ Component</th> <th style="width: 20%;">Listed Load</th> <th style="width: 40%;">Adjusted Load</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fig. 4LA Clamp</td> <td>1000 lbs (454 kg)</td> <td>707 lbs (321 kg)</td> </tr> <tr> <td>Fig.980 Universal Swivel</td> <td>2015 lbs (914 kg)</td> <td>1425 lbs (646 kg)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">See Fastener Information</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">*Calculation Based on CONCENTRIC Loading</td> </tr> <tr> <td colspan="3">*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.</td> </tr> </tbody> </table>	TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load	Fig. 4LA Clamp	1000 lbs (454 kg)	707 lbs (321 kg)	Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)	See Fastener Information			*Calculation Based on CONCENTRIC Loading			*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.		
TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load																	
Fig. 4LA Clamp	1000 lbs (454 kg)	707 lbs (321 kg)																	
Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)																	
See Fastener Information																			
*Calculation Based on CONCENTRIC Loading																			
*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.																			
	<b>Seismic Brace Assembly Detail</b>																		
<b>Fastener Information</b>																			
<b>Orientation to Connecting Surface</b> NFPA Type B <b>Fastener Type</b> Bolt <b>Diameter</b> 1/2n. (12 mm) <b>Length</b> N/A <b>Maximum Load</b> 2050 lbs (930 kg) <b>Prying Factor</b> N/A	<b>Brace Identification on Plans</b> LON-80 mm Inergen <b>Brace Type</b> Lateral [ ] Longitudinal [X] 4-Way [ ]																		

### Sprinkler System Load Calculation (Fpw = CpWp)

Cp = 0.9

Diameter	Type	Length	Total Length	Weight Per Unit Length	Total Weight
3" (80 mm)	Sch. 40	16 ft (4.9 m)	16 ft (4.9 m)	10.82 lb/ft (16.1 kg/m)	173 lbs (78 kg)
Subtotal Weight					173 lbs (78 kg)
Wp (incl. 15%)					199 lbs (90 kg)
<b>Main Size</b> 3"	<b>Type/Sch.</b> Sch. 40	<b>Spacing (ft)</b> 16	<b>Total (Fpw)</b>		179 lbs (81 kg)
<b>Maximum Fpw per 9.3.5.5.2 (if applicable)</b>					N/A

# TOLBrace™ Seismic Calculations

Proyecto Final de Graduación

Job #

Upala



Brace Identification	LON-80 mm Inergen
Brace Type (Per NFPA#13)	NFPA Type B
Braced Pipe (ft)	3" Sch.40 Steel Pipe
Spacing of Brace	16' 0" (4.88 m)
Orientation of Brace	Longitudinal
Bracing Material	1" Sch.40
Maximum Brace Length	7' 0" (2.13 m)
Slenderness Ratio used for Load Calculation	200
True Angle of Brace for Calculation	45°
Type of Fastener	1/2 (12mm) Bolt
Length of Fastener	N/A

## Summary of Pipe within Zone of Influence

3" Sch.40 Steel Pipe (76.2 mm)	16 ft (4.9 m)

G-Factor Used 0.9

Allowance for Heads and Fittings 15%

### Conclusions

Total Adjusted Load of Pipe in Zone of Influence	179 lbs (81 kg)
Material Capacity	1310 lbs (594 kg)
Fastener Capacity	2050 lbs (930 kg)
Fig. 4LA Clamp	707 lbs (321 kg)
Fig.980 Universal Swivel	1425 lbs (646 kg)
Structural Member	Viga

Calculations prepared by UCR

\* The description of the Structural Member is for informational purposes only.  
TOLBrace™ software calculates the brace assembly only, not the structure it is attached to.  
Calculated with TOLBrace™ 8  
Visit us at [www.tolco.com](http://www.tolco.com)

# TOLBrace™ Seismic Bracing Calculations

**Project Address:** Proyecto Flnal de Graduación  
 Upala  
 Alajuela  
 Job #

**Contractor:** Salvavidas  
**Address:** Heredia  
 Belen  
**Phone:** (506) 2293-1248  
**Licence:**



Calculations based on 2016 NFPA Pamphlet #13

Brace Information	TOLCO™ Brace Components																		
<b>Maximum Brace Length</b> 7' 0" (2.134 m) <b>Diameter of Brace</b> 1" <b>Type of Brace</b> Sch.40 <b>Angle of Brace</b> 45° Min. <b>Least Rad. of Gyration</b> 0.42" (11 mm) <b>L/R Value</b> 200 <b>Max Horizontal Load</b> 1310 lbs (594 kg)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">TOLCO™ Component</th> <th style="width: 20%;">Listed Load</th> <th style="width: 40%;">Adjusted Load</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fig. 3000 Clamp</td> <td>1000 lbs (454 kg)</td> <td>707 lbs (321 kg)</td> </tr> <tr> <td>Fig.980 Universal Swivel</td> <td>2015 lbs (914 kg)</td> <td>1425 lbs (646 kg)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">See Fastener Information</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">*Calculation Based on CONCENTRIC Loading</td> </tr> <tr> <td colspan="3">*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.</td> </tr> </tbody> </table>	TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load	Fig. 3000 Clamp	1000 lbs (454 kg)	707 lbs (321 kg)	Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)	See Fastener Information			*Calculation Based on CONCENTRIC Loading			*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.		
TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load																	
Fig. 3000 Clamp	1000 lbs (454 kg)	707 lbs (321 kg)																	
Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)																	
See Fastener Information																			
*Calculation Based on CONCENTRIC Loading																			
*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.																			
	<b>Seismic Brace Assembly Detail</b>																		
	<b>Brace Identification on Plans</b> LAT-80 mm Inergen <b>Brace Type</b> Lateral [X] Longitudinal [ ] 4-Way [ ]																		
<b>Fastener Information</b>																			
<b>Orientation to Connecting Surface</b> NFPA Type B <b>Fastener Type</b> Bolt <b>Diameter</b> 1/2n. (12 mm) <b>Length</b> N/A <b>Maximum Load</b> 2050 lbs (930 kg) <b>Prying Factor</b> N/A																			

Sprinkler System Load Calculation (Fpw = CpWp)					
Cp = 0.9					
Diameter	Type	Length	Total Length	Weight Per Unit Length	Total Weight
3" (80 mm)	Sch. 40	16 ft (4.9 m)	16 ft (4.9 m)	10.82 lb/ft (16.1 kg/m)	173 lbs (78 kg)
3" (80 mm)	Sch. 40	9.5 ft (2.9 m)	9.5 ft (2.9 m)	10.82 lb/ft (16.1 kg/m)	103 lbs (47 kg)
Subtotal Weight					276 lbs (125 kg)
Wp (incl. 15%)					317 lbs (144 kg)
<b>Main Size</b> 3"	<b>Type/Sch.</b> Sch. 40	<b>Spacing (ft)</b> 16		<b>Total (Fpw)</b>	286 lbs (130 kg)
<b>Maximum Fpw per 9.3.5.5.2 (if applicable)</b>					1597 lb (724 kg)



# TOLBrace™ Seismic Calculations

Proyecto Final de Graduación

Job #

Upala



Brace Identification	LAT-80 mm Inergen
Brace Type (Per NFPA#13)	NFPA Type B
Braced Pipe (ft)	3" Sch.40 Steel Pipe
Spacing of Brace	16' 0" (4.88 m)
Orientation of Brace	Lateral
Bracing Material	1" Sch.40
Maximum Brace Length	7' 0" (2.13 m)
Slenderness Ratio used for Load Calculation	200
True Angle of Brace for Calculation	45°
Type of Fastener	1/2 (12mm) Bolt
Length of Fastener	N/A

## Summary of Pipe within Zone of Influence

3" Sch.40 Steel Pipe (76.2 mm)	16 ft (4.9 m)
3" Sch.40 Steel Pipe (76.2 mm)	9.5 ft (2.9 m)

G-Factor Used 0.9

Allowance for Heads and Fittings 15%

### Conclusions

Total Adjusted Load of Pipe in Zone of Influence	286 lbs (130 kg)
Material Capacity	1310 lbs (594 kg)
Fastener Capacity	2050 lbs (930 kg)
Fig. 3000 Clamp	707 lbs (321 kg)
Fig.980 Universal Swivel	1425 lbs (646 kg)
Structural Member	Viga

Calculations prepared by UCR

\* The description of the Structural Member is for informational purposes only.  
 TOLBrace™ software calculates the brace assembly only, not the structure it is attached to.  
 Calculated with TOLBrace™ 8  
 Visit us at [www.tolco.com](http://www.tolco.com)

# TOLBrace™ Seismic Bracing Calculations

**Project Address:** Proyecto Flnal de Graduación  
 Upala  
 Alajuela  
 Job #

**Contractor:** Salvavidas  
**Address:** Heredia  
 Belen  
**Phone:** (506) 2293-1248  
**Licence:**



Calculations based on 2016 NFPA Pamphlet #13

Brace Information	TOLCO™ Brace Components																		
<b>Maximum Brace Length</b> 7' 0" (2.134 m) <b>Diameter of Brace</b> 1" <b>Type of Brace</b> Sch.40 <b>Angle of Brace</b> 45° Min. <b>Least Rad. of Gyration</b> 0.42" (11 mm) <b>L/R Value</b> 200 <b>Max Horizontal Load</b> 1310 lbs (594 kg)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 35%;">TOLCO™ Component</th> <th style="width: 20%;">Listed Load</th> <th style="width: 45%;">Adjusted Load</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fig. 4LA Clamp</td> <td>1000 lbs (454 kg)</td> <td>707 lbs (321 kg)</td> </tr> <tr> <td>Fig.980 Universal Swivel</td> <td>2015 lbs (914 kg)</td> <td>1425 lbs (646 kg)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">See Fastener Information</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">*Calculation Based on CONCENTRIC Loading</td> </tr> <tr> <td colspan="3">*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.</td> </tr> </tbody> </table>	TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load	Fig. 4LA Clamp	1000 lbs (454 kg)	707 lbs (321 kg)	Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)	See Fastener Information			*Calculation Based on CONCENTRIC Loading			*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.		
TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load																	
Fig. 4LA Clamp	1000 lbs (454 kg)	707 lbs (321 kg)																	
Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)																	
See Fastener Information																			
*Calculation Based on CONCENTRIC Loading																			
*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.																			
	<h3 style="margin: 0;">Seismic Brace Assembly Detail</h3>																		
<h3 style="margin: 0;">Fastener Information</h3>																			
<b>Orientation to Connecting Surface</b> NFPA Type B <b>Fastener Type</b> Bolt <b>Diameter</b> 1/2n. (12 mm) <b>Length</b> N/A <b>Maximum Load</b> 2050 lbs (930 kg) <b>Prying Factor</b> N/A	<b>Brace Identification on Plans</b> LON-65 mm Inergen <b>Brace Type</b> Lateral [ ] Longitudinal [X] 4-Way [ ]																		

Sprinkler System Load Calculation (Fpw = CpWp)					
Cp = 0.9					
Diameter	Type	Length	Total Length	Weight Per Unit Length	Total Weight
2.5" (65 mm)	Sch. 40	16.5 ft (5 m)	16.5 ft (5 m)	7.89 lb/ft (11.74 kg/m)	130 lbs (59 kg)
Subtotal Weight					130 lbs (59 kg)
Wp (incl. 15%)					150 lbs (68 kg)
<b>Main Size</b> 2.5"	<b>Type/Sch.</b> Sch. 40	<b>Spacing (ft)</b> 16.5	<b>Total (Fpw)</b>		135 lbs (61 kg)
<b>Maximum Fpw per 9.3.5.5.2 (if applicable)</b>					N/A

{TOLBrace™ Version 8}

Use of TOLBrace™ is subject to terms and conditions per the end user license agreement

# TOLBrace™ Seismic Calculations

Proyecto Final de Graduación

Job #

Upala



Brace Identification	LON-65 mm Inergen
Brace Type (Per NFPA#13)	NFPA Type B
Braced Pipe (ft)	2.5" Sch.40 Steel Pipe
Spacing of Brace	16' 6" (5.03 m)
Orientation of Brace	Longitudinal
Bracing Material	1" Sch.40
Maximum Brace Length	7' 0" (2.13 m)
Slenderness Ratio used for Load Calculation	200
True Angle of Brace for Calculation	45°
Type of Fastener	1/2 (12mm) Bolt
Length of Fastener	N/A

## Summary of Pipe within Zone of Influence

2.5" Sch.40 Steel Pipe (63.5 mm)	16.5 ft (5 m)

G-Factor Used 0.9

Allowance for Heads and Fittings 15%

### Conclusions

Total Adjusted Load of Pipe in Zone of Influence	135 lbs (61 kg)
Material Capacity	1310 lbs (594 kg)
Fastener Capacity	2050 lbs (930 kg)
Fig. 4LA Clamp	707 lbs (321 kg)
Fig.980 Universal Swivel	1425 lbs (646 kg)
Structural Member	Viga

Calculations prepared by UCR

\* The description of the Structural Member is for informational purposes only.  
 TOLBrace™ software calculates the brace assembly only, not the structure it is attached to.  
 Calculated with TOLBrace™ 8  
 Visit us at [www.tolco.com](http://www.tolco.com)

# TOLBrace™ Seismic Bracing Calculations

**Project Address:** Proyecto Flnal de Graduación  
 Upala  
 Alajuuela  
 Job #

**Contractor:** Salvavidas  
**Address:** Heredia  
 Belen  
**Phone:** (506) 2293-1248  
**Licence:**



Calculations based on 2016 NFPA Pamphlet #13

Brace Information	TOLCO™ Brace Components																		
<b>Maximum Brace Length</b> 7' 0" (2.134 m) <b>Diameter of Brace</b> 1" <b>Type of Brace</b> Sch.40 <b>Angle of Brace</b> 45° Min. <b>Least Rad. of Gyration</b> 0.42" (11 mm) <b>L/R Value</b> 200 <b>Max Horizontal Load</b> 1310 lbs (594 kg)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 35%;">TOLCO™ Component</th> <th style="width: 20%;">Listed Load</th> <th style="width: 45%;">Adjusted Load</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fig. 3000 Clamp</td> <td>1000 lbs (454 kg)</td> <td>707 lbs (321 kg)</td> </tr> <tr> <td>Fig.980 Universal Swivel</td> <td>2015 lbs (914 kg)</td> <td>1425 lbs (646 kg)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">See Fastener Information</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">*Calculation Based on CONCENTRIC Loading</td> </tr> <tr> <td colspan="3">*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.</td> </tr> </tbody> </table>	TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load	Fig. 3000 Clamp	1000 lbs (454 kg)	707 lbs (321 kg)	Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)	See Fastener Information			*Calculation Based on CONCENTRIC Loading			*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.		
TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load																	
Fig. 3000 Clamp	1000 lbs (454 kg)	707 lbs (321 kg)																	
Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)																	
See Fastener Information																			
*Calculation Based on CONCENTRIC Loading																			
*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.																			
	<b>Seismic Brace Assembly Detail</b>																		
	<b>Brace Identification on Plans</b> LAT-65 mm Inergen <b>Brace Type</b> Lateral [X] Longitudinal [ ] 4-Way [ ]																		
<b>Fastener Information</b>																			
<b>Orientation to Connecting Surface</b> NFPA Type B <b>Fastener Type</b> Bolt <b>Diameter</b> 1/2n. (12 mm) <b>Length</b> N/A <b>Maximum Load</b> 2050 lbs (930 kg) <b>Prying Factor</b> N/A																			

## Sprinkler System Load Calculation (Fpw = CpWp)

Cp = 0.9

Diameter	Type	Length	Total Length	Weight Per Unit Length	Total Weight
2.5" (65 mm)	Sch. 40	16.5 ft (5 m)	16.5 ft (5 m)	7.89 lb/ft (11.74 kg/m)	130 lbs (59 kg)
1.5" (40 mm)	Sch. 40	14 ft (4.3 m)	14 ft (4.3 m)	3.61 lb/ft (5.37 kg/m)	51 lbs (23 kg)
Subtotal Weight					181 lbs (82 kg)
Wp (incl. 15%)					208 lbs (94 kg)
<b>Main Size</b> 2.5"	<b>Type/Sch.</b> Sch. 40	<b>Spacing (ft)</b> 16.5	<b>Total (Fpw)</b>		187 lbs (85 kg)
<b>Maximum Fpw per 9.3.5.5.2 (if applicable)</b>					984 lb (446 kg)

# TOLBrace™ Seismic Calculations

Proyecto Final de Graduación

Job #

Upala



Brace Identification	LAT-65 mm Inergen
Brace Type (Per NFPA#13)	NFPA Type B
Braced Pipe (ft)	2.5" Sch.40 Steel Pipe
Spacing of Brace	16' 6" (5.03 m)
Orientation of Brace	Lateral
Bracing Material	1" Sch.40
Maximum Brace Length	7' 0" (2.13 m)
Slenderness Ratio used for Load Calculation	200
True Angle of Brace for Calculation	45°
Type of Fastener	1/2 (12mm) Bolt
Length of Fastener	N/A

## Summary of Pipe within Zone of Influence

2.5" Sch.40 Steel Pipe (63.5 mm)	16.5 ft (5 m)
1.5" Sch.40 Steel Pipe (38.1 mm)	14 ft (4.3 m)

G-Factor Used 0.9

Allowance for Heads and Fittings 15%

### Conclusions

Total Adjusted Load of Pipe in Zone of Influence	187 lbs (85 kg)
Material Capacity	1310 lbs (594 kg)
Fastener Capacity	2050 lbs (930 kg)
Fig. 3000 Clamp	707 lbs (321 kg)
Fig.980 Universal Swivel	1425 lbs (646 kg)
Structural Member	Viga

Calculations prepared by UCR

\* The description of the Structural Member is for informational purposes only.  
 TOLBrace™ software calculates the brace assembly only, not the structure it is attached to.  
 Calculated with TOLBrace™ 8  
 Visit us at [www.tolco.com](http://www.tolco.com)

# TOLBrace™ Seismic Bracing Calculations

**Project Address:** Proyecto Flnal de Graduación  
 Upala  
 Alajuela  
 Job # \_\_\_\_\_

**Contractor:** Salvavidas  
**Address:** Heredia  
 Belen  
**Phone:** (506) 2293-1248  
**Licence:** \_\_\_\_\_



Calculations based on 2016 NFPA Pamphlet #13

Brace Information	TOLCO™ Brace Components																		
<b>Maximum Brace Length</b> 7' 0" (2.134 m) <b>Diameter of Brace</b> 1" <b>Type of Brace</b> Sch.40 <b>Angle of Brace</b> 45° Min. <b>Least Rad. of Gyration</b> 0.42" (11 mm) <b>L/R Value</b> 200 <b>Max Horizontal Load</b> 1310 lbs (594 kg)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">TOLCO™ Component</th> <th style="width: 20%;">Listed Load</th> <th style="width: 40%;">Adjusted Load</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fig. 4LA Clamp</td> <td>1000 lbs (454 kg)</td> <td>707 lbs (321 kg)</td> </tr> <tr> <td>Fig.980 Universal Swivel</td> <td>2015 lbs (914 kg)</td> <td>1425 lbs (646 kg)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">See Fastener Information</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">*Calculation Based on CONCENTRIC Loading</td> </tr> <tr> <td colspan="3">*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.</td> </tr> </tbody> </table>	TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load	Fig. 4LA Clamp	1000 lbs (454 kg)	707 lbs (321 kg)	Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)	See Fastener Information			*Calculation Based on CONCENTRIC Loading			*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.		
TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load																	
Fig. 4LA Clamp	1000 lbs (454 kg)	707 lbs (321 kg)																	
Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)																	
See Fastener Information																			
*Calculation Based on CONCENTRIC Loading																			
*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.																			
	<b>Seismic Brace Assembly Detail</b>																		
<b>Fastener Information</b>																			
<b>Orientation to Connecting Surface</b> NFPA Type B <b>Fastener Type</b> Bolt <b>Diameter</b> 1/2n. (12 mm) <b>Length</b> N/A <b>Maximum Load</b> 2050 lbs (930 kg) <b>Prying Factor</b> N/A	<b>Brace Identification on Plans</b> LON-40 mm Inergen <b>Brace Type</b> Lateral [ ] Longitudinal [X] 4-Way [ ]																		

## Sprinkler System Load Calculation (Fpw = CpWp)

Cp = 0.9

Diameter	Type	Length	Total Length	Weight Per Unit Length	Total Weight
1.5" (40 mm)	Sch. 40	14 ft (4.3 m)	14 ft (4.3 m)	3.61 lb/ft (5.37 kg/m)	51 lbs (23 kg)
Subtotal Weight					51 lbs (23 kg)
Wp (incl. 15%)					59 lbs (27 kg)
<b>Main Size</b> 1.5"	<b>Type/Sch.</b> Sch. 40	<b>Spacing (ft)</b> 14	<b>Total (Fpw)</b>		53 lbs (24 kg)
<b>Maximum Fpw per 9.3.5.5.2 (if applicable)</b>					N/A

# TOLBrace™ Seismic Calculations

Proyecto Final de Graduación

Job #

Upala



Brace Identification	LON-40 mm Inergen
Brace Type (Per NFPA#13)	NFPA Type B
Braced Pipe (ft)	1.5" Sch.40 Steel Pipe
Spacing of Brace	14' 0" (4.27 m)
Orientation of Brace	Longitudinal
Bracing Material	1" Sch.40
Maximum Brace Length	7' 0" (2.13 m)
Slenderness Ratio used for Load Calculation	200
True Angle of Brace for Calculation	45°
Type of Fastener	1/2 (12mm) Bolt
Length of Fastener	N/A

## Summary of Pipe within Zone of Influence

1.5" Sch.40 Steel Pipe (38.1 mm)	14 ft (4.3 m)

G-Factor Used 0.9

Allowance for Heads and Fittings 15%

### Conclusions

Total Adjusted Load of Pipe in Zone of Influence	52 lbs (24 kg)
Material Capacity	1310 lbs (594 kg)
Fastener Capacity	2050 lbs (930 kg)
Fig. 4LA Clamp	707 lbs (321 kg)
Fig.980 Universal Swivel	1425 lbs (646 kg)
Structural Member	Viga

Calculations prepared by UCR

\* The description of the Structural Member is for informational purposes only.  
 TOLBrace™ software calculates the brace assembly only, not the structure it is attached to.  
 Calculated with TOLBrace™ 8  
 Visit us at [www.tolco.com](http://www.tolco.com)

# TOLBrace™ Seismic Bracing Calculations

**Project Address:** Proyecto Flnal de Graduación  
 Upala  
 Alajuuela  
 Job #

**Contractor:** Salvavidas  
**Address:** Heredia  
 Belen  
**Phone:** (506) 2293-1248  
**Licence:**



Calculations based on 2016 NFPA Pamphlet #13

Brace Information	TOLCO™ Brace Components																		
<b>Maximum Brace Length</b> 7' 0" (2.134 m) <b>Diameter of Brace</b> 1" <b>Type of Brace</b> Sch.40 <b>Angle of Brace</b> 45° Min. <b>Least Rad. of Gyration</b> 0.42" (11 mm) <b>L/R Value</b> 200 <b>Max Horizontal Load</b> 1310 lbs (594 kg)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 35%;">TOLCO™ Component</th> <th style="width: 20%;">Listed Load</th> <th style="width: 45%;">Adjusted Load</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fig. 3000 Clamp</td> <td>1000 lbs (454 kg)</td> <td>707 lbs (321 kg)</td> </tr> <tr> <td>Fig.980 Universal Swivel</td> <td>2015 lbs (914 kg)</td> <td>1425 lbs (646 kg)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">See Fastener Information</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">*Calculation Based on CONCENTRIC Loading</td> </tr> <tr> <td colspan="3">*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.</td> </tr> </tbody> </table>	TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load	Fig. 3000 Clamp	1000 lbs (454 kg)	707 lbs (321 kg)	Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)	See Fastener Information			*Calculation Based on CONCENTRIC Loading			*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.		
TOLCO™ Component	Listed Load	Adjusted Load																	
Fig. 3000 Clamp	1000 lbs (454 kg)	707 lbs (321 kg)																	
Fig.980 Universal Swivel	2015 lbs (914 kg)	1425 lbs (646 kg)																	
See Fastener Information																			
*Calculation Based on CONCENTRIC Loading																			
*Please Note: These calculations are for TOLCO™ components only. Use of any other components voids these calculations and the listing of the assembly.																			
	<b>Seismic Brace Assembly Detail</b>																		
	<b>Brace Identification on Plans</b> LAT-40 mm Inergen <b>Brace Type</b> Lateral [X] Longitudinal [ ] 4-Way [ ]																		
Fastener Information																			
<b>Orientation to Connecting Surface</b> NFPA Type B <b>Fastener Type</b> Bolt <b>Diameter</b> 1/2n. (12 mm) <b>Length</b> N/A <b>Maximum Load</b> 2050 lbs (930 kg) <b>Prying Factor</b> N/A																			

## Sprinkler System Load Calculation (Fpw = CpWp)

Cp = 0.9

Diameter	Type	Length	Total Length	Weight Per Unit Length	Total Weight
2.5" (65 mm)	Sch. 40	16.5 ft (5 m)	16.5 ft (5 m)	7.89 lb/ft (11.74 kg/m)	130 lbs (59 kg)
1.5" (40 mm)	Sch. 40	14 ft (4.3 m)	14 ft (4.3 m)	3.61 lb/ft (5.37 kg/m)	51 lbs (23 kg)
Subtotal Weight					181 lbs (82 kg)
Wp (incl. 15%)					208 lbs (94 kg)
<b>Main Size</b> 2.5"	<b>Type/Sch.</b> Sch. 40	<b>Spacing (ft)</b> 16.5	<b>Total (Fpw)</b>		187 lbs (85 kg)
<b>Maximum Fpw per 9.3.5.5.2 (if applicable)</b>					984 lb (446 kg)



# TOLBrace™ Seismic Calculations

Proyecto Final de Graduación

Job #

Upala



Brace Identification	LAT-40 mm Inergen
Brace Type (Per NFPA#13)	NFPA Type B
Braced Pipe (ft)	2.5" Sch.40 Steel Pipe
Spacing of Brace	16' 6" (5.03 m)
Orientation of Brace	Lateral
Bracing Material	1" Sch.40
Maximum Brace Length	7' 0" (2.13 m)
Slenderness Ratio used for Load Calculation	200
True Angle of Brace for Calculation	45°
Type of Fastener	1/2 (12mm) Bolt
Length of Fastener	N/A

## Summary of Pipe within Zone of Influence

2.5" Sch.40 Steel Pipe (63.5 mm)	16.5 ft (5 m)
1.5" Sch.40 Steel Pipe (38.1 mm)	14 ft (4.3 m)

G-Factor Used 0.9

Allowance for Heads and Fittings 15%

### Conclusions

Total Adjusted Load of Pipe in Zone of Influence	187 lbs (85 kg)
Material Capacity	1310 lbs (594 kg)
Fastener Capacity	2050 lbs (930 kg)
Fig. 3000 Clamp	707 lbs (321 kg)
Fig.980 Universal Swivel	1425 lbs (646 kg)
Structural Member	Viga

Calculations prepared by UCR

\* The description of the Structural Member is for informational purposes only.  
 TOLBrace™ software calculates the brace assembly only, not the structure it is attached to.  
 Calculated with TOLBrace™ 8  
 Visit us at [www.tolco.com](http://www.tolco.com)

**Anexo I. Guía de disposiciones técnicas generales sobre seguridad humana y protección contra incendios en plantas hidroeléctricas.**

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ÉNFASIS EN SISTEMAS CONTRA INCENDIOS

**Guía de disposiciones técnicas  
generales sobre seguridad  
humana y protección contra  
incendios en plantas  
hidroeléctricas**

Versión 2020

## Contenidos

1. Introducción .....	3
2. Generalidades: .....	4
2.1. Objetivo general .....	4
2.2. Objetivos específicos .....	4
2.3. Definiciones.....	4
3. Requerimientos generales .....	5
3.1. Clasificación de la ocupación: .....	5
3.2. Clasificación del riesgo.....	7
3.3. Medios de egreso.....	7
3.4. Compartimentación .....	14
3.5. Iluminación de emergencia: .....	15
3.6. Señalización de los medios de egreso:.....	15
3.7. Detección y alarma de incendios: .....	15
4. Sistemas fijos de protección contra incendios: .....	17
4.2. Suministro de agua .....	17
4.3. Extintores portátiles.....	18
4.4. Hidrantes:.....	21
4.5. Conexión para uso del Cuerpo de Bomberos (siamesa de inyección): ....	22
4.6. Sistema de mangueras: .....	23
4.7. Bomba contra incendios.....	23
4.8. Tanque de abastecimiento.....	24
5. Áreas de peligro.....	24
5.1. Cuartos eléctricos.....	24
5.2. Cuarto de baterías:.....	27
5.3. Transformadores: .....	27
5.4. Transformadores de interiores.....	29
5.5. Contención y drenaje.....	29
5.6. Generadores.....	30
5.7. Sistema de control hidráulico.....	33
5.8. Trincheras (fosos) y devanados del generador .....	35
5.9. Sistemas de lubricación con aceites.....	36

5.10. Cojinetes del generador .....	37
6. Plantas no atendidas .....	37
7. Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles .....	38
8. Bodegas, oficinas y tiendas (shops) .....	39
9. Descargo de responsabilidad .....	40

## 1. Introducción

El presente documento es una guía basada en la normativa aplicable en Costa Rica que corresponde a la supresión de incendios en todas las instalaciones que son construidas después del reglamento a la Ley N°828 de Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica. En este documento en el Capítulo II se indica que la normativa señalada por Bomberos de Costa Rica debe ser considerada de aplicación obligatoria y se hace mención de adoptar por completo a las normas NFPA (Asociación Nacional de Protección Contra Incendios de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés) que es considerado un organismo internacional especializado en materia de prevención, seguridad humana y protección contra incendios.

A partir de las normativas de NFPA se hace mención específica a la norma NFPA 850: Práctica Recomendada para la Protección contra Incendios para Plantas de Generación Eléctrica y Estaciones Convertidoras de Corriente Directa de Alta Tensión, versión 2020; la cual establece los requerimientos básicos para la reducción de riesgos de incendio que se deberían de cumplir en las instalaciones de una planta hidroeléctrica, de modo tal que se cumpla con los grados de protección contra incendios de la NFPA como siguen:

- a. Protección de la vida.
- b. Protección de la propiedad.
- c. Continuidad de operación.
- d. Protección ambiental.
- e. Conservación del patrimonio histórico.

Esta guía establece secciones generales y se ha estructurado con el objetivo de facilitar al usuario su comprensión en el diseño del sistema de supresión de incendios de una planta hidroeléctrica, además que indican los requisitos que deben cumplir según la última versión en inglés de las normas NFPA (referirse al punto 9 de esta guía).

## **2. Generalidades:**

### **2.1. Objetivo general**

Brindar al diseñador los requerimientos mínimos para la elaboración de un sistema de supresión de incendios tanto pasivo como activo basado en la normativa NFPA, para aplicación en Costa Rica en las instalaciones de generación de energía eléctrica, específicamente a partir del recurso hídrico.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Diseñar las instalaciones de manera tal que se asegure la integridad estructural el tiempo necesario para evacuar y proteger a los ocupantes; y en caso de un siniestro no estén íntimamente relacionados con el desarrollo inicial de mismo.
- Diseñar de forma efectiva los sistemas contra incendios para mitigar el riesgo. Deben ser confiables y permanecer en el nivel óptimo de funcionamiento durante la afectación de un incendio u otra situación de emergencia, además de proveer la protección a la propiedad para reducir los daños en la propia infraestructura o edificios adyacentes; y así mantener la continuidad del negocio.
- Proporcionar a los bomberos y otros cuerpos de emergencia un ambiente seguro, condiciones y recursos adecuados para que puedan atender la emergencia de manera eficiente.
- Dar recomendaciones de prevención y control de peligros de incendio en plantas de generación hidroeléctrica, utilizando los criterios de la NFPA y Bomberos de Costa Rica para reducir el impacto del fuego.

### **2.3. Definiciones**

**Abertura vertical:** Una abertura a través de un piso o techo, pueden incluir elementos como escaleras, ascensores, montaplatos y transportadores inclinados y verticales.

**Compartimentación:** Un espacio dentro de un edificio que está rodeado por barreras contra incendios en todos los lados, incluidos la parte superior e inferior.

**Evacuación demorada:** Tiempo preestablecido que le tomará el personal en definir la magnitud del riesgo, los pasos a seguir, apagar los equipos y evacuar.

**Ocupación incidental:** Son consideradas parte de la ocupación predominante y deberán cumplir con los requisitos y disposiciones de esta. Las ocupaciones que se consideran incidentales, es decir, que forman parte de la ocupación predominante y estarán sujetas a las disposiciones de la NFPA 101 que se apliquen a la ocupación predominante son: uso mercantil, empresarial, industrial o de almacenamiento.

**Salida horizontal:** Un medio de paso de un edificio a un área de refugio en otro edificio en aproximadamente el mismo nivel, o un medio de paso a través o alrededor de una barrera contra incendios a un área de refugio en aproximadamente el mismo nivel en el mismo edificio que brinda seguridad contra fuego y humo proveniente del área de incidencia y áreas que comunican con el mismo. Las salidas horizontales no deben confundirse con la salida a través de puertas en barreras de humo. Las puertas en las barreras de humo están diseñadas solo para protección temporal contra el humo, mientras que las salidas horizontales brindan protección contra incendios graves durante un período de tiempo relativamente largo, además de brindar protección inmediata contra el humo.

### **3. Requerimientos generales**

#### **3.1. Clasificación de la ocupación:**

3.1.1. Para la clasificación de la ocupación vea NFPA 101 Código de seguridad humana Capítulo 40, es importante recalcar que para el capítulo 3 de esta guía se hace referencia a los apartados de la NFPA 101 versión 2018.



- 3.1.2. En una planta de generación eléctrica pueden existir diferentes recintos que pueden cumplir funciones muy específicas, técnicas e industriales o muy simples, de uso común o de trabajo de oficina (no industrial), por lo que se pueden considerar varias ocupaciones dentro del conjunto de recintos o cuartos que conforman una instalación de este tipo.
- 3.1.3. Por su ubicación, que generalmente es una región rural o cercana a un río, además del tipo de equipo eléctrico y mecánico de índole industrial que se necesita en estas instalaciones, se considera que la infraestructura en ellas es diseñada y construida para estos fines específicos y no es probable que sean utilizadas con otro fin. Por estas razones que contemplan magnitudes de corriente y caída de voltaje altas y peligrosas, equipo específico para dichas condiciones de operación y una poca densidad de personal, las áreas industriales de una planta hidroeléctrica se deberían clasificar como ocupación industrial de propósito especial. (40.1.2.1.2 NFPA 101 2018) (5.2.1 NFPA 850 2020)
- 3.1.4. Las áreas de oficinas y zonas comunes pueden clasificarse como de ocupación de negocios, mientras que los recintos de bodegas deben ser considerados como de ocupación de almacenamiento. (5.2.1 NFPA 850 2020)
- 3.1.5. Para todas estas ocupaciones que se pueden presentar dentro de las instalaciones es importante sean separadas por muros corta fuego que permitan que las ocupaciones estén compartimentadas, para impedir la propagación de un incendio, la seguridad del personal y limite la afectación a toda la planta por lo que permite que puedan considerarse sistemas de supresión en cada una de ellas por separado. (5.1.1.1 NFPA 850 2020)

**Cuadro 3.1.** Resumen de la clasificación de la ocupación según la NFPA 101.

Zona	Clasificación de ocupación	Capítulo de NFPA 101
<b>General</b>	Industrial de propósitos especiales	40
<b>Oficinas</b>	Negocio	38-39
<b>Almacenamiento</b>	Almacenamiento	42

### 3.2. Clasificación del riesgo

3.2.1. En la normativa de NFPA es importante tomar en cuenta que la norma que se consulte indicará el tipo de riesgo al cual se le asigna un tipo de diseño recomendado como por ejemplo como se indica a continuación.

**Cuadro 3.2.** Clasificación del riesgo de los contenidos de la ocupación según NFPA 101, 2018.

Zona	NFPA 101	Apartado NFPA 101
General	Ordinario	6.2.2.3
Oficinas	Ordinario	6.2.2.3
Almacenamiento	Ordinario	6.2.2.3

**Cuadro 3.3.** Clasificación del riesgo según la ocupación y NFPA 13, 2019.

Zona	NFPA 13	Apartado NFPA 13
General	Ordinario Grupo II	4.3.4
Oficinas	Leve	4.3.2
Almacenamiento	Almacenamiento	Capítulo 20

**Cuadro 3.4.** Clasificación del riesgo según la ocupación y NFPA 10, 2018.

Zona	NFPA 10	Apartado NFPA 10
General	Extra	5.4.1.3
Oficinas	Leve	5.4.1.1
Almacenamiento	Extra	5.4.1.3

### 3.3. Medios de egreso

3.3.1. Todos los medios de egreso de los clasificados como riesgo industrial deberían de cumplir primordialmente con los requisitos establecidos en el capítulo 40 de ocupaciones industriales de la NFPA 101 (2018) además de cumplir con las partes aplicables del capítulo 7.

3.3.2. Los ductos enterrados o sobre nivel de piso que están destinados exclusivamente al paso de tuberías y cableado, que normalmente no están

ocupados y se encuentra asegurados para evitar el acceso no autorizado, no requieren cumplir con el capítulo 7 de la NFPA 101.

### 3.3.3. Componentes de los medios de egreso:

- a. Puertas: se permiten si cumplen con 7.2.1.
- b. Escaleras (gradas): se permiten si cumplen con 7.2.2, se permiten escaleras de materiales no combustibles, escaleras de acceso a equipos industriales que cumplan con 40.2.5.3 y escaleras en espiral que cumplan con 7.2.2.2.3.
- c. Recintos certificados contra humo: no son obligatorios, pero si se colocan deben cumplir con 7.2.3.
- d. Salidas horizontales: no son obligatorias, pero si se colocan deben cumplir con 7.2.4.
- e. Rampas: se permiten si cumplen con 7.2.5 y las de acceso a equipo industrial cumplir con 40.2.5.2.
- f. Pasadizos de salida: se permiten si cumplen con 7.2.6.
- g. Escaleras y pasarelas automáticas: se permiten si cumplen con 7.2.7.
- h. Escaleras para escape de incendio (gradas): se permiten si cumplen con 7.2.8.
- i. Escaleras para escape de incendio (verticales): se permiten si cumplen con 7.2.9.
- j. Toboganes de escape: deben ser listados y se permiten si cumplen con 7.2.10.
- k. Escalera metálica de huella alternada (tread device): se permiten si cumplen con 7.2.11.
- l. Áreas de refugio: se permiten si cumplen con 7.2.12.

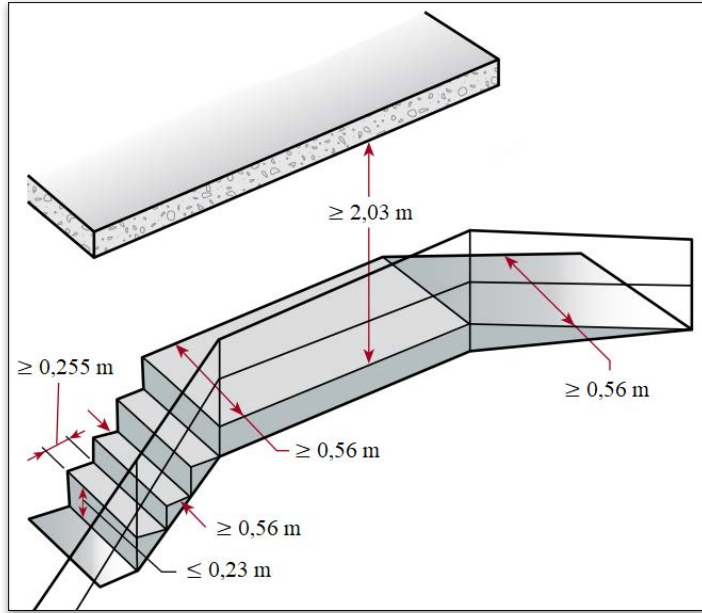
3.3.4. El factor de carga de ocupantes se debe de tomar de la tabla 7.3.1.2 de NFPA 101, donde se indica que para esta ocupación no aplica y por lo tanto se extrae que para la ocupación industrial de propósitos especiales se debe utilizar la cantidad máxima de personas que se espera en las instalaciones. Para este caso se utiliza entonces el ancho prescriptivo indicado en NFPA y en la ley 7600 (el que resulte más restrictivo).

3.3.5. Tanto las rampas como las escaleras deben cumplir con los anchos mínimos prescriptivos para cada ocupación que se describa dentro de las instalaciones y determinadas en 3.2.9 lo cuales están especificados por NFPA que corresponden a los observados en el Cuadro 3.5.

**Cuadro 3.5.** Dimensiones mínimas prescriptivas para elementos de seguridad humana.

Ocupación	Industrial Propósito Especial (mm)	Negocios (mm)	Almacenamiento (mm)	Referencia
Ancho mínimo prescriptivo de escaleras (mm)	915	915	915	NFPA 101
Ancho mínimo prescriptivo de vanos de puertas (mm)	900	900	900	Ley 7600
Rampas (mm)	1120	1120	1120	NFPA 101

3.3.6. Por otro lado, también se hace énfasis en las escaleras, rampas y plataformas utilizadas para acceso a equipos industriales y se permiten escalones y pisos de descansos enrejados no combustibles con dimensiones prescriptivas con un mínimo de 0,56 m de ancho para rampas, plataformas y gradas, además de máximo 0,23 m de altura en escalones y 0,255 m de profundidad como se observa en la ilustración 3.2.



**Ilustración 3.1.** Dimensiones mínimas de accesos a equipos industriales.  
Fuente: NFPA 101

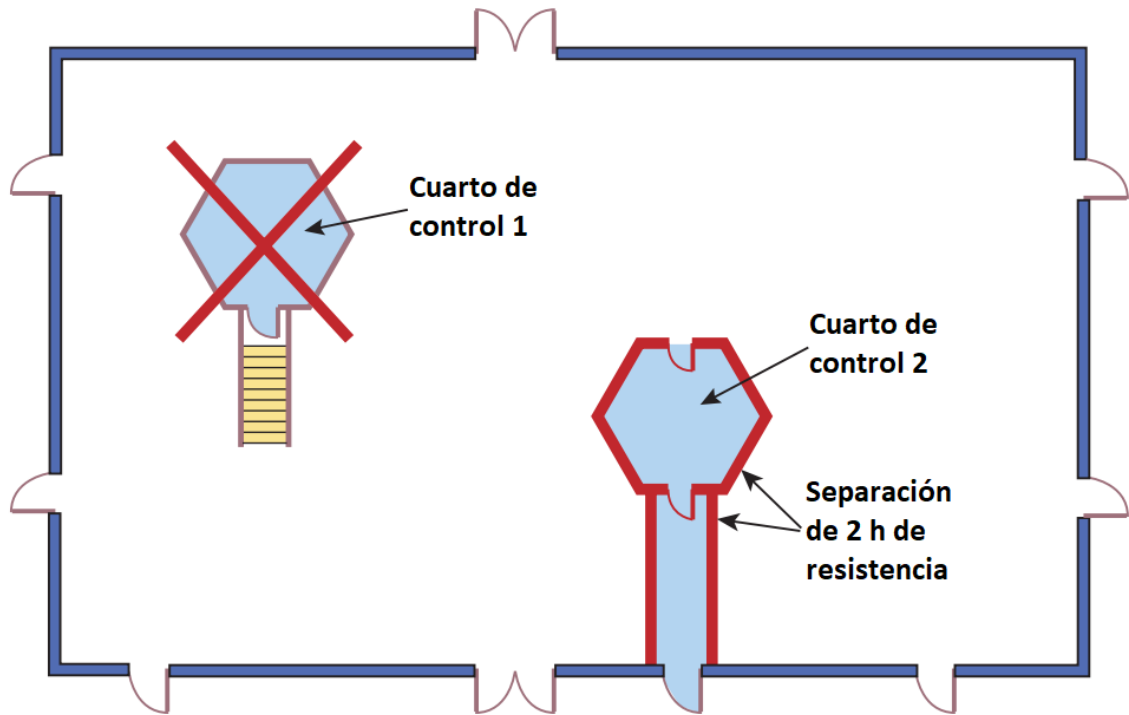
- 3.3.7. Cada nivel o sector debería contar con al menos dos medios de egreso y al menos una salida que no tenga que atravesar otro nivel o sector.
- 3.3.8. Todas las distancias que solicita la normativa NFPA en los elementos arquitectónicos para la seguridad humana que deben cumplir las instalaciones de ocupación industrial con propósito especial se indican en el cuadro 3.6.

**Cuadro 3.6.** Distancias de elementos de Seguridad Humana.

Descripción	Distancia (m)	
	Sin rociadores	Con rociadores
Pasillo sin salida	15	15
Recorrido común	15	30
Máximo recorrido total hasta salida	91	122

Fuente: NFPA 101H 2018.

- 3.3.9. La NFPA 101 permite una ampliación de la distancia de recorrido común para los cuartos mecánicos como se menciona a continuación:
- a. Se amplía a 30 m siempre que se cumpla cualquiera de estas opciones: edificios que cumplan con un sistema aprobado y supervisado de rociadores, cuartos mecánicos que no posean equipo que involucre una combustión de combustible y en instalaciones existentes.
  - b. Se amplían a 46 m en un edificio existente siempre que se cumplan todas las siguientes opciones: edificios que cumplan con un sistema aprobado y supervisado de rociadores, cuartos mecánicos que no posean equipo que involucre una combustión de combustible, el medio de egreso que es fácilmente identificable.
- 3.3.10. El cuarto de control siempre está habitado por una persona capacitada para poder tener un monitoreo total de los equipos y tener la facilidad de operarlos. Esto conlleva a que se den procedimientos definidos en caso de un incendio donde en muchos casos implica el hacer un apagado de los equipos para evitar una propagación hacia las instalaciones u otros equipos. Esto implica a una evacuación demorada del recinto en caso de un incendio, por lo que la norma NFPA hace énfasis en cuál es la forma correcta del medio de egreso que permitiría la seguridad del personal en este caso específico. Se especifica que deben existir 2 egresos del cuarto para evitar que sean comprometidos ambos por un mismo incendio.
- 3.3.11. En el caso que se espere una evacuación demorada del recinto el mismo deberá tener una compartimentación por un muro cortafuego con una clasificación de 2 horas de resistencia. Para los recintos nuevos es necesario también que uno de los dos medios de egreso cuente con una protección de 2 horas de la ocupación industrial de propósitos especiales. En la Ilustración 3.2 tomada de la NFPA 101 2018 se pueden observar 2 tipos de cuartos de control, y solo el cuarto de control 2 cumple con las consideraciones mencionadas en 3.2.9 y 3.2.10.



**Ilustración 3.2.** Ejemplo de compartimentación de cuartos de control.  
Fuente: NFPA 101H 2018.

- 3.3.12. La descarga a la salida debe de cumplir con 7.7.
- 3.3.13. Los medios de egreso deben estar iluminados siguiendo la sección 7.8 o por medios de luz natural para instalaciones que solo trabajan de día.
- 3.3.14. Las luces de emergencia en los medios de egreso deben cumplir con 7.9 y pueden ser omitidas siempre que se cumpla alguno de los siguientes casos:
  - a. Ocupaciones de riesgo industrial con propósitos especiales sin habitación humana.
  - b. Cuando se dé un uso solamente de día que tengan tragaluces o ventanas que permitan la visualización de los egresos durante estas horas.
- 3.3.15. La rotulación de los medios de egreso debe cumplir con 7.10.
- 3.3.16. Si se almacenan materiales peligrosos se debe cumplir con 7.12.2.
- 3.3.17. En el caso de existir aberturas verticales que no tengan protección contra incendios y los cuales sean necesarios para el proceso de producción eléctrica la norma permite que excedan los límites especificados siempre

- que cada nivel que conecte esa abertura tenga acceso a una o más escaleras de emergencia compartimentadas. En cualquier otro caso deberían cumplir con la protección indicada en 8.6.
- 3.3.18. Se permite omitir la protección de escaleras y rampas abiertas aprobadas y de las escaleras mecánicas aprobadas que conecten solamente 2 niveles, para edificios de generación eléctrica existentes y que ya haya sido revisado bajo la normativa nacional. En caso de conectar más de dos niveles estos elementos deberán ser compartimentadas o protegidas.
- 3.3.19. Se debe considerar iluminación de emergencia donde las operaciones requieran de luz para realizar un apagado de los sistemas de manera ordenada, mantener servicios críticos o realizar un encendido controlado y seguro después de un fallo de energía.
- 3.3.20. Se debe proveer sistemas de supresión automáticos, supervisados y aprobados para proteger la vida de los ocupantes en especial cuando existan riesgos de explosión y tengan que utilizar los medios de egreso (como por ejemplo un egreso retardado) debe cumplir 9.7. La activación de este sistema de supresión debe de iniciar la alarma de incendio.
- 3.3.21. Si algún recinto cumple lo estipulado por el punto anterior 3.3.21 de esta guía, se permite que no tenga que cumplir con la compartimentación del espacio de manera que sea resistente al humo como lo pide 8.7.1.2.
- 3.3.22. Acabados interiores deben cumplir 10.2, las paredes y cielos deben ser clase A, B o C en áreas operativas y en cerramientos de salida según 7.1.4. Los pisos en cerramientos de salida deben ser clase I o II según 10.2.7.4 los demás no deben cumplir algo específico.
- 3.3.23. Los corredores en ocupaciones industriales no deben cumplir con 7.1.3.1, pero en las instalaciones nuevas todos los corredores que sirvan a más de 30 personas deben tener 1 hora de resistencia al fuego que los separe de otras partes del edificio o recinto y con aberturas que tengan puerta clasificada para protección de 20 min del fuego. (40.3.6)



- 3.3.24. Equipo de HVAC debe cumplir con 9.2, Elevadores, o transportadores eléctricos, (gradas o escaleras), deben cumplir con 9.4, ductos de desecho, incineradores o de lavandería deben cumplir con 9.5.
- 3.3.25. Las puertas de los medios de egreso deben inspeccionarse siguiendo 7.2.1.15 si poseen algún herraje antipánico o algún mecanismo eléctrico o especial de cierre, ya que como no son utilizadas con frecuencia se pueda comprobar su buen funcionamiento en caso de un incendio.
- 3.3.26. Es importante considerar que la ley 7600 (Reglamento ley de igualdad de oportunidades para personas con discapacidad) hace una indicación hacia todos los accesos a espacios físicos que deben de cumplir las dimensiones mínimas para que se considere un acceso para personas con discapacidad, el cual indica un ancho mínimo de las puertas de 0,9 m que es importante cumplir como normativa nacional. Esto a la hora de definir la dimensión de una puerta de medio de egreso.

### **3.4. Compartimentación**

- 3.4.1. Las plantas de generación hidroeléctrica deberían de subdividirse en áreas de incendio separadas por barreras aprobadas, para limitar la propagación del incendio, proteger al personal y disminuir el daño consecuencial resultante para la planta.
- 3.4.2. Los siguientes espacios deben separarse como áreas de incendio independientes:
- a. Cuartos de cables y túneles de cables y barrajes de conducción de alto voltaje.
  - b. Cuarto de control, sala de computadores, o sala combinada de control/computadores.
  - c. Cuartos con alta concentración de equipo eléctrico, tales como el cuarto de mecanismos de control y relevo.
  - d. Cuarto de baterías y cargadores de baterías.

- e. Cuartos de telecomunicaciones, cuartos de control supervisor, cuartos de adquisición de información, cuartos de unidades terminales remotas de áreas adyacentes.
  - f. Talleres y áreas de mantenimiento.
  - g. Bombas contra incendio.
  - h. Almacenes y bodegas.
  - i. Entre generadores de emergencia y de áreas adyacentes.
  - j. Bombeo de aceite combustible, instalaciones de calentamiento de aceite combustible, o ambas.
  - k. Áreas de almacenaje para tanques y contenedores de líquidos inflamables y combustibles.
  - l. Edificios de oficinas.
- 3.4.3. Las áreas de fuego deben separarse de estructuras adyacentes por muros cortafuego de alto desafío con una resistencia al fuego mínimo de 2 horas.
- 3.4.4. Los transformadores exteriores deben separarse de estructuras adyacentes y de otros transformadores por muros cortafuego de alto desafío con una resistencia al fuego mínimo de 3 horas. En el apartado 5.3 de esta guía se profundiza más este punto.

### **3.5. Iluminación de emergencia:**

- 3.5.1. Los medios de egreso y áreas críticas de operación de la planta deberían de contar con iluminación de emergencia.

### **3.6. Señalización de los medios de egreso:**

- 3.6.1. La señalización debería estar conforme la sección 7.10 de la NFPA 101.

### **3.7. Detección y alarma de incendios:**

- 3.7.1. Se recomienda colocar sistemas de detección y alarma de incendio conforme se indica en la NFPA 72.
- 3.7.2. Se requiere sistema de alarma de incendio en todas las instalaciones a menos que la carga total de ocupantes sea menor a cien personas y, a menos que, más de veinticinco de estas cien personas estén por debajo o por encima del nivel de descarga de la salida.

- 3.7.3. La activación del sistema de alarma debe ser mediante alguna de las siguientes maneras:
- a. Medios manuales siguiendo 9.6.2.1 (1) de la NFPA 101.
  - b. Sistema automático de detección de incendio aprobado cumpliendo 9.6.2.1(2) de la NFPA 101 y mínimo una estación manual de activación de alarma.
  - c. Un sistema aprobado y supervisado de rociadores automáticos cumpliendo 9.6.2.1(3) de la NFPA 101, con mínimo una estación manual de activación.
- 3.7.4. La notificación del sistema de alarma debe proveer notificación a todos los ocupantes cumpliendo con 9.6.3 y debe tener tanto señal audible como visible en los lugares que tengan ocupación de personas permanente.
- 3.7.5. En la NFPA 101 en 9.6.2.4 indica que es necesario colocar una estación manual de activación de alarma en ambos lados de una puerta o grupo de puertas que tengan más de 12,2 m de ancho y a 1,525 m máximo del extremo de cada puerta.
- 3.7.6. NFPA 101 en 9.6.2.5 indica que se deben colocar estaciones manuales de activación de alarma de tal manera que no se deba recorrer una distancia de recorrido horizontal mayor a 61 m desde ninguna parte del edificio.
- 3.7.7. Todas las estaciones manuales deben estar accesibles, sin obstrucciones y visibles.
- 3.7.8. La notificación en el centro de control (donde se ubique el panel de alarma principal) debe ser de tipo audible y visible.

#### **4. Sistemas fijos de protección contra incendios:**

- 4.1. Los sistemas fijos de protección contra incendios deberían diseñarse para todas las áreas más críticas determinadas por el análisis del riesgo, y deben ser instalados de manera que cumpla con las siguientes normas:
- a. NFPA 10: Norma para extintores portátiles contra incendios. Versión 2018.
  - b. NFPA 12. Norma sobre Sistemas de Extinción de Dióxido de Carbono. Versión 2018.
  - c. NFPA 13: Norma para la Instalación de Sistemas de Rociadores. Versión 2019.
  - d. NFPA 14: Norma para la instalación de Sistemas de Montantes y Mangueras. Versión 2019.
  - e. NFPA 15. Norma para Sistemas Fijos de Agua Pulverizada para protección Contra Incendios. Versión 2018.
  - f. NFPA 20: Norma para la Instalación de Bombas Estacionarias para protección contra incendios. Versión 2019.
  - g. NFPA 24: Norma para la instalación de tubería para servicio privado de incendios y sus accesorios. Versión 2019.
  - h. NFPA 30: Código de Líquidos Inflamables y combustibles. Versión 2018.
  - i. NFPA 2001. Norma sobre Sistemas de Extinción mediante Agentes Limpios. Versión 2018.

#### **4.2. Suministro de agua**

- 4.2.1. Todo sistema de supresión a base de agua debe de cumplir con la capacidad mínima de 2 h de suministro de agua como se indica en la NFPA 850 para todas las opciones que se mencionan a continuación:
- a. El sistema de supresión de incendio que demande la mayor cantidad de agua.
  - b. Cualquier sistema de supresión de incendios que se espere trabaje de manera simultánea con algún otro sistema de supresión.

- c. La cantidad de agua demandada por mangueras no menor a 31,55 l/s (500 gpm)
  - d. Uso incidental del agua para sistemas no utilizados para supresión de incendios.
- 4.2.2. Al menos 1 suministro de agua para un sistema de supresión debe de considerarse confiable, esto quiere decir que no tenga la posibilidad de fallar en caso de un siniestro. Algunos de los suministros potenciales son: tanques de agua, estanques de agua, ríos, suministros municipales y las cuencas de las torres de enfriamiento.
- 4.2.3. Debe de existir dos suministros de agua como mínimo, si solo existiera una fuente confiable, deberían de existir dos conexiones a dicha fuente que permita funcionar cualquier sistema de supresión a menos que el otro presente una falla.
- 4.2.4. No se puede utilizar las tuberías de presión de las plantas hidroeléctricas como fuente confiable, al menos que se garantice que esta va a tener un caudal de agua en caso que se presente un siniestro.
- 4.2.5. Los tanques utilizados en el sistema de supresión deben de cumplir con la capacidad mínima de 2 horas de volumen para suministrar el caudal necesario para cualquiera que fuere el suministro determinado en el apartado 4.1.1 de este manual.
- 4.2.6. En el caso de que se utilice un tanque de agua como suministro del sistema de supresión se debe de llenar el volumen total de 2 horas en un máximo de 8 horas.

### **4.3. Extintores portátiles**

El sistema de extintores que se instale debe cumplir con el Manual de Disposiciones en Seguridad Humana del Benemérito Cuerpo de Bomberos y la NFPA 10.

- 4.3.1. Todo extintor debe de rotularse de la siguiente manera:
- a. Identificación de la organización de listado y etiquetado.
  - b. Categoría del producto indicando el tipo de extintor.

- c. La clasificación del extintor según se indica en 5.3 de la NFPA 10-2018.
  - d. Estándares de incendios y desempeño que el extintor cumple y supera.
- 4.3.2. Todo extintor debe de incluir un etiquetado con la siguiente información:
- a. El nombre del agente extintor según se indica en la hoja de seguridad combustible.
  - b. Listado de las sustancias dañinas siguiendo el HMIS.
  - c. Listado de cualquier sustancia peligrosa que exceda 1%.
  - d. Listado de cualquier sustancia que exceda un 5%.
  - e. Información de lo que resulta dañino en las sustancias de acuerdo a la hoja de seguridad del combustible.
  - f. Nombre del fabricante y sus contactos.
- 4.3.3. La selección del sistema de extintores debe ser una consideración independiente si el edificio tiene o no cualquier otro sistema de supresión.
- 4.3.4. Todos los extintores que se coloquen deben ser listados para extinguir el tipo de incendio al cual serán asociados.
- 4.3.5. El uso de extintores de tipo gas halogenado o agente limpio debe ser únicamente para el caso de este uso de sistemas con tal de evitar el riesgo de daño en equipos importantes.
- 4.3.6. Se puede considerar el uso de extintores con ruedas para la protección de un riesgo que cumpla con las siguientes consideraciones:
- a. Áreas de alto riesgo
  - b. El personal presente es poco, por lo que se puede requerir de un extintor lo siguiente: alto caudal, incrementar el alcance del agente extintor, incrementar la cantidad de agente necesaria.
- 4.3.7. NFPA 10 clasifica los riesgos de incendio de la siguiente manera:
- a. Riesgo leve: recintos donde la cantidad de combustible en el recinto de clase A y B es baja y genera bajas cantidades de energía en forma de calor en caso de un incendio. (generalmente cuando existe menos de 3,78 L (1 gal) de combustible tipo B y más elevadas cantidades de clase A)

- b. Riesgo Ordinario: recintos donde la cantidad de combustible en el recinto de clase A y B es moderada y genera moderadas cantidades de energía en forma de calor en caso de un incendio. (generalmente cuando existe de 3,78 L (1 gal) a 18,9 L (5 gal) de combustible tipo B y solo ocasionalmente contienen combustibles clase A)
  - c. Riesgo Extra: recintos donde la cantidad de combustible en el recinto de clase A y B es alta y genera altas cantidades de energía en forma de calor en caso de un incendio. (generalmente cuando existe más de 18,9 L (5 gal) de combustible tipo B y se almacenan, confeccionan o empacan elementos combustibles clase A)
- 4.3.8. Es importante considerar todos los tipos de incendios que pueden ocurrir en una planta hidroeléctrica, considerando las ocupaciones mencionadas en el Cuadro 3.1 se deben de tomar en cuenta extintores para fuegos clase A para oficinas y áreas comunes, fuegos clase B para equipos industriales que requieran aceites derivados del petróleo y equipos que ocupen alguna combustión de combustible derivado del petróleo, por último, fuegos clase C en las áreas que existan equipos de energía eléctrica.
- 4.3.9. También se permite el uso de extintores clase ABC de 4,54 kg con una distancia de recorrido máxima de 15 m y baterías de extintores de agua presurizada de 9,7 L y extintores de CO<sub>2</sub> de 4,54 kg con una distancia de recorrido máxima de 23 m siguiendo el apartado 3.6.2 del Manual de disposiciones técnicas generales sobre seguridad humana y protección contra incendios versión 2013.
- 4.3.10. Siguiendo las disposiciones del cuerpo de bomberos y NFPA 10 se debe cumplir una altura de instalación de cualquier extintor de un máximo de 18 kg en 1,25 m desde su manija de activación. Si el extintor tiene un peso mayor a 18 kg debe estar colocado a un máximo de 1,07 m desde nivel de piso terminado y la manija de activación. En ambos casos deben cumplir un mínimo de 0,1 m desde el fondo del extintor hasta nivel de piso.
- 4.3.11. Todos los extintores deben estar ubicados en rutas de transito normal de personas y deben ser visibles en todo momento, de no poder cumplirse su

visibilidad deben de incluirse señales u otro medio que distinga su ubicación.

- 4.3.12. Los extintores que estén ubicados en lugares donde pueden sufrir algún daño físico como vibración o por condición ambiental, debe ser protegido contra ese daño.
- 4.3.13. Queda a criterio del diseñador del sistema de protección contra incendios el uso o no de gabinetes para la ubicación de extintores, en caso de usarse no debe estar con seguro a menos que tenga el riesgo de ser violentado o de sufrir un uso indebido.
- 4.3.14. Para un análisis más específico del sistema de extintores para proteger un recinto como mantenimiento, recarga, medidas correctivas, entre otros, referirse a la NFPA 10.

#### **4.4. Hidrantes:**

- 4.4.1. Los hidrantes deben cumplir con la Ley N° 8641 y su reglamento decreto ejecutivo N° 35206-MP-MINAET, con las normas NFPA 1, NFPA 291, NFPA 850, NFPA 1142. Y con cualquier otra reglamentación técnica que emita el Benemérito Cuerpo de Bomberos.
- 4.4.2. Los hidrantes para ocupaciones industriales deben cumplir con lo estipulado en el Manual de disposiciones técnicas generales sobre Seguridad Humana y Protección Contra Incendios versión 2013, y con los siguientes puntos.
- 4.4.3. Los hidrantes deben ser certificados, por un Organismo de Certificación de Producto acreditado por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) u otro organismo de acreditación con reconocimiento internacional para organismos de certificación de producto (UL, FM o similar).
- 4.4.4. La conexión de tubería nueva para abastecimiento de hidrantes debe de ser de un diámetro igual o mayor a 150 mm (6 pulgadas). En caso que sea existente, la conexión puede ser de un diámetro igual o mayor a 100 mm (4 pulgadas).
- 4.4.5. El espaciamiento de los hidrantes, en caso de que la planta se encuentre en áreas remotas deben cumplir con una distancia de espaciamiento entre



ellos **de 152,4 m (500 pies) por la norma NFPA 850 o 180 m (590 pies) por la norma NFPA 24.**

- 4.4.6. Cada hidrante debe estar equipado con una válvula de cierre separada ubicada en la conexión de derivación a la red de suministro.
- 4.4.7. Los hidrantes deben estar ubicados a no menos de 12 metros (40 pies) del edificio a proteger.
- 4.4.8. La presión residual de cada hidrante debe ser no menor a 1,41 kg/cm<sup>2</sup> (20 psi).
- 4.4.9. La tasa de flujo requerida en los hidrantes será de 63,09 l/s (1000 GPM) cuando den cobertura a la ocupación industrial.
- 4.4.10. El volumen del tanque debe contar con una reserva mínima de agua contra incendios de 114 m<sup>3</sup> (30100 galones) para ocupación industrial.

#### **4.5. Conexión para uso del Cuerpo de Bomberos (siamesa de inyección):**

- 4.5.1. Las siamesas de inyección para ocupaciones industriales deben cumplir con lo estipulado en el Manual de disposiciones técnicas generales sobre Seguridad Humana y Protección Contra Incendios versión 2013, y con los siguientes puntos.
- 4.5.2. Las siamesas de inyección deben ser visibles y reconocibles desde la calle o estar ubicadas cerca del punto de acceso de las unidades del Cuerpo de Bomberos.
- 4.5.3. Se debe colocar dos siamesas de inyección si el perímetro del edificio supera los 274,3 m (900 pies), deben estar localizadas en esquinas opuestas del edificio cuando sea posible el acceso para el departamento de bomberos y su equipo, de no ser posible, se deben colocar físicamente separado lo más viable.
- 4.5.4. Las siamesas de inyección deben estar ubicadas a 30 m (100 pies) o menos de un hidrante público u otro suministro de agua aprobada por la autoridad con jurisdicción.

#### **4.6. Sistema de mangueras:**

- 4.6.1. Los sistemas de mangueras para ocupaciones industriales deben cumplir con lo estipulado en el Manual de disposiciones técnicas generales sobre Seguridad Humana y Protección Contra Incendios versión 2013, y con los siguientes puntos.
- 4.6.2. Para la ocupación industrial se solicita un sistema de tomas Clase III conformado por tomas con mangueras de 38 mm (1½ pulgadas) para el uso de los ocupantes del edificio y salidas de 64 mm (2½ pulgadas) para el uso de bomberos.
- 4.6.3. La tasa de flujo requerida en las tomas será de 15,77 l/s (250 GPM) en cada una.
- 4.6.4. El sistema de tomas debe ser capaz de suministrar al menos 31,55 l/s (500 GPM) y mantener una presión residual de 7,03 kg/cm<sup>2</sup> (100 psi) en las dos tomas más críticas o distantes.

#### **4.7. Bomba contra incendios.**

- 4.7.1. Las bombas contra incendios para ocupaciones industriales deben cumplir con lo estipulado en el Manual de disposiciones técnicas generales sobre Seguridad Humana y Protección Contra Incendios versión 2013, la NFPA 20 y con los siguientes puntos.
- 4.7.2. Cuando se requiera de un suministro de agua contra incendio este debe proveerse mediante una bomba contra incendios.
- 4.7.3. Puede sustituirse una bomba contra incendios mediante un tanque elevado u otra reserva por gravedad, con reserva exclusiva para el sistema contra incendios y previa autorización de la autoridad competente.
- 4.7.4. El cuarto de máquinas debe separarse 15 metros de los edificios, sin embargo, se permite que el cuarto de máquinas esté a menos de 15 metros de los edificios, siempre que tenga una barrera cortafuego con una resistencia al fuego de 2 horas entre la casa de máquinas y el edificio.

## **4.8. Tanque de abastecimiento.**

- 4.8.1. Los tanques de abastecimiento contra incendios para ocupaciones industriales deben cumplir con lo estipulado en el Manual de disposiciones técnicas generales sobre Seguridad Humana y Protección Contra Incendios versión 2013, la NFPA 22 y con los siguientes puntos.
- 4.8.2. El suministro de agua debe ser suficiente para abastecer el mayor de los valores mencionados en el apartado 4.2.1. de esta guía por al menos 2 horas.

## **5. Áreas de peligro**

### **5.1. Cuartos eléctricos**

- 5.1.1. NFPA 13 en su apartado 9.2.6 indica que todos los cuartos eléctricos deben llevar sistema de rociadores excepto cuando se cumpla con todos los siguientes casos:
  - a. El cuarto está dedicado únicamente para equipo eléctrico,
  - b. Solo se utiliza equipo eléctrico de tipo seco.
  - c. Todo el equipo está instalado dentro de un recinto con una protección contra el fuego de 2 horas, incluyendo la protección de aberturas.
  - d. No se permite el almacenado de elementos combustibles dentro del cuarto.
- 5.1.2. Todos los cuartos de control, telecomunicaciones y de computadoras deben de cumplir con la NFPA 75.
- 5.1.3. El equipo de aire acondicionado del cuarto de control debe ser diseñado de tal manera que se genere una presión positiva para evitar que un incendio fuera del cuarto permita el ingreso de humo al cuarto.
- 5.1.4. Todos deben de contar con sistema de detección de humo incluyendo equipo que tenga acceso de personas (walk in type), en entre cielos que tengan materiales combustibles y por debajo de pisos falsos.
- 5.1.5. Se debe colocar detección de humo en todos los cuartos eléctricos, en sobrecielos si existen elementos combustibles, y en trincheras o pisos falsos. Si las trincheras o pisos falsos solo tienen cableado en tubería tipo conduit

en su interior y no se utilizan plenums de retorno de aire acondicionado puede omitirse su detección.

5.1.6. NFPA genera recomendaciones sobre sistemas que se pueden utilizar en la protección de cuartos eléctricos o de telecomunicaciones como se menciona a continuación:

- a. Sistema de rociadores automáticos.
- b. Sistema de agua pulverizada.
- c. Sistema de pre acción.
- d. Sistema de inundación con agente gaseoso, se recomienda utilizarse en pisos falsos, trincheras y en entre cielos que tengan cableado, o en áreas donde los equipos sean considerados de importancia para la generación de electricidad o tengan un valor económico considerable.
- e. Protección individual de equipos o de gabinetes de equipos pueden ser considerados en caso de no existir un sistema de supresión por inundación total.

5.1.7. Para el caso de las trincheras o conductos que pasen cableado por las instalaciones y por los cuartos se recomienda por NFPA que para el cuarto de control únicamente lleguen los cables que finalicen su recorrido en ese cuarto.

5.1.8. Los sistemas de detección y alarma deben de tener notificación en todos los cuartos que tengan una ocupación constante de personas.

5.1.9. Todos los conductos o trincheras deben estar protegidos por un sistema de rociadores, agua pulverizada, agua nebulizada o por un agente gaseoso. Si se utilizan rociadores debe cumplir con una densidad de 12,2 mm/min (0,30 gpm/pies<sup>2</sup>) para un área mayor a 232 m<sup>2</sup> (2500 pies<sup>2</sup>) o para el conducto de 30 m (100 pies) más remoto para un área de conducto mayor a 232 m<sup>2</sup> (2500 pies<sup>2</sup>).

5.1.10. Se recomienda que los conductos y trincheras de cableado deberían llevar un sistema de detección temprana de incendios.

5.1.11. Todos los cables deben tomar en consideración el uso de aislante retardante del fuego como los que se indican en la norma IEEE-1202. Para el caso de

cables que estén configurados en conjunto siempre deben ser diseñados y configurados en su ruta alejándose de posibles riesgos de incendios como líquidos inflamables o combustibles.

5.1.12. Los cuartos de baterías deberían tener un sistema de extracción que permita limitar la concentración de hidrógeno en un 1% del volumen del recinto.

5.1.13. Elementos que hay que tomar en consideración para el diseño por inundación total por agente limpio o gaseoso son los siguientes:

- a. Volumen del cuarto efectivo (sin elementos estructurales como columnas y vigas).
- b. Temperaturas: máxima, mínima y promedio del recinto a proteger.
- c. Altitud sobre nivel del mar.
- d. Concentración mínima de agente limpio, se debe escoger según sea el caso que se presente, por ejemplo, para riesgos eléctrico la concentración mínima es la indicada en el Cuadro 5.1. Por NFPA 2001.

**Cuadro 5.1.** Concentraciones mínimas de agente limpio para supresión según NFPA 2001

Tabla A.5.4.2.2(b) Concentraciones mínimas de diseño y extinción para llama Clase A y B Ensayos según UL 2166 y UL 2127

Agente	MEC Clase A	Concentración mínima de diseño Clase A	Concentración mínima de diseño Clase C	MEC Clase B	Concentración mínima de diseño Clase B
FK-5-1-12	3,5	4,5	4,7	4,5	5,9
HFC-125	6,7	8,7	9,0	8,7	11,3
HFC-227ea	5,2	6,7	7,0	6,7	8,7
HFC-23	15,0	18,0	20,3	15,0*	19,5
IG-541	28,5	34,2	38,5	31,25	40,6
IG-55	31,6	37,9	42,7	30,1	39,1
IG-100	31,0	37,2	41,9	33,6	43,7

NOTA: Se debe tomar en cuenta que para cuando existe equipo eléctrico que maneje un potencial de energía eléctrica mayor a 480 V se deben de considerar otras concentraciones de diseño, para lo cual NFPA no hace mención por lo que se recomienda verificar esta concentración en la norma de FM en las cuales se hace alusión a las concentraciones para algunos agentes limpios.

5.1.14. Cuando se utilice un sistema de supresión de agente gaseoso debe cumplir con NFPA 12, NFPA 12A, NFPA 2001 y las indicaciones del fabricante.

5.1.15. Se recomienda que todos los cuartos de relés y de subestación tengan un sistema de detección de humo.

## **5.2. Cuarto de baterías:**

5.2.1. Los cuartos de baterías deben proveerse con ventilación para limitar la concentración del hidrógeno en 1% por volumen.

## **5.3. Transformadores:**

5.3.1. Si los transformadores se separan correctamente como se indica a continuación, no debe tener sistema de diluvio.

5.3.2. Los transformadores deben separarse entre ellos y a estructuras adyacentes para limitar los daños o una eventual propagación.

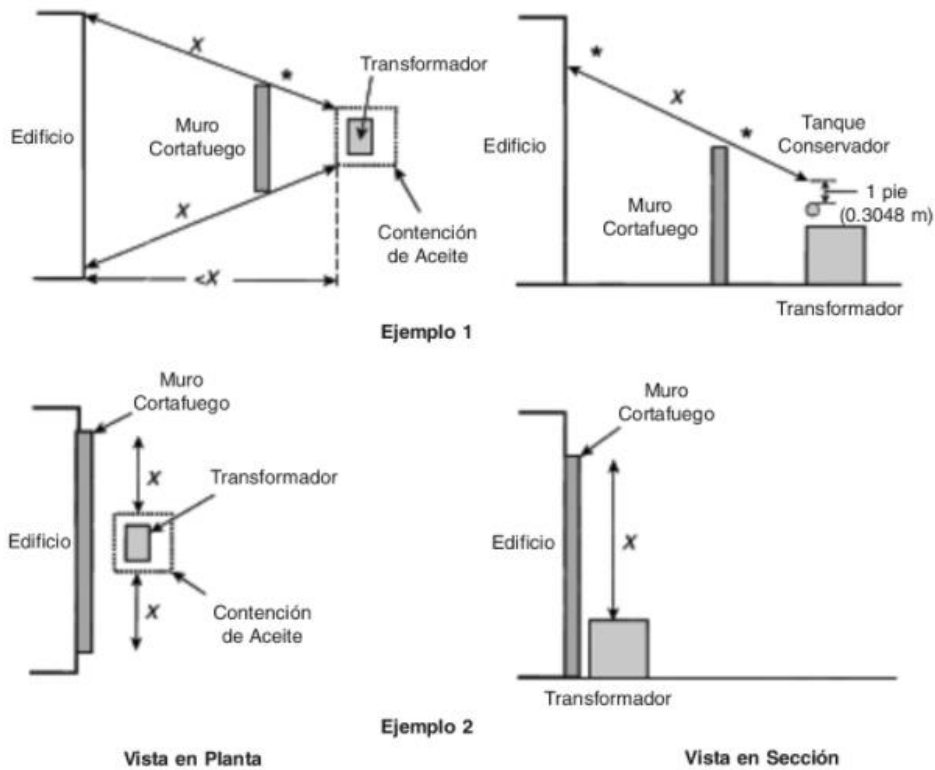
5.3.3. El tipo de separación se debe basar en lo siguiente:

- a. Tipo y cantidad de aceite en el transformador.
- b. Tamaño de un supuesto vertimiento de aceite (área superficial y profundidad).
- c. Tipo de construcción de las estructuras adyacentes.
- d. Tipo y cantidad de equipo expuesto.
- e. Tasa de potencia del transformador.
- f. Sistema de supresión de incendio provistos.
- g. Disponibilidad de transformadores de reemplazo (por largo tiempo).
- h. La existencia de sistemas de despresurización rápida.

5.3.4. Es recomendado que para transformadores en aceite que contengan 500 galones (1890 L) o más de aceite esté separado por un muro contra incendios con resistencia al fuego de 2 horas o por separación espacial y dimensionamiento del muro, según se indica en el siguiente Cuadro 5.2 y como se observa en la Ilustración 5.1.

**Cuadro 5.2.** Criterio de separación para transformadores exteriores.

Capacidad de aceite del transformador		Separación mínima sin muro contra incendios	
Gal	L	Pies	m
<500	<1890	5	1,5
500-5000	1890-18925	25	7,6
>5000	>18925	50	15



**Ilustración 5.1.** Separación recomendada para transformadores exteriores.

Fuente: NFPA 850, 2020.

5.3.5. Transformadores enfriados por aceite que no cumplan con la separación por muro corta fuego, debe de tener un sistema de supresión basado en espuma o agua pulverizada.

## **5.4. Transformadores de interiores**

- 5.4.1. Los transformadores que requieran estar dentro de un recinto cerrado se recomiendan que sean del tipo seco.
- 5.4.2. En caso de tener transformadores enfriados por aceite dentro de un recinto cerrado que sean mayores a 379 L (100 gal) debe de tener una separación de recintos aledaños por una barrera corta fuego de al menos 3 h.
- 5.4.3. En caso de tener transformadores con una capacidad mayor a 35 kV, enfriados con un aceite no inflamable o de baja flamabilidad dentro de un recinto cerrado debe de tener una separación de recintos aledaños por una barrera corta fuego de al menos 3 h.
- 5.4.4. En caso de que los transformadores de interiores estén protegidos por un sistema de supresión la barrera corta fuego puede ser reducida una hora de protección.

## **5.5. Contención y drenaje**

- 5.5.1. En todas las áreas de incendio de la planta deberían tomarse previsiones para la remoción de todos los líquidos directamente a áreas seguras o para la contención en el área de incendio sin inundar el equipo y sin poner en peligro otras áreas. El drenaje y la prevención de inundación del equipo debería ejecutarse mediante uno o más de los siguientes:
  - a. Drenaje de piso.
  - b. Zanjas de piso.
  - c. Entradas abiertas u otras aberturas en muros.
  - d. Bordillos para contener y dirigir el drenado.
  - e. Pedestales de equipo.
  - f. Pozos, sumideros y sumidero de bombas.
- 5.5.2. Las previsiones para el drenaje y todas las instalaciones de drenaje asociadas (pozos, sumideros, y sumideros de bombas) deberían tener un tamaño adecuado para acomodarse totalmente a lo siguiente:
  - a. El derrame del contenedor más grande de cualquier líquido inflamable o combustible, o ambos, en el área.



- b. El número máximo esperado de mangueras contra incendios funcionando durante un mínimo de 10 minutos.
  - c. La descarga máxima de diseño de los sistemas fijos de supresión de incendios que operan durante un mínimo de 10 minutos.
- 5.5.3. Se debe considerar las precauciones necesarias para evitar daños a los equipos que se encuentran en las áreas subterráneas debido a la acumulación de agua.
- 5.5.4. El drenaje del piso de áreas que contengan líquidos inflamables o combustibles deberían quedar atrapados para evitar la propagación de líquidos en llamas más allá del área del incendio.
- 5.5.5. Cuando se instalen sistemas gaseosos de extinción de incendios, los drenajes de piso deberían estar provistos de los sellos adecuados, o el sistema de extinción de incendios debería dimensionarse para compensar las pérdidas de agente extintor de incendios a través de los drenajes.
- 5.5.6. Deberían proporcionarse instalaciones de drenaje para los transformadores exteriores aislados con aceite, o el suelo debería tener una pendiente tal que los derrames de aceite fluyan lejos de los edificios, estructuras y transformadores adyacentes, de lo contrario se debería considerar proporcionar áreas con bordillos o fosos alrededor de los transformadores.
- 5.5.7. Para las instalaciones que constan de más de una unidad generadora que no están separadas por una barrera contra incendios, deberían proporcionarse un piso inclinado, un bordillo o una zanja de drenaje sobre pisos sólidos donde existe la posibilidad de un derrame de aceite, de modo que el aceite liberado por un incidente en una unidad no exponga una unidad adyacente.

## **5.6. Generadores**

- 5.6.1. Área generadores – turbinas
- 5.6.2. Todas las áreas debajo del piso de operación del generador de turbina donde pueda haber flujo de aceite, rocío de aceite o acumulación de aceite deberían estar protegidas por un sistema de rociadores automáticos o rociadores de agua con espuma. Esta cobertura normalmente incluye todas las áreas

debajo del piso operativo del área de la turbina. Estos sistemas deberían tener en cuenta las obstrucciones de los miembros estructurales y las tuberías y debería diseñarse con una densidad de 12,2 mm / min (0,30 gpm / pie<sup>2</sup>) sobre un área de aplicación mínima de 464 m<sup>2</sup> (5000 pies<sup>2</sup>).

5.6.3. Las líneas de aceite lubricante que van sobre el piso de operación de la turbina deberían protegerse con un sistema de rociadores automáticos que cubra aquellas áreas donde pueda haber acumulación de aceite, incluyendo el área dentro del revestimiento de la turbina (faldón). El sistema de rociadores automáticos debería estar diseñado con una densidad de 12,2 mm / min (0,30 gpm / pie).

5.6.4. La protección para los generadores de turbina montados en pedestal sin piso operativo puede proporcionarse mediante las siguientes recomendaciones:

- a. Diseñar el sistema de tuberías que suministra líquidos y gases inflamables y combustibles, con la intención de minimizar fallas, de la siguiente manera:
  - Si se utiliza metal rígido, debería diseñarse con libertad para moverse con la unidad, en cualquier dirección, dadas las altas vibraciones.
  - Las tuberías rígidas conectadas directamente a la unidad deberían estar soportadas de manera que no ocurran fallas debido a la frecuencia natural de la tubería coincidiendo con la velocidad de rotación de la máquina.
  - Las uniones de tubería soldada deberían utilizarse donde sea práctico. Los acoples roscados y los pernos bridados en las tuberías de combustible y aceite deberían ensamblarse con una llave dinamométrica y ajustarse a los requisitos del fabricante.
  - Instrumentos de tuberías y medidores deberían protegerse contra daños mecánicos accidentales. Los indicadores de nivel deberían ser listados y protegidos contra impactos.
  - Cuando sea práctico, las líneas de lubricación deberían usar una construcción de tubería protegida con la línea de alimentación de presión ubicada dentro de la línea de retorno o en una tubería de

protección separada drenada al depósito de aceite y dimensionada para manejar el flujo de todas las bombas de aceite que funcionan al mismo tiempo. Si esto no es práctico se deberían utilizar recubrimientos no combustibles para reducir la posibilidad de pulverización de aceite y el contacto con superficies calientes con posterior incendio por aspersion.

- Donde sea practico, la tubería de fluido no debe estar vacía, protegida o enrutada debajo de la tubería de vapor, piezas de metal caliente, equipo eléctrico u otras fuentes de ignición para evitar que el fluido gotee sobre el equipo.
- Se debería proporcionar aislamiento con revestimiento impermeable para tuberías de vapor o piezas de metal caliente debajo o cerca de tuberías de aceite o puntos de soporte de tubería.

5.6.5. Además, se podrían proteger al contener y drenar los derrames de petróleo y proporcionar sistemas locales de protección automática para las áreas de contención. En este tipo de diseño, los incendios por aspersion de aceite lubricante y de sistemas de control de aceite que usan aceite mineral, si se descarga, podrían exponer el acero de la edificación o el equipo critico de generación. Se debería considerar protección adicional, como encerrar el peligro, instalar una barrera no combustible entre el peligro y el equipo crítico, o el uso de un sistema de agua pulverizada sobre el peligro.

5.6.6. Los sistemas de rociadores agua - espuma instalados en lugar de los rociadores automáticos deberían diseñarse de acuerdo con la NFPA 16.

5.6.7. El equipo eléctrico que se encuentre dentro del área que se protege con un sistema de agua o agua - espuma debería ser del tipo cerrado o protegido de otra manera para minimizar el daño del agua en caso de que el sistema se encuentre en operación.

5.6.8. Para evitar condiciones que podrían causar un incendio mientras la unidad está funcionando, los paquetes de control deberían incluir los parámetros de monitoreo y la capacidad de apagado.

## **5.7. Sistema de control hidráulico**

- 5.7.1. Los sistemas hidráulicos deberían utilizar fluidos listados con resistencia al fuego, esto se determina basándose en la cantidad de fluido utilizado por el sistema, las condiciones de operación, es decir, si trabaja o no en caliente, si se expone a fuentes de ignición externas y verificando si podría afectar a otros equipos adyacente.
- 5.7.2. En el caso de determinar que se debería utilizar un fluido resistente al fuego listado y no se está utilizando, se debería proteger el equipo de control hidráulico incluyendo los reservorios, depósitos, válvulas, tubería asociada y equipos pertinentes.
- 5.7.3. Se recomienda, para las tuberías de aceites que sean soldadas y bridadas, para minimizar la posibilidad de fugas debido a vibraciones severas del sistema.
- 5.7.4. Las tuberías de aceite deberían estar colocadas lejos de equipo eléctrico u otras fuentes de ignición, caso contrario deberían blindarse contra estos equipos.
- 5.7.5. La protección contra incendios fija para este equipo, debería utilizar uno o varios de los siguientes sistemas:
- a. Rociadores de agua automáticos.
  - b. Rociadores agua espuma automáticos.
  - c. Agua pulverizada.
  - d. Sistemas de extinción gaseosos.
  - e. Aditivos de agua.
  - f. Sistemas de extinción híbridos (agua – gas inerte).
  - g. Sistemas de aire espuma comprimidos.
- 5.7.6. Para los sistemas de rociadores de agua y agua pulverizada la protección debe ser sobre equipos que contengan aceite y con una cobertura de 6,1 m (20 pies) de radio a todo su alrededor. Estos sistemas deberían utilizar una densidad de diseño de  $1,7 \times 10^{-4}$  m/s (0,25 gpm/pies<sup>2</sup>).
- 5.7.7. Donde se utilicen sistemas de rociadores automáticos de agua espuma deberían utilizar una densidad de  $1,08 \times 10^{-4}$  m/s (0,16 gpm/pies<sup>2</sup>).

- 5.7.8. Si se utiliza un sistema de extinción gaseoso ya sea de aplicación local como inundación total, se debería considerar y evaluar primeramente la seguridad asociada a estos sistemas antes de seleccionar el tipo de gas a utilizar.
- 5.7.9. Cuando se utilicen sistemas de aire espuma comprimidos se debería utilizar la NFPA 11 como base para su diseño.
- 5.7.10. Se deberían proveer bordillos (con una altura mínima de 0,15 m de alto) y/o drenajes para las áreas de almacenamiento y purificación del aceite como se menciona en punto 5.5 de esta guía.
- 5.7.11. Los sistemas de extinción de incendios para proteger los equipos que contienen aceites combustibles, deberían incluir protección para los reservorios, bombas y todas las líneas de aceite, especialmente donde existen uniones de tuberías y debajo de cualquier área protegida donde se pueda acumular el flujo de aceite. Las instalaciones que no cuentan con bordillos o drenajes deberían aumentar su cobertura a una distancia de 6m (20 pies) desde las líneas de aceite, medidos desde la línea de aceite más externa.
- 5.7.12. Las áreas de almacenamiento de aceite limpias o sucias deberían protegerse en función de la evaluación del riesgo de incendio. Estas áreas generalmente representan el mayor almacenamiento de aceite en la planta. El diseñador debe considerar al menos la instalación de sistemas automáticos fijos de protección contra incendios junto con los requisitos de ventilación y drenaje.
- 5.7.13. Los sistemas hidráulicos para operar compuertas y válvulas se deberían diseñarse de acuerdo a esta sección de sistemas de control hidráulico. Cuando el peligro no sea lo suficientemente grande como para garantizar un sistema fijo de extinción de incendios, se debe considerar la detección automática de incendios basada en la NFPA 72.

## **5.8. Trincheras (fosos) y devanados del generador**

- 5.8.1. Se deberían proteger los devanados del generador cuando contengan materiales que no se extinguirán al desenergizar el equipo, los sistemas que se podrían utilizar para protegerlos serían los siguientes o una combinación de ellos:
- a. Sistemas de extinción gaseosos automáticos.
  - b. Sistemas de extinción híbridos.
  - c. Sistema de agua nebulizada.
  - d. Anillos de agua pulverizada.
- 5.8.2. El devanado debería contar con sistema de detección de incendios.
- 5.8.3. Las trincheras del generador que contengan circuitos auxiliares como transformadores de corriente de protección, transformadores de neutro y resistencias de conexión a tierra que estén asociadas con la protección del generador debería ser provisto de alguno de los siguientes sistemas automáticos contra incendios:
- a. Sistemas de extinción gaseosa.
  - b. Sistemas de agua pulverizada.
  - c. Sistemas de extinción híbridos.
  - d. Sistema de agua nebulizada.
- 5.8.4. Si se utilizan sistemas gaseosos, estos deberían activarse por medio de relés de protección y/o un sistema de detección de incendios.
- 5.8.5. Cuando se utilicen anillos de agua pulverizada, el sistema debería tener un enclavamiento para detener el funcionamiento del equipo antes de que se active el sistema de agua pulverizada. Inmediatamente después de que el sistema de agua pulverizada se detenga, el generador debería funcionar mecánicamente (aislado eléctricamente y sin excitación) por al menos 24 horas para evitar fallas a tierra del estator en ambos tipos de materiales del devanado.

## **5.9. Sistemas de lubricación con aceites**

- 5.9.1. Debería considerarse la utilización de aceite lubricante con resistencia al fuego. El uso de aceites con resistencia al fuego podría eliminar la necesidad de utilizar protección contra incendios debajo del piso operativo, en las líneas de lubricación, reservorios y cojinetes de la turbina - generador y mitigar el peligro dado por pozos e incendios tridimensionales que involucran aceites lubricantes.
- 5.9.2. El almacenamiento de aceite lubricante, las instalaciones de bombeo y las tuberías asociadas deberían cumplir con NFPA 30.
- 5.9.3. Los reservorios de aceite lubricante deberían contar con un extractor de vapor cuya ventilación de a una zona exterior segura.
- 5.9.4. Los reservorios de aceite de lubricación deberían estar provistos con bordillos o drenajes según 5.5 de esta guía.
- 5.9.5. Todas las tuberías de aceite que sirven al equipo turbina – generador, deberían diseñarse e instalarse para minimizar la posibilidad de un incendio de aceite en caso de vibración severa de la turbina como se indica en la NFPA 30.
- 5.9.6. Se debería proveer la operación remota desde el cuarto de control de la válvula de ruptura de vacío del condensador y el apagado de las bombas de aceite lubricante. Romper el vacío del condensador reduce notablemente el tiempo de parada de la máquina y, por lo tanto, limita la descarga de aceite en caso de fuga.
- 5.9.7. El cable para el funcionamiento de las bombas de aceite lubricante debería protegerse de la exposición al fuego. La protección puede consistir en la separación del cable para AC y DC de las bombas de lubricación o bien un recubrimiento resistente al fuego de 1 hora (se debería considerar la reducción del cable).
- 5.9.8. Si los equipos del sistema de lubricación se encuentran en un cuarto aparte se podría proteger con un sistema de protección contra incendios gaseoso de inundación total, de estar en la misma área del generador – turbina, se debería proteger con lo indicado en esa sección.

5.9.9. Donde las unidades de lubricación de aceite y control hidráulico compartan un sistema combinado se debería considerar el uso de un aceite con resistencia al fuego.

## **5.10. Cojinetes del generador**

5.10.1. Los cojinetes de turbina-generador deberían protegerse con un sistema de rociadores automáticos de cabezal cerrado utilizando boquillas direccionales o agua pulverizada o agua nebuliza. Se recomienda la actuación automática ya que es más fiable que la manual. Los sistemas de agua pulverizada y rociadores para proteger los cojinetes deberían diseñarse con una densidad de 0,25 gpm / pie<sup>2</sup> (10,2 mm / min) sobre el área protegida de todos los cojinetes.

5.10.2. Se debería considerar la descarga accidental de agua sobre los puntos de apoyo de los cojinetes y las partes calientes de la turbina. Si es necesario, se puede permitir que estas áreas estén protegidas por escudos y revestimiento de aislamiento con cubiertas metálicas.

5.10.3. El área dentro de la carcasa de un excitador conectado directamente debería protegerse con un sistema automático de dióxido de carbono de inundación total.

## **6. Plantas no atendidas**

6.1. Las plantas hidroeléctricas que trabajan bajo la modalidad “no atendida” deberían contar con protección contra incendios especial, considerando las demoras en el tiempo de respuesta de la brigada de incendios o de bomberos y también la falta de comunicación.

6.2. Si se utilizan sistemas automáticos de extinción de incendios a base de agua, se debería considerar una válvula de diluvio cíclica. Se recomienda la detección térmica y el diseño del sistema debería estar de acuerdo con NFPA 13 o NFPA 15.

6.3. Debería existir un panel de anunciación remota de la planta, colocado en una instalación donde si haya personal presente. El panel de señalización de incendios debería colocarse en la entrada de la planta.



- 6.4. Un sistema de iluminación de emergencia para áreas críticas de operación que dependa de baterías o suministros de combustible debería operarse manualmente desde un interruptor en la entrada a la planta.
- 6.5. Los sistemas de suministro y extracción de aire de la planta deberían parar automáticamente en caso de incendio. La anulación manual debe ubicarse en la entrada de la planta para que los socorristas puedan activar estos controles a su llegada.

## **7. Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles**

- 7.1. Todo almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles deberá cumplir con la NFPA 30.
- 7.2. Clasificación de líquido según NFPA 30:
  - a. Líquido combustible: cualquier líquido que tenga un punto de inflamación (flash point) por copa cerrada, igual o mayor a 37,8 °C. Se clasifican por:
    - Clase 2: cualquier líquido que tenga un flash point igual o mayor a 37,8°C y menor a 60°C.
    - Clase 3: cualquier líquido que tenga un flash point mayor o igual a 60 °C. Se clasifican a su vez como clase 3A para el líquido que tenga un flash point menor a 93 °C y clase 3B para el líquido que tenga un flash point mayor a 93 °C.
  - b. Líquido inflamable: cualquier líquido que tenga un punto de inflamación (flash point) por copa cerrada, menor a 37,8 °C. Se clasifican por:
    - Clase 1 A: cualquier líquido que tenga un flash point menor a 22,8 °C y un punto de ebullición menor a 37,8 °C.
    - Clase 1 B: cualquier líquido que tenga un flash point menor a 22,8 °C y un punto de ebullición igual o mayor a 37,8 °C.
    - Clase 1 C: cualquier líquido que tenga un flash point igual o mayor a 22,8 °C pero menor a 37,8 °C.
- 7.3. Se debe de considerar que el capítulo 9 aplica para los envases de almacenamiento de líquidos inflamable y combustibles que no exceden en 450 L el almacenamiento individual, envases portátiles que no exceden 2500

L de capacidad individual, para los contenedores a granel intermedios que no excedan 3000 L y para contenedores se doble empaque (overpacked drums) que no excedan 230 L y se utilicen para un almacenamiento temporal.

- 7.4. Las ocupaciones industriales deben de cumplir con el capítulo 11 de NFPA 30.
- 7.5. También es importante revisar el capítulo 22 de la NFPA 30 en el cual se hace referencia a los contenedores de almacenamiento que esta colocados por encima del nivel de piso, en este capítulo se hace referencia a las tablas 22.4.1.1(a) y 22.4.1.1(b) para líquidos estables y que no superen una presión de 17 kPa (2,5 psi), las tablas 22.4.1.3 y 22.4.1.4 para líquidos estables con presiones superiores a 17 kPa (2,5 psi), las tablas 22.4.1.5 para líquidos inestables, la tabla 22.4.1.6 para líquidos clase IIIB para la separación entre contenedores y la vía pública más cercana, además de la línea colindante de la propiedad. También el cuadro 22.4.2.1 para la separación entre las paredes de tanques adyacentes.
- 7.6. En caso de tener un tanque subterráneo se debe de revisar el capítulo 23 de la NFPA 30.

## **8. Bodegas, oficinas y tiendas (shops)**

- 8.1. Deben proveerse rociadores para estos recintos cuando tengan materiales combustibles que presenten un riesgo para los recintos cercanos a ellos que sean de uso crítico para la generación de energía.

## 9. Descargo de responsabilidad

Basados en las leyes de Costa Rica, el Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica es la única autoridad competente encargada de aprobar y/o rechazar cualquier diseño de protección contra incendios que se desee realizar y con el poder de solicitar una mayor o menor protección de la que se muestran en esta guía, esto por el reglamento a la Ley N° 8228 donde se redacta lo siguiente:

“Constituye a Bomberos de Costa Rica como un órgano técnico con competencia para dictar normas técnicas en materia de seguridad y prevención de incendios y para fiscalizar si los organismos públicos y privados cumplen con los requerimientos técnicos que deben seguir para evitar emergencias causadas por incendios.”

También se menciona en el Artículo 65 que solamente la normativa que establezca el Cuerpo de Bomberos de Costa Rica es de aplicación obligatoria:

“La normativa que establezca el Cuerpo de Bomberos en materia de prevención, seguridad humana y protección contra incendios es de aplicación obligatoria en todo proyecto de construcción de obra civil, edificación existente o cualquier lugar, sea este temporal o permanente, según el número de personas, el área de construcción y otros parámetros que defina el Cuerpo de Bomberos.”

Por lo tanto, esta guía no es de carácter obligatorio, ni normativo. Se creó con el fin de orientar los diseños de protección contra incendios en plantas hidroeléctricas y servir de apoyo didáctico. Esta guía muestra los lineamientos mínimos con los que debería contar una planta hidroeléctrica, para tener un mejor criterio debe consultar las normativas mencionadas en esta guía.

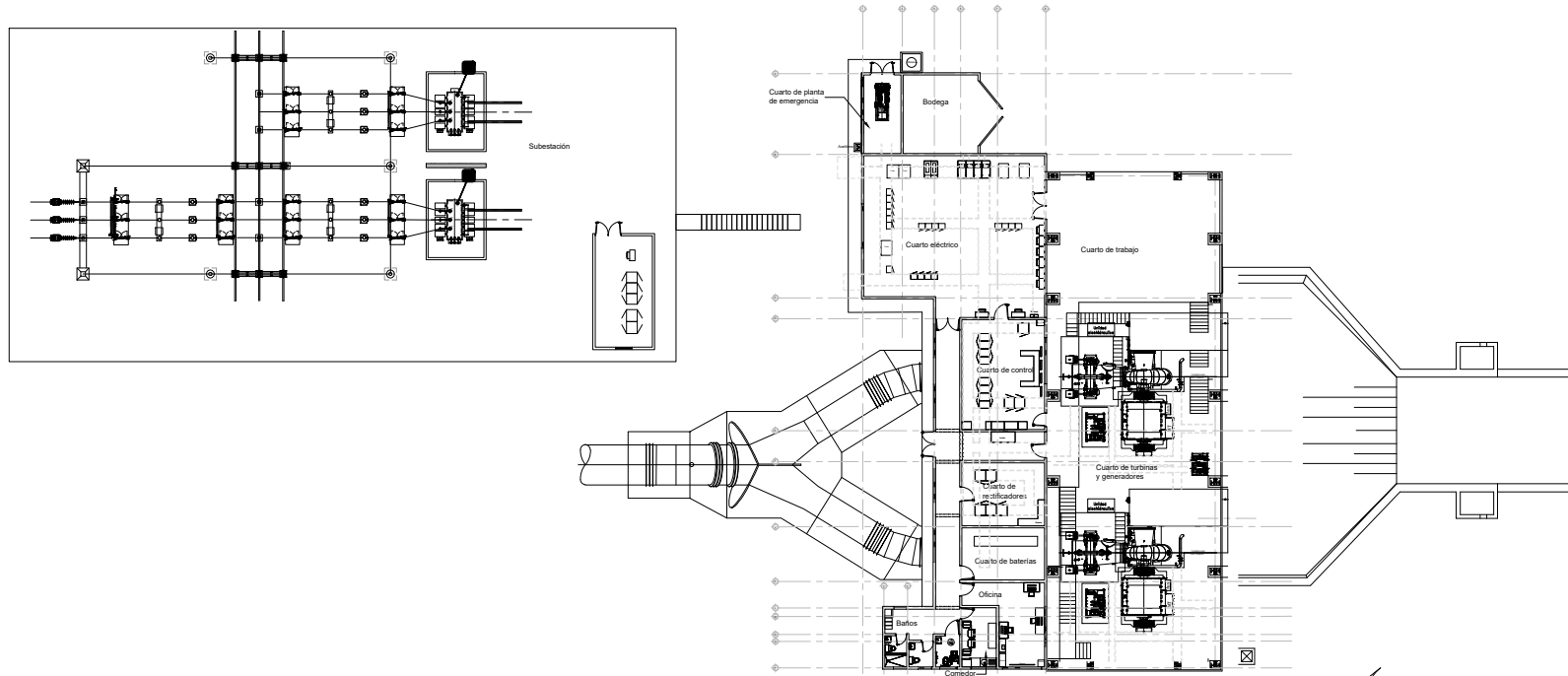
Por último, se utilizan las normativas NFPA en concordancia con lo que establece el Decreto N° 37615-MP, Gaceta N° 66 del 05 de abril del 2013:

“El Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica adopta e incorpora las normas NFPA que en cada caso se citan y las que resulten concordantes o accesorias de las mismas. Así como todas las aplicables en Costa Rica, sin

perjuicio que luego sean incorporadas expresamente conforme a la revisión y ajuste que realice el Cuerpo de Bomberos”.

Todo proyecto debe ser aprobado por la autoridad con jurisdicción y diseñado e instalado bajo las siguientes normas:

- NFPA 1: Código de Incendios. Versión 2018.
- NFPA 10: Norma para extintores portátiles contra incendios. Versión 2018.
- NFPA 12. Norma sobre Sistemas de Extinción de Dióxido de Carbono. Versión 2018.
- NFPA 13: Norma para la Instalación de Sistemas de Rociadores. Versión 2019.
- NFPA 14: Norma para la instalación de Sistemas de Montantes y Mangueras. Versión 2019.
- NFPA 15. Norma para Sistemas Fijos de Agua Pulverizada para protección Contra Incendios. Versión 2018.
- NFPA 20: Norma para la Instalación de Bombas Estacionarias para protección contra incendios. Versión 2019.
- NFPA 22: Norma para Tanques de Agua de Protección Contra Incendios. Versión 2018.
- NFPA 24: Norma para la instalación de tubería para servicio privado de incendios y sus accesorios. Versión 2019.
- NFPA 30: Código de Líquidos Inflamables y combustibles. Versión 2018.
- NFPA 72: Código nacional de alarmas de incendio y señalización. Versión 2019.
- NFPA 101: Código de seguridad humana. Versión 2018.
- NFPA 850: Práctica recomendada de protección contra incendios para plantas de generación eléctrica y estaciones de convertidor de corriente directa de alto voltaje. Versión 2020.
- NFPA 2001. Norma sobre Sistemas de Extinción mediante Agentes Limpios. Versión 2018.



PLANTA DE SITIO  
ESCALA: 1:150

ÍNDICE DE LÁMINAS	
NÚMERO	TÍTULO
1	PLANTA DE SITO ESTADO DE OBRAS
2	PLANTA DE OBRAS DE EQUIPO TOTAL Y OBRAS
3	PLANTA DE OBRAS DE EQUIPO
4	CONSTRUCCIÓN DE BARRIORES Y OBRAS
5	PLANTA DE MANEJO DE AGUA Y DETALLES DE RESERVOIR
6	CONSTRUCCIÓN DE BARRIORES Y OBRAS
7	CONSTRUCCIÓN DE BARRIORES Y OBRAS
8	CONSTRUCCIÓN DE BARRIORES Y OBRAS
9	CONSTRUCCIÓN DE BARRIORES Y OBRAS
10	CONSTRUCCIÓN DE BARRIORES Y OBRAS
11	CONSTRUCCIÓN DE BARRIORES Y OBRAS
12	CONSTRUCCIÓN DE BARRIORES Y OBRAS

CONTENIDO:  
Planta de sitio  
Índice de láminas

Proyecto

Diseño del sistema de protección contra incendios para la Planta Hidroeléctrica Los Negros II en Upala, Alajuela

Universidad de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Mecánica

Sede Interuniversitaria de Alajuela

ESTUDIANTES: CARNÉ

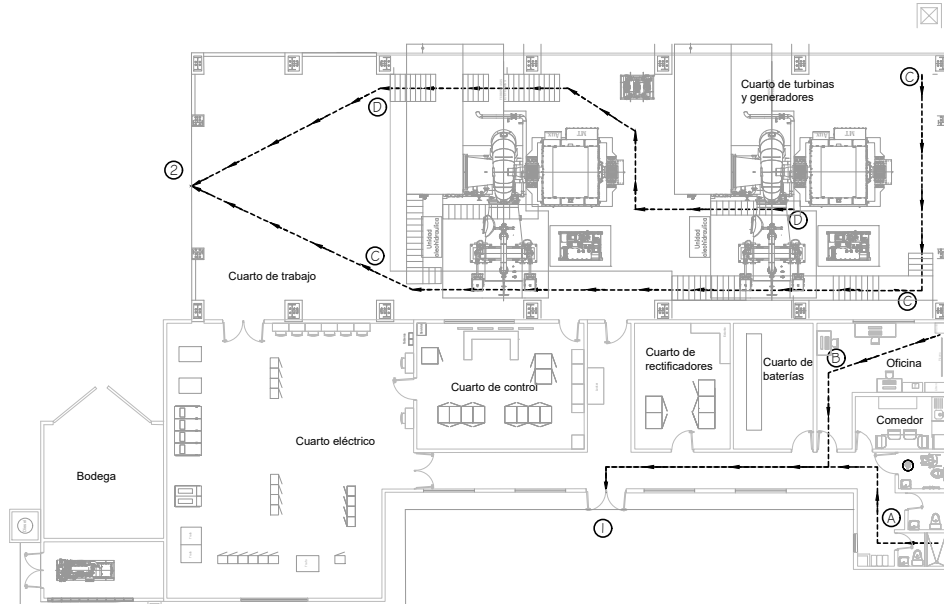
Julian Escobar Vega 802214

Nataly Fonseca Rivera 842639

Gerick Picado Matamoros 845309

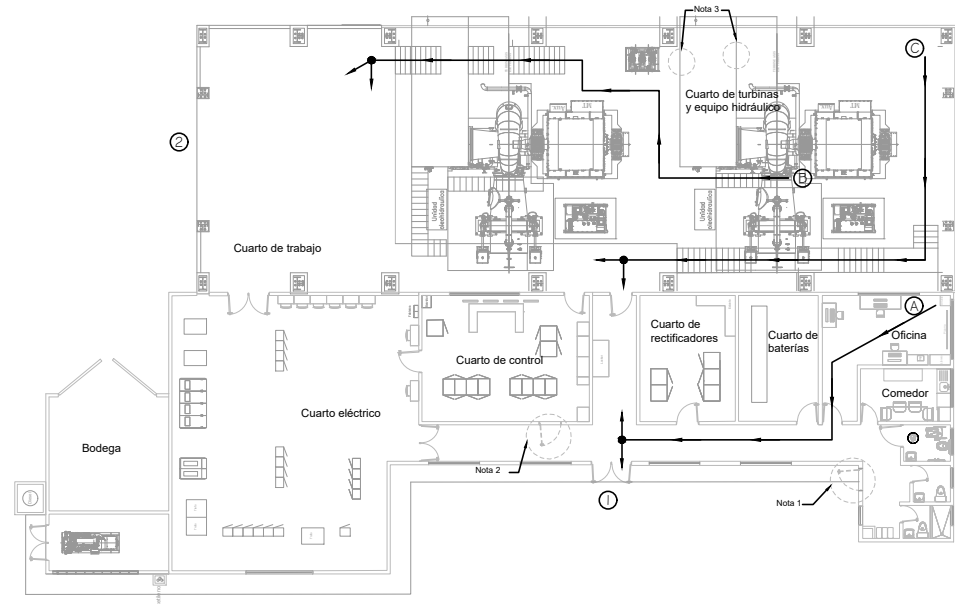
ESCALA FECHA LÁMINA

INDICADA AGOSTO 2020 1/12



PLANTA DE RECORRIDOS TOTALES  
ESCALA: 1:75

Salida	Ruta	Longitud (m)
1	A	21,31
	B	22,61
2	C	38,10
	D	35,30



PLANTA DE RECORRIDOS COMUNES  
ESCALA: 1:75

NOTAS:  
 1.- Se recomienda colocar una puerta frente al pasillo de los baños para cumplir con las distancias de recorrido común.  
 2.- Se recomienda colocar una puerta en el cuarto de control con descargo al pasillo para cumplir con la compartimentación requerida para la evacuación demorada.  
 3.- Se recomienda colocar una escalera vertical tipo con protección de espaldas en el bloque de muros de la turbinas 2 para eliminar las distancias de recorrido común en el cuarto de turbinas y generadores.

Ruta	Longitud (m)
A	20,0
B	26,2
C	24,8

CONTENIDO:

- Distancias de recorrido total
- Distancias de recorrido común

Proyecto

Diseño del sistema de protección contra incendios para la Planta Hidroeléctrica Los Negros II en Upala, Alajuela

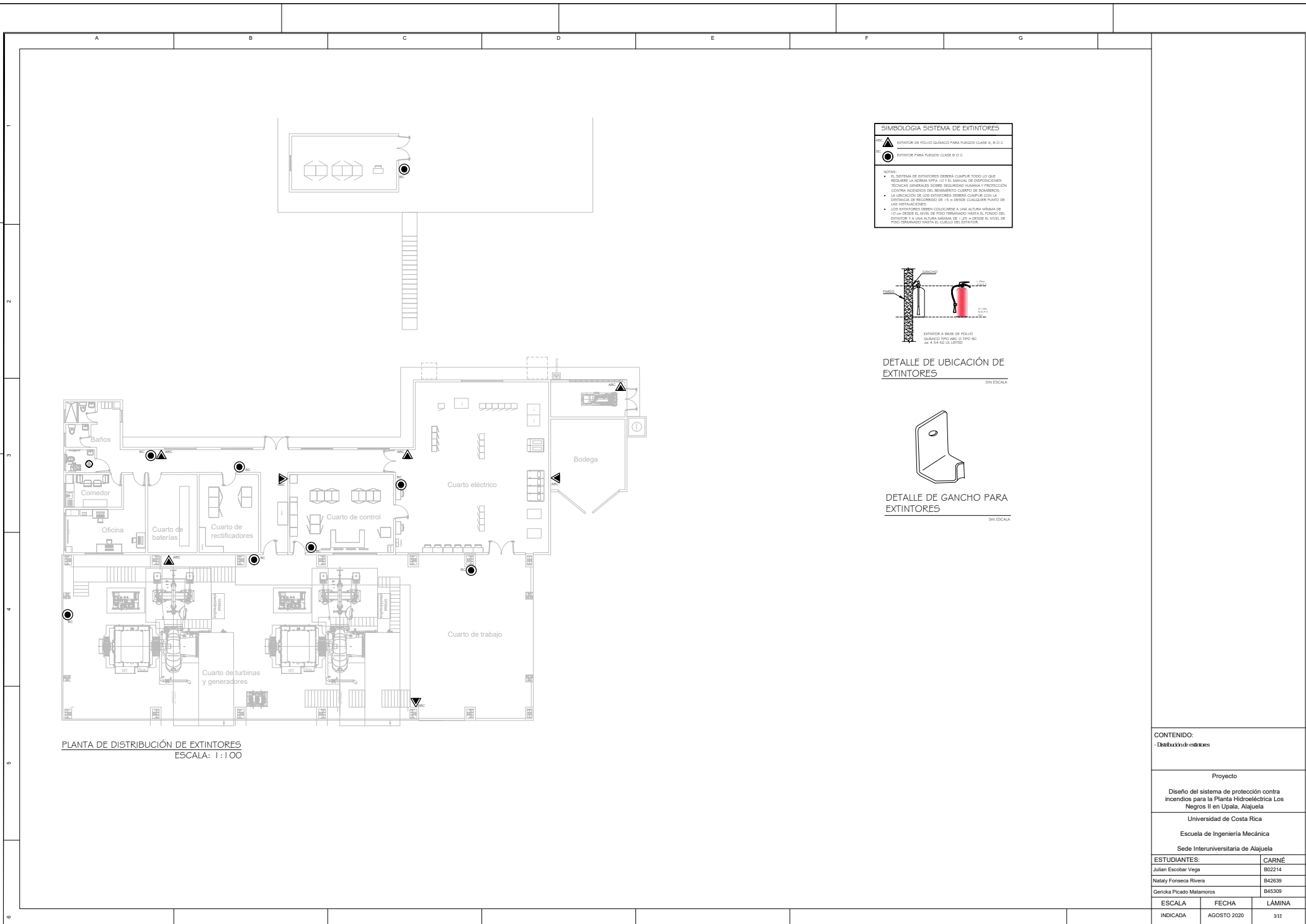
Universidad de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Mecánica

Sede Interuniversitaria de Alajuela

ESTUDIANTES:	CARNÉ
Julian Escobar Vega	802214
Nataly Fonseca Rivera	842639
Genicka Picado Matamoros	845309

ESCALA	FECHA	LÁMINA
INDICADA	AGOSTO 2020	2/12

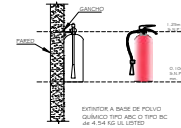


**SIMBOLOGIA SISTEMA DE EXTINTORES**

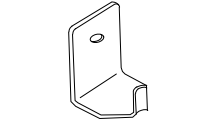
ABC EXTINTOR DE POLVO QUÍMICO PARA FUEGOS CLASE A, B O C  
 BC EXTINTOR PARA FUEGOS CLASE B O C

**NOTAS:**

- EL SISTEMA DE EXTINTORES DEBERÁ CUMPLIR TODO LO QUE SE ENCUENTRA EN LA NOTA Nº19 Y EL MANUAL DE OPERACIONES TÉCNICAS GENERALES SOBRE SEGURIDAD HUMANA Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DEL SERVICIO TÉCNICO DE SEGURIDAD.
- LA UBICACIÓN DE LOS EXTINTORES DEBERÁ CUMPLIR CON LA DISTANCIA DE RECORRIDO DE 15 M DEBE CUALQUIER PUNTO DE LAS INSTALACIONES.
- LOS EXTINTORES DEBEN COLOCARSE A UNA ALTURA MÍNIMA DE 10 CM POR ENCIMA DEL NIVEL DE PISO TERMINADO HASTA EL FONDO DEL EXTINTOR Y A UNA ALTURA MÁXIMA DE 120 CM SOBRE EL NIVEL DE PISO TERMINADO HASTA EL CUELLO DEL EXTINTOR.



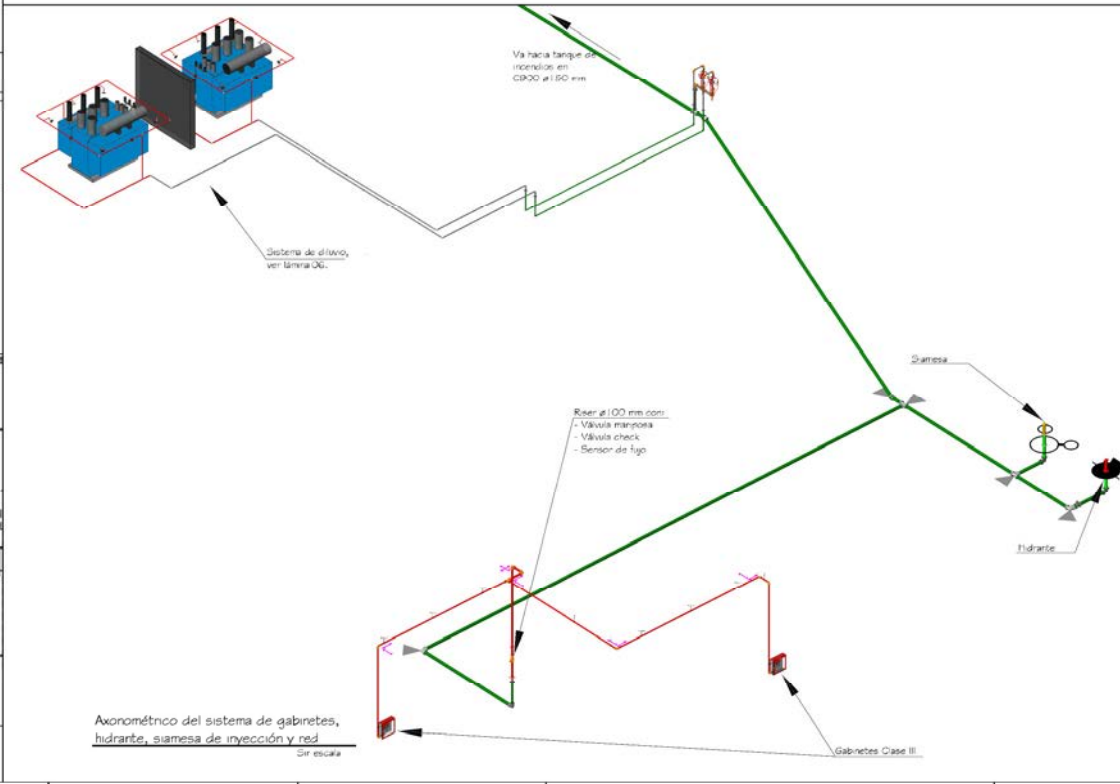
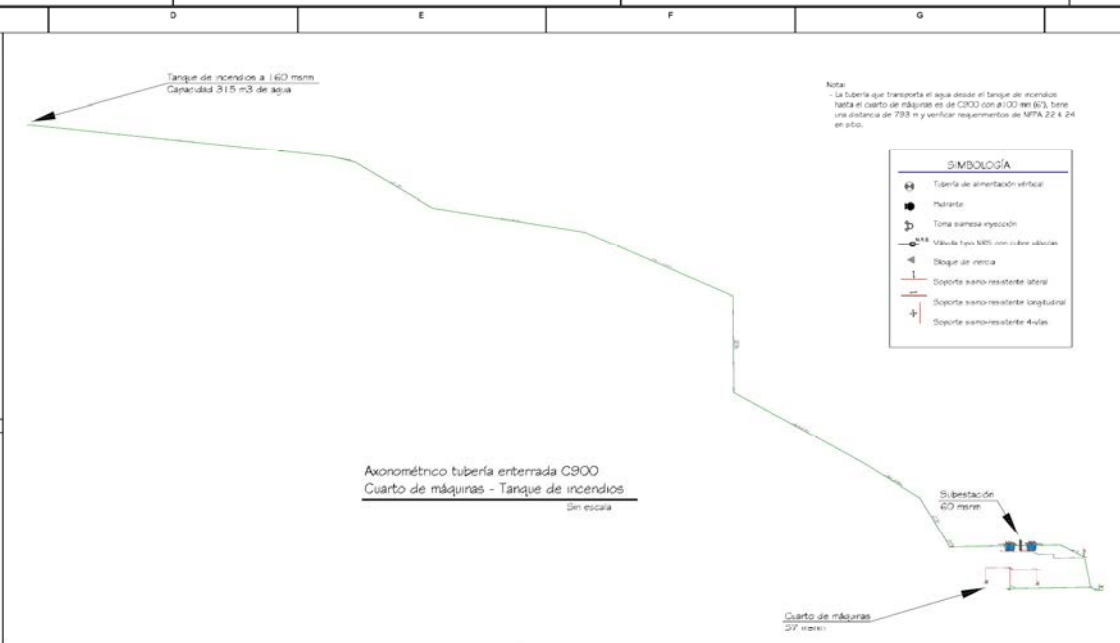
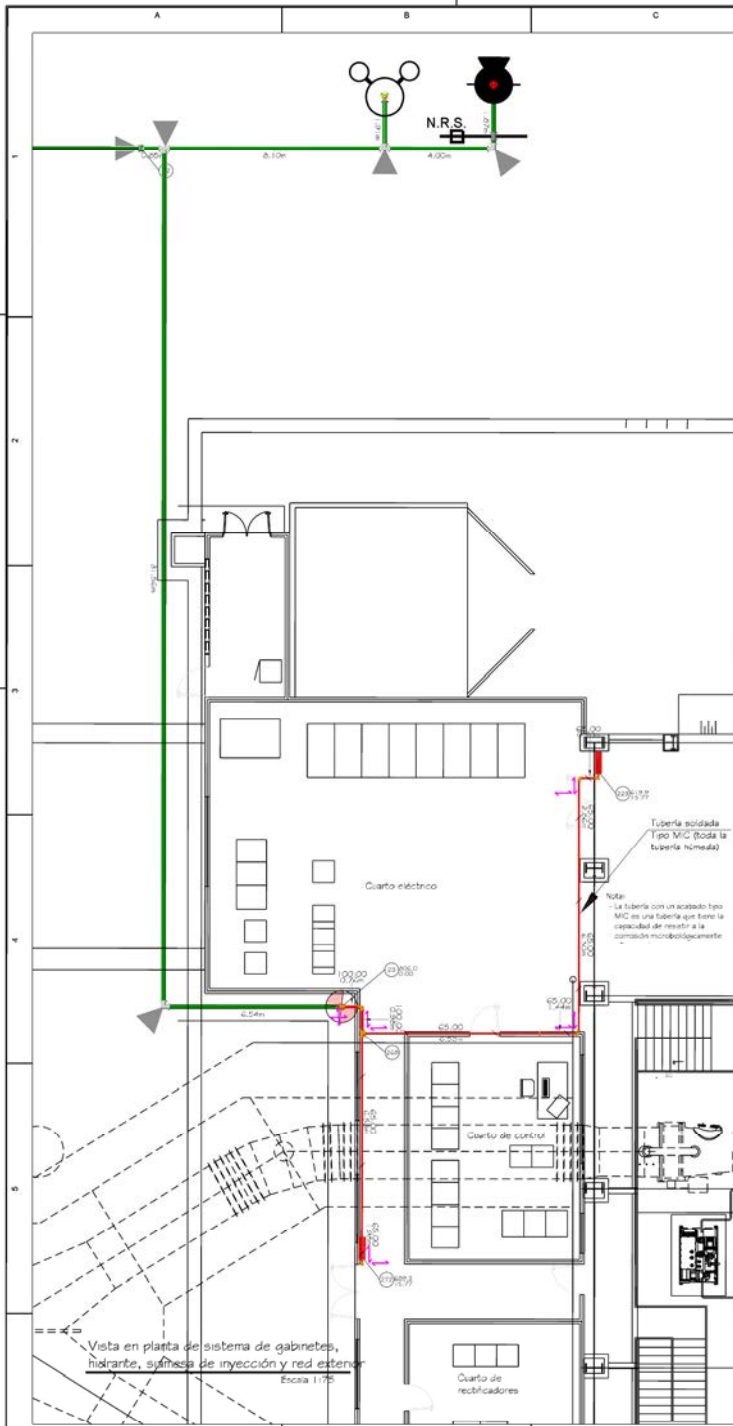
**DETALLE DE UBICACIÓN DE EXTINTORES**  
SIN ESCALA



**DETALLE DE GANCHO PARA EXTINTORES**  
SIN ESCALA

**PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE EXTINTORES**  
ESCALA: 1:100

<b>CONTENIDO:</b>		
Distribución de extintores		
<b>Proyecto</b>		
Diseño del sistema de protección contra incendios para la Planta Hidroeléctrica Los Negros II en Upala, Alajuela		
Universidad de Costa Rica		
Escuela de Ingeniería Mecánica		
Sede Interuniversitaria de Alajuela		
<b>ESTUDIANTES:</b>		<b>CARNÉ</b>
Julian Escobar Vega		802214
Nataly Fonseca Rivera		842639
Gericka Picado Matamoros		845309
<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>	<b>LÁMINA</b>
INDICADA	AGOSTO 2020	3/12



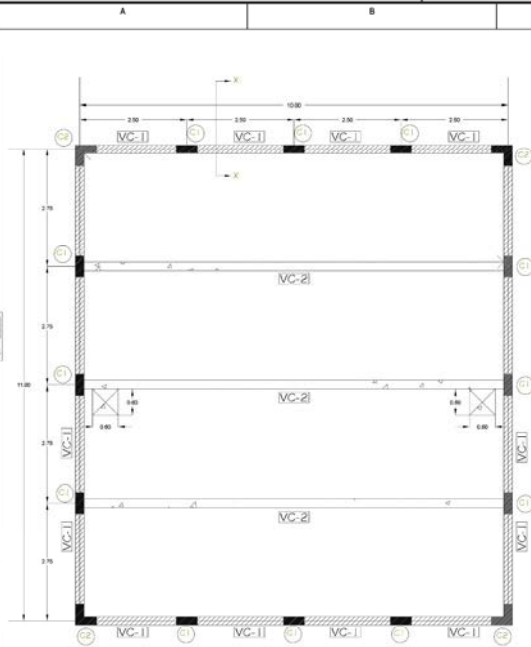
**CONTENIDO:**  
- Red exterior  
- Isométricos de sistema de gabinetes  
- Sistema de hidrante y samsa de

**Proyecto**  
Diseño del sistema de protección contra incendios para la Planta Hidroeléctrica Los Negros II en Upsala, Alajuela

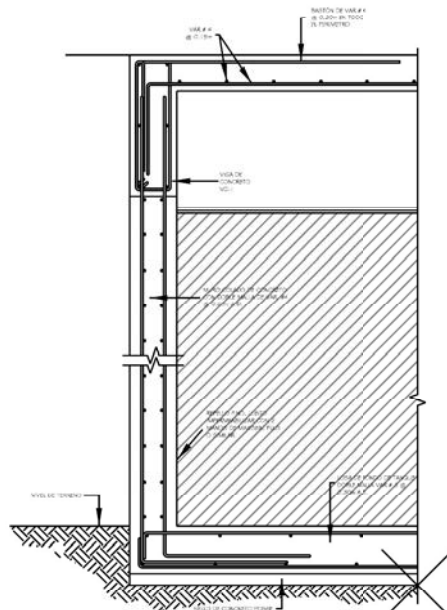
Universidad de Costa Rica  
Escuela de Ingeniería Mecánica  
Cede: Interuniversitaria de Alajuela

ESTUDIANTES:		CARNÉ
Julian Escobar Vega		B02214
Nataly Fonseca Rivera		B42639
Gerick Picado Matamoros		B45309
ESCALA	FECHA	LÁMINA
INDICADA	AGOSTO 2020	412

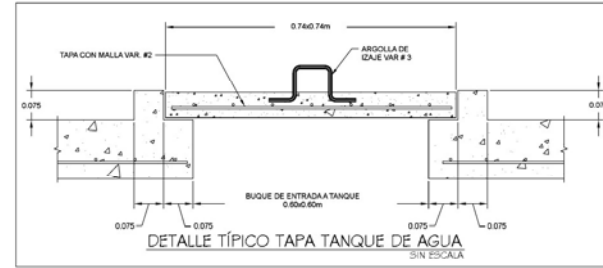




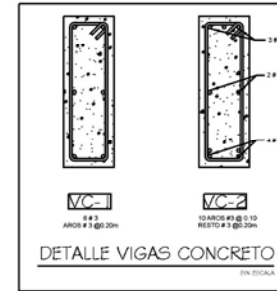
PLANTA ESTRUCTURAL DE TANQUE  
SIN ESCALA



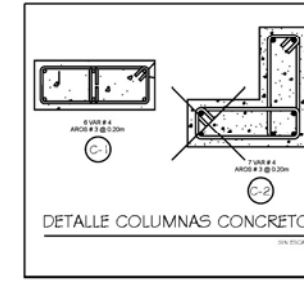
SECCION X-X DE TANQUE  
SIN ESCALA



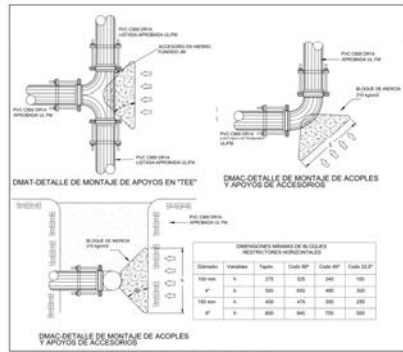
DETALLE TÍPICO TAPA TANQUE DE AGUA  
SIN ESCALA



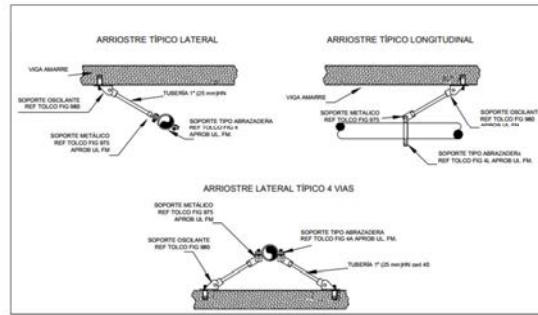
DETALLE VIGAS CONCRETO  
SIN ESCALA



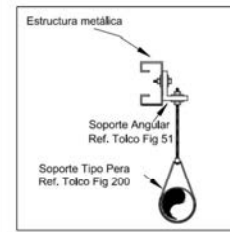
DETALLE COLUMNAS CONCRETO  
SIN ESCALA



DETALLES DE BLOQUES DE INERCIA  
SIN ESCALA



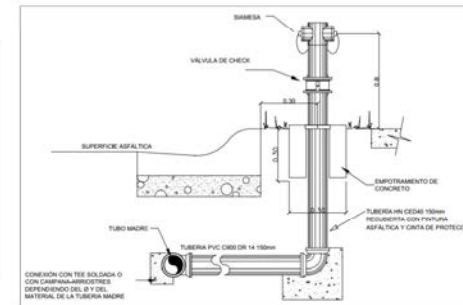
DETALLE DE SOPRTERÍA Y SOPORTEJÍA  
SIN ESCALA



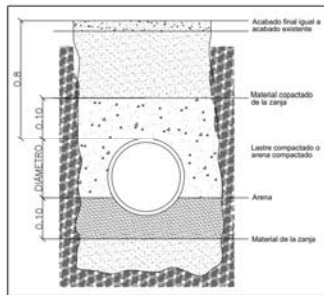
Estructura metálica

Soporte Angular  
Ref. Tolco Fig 51

Soporte Tipo Pera  
Ref. Tolco Fig 200



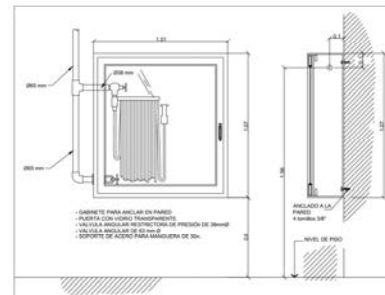
DETALLE DE SIAMESA DE INYECCIÓN  
SIN ESCALA



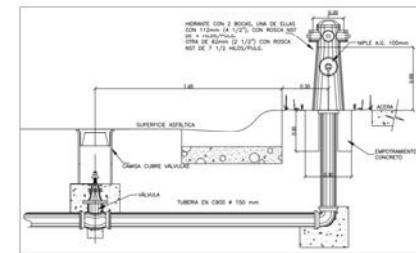
DETALLE DE TUBERÍA ENTERRADA  
SIN ESCALA

Notas generales - tubería enterrada

1. Todos los materiales serán listados por UL y aprobados por FM.
2. Toda la instalación, incluyendo bloques de merca y vanillas se anclaje deberá cumplir con la norma NFPA 13 y 24 así como con FM 3-10.
3. La profundidad mínima desde la parte superior del tubo será de 1.2m (4'-0").
4. Toda la tubería de la red exterior será probada a 200psi (o 50psi sobre la presión máxima de trabajo, lo que sea mayor) por un periodo mínimo de dos (2) horas.
5. Se deberá utilizar tubería de hierro dúctil para la transición tierra-aire y cuando la tubería pase por debajo de las fundaciones del edificio.
6. La tubería enterrada deberá ser limpiada (flushed) de acuerdo con la NFPA 13 y 24 antes de ser interconectada con los sistemas.
7. La tubería enterrada deberá ser limpiada (flushed) de acuerdo con la NFPA 13 y 24 antes de ser interconectada con los sistemas.
8. Se deberá utilizar Tubería AWWA C300 Clase 200 DR-14 aprobada por FM.



DETALLE DE GABINETE CLASE III  
SIN ESCALA



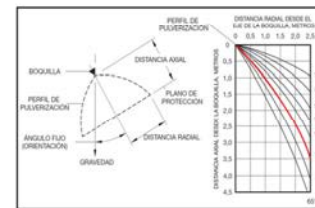
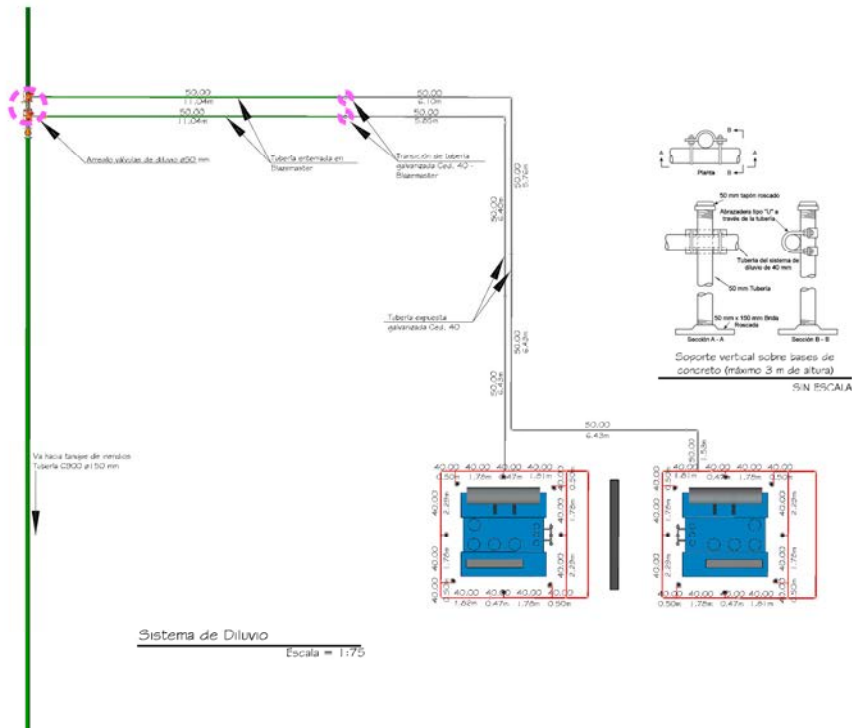
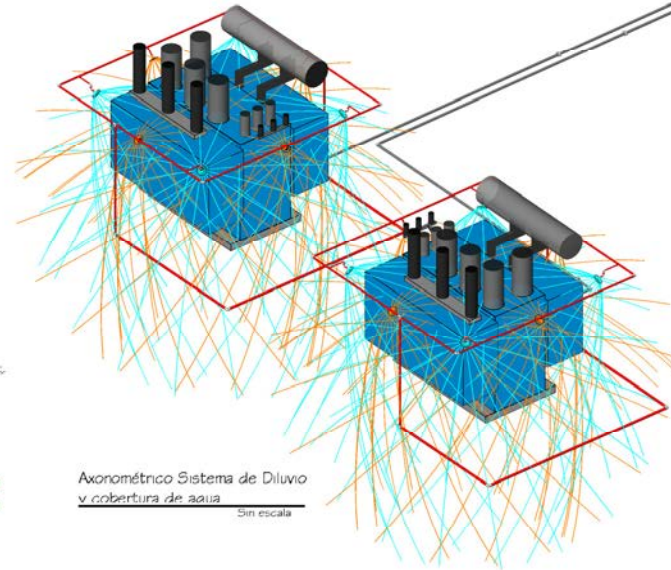
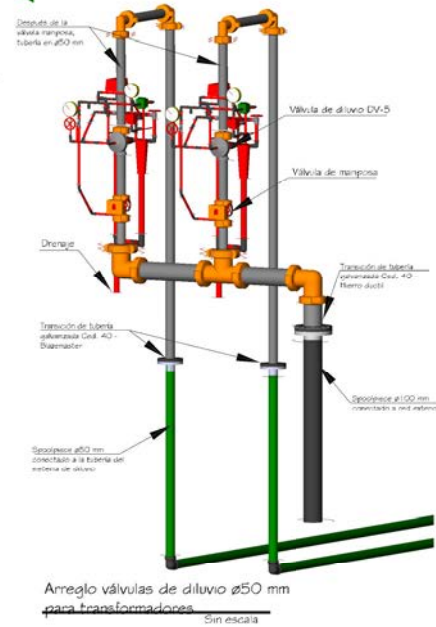
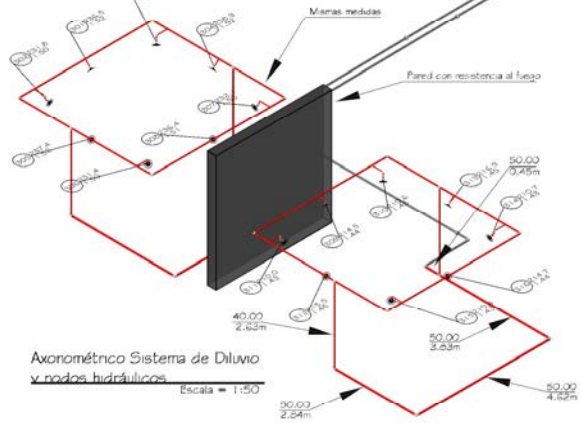
DETALLE DE HIDRANTE  
SIN ESCALA

CONTENIDO:  
- Detalles generales red exterior  
- Detalles y tanque de incendios.

Proyecto  
Diseño del sistema de protección contra incendios para la Planta Hidroeléctrica Los Negros II en Upala, Alajuela

Universidad de Costa Rica  
Escuela de Ingeniería Mecánica  
Sede Interuniversitaria de Alajuela

ESTUDIANTES:	CARNÉ
Julian Escobar Vega	B02114
Nataly Fonseca Rivera	B42639
Devicka Pizaco Matamoros	B45309
ESCALA	FECHA
INDICADA	AGOSTO 2020
LÁMINA	512



**Simbología**

Nodo hidráulico	35	0.00	Presión (kPa)	0.00	Caudal (l/s)
Tubería	50.00	6.40m	Diámetro (mm)		Distancia (m)

**Nota:**  
- Los diámetros de tubería están en centímetros, al menos que se indique lo contrario.



**BOQUILLAS PROTECTOSPRAY TIPO D3 MEDIDAS NOMINALES**

ORIFICIO	DIÁMETRO MÍNIMO	FACTOR K
N°16	5.16 mm (0.203")	1.2
N°18	6.35 mm (0.250")	1.8
N°22	7.14 mm (0.281")	2.3
N°24	8.23 mm (0.328")	3.0
N°28	9.53 mm (0.375")	4.1
N°32	11.13 mm (0.438")	5.0
N°34	12.70 mm (0.500")	7.2

**Tabla A SELECCIÓN DE TAMAÑOS DE ORIFICIO**

ORIFICIO	DIÁMETRO MÍNIMO	FACTOR K
N°16	5.16 mm (0.203")	1.2
N°18	6.35 mm (0.250")	1.8
N°22	7.14 mm (0.281")	2.3
N°24	8.23 mm (0.328")	3.0
N°28	9.53 mm (0.375")	4.1
N°32	11.13 mm (0.438")	5.0
N°34	12.70 mm (0.500")	7.2

**Tabla B SELECCIÓN DE ÁNGULOS DE DESCARGA**

ÁNGULO	60°	90°	110°	125°	140°	100°	180°
--------	-----	-----	------	------	------	------	------

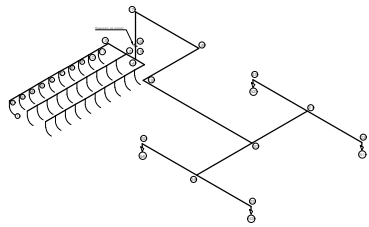
**CONTENIDO:**  
- Sistema de diluivo para los transformadores.  
- Detalles de los equipos seleccionados.  
- Nodos hidráulicos del sistema.

**Proyecto**  
Diseño del sistema de protección contra incendios para la Planta Hidroeléctrica Los Negros II en Upala, Alajuela

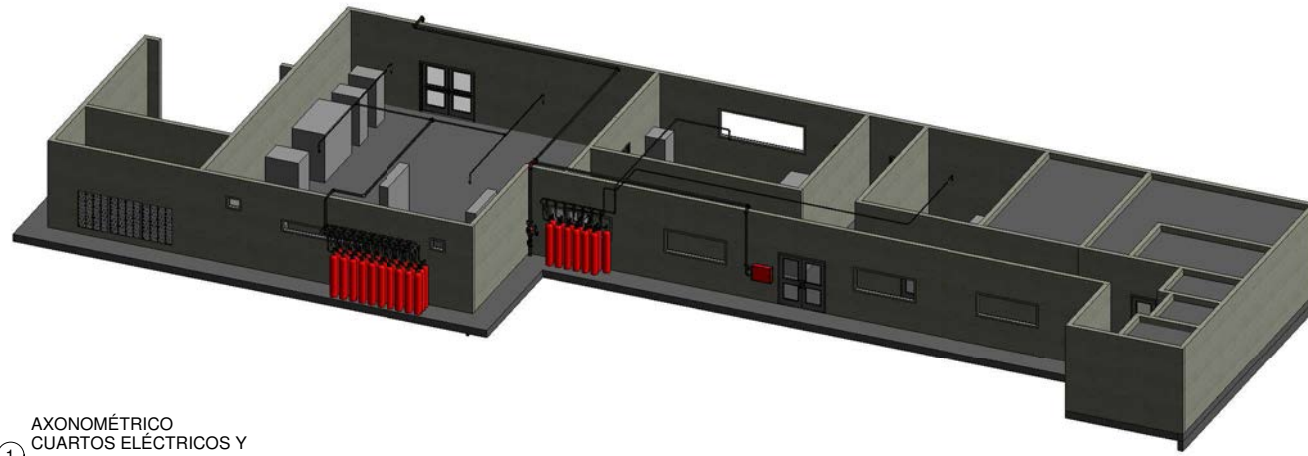
Universidad de Costa Rica  
Escuela de Ingeniería Mecánica  
Sede Interuniversitaria de Alajuela

<b>ESTUDIANTES</b>	<b>CARNÉ</b>
Julien Escobar Vega	B02214
Nataly Fonseca Rivera	B42839
Genicia Picozo Matamoros	B45309
<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
	AGOSTO 2020
<b>LÁMINA</b>	<b>INDICADA</b>
	612

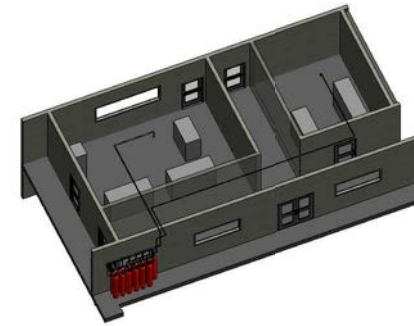




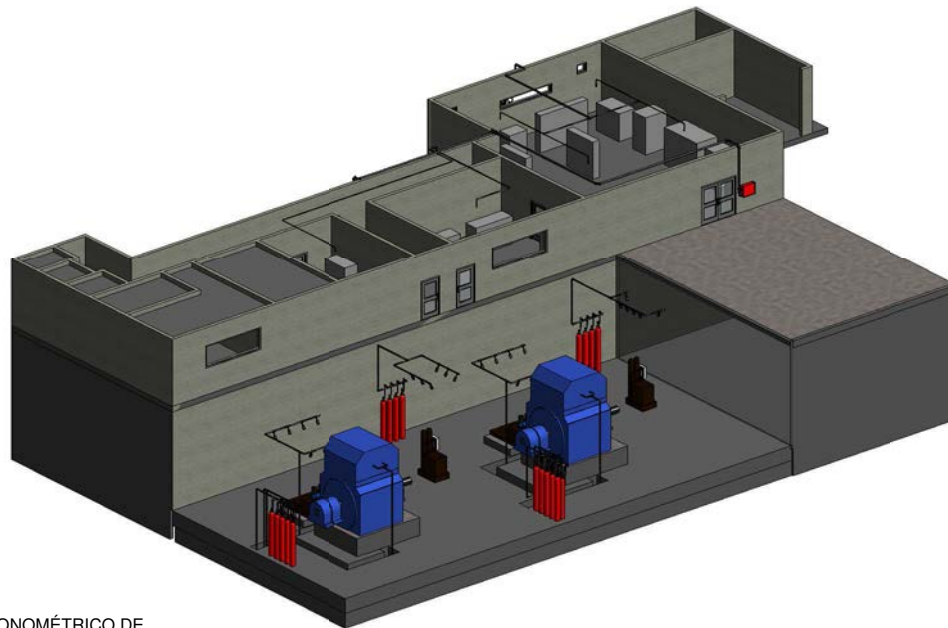
SISTEMA SUPRESIÓN DE INERGEN PARA CUARTO DE ELÉCTRICO			
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1.1	1.1	1	kg
1.2	1.2	1	kg
1.3	1.3	1	kg
1.4	1.4	1	kg
1.5	1.5	1	kg
1.6	1.6	1	kg
1.7	1.7	1	kg
1.8	1.8	1	kg
1.9	1.9	1	kg
1.10	1.10	1	kg
1.11	1.11	1	kg
1.12	1.12	1	kg
1.13	1.13	1	kg
1.14	1.14	1	kg
1.15	1.15	1	kg
1.16	1.16	1	kg
1.17	1.17	1	kg
1.18	1.18	1	kg
1.19	1.19	1	kg
1.20	1.20	1	kg
1.21	1.21	1	kg
1.22	1.22	1	kg
1.23	1.23	1	kg
1.24	1.24	1	kg
1.25	1.25	1	kg
1.26	1.26	1	kg
1.27	1.27	1	kg
1.28	1.28	1	kg
1.29	1.29	1	kg
1.30	1.30	1	kg
1.31	1.31	1	kg
1.32	1.32	1	kg
1.33	1.33	1	kg
1.34	1.34	1	kg
1.35	1.35	1	kg
1.36	1.36	1	kg
1.37	1.37	1	kg
1.38	1.38	1	kg
1.39	1.39	1	kg
1.40	1.40	1	kg
1.41	1.41	1	kg
1.42	1.42	1	kg
1.43	1.43	1	kg
1.44	1.44	1	kg
1.45	1.45	1	kg
1.46	1.46	1	kg
1.47	1.47	1	kg
1.48	1.48	1	kg
1.49	1.49	1	kg
1.50	1.50	1	kg
1.51	1.51	1	kg
1.52	1.52	1	kg
1.53	1.53	1	kg
1.54	1.54	1	kg
1.55	1.55	1	kg
1.56	1.56	1	kg
1.57	1.57	1	kg
1.58	1.58	1	kg
1.59	1.59	1	kg
1.60	1.60	1	kg
1.61	1.61	1	kg
1.62	1.62	1	kg
1.63	1.63	1	kg
1.64	1.64	1	kg
1.65	1.65	1	kg
1.66	1.66	1	kg
1.67	1.67	1	kg
1.68	1.68	1	kg
1.69	1.69	1	kg
1.70	1.70	1	kg
1.71	1.71	1	kg
1.72	1.72	1	kg
1.73	1.73	1	kg
1.74	1.74	1	kg
1.75	1.75	1	kg
1.76	1.76	1	kg
1.77	1.77	1	kg
1.78	1.78	1	kg
1.79	1.79	1	kg
1.80	1.80	1	kg
1.81	1.81	1	kg
1.82	1.82	1	kg
1.83	1.83	1	kg
1.84	1.84	1	kg
1.85	1.85	1	kg
1.86	1.86	1	kg
1.87	1.87	1	kg
1.88	1.88	1	kg
1.89	1.89	1	kg
1.90	1.90	1	kg
1.91	1.91	1	kg
1.92	1.92	1	kg
1.93	1.93	1	kg
1.94	1.94	1	kg
1.95	1.95	1	kg
1.96	1.96	1	kg
1.97	1.97	1	kg
1.98	1.98	1	kg
1.99	1.99	1	kg
2.00	2.00	1	kg
2.01	2.01	1	kg
2.02	2.02	1	kg
2.03	2.03	1	kg
2.04	2.04	1	kg
2.05	2.05	1	kg
2.06	2.06	1	kg
2.07	2.07	1	kg
2.08	2.08	1	kg
2.09	2.09	1	kg
2.10	2.10	1	kg
2.11	2.11	1	kg
2.12	2.12	1	kg
2.13	2.13	1	kg
2.14	2.14	1	kg
2.15	2.15	1	kg
2.16	2.16	1	kg
2.17	2.17	1	kg
2.18	2.18	1	kg
2.19	2.19	1	kg
2.20	2.20	1	kg
2.21	2.21	1	kg
2.22	2.22	1	kg
2.23	2.23	1	kg
2.24	2.24	1	kg
2.25	2.25	1	kg
2.26	2.26	1	kg
2.27	2.27	1	kg
2.28	2.28	1	kg
2.29	2.29	1	kg
2.30	2.30	1	kg
2.31	2.31	1	kg
2.32	2.32	1	kg
2.33	2.33	1	kg
2.34	2.34	1	kg
2.35	2.35	1	kg
2.36	2.36	1	kg
2.37	2.37	1	kg
2.38	2.38	1	kg
2.39	2.39	1	kg
2.40	2.40	1	kg
2.41	2.41	1	kg
2.42	2.42	1	kg
2.43	2.43	1	kg
2.44	2.44	1	kg
2.45	2.45	1	kg
2.46	2.46	1	kg
2.47	2.47	1	kg
2.48	2.48	1	kg
2.49	2.49	1	kg
2.50	2.50	1	kg
2.51	2.51	1	kg
2.52	2.52	1	kg
2.53	2.53	1	kg
2.54	2.54	1	kg
2.55	2.55	1	kg
2.56	2.56	1	kg
2.57	2.57	1	kg
2.58	2.58	1	kg
2.59	2.59	1	kg
2.60	2.60	1	kg
2.61	2.61	1	kg
2.62	2.62	1	kg
2.63	2.63	1	kg
2.64	2.64	1	kg
2.65	2.65	1	kg
2.66	2.66	1	kg
2.67	2.67	1	kg
2.68	2.68	1	kg
2.69	2.69	1	kg
2.70	2.70	1	kg
2.71	2.71	1	kg
2.72	2.72	1	kg
2.73	2.73	1	kg
2.74	2.74	1	kg
2.75	2.75	1	kg
2.76	2.76	1	kg
2.77	2.77	1	kg
2.78	2.78	1	kg
2.79	2.79	1	kg
2.80	2.80	1	kg
2.81	2.81	1	kg
2.82	2.82	1	kg
2.83	2.83	1	kg
2.84	2.84	1	kg
2.85	2.85	1	kg
2.86	2.86	1	kg
2.87	2.87	1	kg
2.88	2.88	1	kg
2.89	2.89	1	kg
2.90	2.90	1	kg
2.91	2.91	1	kg
2.92	2.92	1	kg
2.93	2.93	1	kg
2.94	2.94	1	kg
2.95	2.95	1	kg
2.96	2.96	1	kg
2.97	2.97	1	kg
2.98	2.98	1	kg
2.99	2.99	1	kg
3.00	3.00	1	kg
3.01	3.01	1	kg
3.02	3.02	1	kg
3.03	3.03	1	kg
3.04	3.04	1	kg
3.05	3.05	1	kg
3.06	3.06	1	kg
3.07	3.07	1	kg
3.08	3.08	1	kg
3.09	3.09	1	kg
3.10	3.10	1	kg
3.11	3.11	1	kg
3.12	3.12	1	kg
3.13	3.13	1	kg
3.14	3.14	1	kg
3.15	3.15	1	kg
3.16	3.16	1	kg
3.17	3.17	1	kg
3.18	3.18	1	kg
3.19	3.19	1	kg
3.20	3.20	1	kg
3.21	3.21	1	kg
3.22	3.22	1	kg
3.23	3.23	1	kg
3.24	3.24	1	kg
3.25	3.25	1	kg
3.26	3.26	1	kg
3.27	3.27	1	kg
3.28	3.28	1	kg
3.29	3.29	1	kg
3.30	3.30	1	kg
3.31	3.31	1	kg
3.32	3.32	1	kg
3.33	3.33	1	kg
3.34	3.34	1	kg
3.35	3.35	1	kg
3.36	3.36	1	kg
3.37	3.37	1	kg
3.38	3.38	1	kg
3.39	3.39	1	kg
3.40	3.40	1	kg
3.41	3.41	1	kg
3.42	3.42	1	kg
3.43	3.43	1	kg
3.44	3.44	1	kg
3.45	3.45	1	kg
3.46	3.46	1	kg
3.47	3.47	1	kg
3.48	3.48	1	kg
3.49	3.49	1	kg
3.50	3.50	1	kg
3.51	3.51	1	kg
3.52	3.52	1	kg
3.53	3.53	1	kg
3.54	3.54	1	kg
3.55	3.55	1	kg
3.56	3.56	1	kg
3.57	3.57	1	kg
3.58	3.58	1	kg
3.59	3.59	1	kg
3.60	3.60	1	kg
3.61	3.61	1	kg
3.62	3.62	1	kg
3.63	3.63	1	kg
3.64	3.64	1	kg
3.65	3.65	1	kg
3.66	3.66	1	kg
3.67	3.67	1	kg
3.68	3.68	1	kg
3.69	3.69	1	kg
3.70	3.70	1	kg
3.71	3.71	1	kg
3.72	3.72	1	kg
3.73	3.73	1	kg
3.74	3.74	1	kg
3.75	3.75	1	kg
3.76	3.76	1	kg
3.77	3.77	1	kg
3.78	3.78	1	kg
3.79	3.79	1	kg
3.80	3.80	1	kg
3.81	3.81	1	kg
3.82	3.82	1	kg
3.83	3.83	1	kg
3.84	3.84	1	kg
3.85	3.85	1	kg
3.86	3.86	1	kg
3.87	3.87	1	kg
3.88	3.88	1	kg
3.89	3.89	1	kg
3.90	3.90	1	kg
3.91	3.91	1	kg
3.92	3.92	1	kg
3.93	3.93	1	kg
3.94	3.94	1	kg
3.95	3.95	1	kg
3.96	3.96	1	kg
3.97	3.97	1	kg
3.98	3.98	1	kg
3.99	3.99	1	kg
4.00	4.00	1	kg
4.01	4.01	1	kg
4.02	4.02	1	kg
4.03	4.03	1	kg
4.04	4.04	1	kg
4.05	4.05	1	kg
4.06	4.06	1	kg
4.07	4.07	1	kg
4.08	4.08	1	kg
4.09	4.09	1	kg
4.10	4.10	1	kg
4.11	4.11	1	kg
4.12	4.12	1	kg
4.13	4.13	1	kg
4.14	4.14	1	kg
4.15	4.15	1	kg
4.16	4.16	1	kg
4.17	4.17	1	kg
4.18	4.18	1	kg
4.19	4.19	1	kg
4.20	4.20	1	kg
4.21	4.21	1	kg
4.22	4.22	1	kg
4.23	4.23	1	kg
4.24	4.24	1	kg
4.25	4.25	1	kg
4.26	4.26	1	kg
4.27	4.27	1	kg
4.28	4.28	1	kg
4.29	4.29	1	kg
4.30	4.30	1	kg
4.31	4.31	1	kg
4.32	4.32	1	kg
4.33	4.33	1	kg
4.34	4.34	1	kg
4.35	4.35	1	kg
4.36	4.36	1	kg
4.37	4.37	1	kg
4.38	4.38	1	kg
4.39	4.39	1	kg
4.40	4.40	1	kg
4.41	4.41	1	kg
4.42	4.42	1	kg
4.43	4.43	1	kg
4.44	4.44	1	kg
4.45	4.45	1	kg
4.46	4.46	1	kg
4.47	4.47	1	kg
4.48	4.48	1	kg
4.49	4.49	1	kg
4.50	4.5		



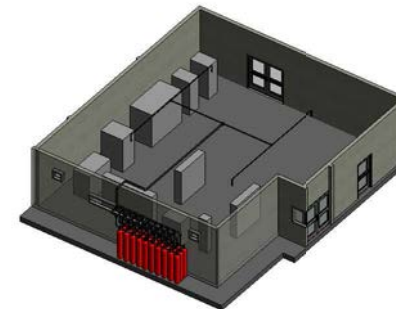
① AXONOMÉTRICO CUARTOS ELÉCTRICOS Y SISTEMA DE GABINETES



③ AXONOMÉTRICO DE CUARTO DE CONTROL Y RECTIFICADORES



② AXONOMÉTRICO DE CUARTO DE TURBINAS Y GENERADORES



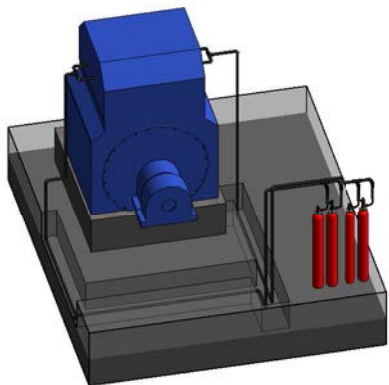
④ AXONOMÉTRICO DE CUARTO ELÉCTRICO

CONTENIDO:  
 -Axonómicos generales  
 -Axonómicos de cuartos eléctricos

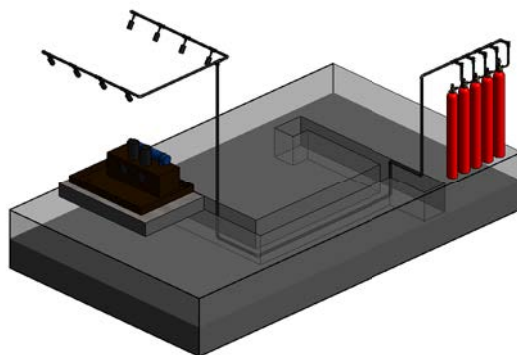
Proyecto  
 Diseño del sistema de protección contra incendios para la Planta Hidroeléctrica Los Negros II en Upala, Alajuela  
 Universidad de Costa Rica  
 Escuela de Ingeniería Mecánica  
 Sede Interuniversitaria de Alajuela

ESTUDIANTE:	CARNÉ	
Juan Esquivel Vega	082214	
Nataly Fonseca Rivera	042839	
Geidy Pineda Matamoros	045309	
ESCALA	FECHA	LÁMINA
INDICADA	AGOSTO 2020	012

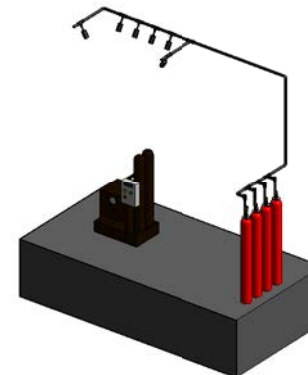




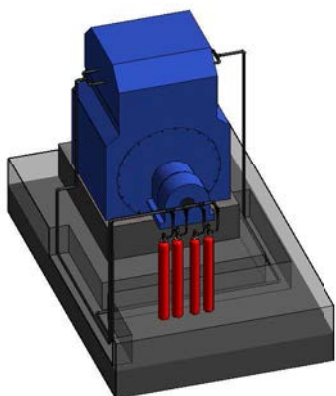
① AXONOMÉTRICO DE GENERADOR 1



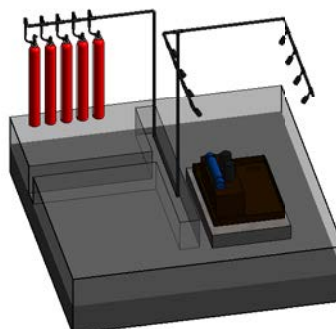
④ AXONOMÉTRICO SISTEMA DE LUBRICACIÓN 1



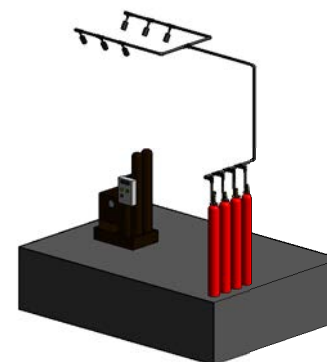
⑤ AXONOMÉTRICO SISTEMA OLEOHIDRÁULICO 1



② AXONOMÉTRICO GENERADOR 2



③ AXONOMÉTRICO SISTEMA DE LUBRICACIÓN 2



⑥ AXONOMÉTRICO SISTEMA OLEOHIDRÁULICO 2

CONTENIDO:  
- Axonómicos de sistemas de CO<sub>2</sub>

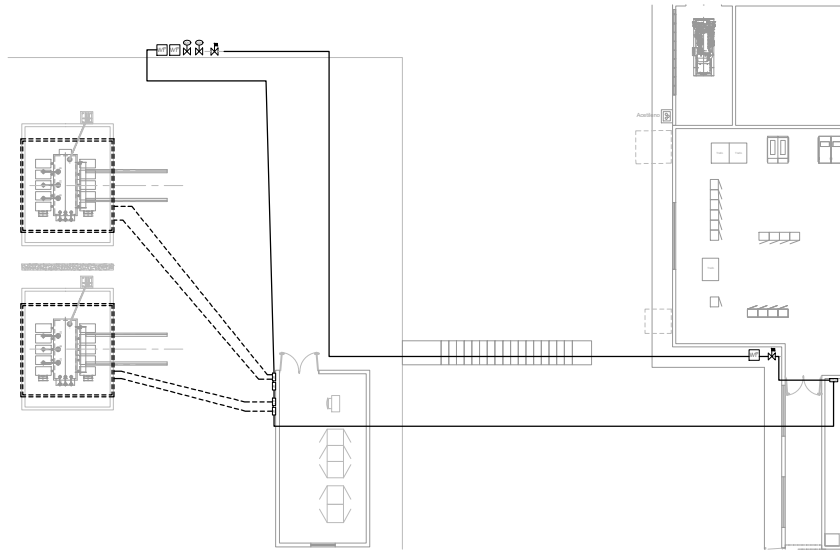
Proyecto  
Diseño del sistema de protección contra incendios para la Planta Hidroeléctrica Los Negros II en Upala, Alajuela

Universidad de Costa Rica  
Escuela de Ingeniería Mecánica

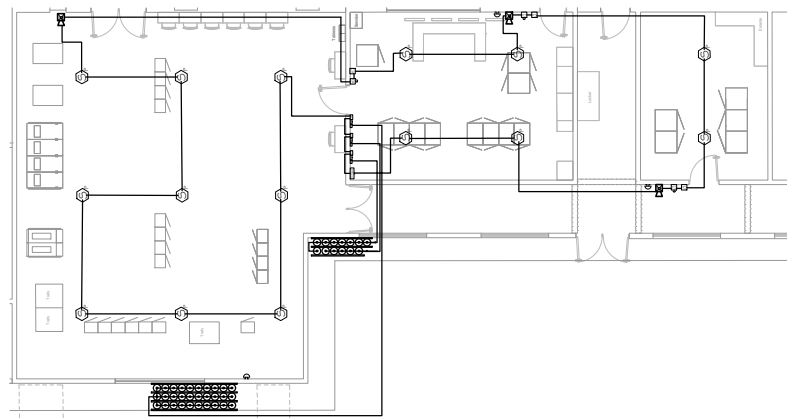
Sede Interuniversitaria de Alajuela

ESTUDIANTE:	CARNÉ
Julian Escobar Vega	182214
Nataly Fonseca Rivera	184239
Geidica Picado Matamoros	1845389

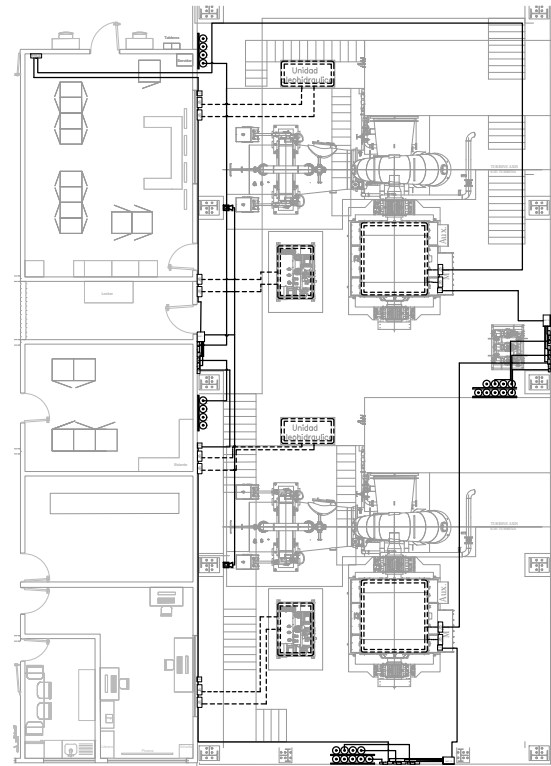
ESCALA	FECHA	LÁMINA
INDICADA	AGOSTO 2020	1012



PLANTA DE DETECCIÓN Y MONITOREO PARA SISTEMA DE DILUVIO Y RED EXTERIOR  
ESCALA: 1:75



PLANTA DE DETECCIÓN PARA SISTEMA DE INERGEN  
ESCALA: 1:75



PLANTA DE DETECCIÓN PARA SISTEMA DE CO<sub>2</sub>  
ESCALA: 1:75

SIMBOLOGIA SISTEMA DE ALARMA	
	PANEL DE ALARMA CON BATERIA DE EMERGENCIA (RESIDUAL)
	SENSOR DE FLUJO
	VALVULA SOLENOIDE
	VALVULA MARIPOSA
	ESTACION MANUAL DE ALARMA
	SENSOR DE HUMO FOTOELECTRICO
	PANEL DE CONTROL DIRECCIONABLE REFERENCIA: ANDUL, MODELO: 4007-B10
	INTERRUPTOR DE MANTENIMIENTO REFERENCIA: ANDUL, MODELO: 433356
	CAMPA DE CORREION REFERENCIA: TFCO, MODELO: 101000
	SENSOR DE CO <sub>2</sub> REFERENCIA: ANDUL, MODELO: 4009-801
	EXTENSION PARA CILINDROS INAC REFERENCIA: ANDUL, MODELO: 4000
	ESTACION MANUAL DE ALARMA DEL SISTEMA DE CO <sub>2</sub> REFERENCIA: ANDUL, MODELO: 4009-801
	SERBIA Y LUZ ESTEREOLOGICA DE SISTEMA DE ALARMA CONTRA INCENDIO CON IDENTIFICADOR DE CADELA, UBICADA EN LA UNIDAD DE REFERENCIA: ANDUL 4007
	INTERRUPTOR DE ABORTO PARA AGENTE LIMPIO MODELO DE REFERENCIA: ANDUL
	ESTACION MANUAL DE ALARMA DEL SISTEMA DE AGENTE LIMPIO REFERENCIA: ANDUL, MODELO: 43347
	ALARMA NEUMATICA DE SISTEMAS DE SUPRESION MODELO DE REFERENCIA: 4000
	SENSOR DE FLAMA
	DETECTOR LINEAL DE CALOR

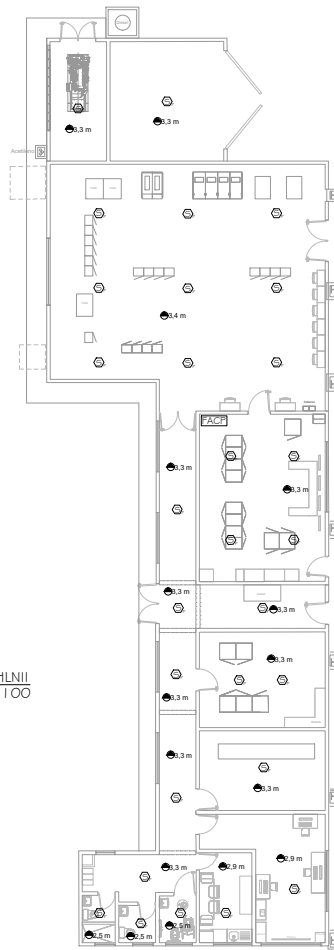
NOTAS:  
 \* EL SISTEMA DE ALARMA DEBERA CUMPLIR TODO LO QUE REQUIERE LA NORMAS NPA 72, NPA 15, NPA 12, NPA 2001 Y NPA 800, ADMAS DE LO ESTIPULADO POR EL FABRICANTE Y EL MANUAL DE DISPOSICIONES TECNICAS GENERALES SOBRE SEGURIDAD HUMANA Y PREVENCIÓN CONTRA INCENDIOS DEL SEMANARIO CLUSTRO DE BOMBEROS

CONTENIDO:  
 - Distribución de detección para sistema de diluvio y monitoreo de red exterior  
 - Distribución de detección para sistemas de Inergen  
 - Distribución de detección para sistemas de CO<sub>2</sub>

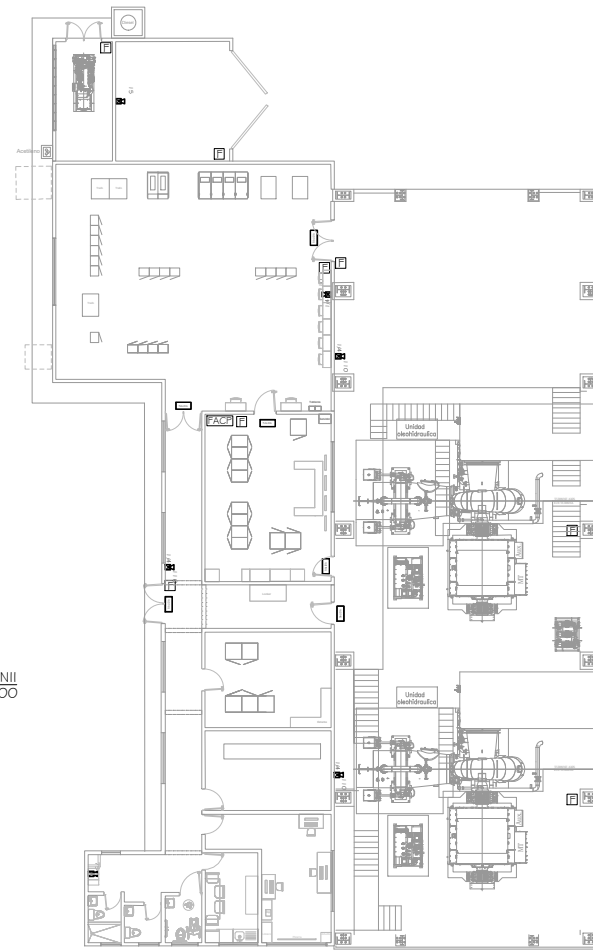
Proyecto  
 Diseño del sistema de protección contra incendios para la Planta Hidroeléctrica Los Negros II en Upala, Alajuela  
 Universidad de Costa Rica  
 Escuela de Ingeniería Mecánica  
 Sede Interuniversitaria de Alajuela

ESTUDIANTES:	CARNÉ	
Julian Escobar Vega	802214	
Nataly Fonseca Rivera	842639	
Gerick Picado Matamoros	845309	
ESCALA	FECHA	LÁMINA
INDICADA	AGOSTO 2020	11/12

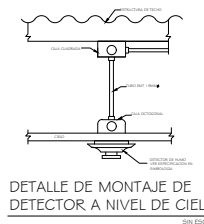
PLANTA DE DETECCIÓN PARA INSTALACIONES DE PHLNII  
ESCALA: 1:100



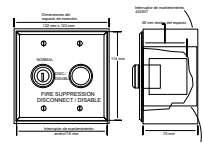
PLANTA DE NOTIFICACIÓN PARA INSTALACIONES DE PHLNII  
ESCALA: 1:100



SIMBOLOGIA SISTEMA DE ALARMA	
	PANEL DE ALARMA CON BATERIA DE EMERGENCIA (RESERVA)
	PANEL DE PULSO
	VALVULA SOLENOIDE
	VALVULA MAMPONDA
	ESTACION MANUAL DE ALARMA
	SENSOR DE HUMO FOTOELECTRICO
	PANEL DE CONTROL DIRECCIONAL REFERENCIA ANEJUL MODELO: 4027-01 (01)
	INTERRUPTOR DE MANTENIMIENTO REFERENCIA ANEJUL MODELO: 4339356
	CAJA DE CONDICION REFERENCIA TIPO: MODELO: TC1 0000
	DISPOSITIVO DE LIBERACION DE SUPRESION REFERENCIA ANEJUL MODELO: 4028-0000
	ESTACION PARA CIRCUIOS HAC REFERENCIA SUPLEN MODELO: 4000
	ESTACION MANUAL DE ALARMA DEL SISTEMA DE CO2 REFERENCIA ANEJUL MODELO: 4039 0013
	SIRENA Y LUZ ESTROBOCOPICA DE SISTEMA DE ALARMA CONTRA INCENDIO CON IDENTIFICADOR DE CANTERA, VERDECA EN MURDO MODELO DE REFERENCIA: 3914 4037
	INTERRUPTOR DE ABORTO PARA AGENTE LIMPIO MODELO DE REFERENCIA: 4034
	ESTACION MANUAL DE ALARMA DEL SISTEMA DE AGENTE LIMPIO REFERENCIA ANEJUL MODELO: 433947 1
	ALARMA SONORICA DE SISTEMA DE SUPRESION MODELO DE REFERENCIA: 40303
	SENSOR DE FLAMA
	DETECTOR LINEAL DE CALOR



DETALLE DE MONTAJE DE  
DETECTOR A NIVEL DE CIELO  
SIN ESCALA



DETALLE DE BOTON DE ABORTO E  
INTERRUPTOR DE MANTENIMIENTO  
SIN ESCALA

CONTENIDO:  
- Distribución de elementos de detección general  
- Distribución de elementos de notificación general

Proyecto  
Diseño del sistema de protección contra incendios para la Planta Hidroeléctrica Los Negros II en Upala, Alajuela  
Universidad de Costa Rica  
Escuela de Ingeniería Mecánica  
Sede Interuniversitaria de Alajuela

ESTUDIANTES:	CARNÉ
Julian Escobar Vega	802214
Nataly Fonseca Rivera	842639
Gerick Picado Matamoros	845309

ESCALA	FECHA	LÁMINA
INDICADA	AGOSTO 2020	1212