

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



OFICINA DE INGENIERÍA

**“Diseño de un sistema de distribución de agua para la
instalación de hidrantes en la sede central del Instituto
Tecnológico de Costa Rica”**

Informe de práctica de especialidad para optar por el grado de
Ingeniero en Mantenimiento Industrial, grado licenciatura

Johan Ramírez Zúñiga

Carné: 201208567

Cartago, noviembre 2016



engineerscanada

Escuela Acreditada por el
Canadian Engineering Accreditation Board (CEAB)

Profesor guía:

Ing. Rodolfo Elizondo Hernández

Asesor industrial:

Ing. Adrián Quesada Martínez

Tribunal evaluador:

Ing. Ignacio Del Valle Granados

Ing. Oscar Monge Ruiz

Información del estudiante

Nombre: Johan Ramírez Zúñiga

Cédula: 1015340845

Carné TEC: 201208567

Dirección de residencia permanente: Manuel de Jesús Jiménez (casa C-68), Cartago, Costa Rica.

Teléfono: 8755-8408 / 6181-6688

Email: jra_mirez@hotmail.com / jorazu16@gmail.com

Información del proyecto

Nombre: Diseño de un sistema de distribución de agua para la instalación de hidrantes en la sede central del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Profesor guía: Ing. Rodolfo Elizondo Hernández

Asesor industrial: Ing. Adrián Quesada Martínez

Horario de trabajo: Martes a jueves: 7:30 a.m. – 4:30 p.m.

Información de la institución

Nombre: Oficina de Ingeniería del Tecnológico de Costa Rica.

Zona: Cartago (Sede Central)

Dirección: Ubicada 1 km al sur de la Basílica de Nuestra Señora de los Ángeles.

Teléfono: 2550-2399 / 2550-9319

Fax: 2552-7952

Apartado: 159-7050

Actividad principal: Administración de proyectos de diseño y construcción.

Dedicatoria

A Dios, quién me da salud, sabiduría y guía mis pasos, sin Él nada hubiese sido posible.

Dedico ese proyecto de graduación a las personas que constituyen la razón fundamental por la cual luché en cada prueba y obstáculo que se presentó en el camino: Mí querida familia.

Mi madre Rosibel, por darme el regalo de la vida y cuidarme con tanto cariño y esfuerzo, mi padre Eduardo, persona a la cuál admiro y estoy orgulloso de ser su hijo, gracias por todos los consejos y valores que me ha heredado, mis hermanas Natalia, Kimberly y Fiorella, tres razones más para seguir adelante y mis sobrinas Nelly y Krystell, ustedes trajeron la alegría y se convirtieron en dos motores que me impulsan cada día a ser mejor.

Familia, gracias por la oportunidad, por creer en mí y por apoyarme siempre.

Agradecimientos

En primer lugar, gracias al Instituto Tecnológico de Costa Rica, institución que me abrió las puertas para demostrar que el esfuerzo y el compromiso tiene su fruto: lograr las metas.

Gracias a los profesores por todas sus enseñanzas y paciencia, especialmente a los profesores de la Escuela Electromecánica y a Greivin Ramírez con quién tuve el honor de ser su asistente durante más de dos años.

A todos los compañeros y amigos que me acompañaron durante los años de estudio, fueron parte importante para la superación personal y formaron los pilares para cruzar el camino del éxito.

Quiero agradecer al Asesor Industrial Adrián Quesada, por la confianza depositada en mí para realizar el proyecto y por su espíritu de enseñar y ser un guía constante durante todo el trabajo y al Profesor Guía Rodolfo Elizondo por la supervisión y el compromiso adquirido con el proyecto, siendo pieza importante para cumplir la meta propuesta.

A todas esas personas que de una u otra manera hicieron su aporte para alcanzar los objetivos del proyecto, en especial a José Omar López y Andy Bruno Scott de la empresa Globaltec Technologies y Davis Naranjo, encargado de brindar mantenimiento a la piscina institucional, así como los compañeros de la Oficina de Ingeniería, el Departamento de Mantenimiento y la Unidad de Ingeniería de Bomberos.

Gente, esto es de ustedes. Gracias por todo.

Tabla de contenido

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I: PERFIL DE LA INSTITUCIÓN.....	3
1.1. Descripción de la institución.....	3
1.2. Reseña histórica	4
1.3. Misión y visión.....	6
1.4. Organigrama	6
CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	8
2.1. Planteamiento del problema.....	8
2.2. Objetivos	10
2.2.1. Objetivo General.....	10
2.2.2. Objetivos Específicos	10
2.3. Justificación.....	11
2.4. Metodología	12
2.5. Alcances.....	14
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO	15
3.1. Normativas utilizadas	15
3.1.1. Ley de hidrantes	15

3.1.2.	Manual de disposiciones técnicas generales sobre seguridad humana y protección contra incendios.....	15
3.1.3.	Norma AWWA C900.....	16
3.1.4.	NFPA 14.....	16
3.1.5.	NFPA 20.....	16
3.1.6.	NFPA 22.....	17
3.1.7.	NFPA 24.....	17
3.1.8.	NFPA 25.....	18
3.1.9.	NFPA 291.....	18
3.2.	Definiciones.....	19
3.3.	Teoría de hidrantes.....	24
3.3.1.	¿Qué es un hidrante?.....	24
3.3.2.	Clasificación de hidrantes.....	24
3.3.3.	Tipos de hidrantes.....	25
3.3.4.	Identificación de hidrantes.....	29
3.3.5.	Certificación de hidrantes.....	29
3.4.	Teoría de bombas hidráulicas.....	30
3.4.1.	Clasificación de bombas hidráulicas.....	30
3.4.2.	Bomba centrífuga.....	31
3.4.3.	Curvas características.....	35

3.4.4.	Parámetros de selección de bombas centrífugas	36
3.4.5.	Bombas requeridas en un sistema contra incendio	39
3.5.	Cálculo de pérdidas de presión	42
CAPÍTULO IV: DESARROLLO.....		45
4.1.	Cantidad y ubicación de los hidrantes.....	45
4.2.	Dimensionamiento de tuberías.....	48
4.2.1.	Selección del material de la tubería.....	50
4.2.2.	Cálculo de pérdidas (ruta crítica).....	51
4.2.3.	Diseño de bloques de inercia y abrazaderas.....	69
4.2.4.	Detalles para realizar el zanjeo.....	71
4.3.	Dimensionamiento del tanque de captación.....	73
4.4.	Selección del equipo de bombeo	77
4.5.	Cotización del proyecto	91
4.6.	Rutinas de mantenimiento.....	97
CONCLUSIONES.....		108
RECOMENDACIONES		109
BIBLIOGRAFÍA		111
APÉNDICES.....		114
Apéndice 1:	Cronograma del proyecto	114
Apéndice 2:	Normativas consultadas.....	115

Apéndice 3: Atención de incendios en edificios por hidrante	118
Apéndice 4: Muestra de cálculo: Presión ruta crítica	121
Apéndice 5: Muestra de cálculo: Cotización zanjeo.....	124
Apéndice 6: Resultados obtenidos con la simulación de SprinkCAD 3D.....	125
Apéndice 7: Planos realizados para el sistema contra incendios propuesto....	129
Apéndice 8: Registros a considerar para el mantenimiento del equipo	137
Apéndice 9: Datos para definir los puntos de operación de la bomba	142
ANEXOS	143
Anexo 1: Lista de químicos agregados a la piscina	143
Anexo 2: Pérdida de presión y velocidad para el caudal máximo probable.....	144
Anexo 3: Datos importantes de la tubería PVC C900.....	145
Anexo 4: Tablas utilizadas para el cálculo de pérdida de presión	148
Anexo 5: Tablas para el cálculo de bloques de inercia y abrazaderas	149
Anexo 6: Datos de selección normalizados para bombas centrífugas.....	151
Anexo 7: Dimensionamiento de chimenea del motor de diésel	152
Anexo 8: Catálogos de equipo hidráulico	153
Anexo 9: Fotografías del campus universitario	158

Índice de Tablas

Tabla 1: Comparación de propiedades para las clases de hidrantes húmedos	25
Tabla 2: Designación de los accesorios de la estación de bombeo	42
Tabla 3: Cantidad y ubicación de hidrantes propuestos	47
Tabla 4: Longitudes y accesorios entre los diferentes nodos de la red de distribución.....	55
Tabla 5: Longitud equivalente de los accesorios considerados en la distribución de tuberías	57
Tabla 6: Longitud, altura y accesorios para el tramo donde fluye Q_{Total} utilizado para calcular pérdida de presión de cada hidrante.....	61
Tabla 7: Longitud, altura y accesorios para el tramo donde fluye $Q_{Hidrante}$ utilizado para calcular pérdida de presión de cada hidrante.....	62
Tabla 8: Longitud equivalente asociada al tramo donde fluye Q_{Total} de cada hidrante del sistema contra incendios	63
Tabla 9: Longitud equivalente asociada al tramo donde fluye $Q_{Hidrante}$ del sistema contra incendios	64
Tabla 10: Longitud total equivalente (accesorios + tubería) desde la descarga de la bomba hasta la conexión de cada hidrante.....	65
Tabla 11: Pérdidas de presión asociadas a cada hidrante del sistema contra incendios	66
Tabla 12: Cálculo de presiones dinámicas en la succión y descarga.....	79
Tabla 13: Datos utilizados y longitud equivalente para el cálculo de pérdidas en la succión	79

Tabla 14: Cálculo de pérdida de presión en la succión de la bomba	80
Tabla 15: Datos a utilizar para calcular el NPSH disponible	80
Tabla 16: Selección de bomba principal y bomba jockey	83
Tabla 17: Accesorios a utilizar en el sistema de bombeo.....	88
Tabla 18: Costo del equipo utilizado en la caseta de bombeo	91
Tabla 19: Costo de tuberías y accesorios	93
Tabla 20: Costo de hidrantes y toma directa.....	94
Tabla 21: Costo de trabajos de obra civil	95
Tabla 22: Costo total a considerar para la instalación de hidrantes en la universidad.....	96
Tabla 23: Datos a registrar para la prueba de flujo anual.....	98
Tabla 24: Inspecciones a realizar al sistema contra incendios.....	100
Tabla 25: Pruebas a realizar para el sistema contra incendios	103
Tabla 26: Rutinas de mantenimiento del sistema contra incendios.....	105
Tabla 27: Normativas consultadas para la realización del proyecto.....	115
Tabla 28: Datos para realizar la muestra de cálculo de pérdida de presión (ruta crítica)	121
Tabla 29: Datos para realizar cálculo de pérdida de presión	122
Tabla 30: Formato de orden de trabajo semanal para el sistema contra incendios	137

Tabla 31: Formato de orden de trabajo mensual, trimestral y semestral para el sistema contra incendios.....	138
Tabla 32: Formato de orden de trabajo anual para el sistema contra incendios .	139
Tabla 33: Causas de posibles fallas en la bomba centrífuga del sistema contra incendios	141
Tabla 34: Datos utilizados para elaborar las curvas del sistema a 750 gpm y 1000 gpm	142
Tabla 35: Químicos y dosis semanal agregados a la piscina.....	143
Tabla 36: Concentraciones de químicos en el agua de la piscina.....	143
Tabla 37: Propiedades físicas y químicas del PVC C900	145
Tabla 38: Capacidad de presión máxima permisible en un aumento ocasional y cambios bruscos en la velocidad del agua permisibles en la tubería a 23 °C	145
Tabla 39: Deflexión máxima recomendada según grosor para la tubería PVC C900	146
Tabla 40: Dimensiones estandarizadas para la tubería PVC C900, grosor DR 14	147
Tabla 41: Dimensiones estandarizadas de la espiga y campana de la tubería PVC C900.....	147
Tabla 42: Longitud equivalente de accesorios para un C=120.....	148
Tabla 43: Valores del coeficiente C de Hazen - Williams	148
Tabla 44: Ajuste de factores para diferentes valores de C	148
Tabla 45: Área de superficie de apoyo mínima para los bloques de inercia	149

Tabla 46: Dimensiones para los bloques de inercia	149
Tabla 47: Dimensiones estandarizadas para las abrazaderas	150
Tabla 48: Dimensiones de tornillo, arandela y varilla a utilizar por las abrazaderas	150
Tabla 49: Resumen de información de bombas centrífugas contra incendio en unidades inglesas y en unidades del sistema internacional (SI)	151

Índice de Figuras

Figura 1: Vista aérea del campus universitario de la sede central del TEC	4
Figura 2: Organigrama de la Oficina de Ingeniería.....	6
Figura 3: Organigrama de la universidad	7
Figura 4: Problemas de abastecimiento de agua en hidrantes.....	9
Figura 5: Presión máxima de trabajo de las clases de accesorios a diferentes temperaturas	20
Figura 6: Siamesa utilizada en sistemas contra incendios	23
Figura 7: Tipos de hidrante: a.) De columna y b.) En arqueta	26
Figura 8: Partes que componen un hidrante de columna seca	27
Figura 9: Funcionamiento de un hidrante de columna seca.....	28
Figura 10: Hidrante de columna húmeda: a.) Partes y b.) Estado normal.....	28
Figura 11: Clasificación de bombas hidráulicas	31
Figura 12: Principales partes de una bomba centrífuga monoetapa radial	32
Figura 13: Clasificación de las bombas centrífugas	33
Figura 14: Representación común de las curvas características de la bomba centrífuga	36
Figura 15: Curva característica requerida para una bomba contra incendios	39
Figura 16: Bombas utilizadas comúnmente en un sistema contra incendio	40

Figura 17: Accesorios requeridos para la operación segura de la estación de bombeo	41
Figura 18: Pérdida de presión y caudal en tuberías en paralelo	44
Figura 19: Distribución de hidrantes en la sede central del TEC.....	46
Figura 20: Distribución de tuberías propuesta para el sistema contra incendio	49
Figura 21: Explicación de ruta crítica a.) Trayectoria 1 y b.) Trayectoria 2.....	53
Figura 22: Definición de nodos en la red de distribución para facilitar recolección de datos.....	54
Figura 23: Dimensiones a tomar en cuenta para los bloques de inercia.	69
Figura 24: Instalación de bloque de inercia para una válvula.....	70
Figura 25: Tipos de abrazaderas a utilizar en los codos y tees.....	71
Figura 26: Enriñonado a.) Correcto y b.) Incorrecto	72
Figura 27: Capas de material a considerar para el relleno de la zanja.....	72
Figura 28: Dimensiones de la piscina utilizada como tanque cisterna	74
Figura 29: Distancias y accesorios a tomar en cuenta para la selección de la bomba	78
Figura 30: Instalación de la bomba jockey con la bomba principal.....	82
Figura 31: Determinación de los coeficientes Cv para determinar curva del sistema	84
Figura 32: Puntos de operación de la bomba principal a 750 gpm y 1000 gpm	85
Figura 33: Cabezal para pruebas de flujo de bombas hidráulicas.....	86

Figura 34: Costo aproximado asociado a la construcción de un tanque cisterna enterrado.....	96
Figura 35: Rótulo a utilizar en caso de que ocurra una desactivación en el sistema	99
Figura 36: Variaciones de curva presión – caudal que indican problemas en la bomba.	107
Figura 37: Cronograma propuesto para la realización del proyecto	114
Figura 38: Información obtenida de la simulación de los hidrantes 3,4 y 6 (ruta crítica)	125
Figura 39: Distribución de tuberías utilizada para la simulación de los hidrantes 3,4 y 6.	126
Figura 40: Información obtenida de la simulación de los hidrantes 3,4 y 7 (ruta crítica)	127
Figura 41: Distribución de tuberías utilizada para la simulación de los hidrantes 3,4 y 7.	128
Figura 42: Cuadrantes para la presentación del sistema de distribución de tuberías.	129
Figura 43: Distribución de tuberías en los cuadrantes A y B.	130
Figura 44: Distribución de tuberías en el cuadrante C.	131
Figura 45: Distribución de tuberías en el cuadrante D.	132
Figura 46: Distribución de tuberías en el cuadrante E.....	133
Figura 47: Detalles típicos a considerar para la distribución de tuberías para la instalación de hidrantes.....	134

Figura 48: Continuación detalles típicos a considerar para la distribución de tuberías para la instalación de hidrantes.	135
Figura 49: Caseta de bombeo.	136
Figura 50: Velocidad de flujo y pérdida de presión para diámetros de 150 y 200 mm	144
Figura 51: Accesorios utilizados para la distribución de tuberías.	146
Figura 52: Dimensionamiento de la chimenea para el motor de diésel	152
Figura 53: Equipo de bombeo seleccionado para el proyecto propuesto.	153
Figura 54: Información de curvas características de la bomba seleccionada	154
Figura 55: Hoja de datos de la bomba del sistema contra incendios.	155
Figura 56: Especificaciones válvula de alivio de presión.....	155
Figura 57: Especificaciones del motor de diésel	156
Figura 58: Costo de tuberías y accesorios de PVC C900	157
Figura 59: Piscina institucional a utilizar como tanque de almacenamiento de agua	158
Figura 60: Toma directa para conexión de bomberos instalada en alrededores de la piscina	158
Figura 61: Zona donde se propone construir la caseta de bombeo	159
Figura 62: Ubicación de los hidrantes actuales instalados en la universidad.....	159
Figura 63: Ubicación propuesta para: a.) hidrante 5, b.) hidrante 9, c.) hidrante 10, d.) hidrante 13, e.) hidrante 15 y f.) hidrante 16.	160

RESUMEN

El presente informe detalla el procedimiento implementado para diseñar una red de suministro y distribución de agua para el abastecimiento de hidrantes en la sede central del Instituto Tecnológico de Costa Rica. El proyecto contempla la identificación de los puntos estratégicos para la instalación de los hidrantes, la selección del equipo hidráulico requerido para cumplir con las especificaciones exigidas por el cuerpo de Bomberos de Costa Rica para combatir incendios y el dimensionamiento de toda la red de tuberías y accesorios pertinentes que requiere el sistema.

Además, se establece el volumen y ubicación del tanque de almacenamiento de agua, se genera los planos que permiten visualizar las diferentes localizaciones de la distribución de hidrantes propuesta y se cotiza los materiales y mano de obra requerida para ejecutar el proyecto. Como parte final, el proyecto se centra en establecer las rutinas de mantenimiento requeridas para monitorear periódicamente el correcto funcionamiento de todo el sistema de hidrantes diseñado.

Los criterios de diseño empleados tienen como principal punto de referencia las normativas internacionales NFPA (National Fire Protection Association) y reglamentos nacionales tales como el Manual de Disposiciones Técnicas de Bomberos de Costa Rica. También para la realización de los planos se tomaron en cuenta las consideraciones establecidas por el CFIA (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos). El proyecto se desarrolla en la Oficina de Ingeniería del Instituto Tecnológico de Costa Rica y cuenta con la supervisión de un asesor industrial y un profesor guía.

Palabras Clave: *Hidrantes, diseño, red de tuberías, bomberos, hidráulica, NFPA.*

ABSTRACT

This report details the implemented procedure to design a water supply and distribution network to provide hydrants at the headquarters of the Technological Institute of Costa Rica. The project includes the detection of the strategic points for installation of hydrants, the selection of hydraulic equipment required to satisfy the specifications demanded by the Fire Department of Costa Rica to fight fires and the sizing of the whole pipe work and relevant accessories required by the system.

Besides, the volume and location of the water storage tank is established, the plans for viewing the different locations of the distribution of hydrants proposed are generated and the materials and labor required to execute the project are valued. As the final part, the project focuses on establishing the necessary maintenance routines to periodically monitor the correct functioning of the whole hydrants system designed.

The design criteria used have as main reference point the international regulations NFPA (National Fire Protection Association) and national regulations such as the Technical Ordinances by the Fire Department of Costa Rica. Also for the realization of the planes, considerations established by the CFIA (Federated Association of Engineers and Architects) were taken into account. The project is developed in the Engineering Office of the Technological Institute of Costa Rica and it has the supervision of an industrial adviser and a professor guide.

Keywords: *Hydrants, design, pipe work, fire department, hydraulic, NFPA.*

CAPÍTULO I: PERFIL DE LA INSTITUCIÓN

1.1. Descripción de la Institución

El Tecnológico de Costa Rica (TEC) es una institución autónoma de educación superior universitaria, enfocada en la investigación, docencia y extensión de la tecnología contribuyendo con el desarrollo del país. El TEC forma parte del Consejo Nacional de Rectores (CONARE), instancia que coordina la planificación y control de procesos y proyectos académicos de las universidades estatales. Los estudiantes están organizados en una federación (FEITEC) para velar por los derechos y servicios ofrecidos a la población estudiantil. A continuación, se presenta la misión y visión del Tecnológico:

Misión: “Contribuir al desarrollo integral del país mediante la formación del recurso humano, la investigación y la extensión; manteniendo el liderazgo científico, tecnológico y técnico, la excelencia académica y el estricto apego a las normas éticas, humanísticas y ambientales, desde una perspectiva estatal de calidad y competitividad a nivel nacional e internacional.”

Visión: “El Tecnológico de Costa Rica será una institución de reconocido prestigio nacional e internacional, que contribuirá decididamente a la edificación de una sociedad más solidaria, incluyente, respetuosa de los derechos humanos y del ambiente, mediante la sólida formación de recurso humano, la promoción de investigación e innovación tecnológica, la iniciativa emprendedora y la estrecha vinculación con los sectores sociales y productivos.”

Como se puede observar en la Figura 3, la Oficina de Ingeniería representa una de las entidades bajo el cargo de la rectoría y se encarga del manejo físico espacial de las diferentes sedes del Tecnológico y la administración de los proyectos de construcción de edificaciones de infraestructura que el TEC requiera, así como la modernización de las estructuras actuales.

La Oficina de Ingeniería cuenta con una logística y división de trabajo bien definida. Este departamento tiene designados proyectos tales como la ampliación de instalaciones, remodelación de edificios, parqueos institucionales, licitaciones e inspección de proyectos para la construcción de nuevas aulas, laboratorios, cafetería, centros de investigación, distribución de agua a las distintas edificaciones, distribución eléctrica, realización de planos, entre otras tareas.



Figura 1: Vista aérea del campus universitario de la sede central del TEC
Fuente: Tecnológico de Costa Rica.

1.2. Reseña histórica

El TEC fue creado el 10 de junio de 1971 en el cantón Central de la provincia de Cartago durante el gobierno del ex presidente José Figueres Ferrer, abarcando una extensión de más de 90 hectáreas de terreno, en aquel entonces convirtiéndose en la segunda universidad pública del país, creada para formar profesionales competitivos en el ámbito científico y tecnológico, tomando como modelo a seguir el Instituto Tecnológico de Monterrey.

Después de dos años de su creación, en 1973, dio inicio el primer período lectivo del Tecnológico abarcando las carreras de Ingeniería en Producción Industrial, Ingeniería en Construcción e Ingeniería en Mantenimiento Industrial. En aquel entonces la duración de las carreras era de 3 años y el grado profesional obtenido se llamaba ingeniero técnico.

La Institución comenzó a ganar prestigio rápidamente y siguió siendo ampliamente apoyada por el Estado, de tal forma que a finales del año 1982 el TEC ya contaba con un catálogo muy diversificado de 16 carreras, pasando de 87 a 2218 estudiantes y aumentó a 24 la cantidad de edificios en el campus. Posteriormente, a través de procesos de cooperación con las embajadas de Alemania e Italia se abrieron las carreras de Ingeniería Electrónica y Diseño Industrial respectivamente. También recientemente se abrieron carreras tales como Administración de Empresas, Ingeniería en Computación Administrativa e Ingeniería Forestal.

En este momento el TEC cuenta con 5 sedes. Estas sedes están ubicadas en Cartago, San Carlos, San José, Alajuela y Limón, formando profesionales en 20 diferentes carreras enfocadas principalmente en las áreas de ingeniería, administración de empresas, enseñanza de la matemática y educación técnica. Muchas carreras cuentan con su respectiva acreditación de entidades tales como la Agencia Centroamericana de Acreditación de Programas de Arquitectura y de Ingeniería (ACAAI), el Sistema Nacional de Acreditación de la Educación Superior (SINAES) y Canadian Engineering Accreditation Board (ECAB).

Por su parte, la Oficina de Ingeniería inició sus funciones en 1974 (en ese momento llamada Oficina Ejecutora del TEC) realizando diferentes proyectos financiados con préstamos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE). No fue hasta 1987 mediante un acuerdo del Consejo Institucional que se crea la Oficina de Ingeniería como tal, con el objetivo de servir como ente asesor de la rectoría contribuyendo al desarrollo de la Institución.

1.3. Misión y visión

A continuación, se presenta la misión y visión de la Oficina de Ingeniería

Misión: “Dotar al Instituto Tecnológico de Costa Rica de un desarrollo físico espacial efectivo, acorde con sus necesidades de crecimiento y modernización.”

Visión: “Convertirse en un soporte constante y confiable de las autoridades del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en lo que respecta al desarrollo de nuevos proyectos de edificaciones e infraestructura universitaria, así como modernización y ampliación del espacio físico existente.”

1.4. Organigrama

En la Figura 3 se visualiza encerrada en un círculo la posición que ocupa la Oficina de Ingeniería en la jerarquía establecida por el Tecnológico. Por otra parte, en la siguiente imagen se adjunta la estructura organizacional definida por la propia Oficina de Ingeniería para cumplir con sus objetivos.



Figura 2: Organigrama de la Oficina de Ingeniería
Fuente: Oficina de Ingeniería, TEC.

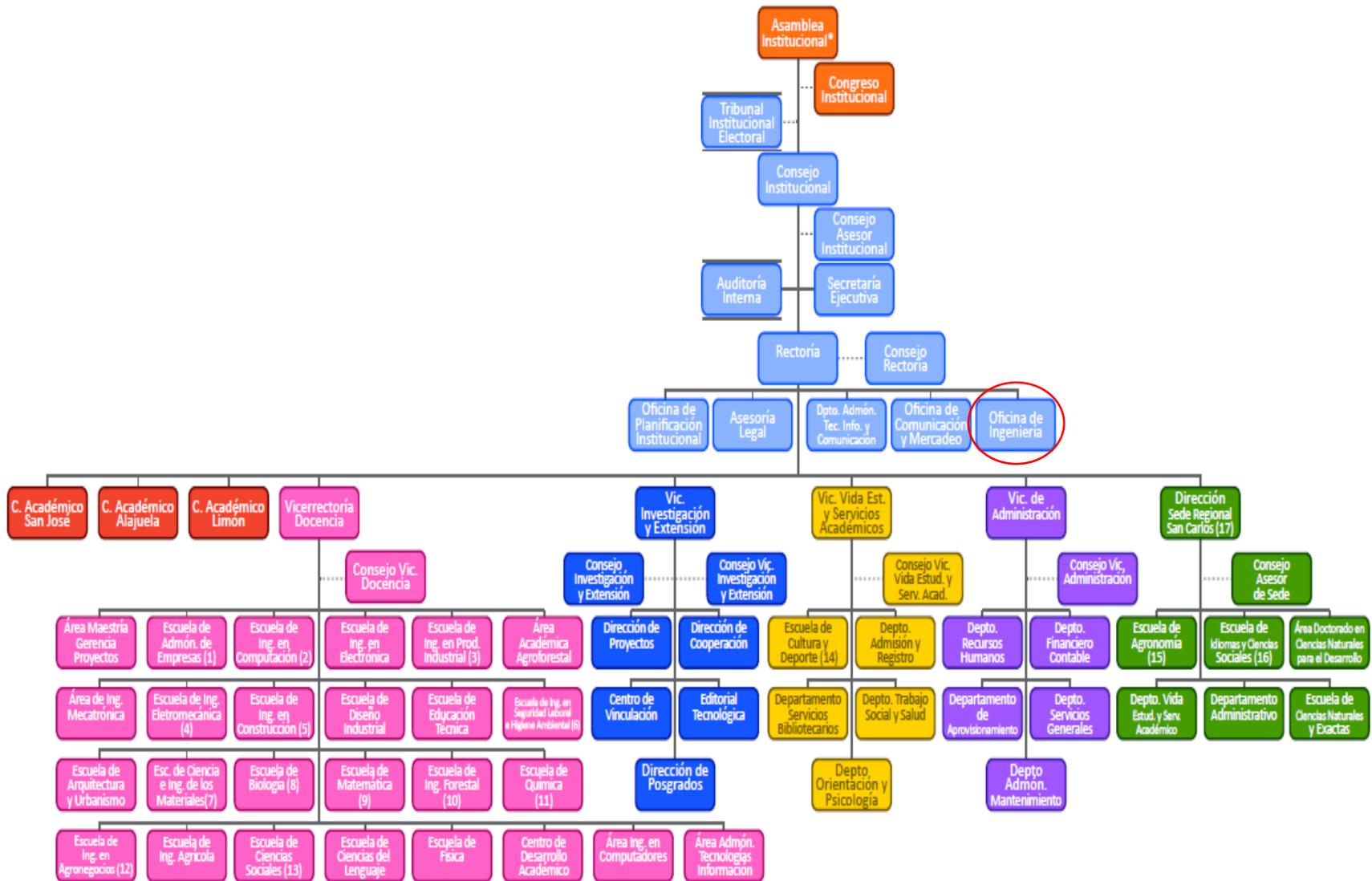


Figura 3: Organigrama de la universidad (Fuente: Tecnológico de Costa Rica).

CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1. Planteamiento del problema

El 29 de septiembre del 2015, Bomberos de Costa Rica publicó una serie de estadísticas en el periódico La Nación, entre las cuales destacan que el 80% de los 9100 hidrantes que existen en nuestro país no poseen el caudal de agua suficiente y que los hidrantes comparten la red de abastecimiento de agua dirigida a la comunidad, lo que provoca falta del recurso hídrico en caso de emergencia.

Sumado a esto, se debe entender que el país cada vez presenta mayor escasez de agua, lo que obligó, según datos de Bomberos de Costa Rica, a invertir sólo en el año 2015, tres mil millones de colones en la compra de cuatro tanques cisterna y 10 camiones tanqueros. En el año 2008, se aprobó la Ley de Hidrantes (Ley 8641), que convirtió a los hidrantes en un servicio público y estableció una cantidad de 12000 hidrantes como mínimo para atender de manera adecuada cualquier eventualidad de incendio en territorio nacional. Esto demuestra un faltante del 25% de hidrantes, con respecto a la cifra mínima recomendada.

Esto afecta a todos los costarricenses ya que al ser los hidrantes un servicio público se cobra un monto de dinero definido por la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP), incluido en la facturación mensual del recibo de agua, para suplir las deficiencias y faltantes respecto a la condición ideal en el tema de hidrantes. De acuerdo a estimaciones de la ARESEP, el impuesto cobrado para mantenimiento, reparación e instalación de hidrantes subiría de ₡16,5/m³ a ₡26/m³ para abonados con medidor y de ₡350/m³ a ₡555/m³ para abonados con servicio fijo, esto tomando en cuenta los datos actuales y los estimados para el año 2020. Para tener una noción de la inversión realizada en hidrantes, solamente el Instituto de Acueductos y Alcantarillados (AyA) estima un monto de 14591 millones de colones en la instalación de nuevos hidrantes en un plazo de 6 años (del 2013 al 2018).

Para ese mismo período también se piensa invertir 1841 millones de colones en la sustitución y rehabilitación de tubos de descarga. A esto se deben sumar gastos administrativos, reparación, compra de equipo, mano de obra, entre otros, y que los datos presentados corresponden sólo al AyA, porque otras entidades tales como 29 municipalidades, Servicios Públicos de Heredia (ESPH) y Asociaciones Administradoras de Sistemas y Alcantarillados Sanitarios (ASADAS) también se encargan de invertir recursos destinados a la administración de hidrantes.

En el caso del Tecnológico de Costa Rica no es la excepción y también contribuye en aumentar la estadística negativa de faltante de hidrantes en el país. Es importante comprender que un incendio ocurre en cualquier momento y se debe estar preparado para combatir de manera adecuada la emergencia, con hidrantes accesibles capaces de suministrar caudal y presión requeridos, ya que se pone en juego la vida de personas y destrucción de equipos e infraestructura, consecuencias que se pueden minimizar con un adecuado sistema de hidrantes.



Figura 4: Problemas de abastecimiento de agua en hidrantes.
Fuente: Bomberos de Costa Rica e Instituto de Acueductos y Alcantarillados.

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de distribución de agua para la instalación de hidrantes en el campus central del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

2.2.2. Objetivos Específicos

1. Determinar los puntos de ubicación estratégicos donde se deben instalar los hidrantes.
2. Calcular la red de tuberías necesaria para abastecer con agua a los hidrantes según los requerimientos de presión y caudal exigidos por el cuerpo de Bomberos de Costa Rica.
3. Dimensionar el tanque de captación de agua capaz de almacenar el agua suficiente para abastecer los hidrantes en caso de emergencia.
4. Seleccionar el equipo hidráulico y soportería requerida para lograr el funcionamiento óptimo de la red de distribución de agua para uso de hidrantes.
5. Seleccionar la cotización del proyecto realizando un estudio de mercado para estimar el costo que implica la realización del diseño propuesto.
6. Generar los planos del sistema de distribución de agua para abastecimiento de hidrantes propuesto con base en las especificaciones establecidas por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos.

2.3. Justificación

De acuerdo al Departamento de Mantenimiento del TEC, existen sólo 4 hidrantes instalados en todo el campus y no todos ellos cumplen con los estándares de presión y caudal exigidos por Bomberos de Costa Rica porque estos hidrantes están conectados a la red de suministro de agua para uso general.

Según el artículo 10 del Reglamento a la Ley de Hidrantes (N° 35 206-MP-MINAET) es obligación que todo proyecto de infraestructura cuente con hidrantes en las condiciones técnicas y de operación requeridas por el Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica.

Por esa razón, la realización de este proyecto es muy importante para mitigar y combatir de manera eficiente eventualidades que involucren la presencia de incendios en cualquier área del campus universitario, aumentando la sensación de seguridad en los estudiantes y funcionarios que asisten a la institución al conocer que existen los mecanismos apropiados requeridos por el cuerpo de bomberos para enfrentar este tipo de situaciones.

Se debe entender que la justificación para realizar este proyecto radica en primer lugar en proteger la vida e integridad física de las personas que asisten a esta institución pública, ya que no se puede descartar la posibilidad que dichas personas puedan verse involucradas ante una emergencia de incendio, ratificando el compromiso que tiene la universidad de garantizar condiciones seguras para la población laboral, estudiantil y demás grupos que de una u otra forma hacen uso de las instalaciones de la universidad.

Además, se debe rescatar que gran parte del área total del campus es zona verde, por lo que poseer un sistema de hidrantes que asegure una actuación inmediata contra un incendio disminuye la posibilidad de que las llamas puedan alcanzar lugares de zona verde que son tan apreciados en la universidad y en la provincia.

2.4. Metodología

En las siguientes páginas se define los pasos a seguir para cumplir con los objetivos del proyecto planteado:

1. Investigar la topografía y sistema de distribución de agua actual: Es importante conocer la red de distribución de agua (diámetros, tanques cisterna, etc.) y el relieve presente en el campus universitario a través de planos ya elaborados facilitados por la Oficina de Ingeniería para identificar posibles opciones que ayuden a optimizar el diseño.
2. Aprendizaje de normativas y teoría de hidrantes: Se requiere estudiar minuciosamente las normas NFPA, el reglamento de bomberos y demás bibliografía que genere conocimiento necesario para definir las especificaciones de diseño requeridas.
3. Definir cantidad y ubicación de los hidrantes: Con esto se determina la cantidad de usuarios que habrá en la red de distribución de agua y una distribución aproximada de los posibles distribuidores y derivaciones que tendría que recorrer la tubería para llegar a cada punto de conexión.
4. Elaborar un esquema del sistema de tuberías: Esto permitirá establecer longitudes de todos los tramos de tubería involucrados en la red. Además, se debe asignar una ubicación estratégica al tanque de captación requerido para almacenamiento del agua.
5. Cálculo de tuberías: Se debe realizar todo el procedimiento de cálculos respectivo para dimensionar los diámetros de las tuberías, teniendo en mente pérdidas de presión, velocidades máximas, golpe de ariete, grosor (cédula), material, soportería, accesorios, especificaciones mínimas y máximas de diseño, entre otras cosas.

6. Dimensionar tanque de captación: En el punto 4 se definió la posición del tanque de captación. Para este paso, se pretende definir el volumen del tanque de captación con base en los requerimientos de agua normalizados en caso incendio.
7. Selección de bombas: Se debe seleccionar las bombas hidráulicas requeridas para elevar presión y trasegar caudal requerido por los diferentes puntos de conexión con base en las especificaciones de diseño definidas en el punto 2, tomando en cuenta la ruta crítica de la red de distribución y elementos afines a estas turbo máquinas.
8. Selección de equipo necesario para implementar proyecto: Una vez diseñado el sistema de distribución de agua para la colocación de hidrantes, debidamente normalizado y cumpliendo las especificaciones de Bomberos de Costa Rica, se procede a seleccionar catálogos, todo el equipo a utilizar para operar el sistema (válvulas, bomba, hidrantes, tuberías).
9. Cotizar proyecto: De manera paralela a la selección de equipo, se realizará un estudio de mercado para estimar el costo que representaría el proyecto propuesto.
10. Elaboración de planos: Para este momento, se diseñarían los planos necesarios para visualizar la distribución y dimensionamiento de todo el diseño planteado, tomando en cuenta las especificaciones establecidas por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos.
11. Definir rutinas de mantenimiento preventivo: Como parte final del proyecto, se pretende establecer las tareas de mantenimiento preventivo para chequear la adecuada funcionalidad del sistema de hidrantes de forma periódica.

2.5. Alcances

Los alcances planificados para el proyecto abarcan el diseño muy detallado y bien normalizado de todo el sistema de distribución de agua necesario para la colocación de hidrantes en el campus universitario, tomando en cuenta todas las consideraciones pertinentes para que cumpla con los requerimientos mínimos establecidos por el cuerpo de Bomberos de Costa Rica para atender una emergencia de manera correcta.

Entonces, cabe hacer énfasis en la palabra diseño, que para efectos del proyecto de práctica de especialidad se traduce a que no se va a ejecutar la obra como tal, es decir, al final del período establecido para la ejecución del proyecto los hidrantes no van a estar instalados aún, lo que sí se pretende es realizar todo el diseño completo, con sus respectivos planos y una cotización actual del costo de la obra para que la instalación de las tuberías e hidrantes se haga efectiva lo más pronto posible, ya que el costo determinado en la realización del proyecto asociado a la instalación de hidrantes, le permitirá a la Institución presupuestar los recursos para su ejecución y además el proyecto sí se considera una prioridad por parte de la Oficina de Ingeniería.

Otro detalle importante que abarca el proyecto es la realización de las rutinas de mantenimiento preventivo que se deben tomar en cuenta para verificar el buen estado de los hidrantes periódicamente, ya que al ser este un sistema privado y exclusivo para atención de incendios requiere ciertas acciones normalizadas para su correcto funcionamiento en el momento que se requiera.

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

3.1. Normativas utilizadas

3.1.1. Ley de hidrantes

La Ley de Hidrantes (Ley 8641) fue aprobada el 30 de abril del 2008 con el objetivo de declarar la instalación, desarrollo, operación y mantenimiento de los hidrantes como un servicio público, asignando dichas responsabilidades a las entidades encargadas de administrar la distribución del servicio de agua potable, ya sean estas públicas o privadas. Esta ley designa al cuerpo de bomberos del Instituto Nacional de Seguros (INS) como la instancia técnica encargada de coordinar con los administradores del servicio de agua potable los tipos de hidrantes a utilizar, así como la prioridad en la instalación, especificaciones de diseño y ubicaciones. Además, siendo el servicio de hidrantes de carácter público se establece que la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP) establezca una estructura tarifaria incluida en el cobro del servicio de acueductos para financiar los costos asociados a la instalación, desarrollo y mantenimiento de hidrantes.

3.1.2. Manual de disposiciones técnicas generales sobre seguridad humana y protección contra incendios

De aquí en adelante llamado simplemente Manual de Bomberos, se refiere a un manual de disposiciones técnicas de acatamiento obligatorio creado por Bomberos de Costa Rica en el año 2005 con el propósito de regular aspectos generales de prevención de seguridad humana y protección contra incendios, basado principalmente en las normas NFPA. Se encarga de establecer los requisitos específicos que deben cumplir los diferentes tipos de ocupación para contar con un sistema de protección contra incendios capaz de proteger la integridad estructural y de los ocupantes ante una eventual emergencia de manera eficiente. Es aplicable a ocupaciones temporales o permanentes.

3.1.3. Norma AWWA C900

La American Water Works Association (AWWA) C900 se encarga de normalizar los requerimientos mínimos establecidos para la manufactura del Cloruro de Polivinilo (PVC) C900 para diámetros desde 100 mm (4 in) y hasta 300 mm (12 in), la cual es una tubería especializada para distribuciones subterráneas de agua potable. La norma establece para diversos grosores de tubería diferentes características tales como: las presiones máximas de trabajo, presiones para pruebas hidrostáticas, control de calidad de acabado en el proceso de fabricación, estandarización de juntas, especificaciones de marcado, entre otros aspectos.

3.1.4. NFPA 14

Esta norma consiste en el establecimiento de los principales criterios de diseño mínimos a tomar en cuenta para la selección e instalación de los sistemas de tuberías que componen una red de suministro de agua para la atención de incendios, basándose en principios ingenieriles, información de prueba y experiencia de campo. Presenta recomendaciones en cuanto a la metodología de cálculo a emplear para dimensionar las tuberías considerando pérdidas de presión y accesorios. Además, define las clases de sistema de tubería que existen y las principales características que identifican cada categoría.

3.1.5. NFPA 20

La NFPA 20 se centra en estandarizar los aspectos referentes a la instalación de bombas estacionarias y todos los componentes encargados de generar la presión necesaria para el suministro de agua utilizado en la protección contra incendios. Es aplicable para diferentes tipos de bombas, principalmente bombas centrífugas de una etapa o más etapas y bombas de desplazamiento positivo, en ambos casos la norma es válida para eje vertical u horizontal.

También se detalla las especificaciones de diseño a seguir para la selección y conexión de los motores y controladores eléctricos encargados de impulsar las bombas, incluyendo los motores que operan con diesel y turbina de vapor. Por último, esta reglamentación establece las principales tareas y pruebas de mantenimiento a las que debe ser sometido el equipo de bombeo para detección de posibles fallas que atentan contra el funcionamiento óptimo del sistema.

3.1.6. NFPA 22

Esta norma se creó con el propósito de proporcionar una base para definir los requisitos mínimos para el diseño, instalación, construcción y mantenimiento de los tanques encargados de almacenar y suministrar el agua en un sistema de protección contra incendio, incluyendo los equipos y accesorios requeridos para el funcionamiento adecuado de dichos tanques. La normativa aborda diferentes tipos de tanque tales como el tipo elevado (torres), a nivel (por gravedad), subterráneos y presurizados, permitiendo definir la ubicación, materiales, fabricación y demás detalles de diseño para cada una de estas categorías de tanque.

3.1.7. NFPA 24

La NFPA 24 se enfoca en cubrir los requisitos mínimos de instalación de tuberías principales y sus accesorios para sistemas de atención de incendios privados. Entre las principales temáticas abarcadas por esta norma está la selección e identificación de las diferentes válvulas a tomar en cuenta para el manejo apropiado de la red de distribución de agua, la selección de tubería destinada a ser enterrada y tubería instalada en la superficie, establecimiento de metodologías numéricas para implementar los cálculos hidráulicos y los métodos de conexión de las tuberías a los suministros de agua públicos o privados.

3.1.8. NFPA 25

Esta norma fue creada con el objetivo de establecer los requerimientos mínimos referentes a la inspección, mantenimiento y pruebas periódicas que se deben ejecutar en los sistemas de protección contra incendio a base de agua. El documento contiene las bases necesarias para mantener el sistema bajo estricta vigilancia, permitiendo detectar cualquier irregularidad que atente con garantizar un funcionamiento adecuado.

Se abarca de manera integral todos los componentes comunes que forman el sistema de protección contra incendio tales como las bombas, los tanques de almacenamiento de agua, tuberías, válvulas y accesorios presentes en la red de suministro y distribución, definiendo para cada uno de estos componentes las tareas de inspección, pruebas y reportes de mantenimiento a llevar a cabo. Asimismo, incluye los procedimientos de inspección y mantenimiento para sistemas de rociadores y de pulverización de agua.

3.1.9. NFPA 291

Esta normativa se encarga de establecer las consideraciones pertinentes para la identificación de hidrantes de acuerdo a una clasificación definida por el caudal trasegado y su condición de trabajo. La NFPA 291 también se enfoca en estandarizar las metodologías para realizar las pruebas de flujo con el propósito de determinar la tasa de flujo disponible en diversos puntos de la red para ser utilizado en la extinción de un eventual incendio.

3.2. Definiciones

Agente extintor: Son aquellas sustancias que se utilizan para combatir o eliminar incendios. Existen agentes extintores en estado líquido (agua), sólido (polvo químico seco) y gaseoso (dióxido de carbono).

Boca de incendio: Se refiere a una toma de agua destinada a proporcionar caudal considerable para combatir un incendio.

Cabezal de pruebas: Consiste en un sistema de tuberías y accesorios empleados para hacer pruebas periódicas de flujo al sistema de bombeo, verificando el estado de operación de las bombas a través del análisis de sus curvas características. En alguna literatura se conoce como múltiple de pruebas.

Caudal: Es el volumen de un fluido que atraviesa una sección determinada en una unidad de tiempo específica.

Caudal cero: Se refiere al caudal generado por una bomba cuando esta funciona a velocidad nominal y la válvula de descarga está cerrada, produciendo una presión mayor a la nominal.

Cavitación: Es un fenómeno producido cuando un líquido vaporiza debido a reducciones locales de presión, es decir, la presión desciende a tal punto que se alcanza la temperatura de vaporización del líquido. Esto produce burbujas de vapor que al llegar a una zona de mayor presión implotan generando presiones puntuales altas produciendo picaduras, erosión, ruido y vibraciones en la tubería.

Cebado: Se realiza únicamente en las bombas dinámicas. Consiste en llenar de líquido la tubería de succión y la bomba para evitar que quede aire o vapores, ya que este tipo de bombas no puede manejar fluidos compresibles. Las bombas de desplazamiento positivo y algunas bombas dinámicas son autocebantes, esto quiere decir que tienen la capacidad de desalojar el aire presente en la succión y la bomba y lograr la descarga del fluido sin intervención externa alguna.

Clase de presión: De acuerdo a la norma ANSI/AWWA C111 (2001) la clase de presión se refiere a la presión máxima admisible recomendada en las uniones (bridadas, roscadas, acoples ranurados, juntas a presión, entre otros). La clase es una característica propia de cada accesorio y depende principalmente del material, tipo de unión y temperatura de trabajo (ver Figura 5).

Cuanto mayor sea la clase de presión de un accesorio, mayor resistencia presentará ante cualquier efecto de presión o temperatura que influya en el funcionamiento del sistema. También se debe tener presente que a mayor clase de presión el accesorio es más costoso por lo que es fundamental seleccionar de manera adecuada la clase de presión según las condiciones de operación para evitar gastos injustificados referentes a una mala selección de la clase de presión.

Temperatura (°C)	Bar						
	Clase 150	Clase 300	Clase 400	Clase 600	Clase 900	Clase 1500	Clase 2500
-29 a 38	19,6	51,1	68,1	102,1	153,2	255,3	425,5
50	19,2	50,1	66,8	100,2	150,4	250,6	417,7
100	17,7	46,6	62,1	93,2	139,8	233	388,3
150	15,8	45,1	60,1	90,2	135,2	225,4	375,6
200	13,8	43,8	58,4	87,6	131,4	219	365
250	12,1	41,9	55,9	83,9	125,8	209,7	349,5
300	10,2	39,8	53,1	79,6	119,5	199,1	331,8
325	9,3	38,7	51,6	77,4	116,1	193,6	322,6
350	8,4	37,6	50,1	75,1	112,7	187,8	313
375	7,4	36,4	48,5	72,7	109,1	181,8	303,1
400	6,5	34,7	46,3	69,4	104,2	173,6	289,3
425	5,5	28,8	38,4	57,5	86,3	143,8	239,7
450	4,6	23	30,7	46	69	115	191,7
475	3,7	17,4	23,2	34,9	52,3	87,2	145,3
500	2,8	11,8	15,7	23,5	35,3	58,8	97,9
538	1,4	5,9	7,9	11,8	17,7	29,5	49,2

Nota: La tabla anterior aplica sólo para uniones bridadas de materiales ASTM A105 y ASTM A216, para cada tipo de material hay diferentes tablas especificadas en normas ANSI.

Figura 5: Presión máxima de trabajo de las clases de accesorios a diferentes temperaturas
Fuente: Norma ANSI B 16.5

Coefficiente Cv: Caudal de agua a 60 °F, medido en galones por minuto (gpm), que produce una pérdida de carga de 1 psi al circular por la válvula de control.

Golpe de ariete: Se genera por cambios drásticos en la dirección, presión o velocidad del fluido. Si una válvula es cerrada bruscamente las partículas de fluido que se han detenido chocan con las que vienen inmediatamente atrás produciendo una onda de sobrepresión que se desplaza a alta velocidad, esta onda chocará en alguna parte de la tubería destruyendo y dilatando la misma.

Longitud equivalente: Es utilizada en el dimensionamiento de tuberías y consiste en expresar las pérdidas de presión generadas por accesorios, válvulas, reducciones, ampliaciones y demás componentes instalados en la red de distribución del fluido, como una longitud recta equivalente que se adiciona a la longitud real de los tramos de tubería analizados.

NPSH: Denotado así por sus siglas en inglés (Net Positive Suction Head), el NPSH es una característica propia de cada bomba determinada experimentalmente o mediante cálculos. Define la presión de succión mínima necesaria para mantener el fluido bombeado en su estado líquido. La información del NPSH de la bomba es detallada en la representación de sus curvas características.

Ocupación: Propósito para el que se utiliza o intenta utilizar un edificio o estructura o parte de ellos.

Pérdida de presión: También conocida como pérdida de carga, se refiere a la pérdida de energía de un fluido debido a la fricción que existe con las tuberías o ductos por donde este transcurre. Existen diversos métodos matemáticos para calcular y estimar la pérdida de presión.

Placa anti-vórtice: En la mayoría de casos cuando las bombas entran en funcionamiento forman un vórtice (flujo turbulento en rotación espiral) que puede ocasionar la entrada de aire en el sistema contra incendios reduciendo en gran manera la eficiencia de las bombas. Por esa razón, paralela a la superficie del tanque cisterna se debe instalar una placa anti-vórtice al inicio de la tubería de succión, para evitar la entrada de aire al sistema. El tamaño de la placa depende del diámetro de la tubería de succión.

Presión absoluta: Se refiere a la presión real que se ejerce sobre un punto dado. Es la sumatoria de la presión atmosférica y la presión manométrica.

Presión manométrica: Esta presión representa la diferencia entre la presión en un punto determinado y la presión atmosférica. Sólo se aplica cuando la presión aplicada en el punto es superior a la atmosférica, de lo contrario se estaría hablando de una presión de vacío.

Presión residual: La norma NFPA 291 establece que esta es la presión medida cuando hay circulación de caudal en el sistema, es decir, es la presión que se presenta en un punto del sistema cuando hay presencia de flujo del agente extintor. Esta presión evidencia el concepto de que la pérdida de presión en un sistema varía según el caudal trasegado.

Red abierta: Consiste en una configuración de tuberías ramificada de tal forma que estas no se vuelven a unir en nodos que permitirían formar circuitos. De manera general se comporta como una red en serie, por lo que si el flujo de caudal es obstruido en una sección específica esto afecta el caudal que perciben los tramos de tubería aguas abajo del punto de falla.

Red en anillo: Se refiere a un sistema de distribución de tuberías cerrado lo que permite formar circuitos para la circulación del fluido. Es un sistema más caro, pero facilita las labores de mantenimiento debido a que permite aislar secciones específicas de la tubería sin afectar el funcionamiento normal de los demás tramos y permite amortiguar mejor el golpe de ariete y variaciones de presión.

Schedule: Es una estandarización implementado por American Petroleum Institute (API) para clasificar el espesor de las tuberías. Dicho espesor también es conocido como cédula de la tubería, se representa mediante las letras Sch y los valores comerciales más comunes son Sch 40 y Sch 80. A menor valor de cédula, el grosor de la tubería es menor y por ende soporta menos presión.

Siamesa: Se trata de una toma exclusiva para bomberos utilizada para inyectar al sistema de protección contra incendio caudal extra a través de un camión cisterna en caso de ser necesario. Posee válvulas de retención que permiten la circulación del fluido solo en una dirección.



Figura 6: Siamesa utilizada en sistemas contra incendios
Fuente: www.tecnofuego.com

Sistema de tubería seca: Es aquella cuyas tuberías no pueden estar llenas de agua principalmente porque hay problemas de congelamiento. Las tuberías están llenas de aire o nitrógeno a presión y pueden estar conectadas permanente a un sistema de abastecimiento de agua cuyo flujo se controla mediante una válvula, aunque también podrían estar llenas de aire despresurizado (sistemas vacíos) y sin conexión permanente a un sistema de abastecimiento de agua, por ejemplo, en caso de que el sistema funcione con autobombas de bomberos.

Sistema de tubería húmeda: Consiste en un sistema que mantiene sus tuberías llenas de agua de forma permanente y además está conectada a una fuente de almacenamiento de agua capaz de abastecer la demanda del sistema, de esta manera manteniendo cierta presión hidrostática en la red de tuberías. En caso de que el sistema de protección contra incendios no esté expuesto a problemas de congelación se recomienda este tipo de sistema en todo momento para detectar presencia de posibles fugas.

Tanque cisterna: Es un depósito subterráneo utilizado para reservar agua. El tanque puede ser de uso exclusivo para combate de incendios o puede ser mixto y abastecer otro tipo de aplicaciones además de la extinción de incendios.

3.3. Teoría de hidrantes

3.3.1. ¿Qué es un hidrante?

Según Bomberos de Costa Rica, el hidrante es un dispositivo de emergencia situado en puntos estratégicos, que consiste en una toma de agua utilizada para proporcionar caudal considerable y lograr una adecuada atención de incendios. Puede ser de propiedad pública o privada.

3.3.2. Clasificación de hidrantes

La norma NFPA 291 establece una clasificación de hidrantes de acuerdo a las capacidades nominales de caudal que estos poseen. La clasificación se realiza teniendo como referencia una presión residual de 20 psi (1,4 bar) u otro valor designado. La clasificación de hidrantes es la siguiente:

1. Clase C: Capacidades nominales de caudal menores a 500 gpm (1,89 m³/min).
2. Clase B: Capacidades nominales de caudal entre 500 y 999 gpm (1,89 m³/min – 3,78 m³/min).
3. Clase A: Capacidades nominales de caudal entre 1 000 y 1 499 gpm (3,78 m³/min – 5,7 m³/min).
4. Clase AA: Capacidades nominales de caudal mayores o iguales a 1 500 gpm (5,7 m³/min).

Por otra parte, para los sistemas húmedos la norma NFPA 14 establece otras tres clases de sistema, las cuales son:

Clase I: Consiste en un sistema cuyas bocas de incendio son de 65 mm (2,5 in) para suplir agua en el combate contra incendios. Está diseñado para ser utilizado únicamente por el cuerpo de bomberos y personas entrenadas en el manejo de chorros pesados de agua.

Clase II: En esta categoría las bocas de incendio están dimensionadas a 38 mm (1,5 in). Está diseñada para que las personas que forman parte de la ocupación puedan manipular los dispositivos de protección contra incendio.

Clase III: Esta clase de sistema utiliza bocas de incendio de 38 mm y 65 mm pulgadas (1,5 in y 2,5 in) y está diseñado para ser utilizado tanto por bomberos como los integrantes de la ocupación.

En la siguiente tabla se observan las principales características relacionadas a cada una de las clases de hidrantes húmedos:

Tabla 1: Comparación de propiedades para las clases de hidrantes húmedos.

Característica	Clase I	Clase II	Clase III
Presión mínima	7 bar	4,5 bar	7 bar
Presión máxima	12 bar	7 bar	12 bar
Conexión Salida	65 mm	38 mm	38 mm – 65 mm
Conexión Entrada	100 mm	150 mm	100 mm
Reserva de agua	57 000 L	12 000 L	57 000 L
Tasa de flujo	1,89 m ³ /min	0,76 m ³ /min	1,89 m ³ /min
Usuarios	Bomberos y personal capacitado		
Sistema	Húmedo		

Fuente: Norma NFPA 14

3.3.3. Tipos de hidrantes

Los hidrantes exteriores, de acuerdo a su tipo de construcción pueden ser de dos tipos: de columna o en arqueta.

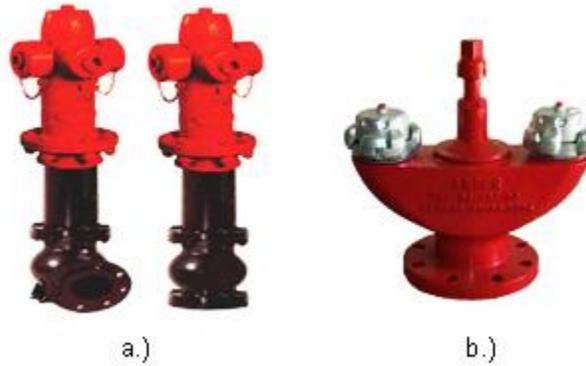


Figura 7: Tipos de hidrante: a.) De columna y b.) En arqueta
Fuente: Catálogo Técnico FIREX

De los tipos de hidrantes mostrados en la figura anterior los de columna están en la superficie, fácilmente visibles en la vía pública, mientras que los hidrantes en arqueta se localizan generalmente bajo el nivel de piso en un compartimiento especial similar a una caja de registro hidráulica. Ambos tipos de hidrantes pueden tener una o más bocas de incendio. El más utilizado en nuestro país es el de tipo columna, que a su vez se divide en dos categorías:

Hidrantes de columna seca: El agua se introduce en la columna del hidrante solamente cuando se abre la válvula principal generalmente situada bajo la línea del suelo. El hidrante seco está compuesto de tres partes principales. Estas son:

1. Cabeza: Parte superior del hidrante que está situada por encima del suelo donde se encuentran el mecanismo de accionamiento y las bocas de salida.
2. Válvula: Conecta el hidrante a la red de distribución ya sea de forma horizontal mediante un codo o de forma directa (vertical). Esta conexión se realiza mediante brida. También permite o impide el flujo de agua hacia la cabeza del hidrante.
3. Carrete: Es la parte que se encarga de unir la cabeza con el cuerpo de la válvula y su función principal es ajustar la distancia entre dos componentes.

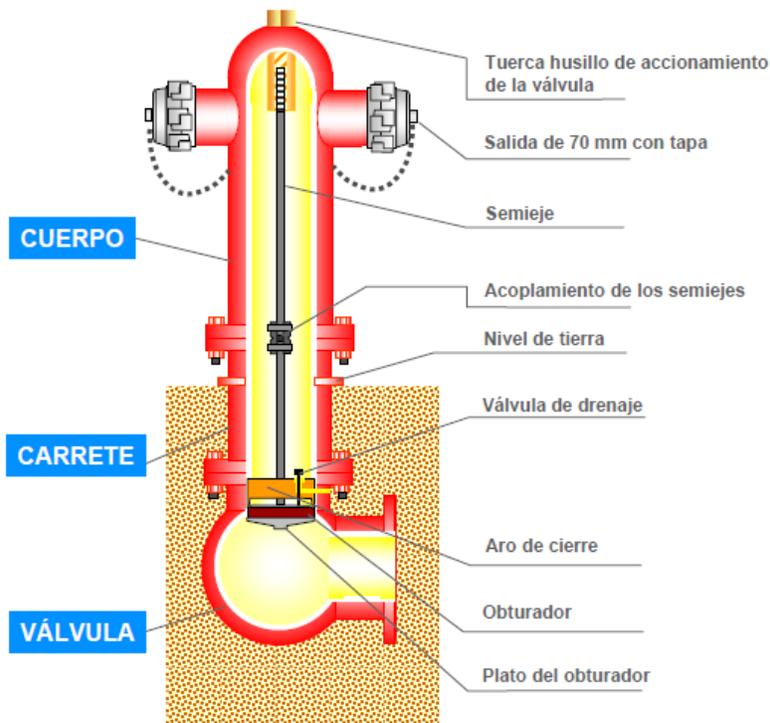


Figura 8: Partes que componen un hidrante de columna seca
Fuente: www.asepeyo.es

En la siguiente imagen se visualiza el procedimiento general para el adecuado funcionamiento de este tipo de hidrante. La Figura 9.a muestra el hidrante en su estado normal (cuando no se está utilizando). Para poner en funcionamiento el hidrante se deben quitar las tapas de las bocas de incendio, colocar las mangueras, abrir la válvula con la llave de hidrante para que el obturador descienda y la columna se llene de agua. Este proceso se evidencia en la Figura 9.b y la Figura 9.c. Por último, como se ilustra en la Figura 9.d, después de hacer uso del hidrante se debe cerrar la válvula para que el obturador suba abriendo la válvula de drenaje por donde el agua sale, vaciando de nuevo la columna y finalmente se colocan las tapas a las bocas de incendio y se quita la manguera.

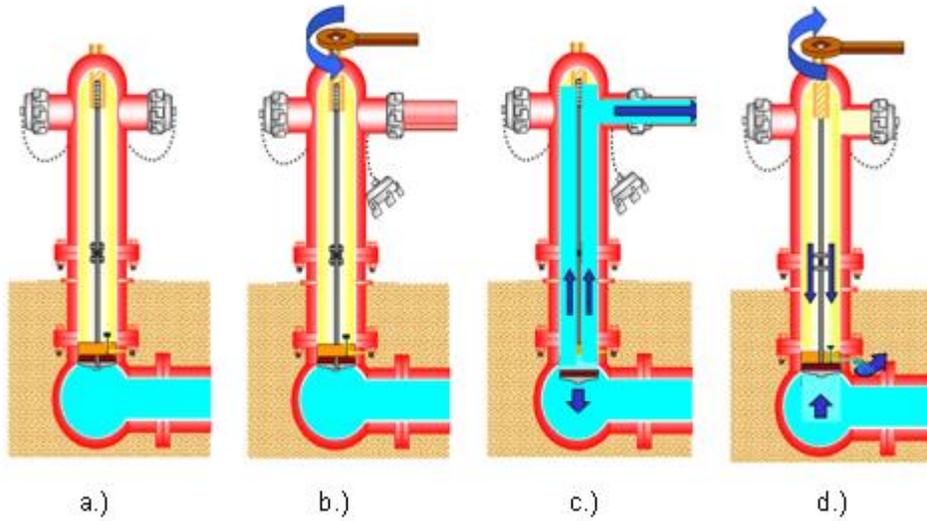


Figura 9: Funcionamiento de un hidrante de columna seca
Fuente: www.asepeyo.es

Hidrante de columna húmeda: Como su nombre lo indica en este tipo de hidrante el agua ocupa permanentemente el interior del hidrante. Está compuesto por un cuerpo, mecanismos de accionamiento, conjunto de cierre y la brida de conexión. Se utiliza en lugares donde no hay peligro de congelación.

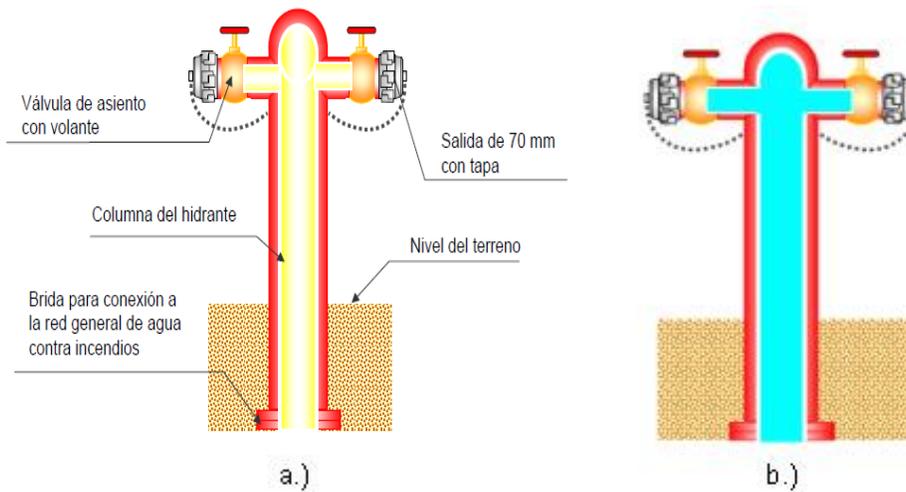


Figura 10: Hidrante de columna húmeda: a.) Partes y b.) Estado normal
Fuente: www.asepeyo.es

3.3.4. Identificación de hidrantes

De acuerdo a la norma NFPA 291, existe una codificación de colores estandarizada para identificar los hidrantes de acuerdo a diversos criterios de operación. Los colores normalizados para la identificación de hidrantes se detallan a continuación:

1. Hidrantes de clase C: Rojo
2. Hidrantes de clase B: Anaranjado
3. Hidrantes de clase A: Verde
4. Hidrantes de clase AA: Celeste
5. Hidrantes públicos: Amarillo reflectivo, excepto en casos donde otro color ya ha sido adoptado
6. Hidrantes privados: Algún otro color que los distinga de los hidrantes públicos, preferiblemente rojo reflectivo

La recomendación de que el color del hidrante sea reflectivo es para una mejor identificación en la noche. Además, de acuerdo al Reglamento Técnico (RTCR 295:1997) implementado por el cuerpo de Bomberos de Costa Rica, el hidrante debe llevar marcado sobre la cabeza o codo de conexión el diámetro nominal, nombre del fabricante y año de fabricación. Cada boquilla del hidrante debe llevar marcada una flecha en sentido anti-horario que indica el sentido de apertura.

3.3.5. Certificación de hidrantes

El Reglamento a la Ley de Hidrantes (N° 35 206-MP-MINAET, artículo 4) establece que todos los hidrantes que se instalen en el país, ya sean estos fabricados en territorio nacional o en el extranjero deben cumplir con las normas de calidad estipuladas para hidrantes de acuerdo a los criterios establecidos en la Ley 8279 (Sistema Nacional de Calidad) aprobada en el 2002 y según los estándares que se muestran a continuación:

- a. El hidrante debe poseer certificación de productos de alguno de los siguientes organismos:
- International Organization for Standardization (ISO).
 - Organismo de Certificación de Productos (OC) acreditado en la Guía INTE-ISO 65 o su versión vigente.
 - Ente Costarricense de Acreditación (ECA).
 - Otro organismo de acreditación con reconocimiento internacional en la certificación de productos.
- b. Si el Organismo de Certificación de Productos utiliza informes de ensayo para respaldar la certificación se debe utilizar un laboratorio de ensayos acreditado en la norma INTE-ISO 17 025 o su versión vigente.

Bomberos de Costa Rica exige que los hidrantes deben ser fabricados y probados en fábrica en total acuerdo con los requerimientos UL (Underwriters Laboratories) y deben contar con la aprobación FM (Factory Mutual). Si el hidrante se adquiere cumpliendo con normas diferentes a las solicitadas, el proveedor deberá demostrar que los hidrantes comercializados por ellos cumplen con normas equivalentes.

3.4. Teoría de bombas hidráulicas

3.4.1. Clasificación de bombas hidráulicas

Según Chowanczak (2009), la bomba es una turbo máquina capaz de transformar la energía mecánica entrante proveniente de un motor generalmente, para incrementar la presión de un líquido y así desplazarlo de un punto a otro. En el sistema contra incendio es el componente responsable de suministrar el caudal y la presión requerida por los hidrantes para la extinción de incendios. La clasificación de las bombas es muy extensa y varía mucho de acuerdo a las diferentes fuentes de información consultadas. La clasificación presentada en la siguiente imagen es la definida por Hydraulic Institute Standards. Cabe mencionar que las bombas del tipo dinámicas son conocidas como bombas roto-dinámicas.

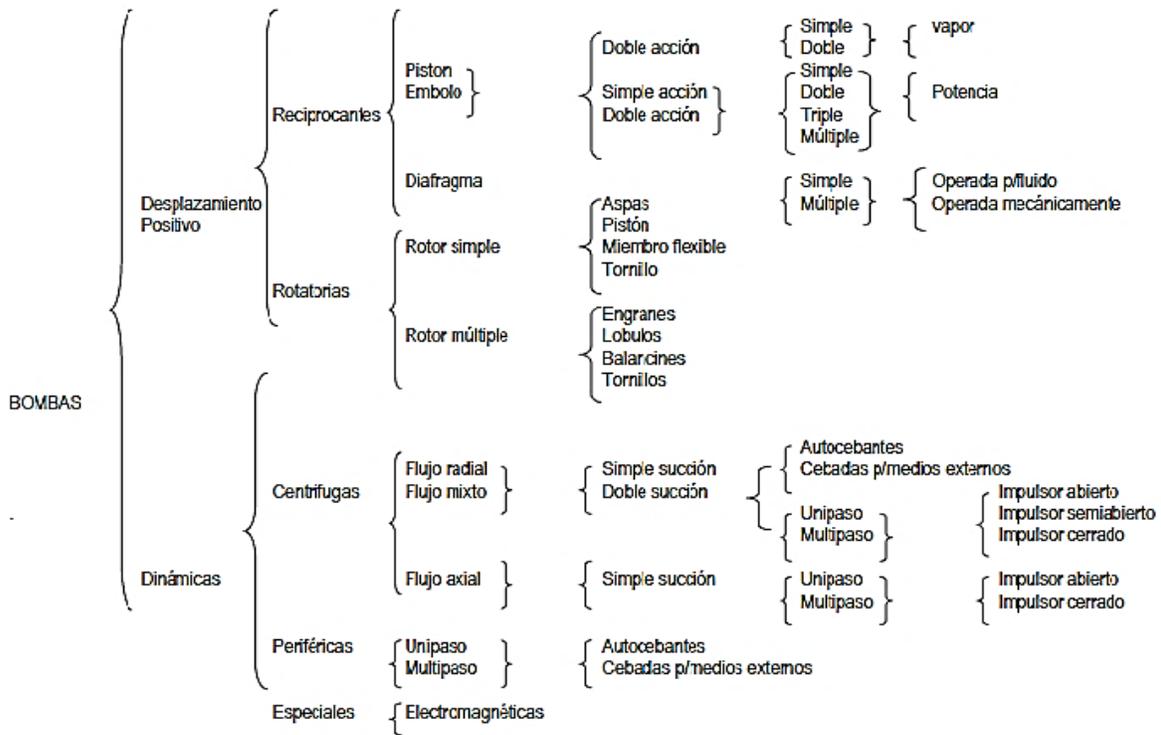


Figura 11: Clasificación de bombas hidráulicas
Fuente: Hydraulic Institute Standards

3.4.2. Bomba centrífuga

El estudio de las bombas centrífugas es de especial atención ya que el Manual de Bomberos (artículo 3.7.2.b) establece que las bombas contra incendio deben ser de este tipo. Su funcionamiento se basa en el principio de Venturi y la transferencia de momento angular.

Las principales ventajas que posee son el caudal constante, presión uniforme, tamaño reducido, construcción sencilla y facilidad de regulación. Por otro lado, la principal desventaja es que requieren ser cebadas antes de iniciar su operación. Para solucionar este inconveniente se suele instalar en la tubería de succión una válvula de retención (en caso de ser succión negativa) o bien se podrían utilizar bombas autocebantes.

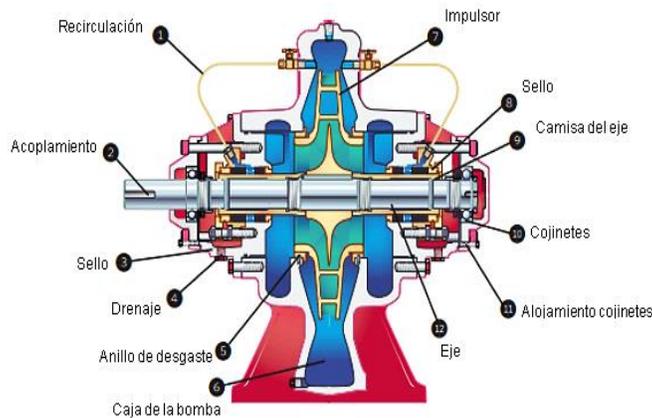


Figura 12: Principales partes de una bomba centrífuga mono-etapa radial
Fuente: Catálogo de Armstrong

La definición de los principales componentes que constituyen la bomba centrífuga se detalla a continuación.

Sello: Impide al fluido bombeado llegar al motor y evita fugas, es decir, forma un sello entre la parte rotatoria y la estacionaria. Puede ser de dos tipos: mecánico o prensa-estopas y estopero. En aplicaciones donde no se desea ninguna fuga proveniente de la bomba se utiliza el sello mecánico y por su parte el prensa-estopas y estopero, aunque también cumple la función de sello, este permite una pequeña fuga y posee una jaula de sello para facilitar y mejorar la lubricación.

Voluta: Consiste en la carcasa de la bomba cuya sección transversal tiene forma de caracol de magnitud ascendente. De esta forma, añade presión estática al fluido reduciendo su velocidad debido al aumento de área.

Impulsor: Es el corazón de la bomba centrífuga y como su nombre lo indica es el encargado de impulsar el fluido con la ayuda de sus álabes, provocando el aumento de presión en este. Pueden ser abiertos, semi-abiertos y cerrados de acuerdo al grado de sedimentos o partículas que presente el líquido a bombear. Si el líquido no contiene partículas sólidas se utiliza un impulsor cerrado y si hay sedimentos se opta por instalar un impulsor abierto o semi-abierto.

Anillo de desgaste: Evita la recirculación del fluido descargado hacia la succión.

Cojinetes: Mantiene la bomba alineada con el eje y permite que la rotación de los elementos dinámicos montados en el eje se realice con poca fricción. El tipo de cojinete depende de las fuerzas presentes en la bomba. Si las cargas son axiales se utilizan rodamientos cilíndricos, si las cargas son radiales se usa rodamiento de bolas y si la carga es mixta el rodamiento será cónico. Necesitan estar lubricados.

La clasificación de las bombas centrífugas se detalla en la siguiente imagen:

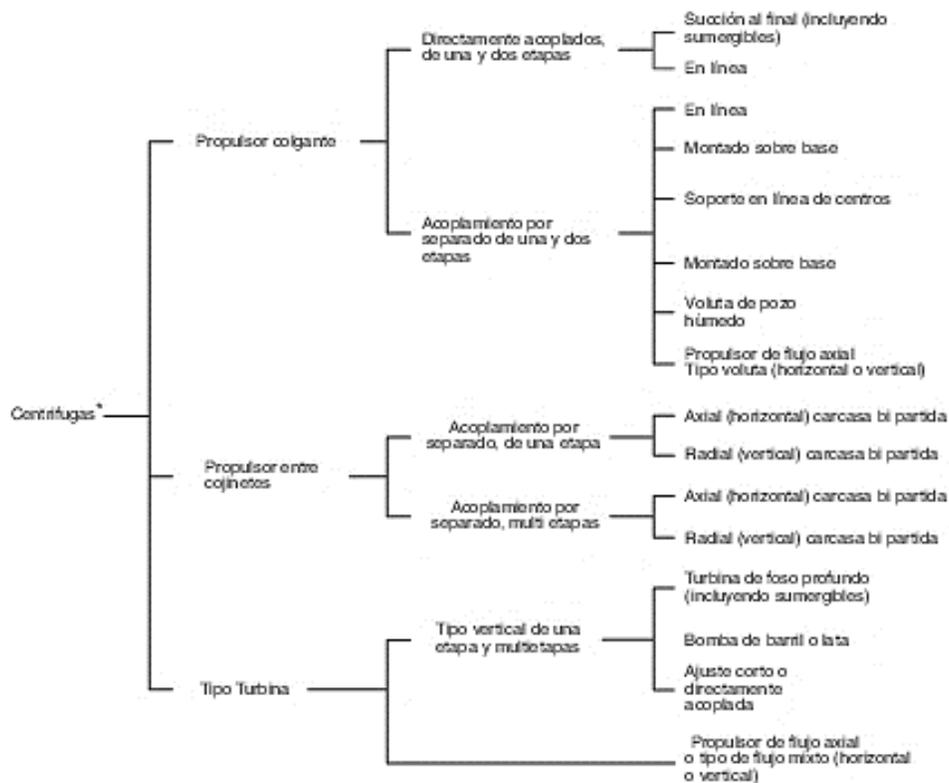


Figura 13: Clasificación de las bombas centrífugas
Fuente: Norma NPFA 20

Cabe rescatar que entre las características de clasificación más importantes mostradas en la Figura 13 están la dirección del eje de la bomba la cual puede ser horizontal y vertical, cuya elección depende principalmente del espacio disponible para instalación del conjunto motor-bomba.

Según Chowanczak (2009), en cuanto a la cantidad de etapas que posee la bomba, puede ser mono-etapa (una etapa) cuando la presión a elevar no es superior a 16 bar (232 psi) aproximadamente o puede ser multi-etapas, que consiste en instalar varios impulsores en serie sobre el mismo eje de rotación de manera que la descarga de un impulsor (primera etapa) sea la succión del siguiente (segunda etapa) y se utilizan cuando se requiere una presión más alta. Es importante entender que el hecho de observar dos o más impulsores en la bomba no necesariamente quiere decir que esta sea multi-etapa, pues los impulsores pueden estar conectados en paralelo.

En caso de ser multi-etapa, la capacidad nominal de la etapa es el caudal que puede trasegar una etapa y no la suma de todas las etapas con que cuenta la bomba centrífuga. Por su parte, la presión nominal de la bomba multi-etapa si es la suma de la presión que pueden levantar cada una de las etapas menos una pequeña pérdida de carga.

En el caso de las bombas centrífugas de carcasa bipartida, también conocidas como de doble aspiración, son útiles cuando se requieren altos caudales. Si la bomba es de eje horizontal su rango de operación es para caudales bajos y medios. Si se trata de una bomba centrífuga vertical vale la pena recalcar que estas son utilizadas principalmente para operaciones sumergibles en caso de no alcanzar el NPSH requerido y presiones elevadas, lo cual es común cuando se usan tanques cisterna.

Garro (2012) indica que si en el rodete la entrada y salida del fluido son perpendiculares (radial), este recibe el nombre de impulsor y si la entrada y salida son paralelas (axial) el rodete recibe el nombre de propela. También puede haber bombas mixtas, es decir, bombas donde el flujo cambia de axial a radial. Las de tipo axial soportan mayores caudales pero menores presiones en comparación con las del tipo radial.

3.4.3. Curvas características

Carnicer (2004) indica que una bomba centrífuga movida a una velocidad de giro constante posee una altura manométrica, potencia absorbida, rendimiento y NPSH requerido en función del caudal. La relación entre estos parámetros es representada a través de las curvas características, las cuales son fundamentales en la selección definitiva para una determinada aplicación de bombeo.

De esta manera, para definir el rango de operación de una bomba centrífuga existen 4 curvas características, en todas ellas el caudal se registra en eje de las abscisas y la otra propiedad en el eje de las ordenadas, por lo que para una bomba específica se suele representar en un solo gráfico todas las curvas características para una velocidad de giro y diámetro del impulsor determinados.

Curva altura-caudal: Mientras no se rebase la altura de aspiración admisible, la bomba trabajará sobre esta curva. Dicha curva es estable cuando es decreciente desde su punto de inicio, de esta manera a cada punto de altura de elevación le corresponde únicamente un valor de caudal. Por otro lado, si la curva aumenta primero y luego desciende constantemente, la curva es inestable ya que pueden ser asociados dos o más valores de caudal a un único valor de altura.

Curva potencia-caudal: Esta curva es función de la velocidad específica y difiere por cada forma de rodete. Indica la potencia del motor consumida para los diferentes diámetros del rodete. Su forma muestra como la potencia crece constantemente con el caudal elevado y vuelve a decrecer una vez alcanzado el rendimiento máximo.

Curva eficiencia-caudal: Está gráfica se obtiene realizando el cociente entre la potencia de salida (potencia hidráulica) y la potencia de entrada (potencia eléctrica). Los datos mostrados en la placa de la bomba tienen como punto de referencia la máxima eficiencia, es decir, el punto máximo de la curva característica de caudal versus eficiencia.

Curva NPSH-caudal: Esta curva depende especialmente de la velocidad de rotación. A mayor capacidad de la bomba mayor será el valor del NPSH requerido. Los valores registrados en la curva se obtienen mediante pruebas de laboratorio efectuadas a la bomba centrífuga.

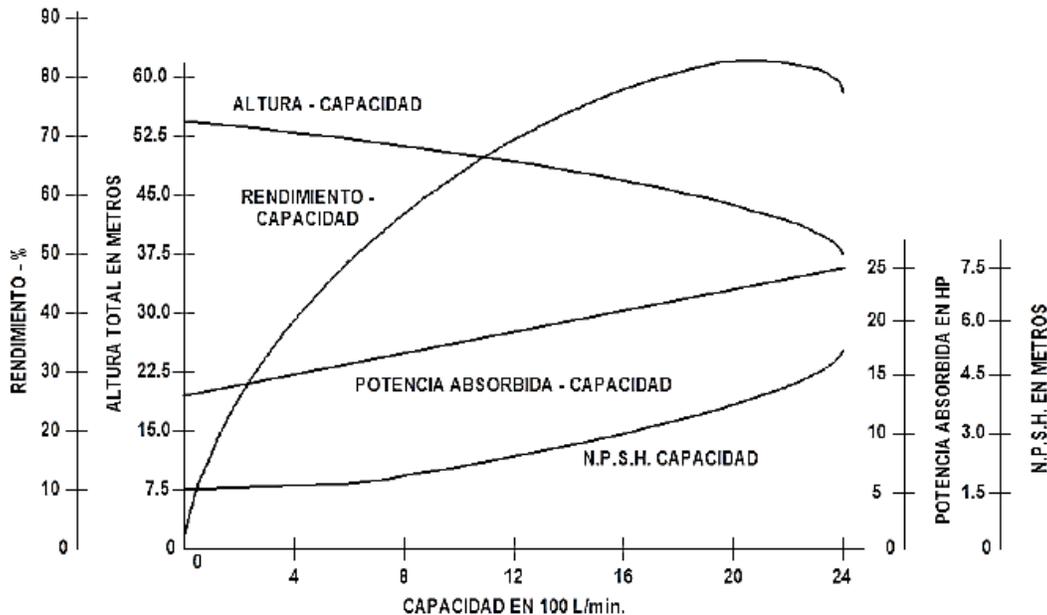


Figura 14: Representación común de las curvas características de la bomba centrífuga
Fuente: Garro, 2012

3.4.4. Parámetros de selección de bombas centrífugas

Las tres principales características a tomar en cuenta para la selección de las bombas centrífugas son la presión, caudal y el tipo de fluido, ya que esta categoría de bomba es utilizada sólo con fluidos en estado líquido no viscosos. Además, el tipo de fluido es determinante al momento de elegir la bomba, por ejemplo, si se va a trasegar agua potable que generalmente contiene cloro, una bomba de bronce se dañaría muy fácilmente y se necesitaría un revestimiento epóxico para protegerla. El caudal y la presión son características interdependientes y están íntimamente relacionadas con la forma, tamaño y velocidad de giro del impulsor. Las bombas centrífugas están diseñadas para trabajar con altos caudales y presiones pequeñas o medianas.

Como indica Chowanczak (2009) existen algunas relaciones fundamentales (leyes de afinidad) referentes a las bombas centrífugas que se deben tener muy claras. Estas leyes son:

1. El caudal Q trasegado es proporcional al cambio de velocidad ω y al cambio de diámetro D .

$$Q_2 = Q_1 \cdot \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right) = Q_1 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1}\right) \quad (3.1)$$

2. La altura manométrica H es proporcional al cuadrado del cambio de velocidad ω y al cuadrado del cambio de diámetro D .

$$H_2 = H_1 \cdot \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2 = H_1 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \quad (3.2)$$

3. La potencia absorbida P es proporcional al cubo del cambio de velocidad ω y al cubo del cambio de diámetro D .

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^3 = P_1 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3 \quad (3.3)$$

La regulación de caudal en las bombas centrífugas se puede realizar utilizando válvulas de estrangulación en las tuberías que conducen el fluido y se puede ver en las relaciones fundamentales mostradas anteriormente que el caudal se puede regular variando la velocidad de giro del eje de la bomba, esto a través de un variador de frecuencia o algún otro mecanismo que permita manipular la velocidad. De acuerdo a Carnicer (2004) uno de parámetros de selección más importantes es el NPSH. Se deben tener en cuenta dos parámetros de comparación. Primero el NPSH disponible ($NPSH_D$), que depende de la instalación realizada para la bomba y no del tipo de bomba como tal, por lo tanto, el $NPSH_D$ es una magnitud calculable. Por otra parte, el NPSH requerido ($NPSH_R$) es un dato propio de cada bomba, varía según el tamaño, modelos y condiciones de operación, por lo que este es un dato facilitado por el fabricante.

Si se presenta el caso que el $NPSH_R$ es igual al $NPSH_D$ se estaría incurriendo en un diseño peligroso ya que la bomba cavitara constantemente. Se recomienda que para evitar esta condición de cavitación el $NPSH_D$ debe superar en al menos un 25% el $NPSH_R$. Se debe entender que tampoco se debe sobrediseñar la bomba, por lo tanto, el $NPSH_D$ nunca debe superar en un 35% el $NPSH_R$. El $NPSH_D$ se calcula con la siguiente ecuación:

$$NPSH_D = H_{atm} - h_v \pm h_g - \sum h_f \quad (3.4)$$

Donde:

H_{atm} : Presión atmosférica (mca).

h_v : Presión de vapor a una temperatura dada (mca).

h_g : Altura geométrica desde la boca de succión al nivel de agua (mca).

h_f : Pérdida de presión en la tubería de succión (mca).

Si hay succión negativa (nivel de boca de succión por encima del nivel de agua) el valor de h_g es negativo y si la succión fuese positiva (nivel de boca de succión por debajo del nivel de agua) el valor de h_g sería positivo. Como parte de las relaciones fundamentales mostradas anteriormente, el NPSH es proporcional al cuadrado de la variación de velocidad tal como se indica en la siguiente relación:

$$NPSH_2 = NPSH_1 \cdot \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2 \quad (3.5)$$

En el caso de la bomba requerida para el sistema contra incendios, la norma NFPA 20 (artículo 6.2) establece que debe proporcionar no menos del 150% de capacidad nominal de caudal a no menos del 65% del cabezal total nominal y en la condición de caudal cero la cabeza total no debe exceder el 140% de la capacidad nominal de presión. Estas mismas condiciones también son avaladas por el Manual de bomberos en su artículo 3.7.2.b. La siguiente figura resume los requerimientos previamente mencionados:

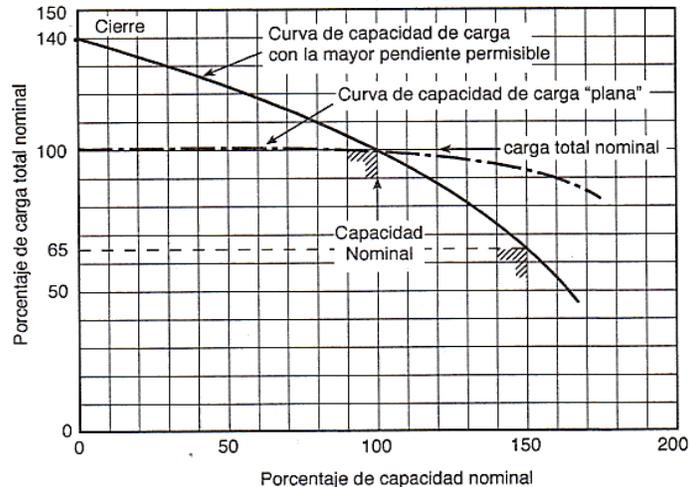


Figura 15: Curva característica requerida para una bomba contra incendios
Fuente: Norma NFPA 20

Como resumen de los parámetros de selección de la bomba centrífuga, al momento de definir la bomba requerida para el sistema contra incendios se debe tener presente la altura o carga a levantar, el caudal nominal y máximo requeridos, el rendimiento (eficiencia) en diversos puntos de operación, la potencia mínima requerida del motor, el NPSH requerido, el diámetro del impulsor y la velocidad de giro del eje.

3.4.5. Bombas requeridas en un sistema contra incendio

En un sistema contra incendios a base de hidrantes el equipo de presurización consta de tres bombas:

Bomba principal: Es la bomba cuya capacidad nominal provee el caudal y la presión suficiente para satisfacer los requerimientos de mayor demanda de los diferentes puntos de consumo destinados al combate de incendios, es decir, una vez energizado el sistema contra incendio esta es la bomba que entrará en acción trasegando caudal por la red de tuberías y elevando la presión al nivel requerido. Cuando la bomba principal se ponga en marcha, ya sea de forma manual o automática, su parada debe realizarse manualmente cuando ya no sea necesario el suministro de agua.

Bomba de reserva: La bomba de reserva entrará en funcionamiento en dos casos, en primer lugar cuando la bomba principal por cualquier motivo no entra a trabajar cuando ya se ha energizado el sistema y el segundo caso es cuando el caudal o presión suministrado por la bomba principal para atender la emergencia no es suficiente. La bomba de reserva debe tener las mismas capacidades nominales de la bomba principal y su sistema de accionamiento debe ser independiente. El uso de esta bomba en el sistema contra incendio no es obligatorio.

Bomba jockey: También conocida como bomba compensadora o de mantenimiento de presión, la bomba jockey está debidamente estandarizada por la norma NFPA 20 (artículo 4.25) estableciendo que dicha bomba debe permitir reponer la presión en el sistema de protección contra incendio producido por pérdidas de fugas admisibles y caídas normales de presión. Su funcionamiento generalmente está controlado por un presostato capaz de detectar las variaciones de presión en el sistema.

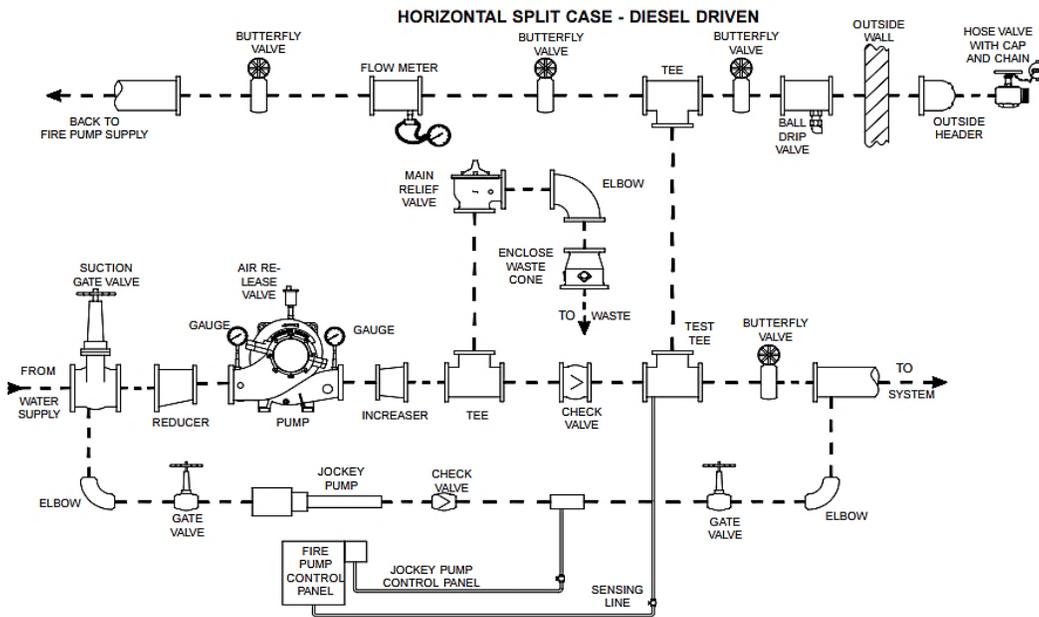


Figura 16: Bombas utilizadas comúnmente en un sistema contra incendio
Fuente: Armstrong, 1998

Además, como se puede observar en la imagen anterior, la estación de bombeo cuenta con un depósito amortiguador llamado también pulmón de amortiguamiento, que consiste en una esfera o cilindro que contiene una reserva de agua a presión, comúnmente por la acción hidroneumática. Este componente tiene tres funciones principales:

1. Evitar que la bomba jockey esté arrancando y deteniéndose constantemente debido a pequeñas fugas.
2. Amortiguar variaciones bruscas de presión en la instalación.
3. Disminuir los efectos indeseados ante un eventual golpe de ariete.

Para finalizar con la teoría de bombas es necesario tener una noción de los accesorios recomendados para el funcionamiento óptimo de la estación de bombeo. En la siguiente figura se visualizan enumerados los equipos complementarios mínimos que forman parte del sistema de presurización y en la Tabla 2 se agrega la descripción de cada componente.

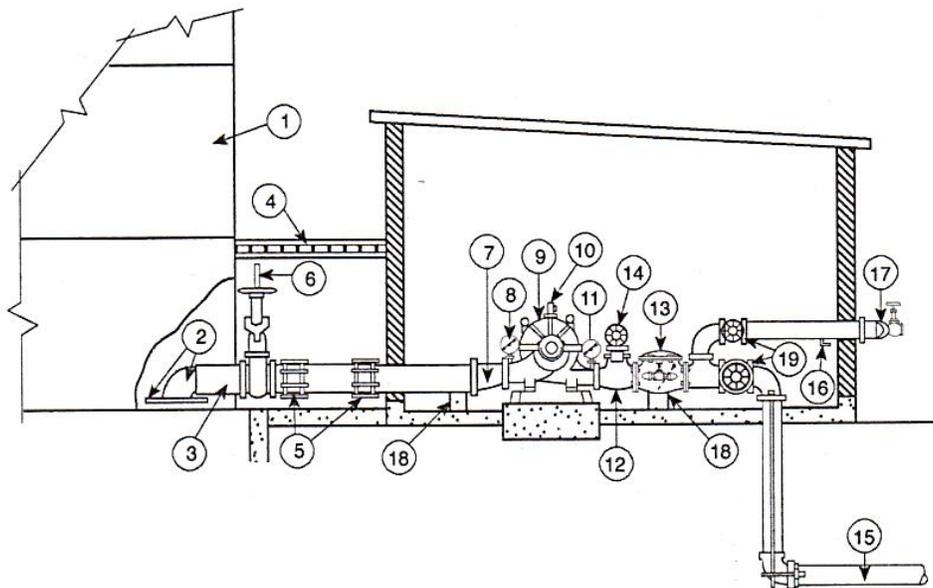


Figura 17: Accesorios requeridos para la operación segura de la estación de bombeo
Fuente: Norma NFPA 20

Tabla 2: Designación de los accesorios de la estación de bombeo.

Pieza	Descripción	Pieza	Descripción
1	Tanque de almacenamiento	11	Manómetro de descarga
2	Placa anti-vórtice	12	T reductora de descarga
3	Tubería de succión	13	Válvula de retención de descarga
4	Cubierta anticongelante	14	Válvula de alivio
5	Acoples flexibles	15	Tubería de descarga
6	Válvula de compuerta	16	Válvula de drenaje
7	Reductor excéntrico	17	Cabezal de prueba
8	Manómetro de succión	18	Soporte de tubería
9	Bomba principal	19	Válvula mariposa indicadora
10	Liberador de aire automático		

Fuente: Norma NFPA 20

3.5. Cálculo de pérdidas de presión

Existen diversas maneras para calcular la pérdida de presión asociada al flujo de agua a través de una tubería, sin embargo, tanto la norma NFPA 14 como la NFPA 24 especifican el método Hazen-Williams como el más indicado para estimar dicha pérdida de presión producida por la fricción del agua con la tubería.

Además, el artículo 3.7.5 del Manual de Bomberos establece que el cálculo de pérdida de presión a efectuar debe contemplar las pérdidas por fricción, velocidad y elevación a un caudal específico, verificando que a pesar de estas reducciones de presión se logra la presión residual requerida en el hidrante más crítico, es decir, donde hay mayor magnitud de pérdidas asociadas. También se debe adjuntar un desglose de los accesorios que intervienen en el cálculo. Para pérdidas de presión producidas por fricción se usará la siguiente fórmula establecida en el artículo 8.3.3.1 de la NFPA 14:

$$P_f = \frac{4,52}{d^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,85} \quad (3.6)$$

Donde:

P_f : Pérdida de presión por fricción en psi por pie de tubería

d : diámetro interno real de la tubería en pulgadas

Q : flujo en gpm

C : Coeficiente de pérdidas por fricción

Por otra parte, para calcular las pérdidas de presión por velocidad la misma norma establece en el artículo 8.3.3.2 la siguiente ecuación:

$$P_v = \frac{0,001123Q^2}{d^4} \quad (3.7)$$

En este caso P_v representa la pérdida de presión por velocidad en psi. Finalmente, para considerar la pérdida de presión producida por elevación se usará la siguiente ecuación tomada de Yunus (2006).

$$P_e = \rho gh = 0,433h \quad (3.8)$$

Donde:

P_e : Pérdida de presión por elevación en psi

h : Altura entre descarga de la bomba y descarga del hidrante en pies

De esta manera se obtiene que la pérdida de presión total (P_T) para un tramo específico de tubería se calcula de la siguiente forma:

$$P_T = P_f + P_v + P_e \quad (3.9)$$

Como se puede observar en las ecuaciones anteriores, la pérdida de presión está completamente relacionada al caudal que fluye por la tubería. La distribución que se planea diseñar es cerrada (red en anillo), esto implica que el caudal se divide para alimentar a cada uno de los hidrantes. Por tal razón, Yunus (2006) indica que se deben tener presentes dos principios teóricos determinantes en el análisis de este tipo de sistemas:

1. Se debe satisfacer la conservación de la masa a través del sistema de manera que en un nodo el flujo que entra sea igual al flujo que sale, es decir, para tuberías en paralelo la razón de flujo total es la suma de las razones de flujo en las tuberías individuales.
2. La caída de presión (pérdida de carga) entre dos uniones cualesquiera debe ser la misma sin importar la trayectoria seguida entre ambas uniones. Esto se debe a que la presión es una función puntual y no debe tener dos valores en un punto específico.

Los dos conceptos anteriores se resumen en la siguiente imagen:

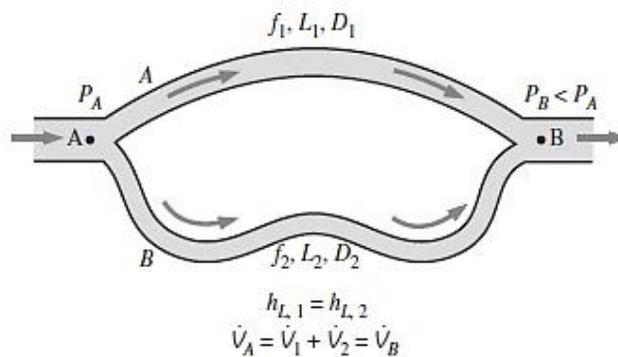


Figura 18: Pérdida de presión y caudal en tuberías en paralelo
Fuente: Yunus, 2006

En cuanto a los requerimientos de cálculo establecidos por las normas NFPA se deben especificar las siguientes características del sistema:

- Flujo en gpm (L/min)
- Tamaño de la tubería (diámetro)
- Longitudes de la tubería de centro a centro de los accesorios
- Longitudes equivalentes de tubería para accesorios y dispositivos
- Pérdidas por fricción en psi/pie (bares/m) de tubería
- Pérdidas por fricción total entre puntos de referencia
- Cabeza de elevación en psi (bares) entre puntos de referencia
- Presión requerida en psi (bares) en cada punto de referencia

CAPÍTULO IV: DESARROLLO

4.1. Cantidad y ubicación de los hidrantes

El Manual de Bomberos representa una guía muy importante para realizar un diseño bien normalizado y capaz de satisfacer los requerimientos exigidos por el cuerpo de Bomberos de Costa Rica. El artículo 4.5.2 de dicho manual menciona que las universidades no se clasifican como un tipo de ocupación educativa, sino que los centros universitarios son una ocupación mixta prevaleciendo la del tipo negocio.

Analizando este tipo de ocupación, se indica que en la sección 3.7 del Manual de Bomberos se encuentran normalizadas las pautas a seguir para el diseño de sistemas convencionales de protección contra incendios (sólo hidrantes, sin considerar sistemas de rociadores). De esta manera, el artículo 3.7.6.a establece que la ubicación de los hidrantes debe realizarse en accesos vehiculares considerando una separación máxima de 180 m lineales entre hidrantes consecutivos.

Además, el Reglamento a la Ley de Hidrantes, en el artículo 5 menciona que los hidrantes no se deben instalar en curvas o cualquier lugar donde exista un peligro inminente de colisión con algún vehículo. Tampoco se permite su colocación en pasos peatonales, acceso a residencias, cocheras y deberán ubicarse procurando mantener una distancia entre 35 cm y 40 cm desde el centro de la prevista del hidrante hasta el cordón de la cuneta más cercana, esto para asegurar la posición y ubicación del hidrante.

En la siguiente figura, la posición que señala cada flecha detalla la propuesta de ubicación de los hidrantes en el campus universitario. Cada flecha está acompañada con el número que se asignó a cada hidrante para su identificación.

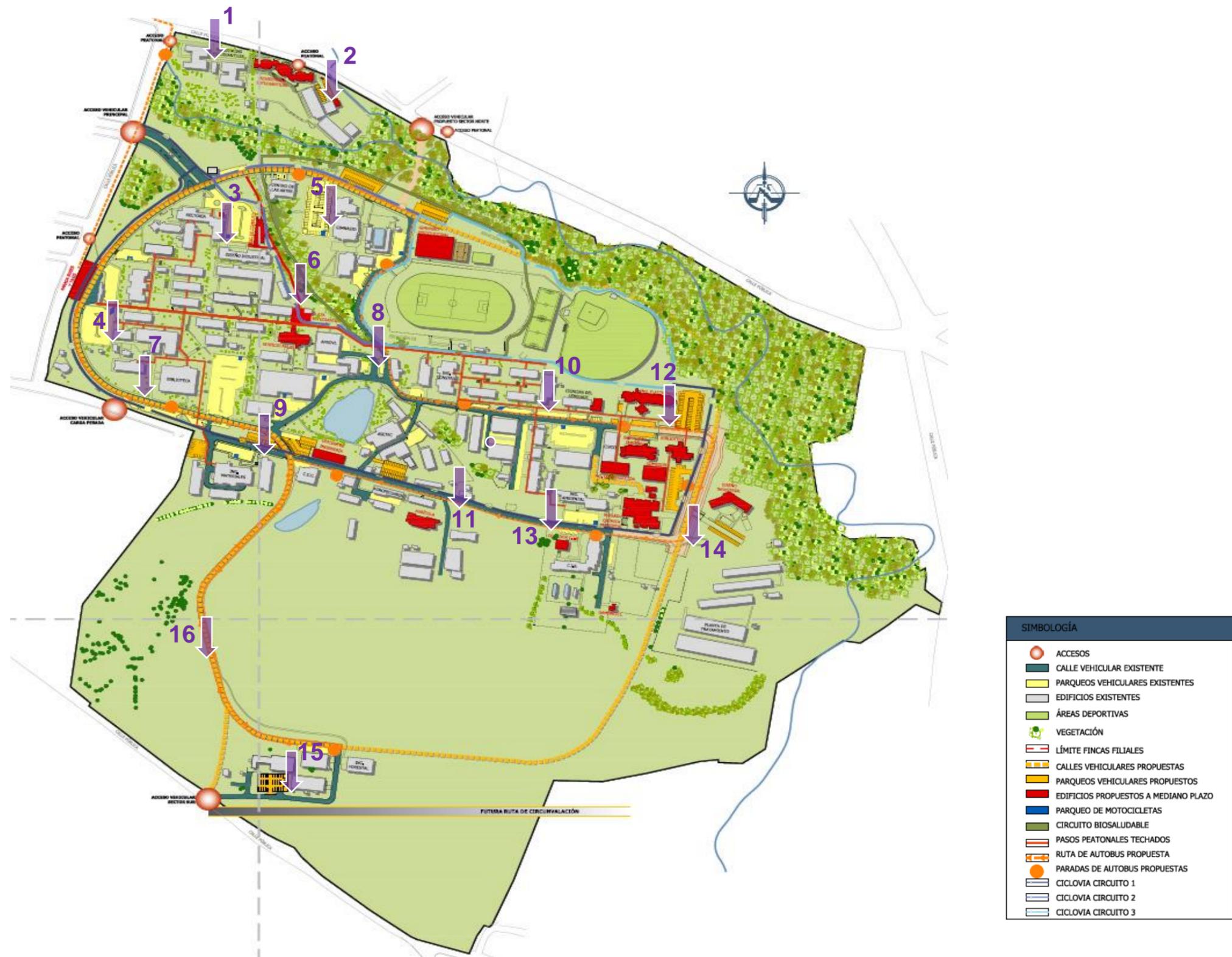


Figura 19: Distribución de hidrantes en la sede central del TEC (Fuente: Elaboración propia en AutoCAD 2014)

Como se puede observar en la figura anterior, la cantidad de hidrantes a tomar en cuenta para el diseño del sistema contra incendio son 16. La ubicación exacta de cada uno de ellos se detalla a continuación:

Tabla 3: Cantidad y ubicación de hidrantes propuestos

N° Hidrante	Detalle de ubicación
1	Frente al edificio J2 (residencias estudiantiles)
2	Contiguo al edificio J5 (residencias estudiantiles)
3	Zona verde, contiguo al edificio A1 (financiero contable)
4	Zona verde, contiguo al edificio C9 (LAIMI 1)
5	Contiguo al edificio E1 (Gimnasio Armando Vásquez Rojas)
6	Zona verde de la nueva plazoleta estudiantil, contigua al edificio B7 (FUNDATEC)
7	Zona verde ubicada en la parte posterior del edificio C3 (Biblioteca José Figueres Ferrer)
8	Zona verde, frente al parqueo, ubicado frente a la soda
9	Frente al edificio I3 (escuela de producción industrial)
10	Zona verde, frente al edificio F10 (LAIMI 2)
11	Contiguo al portón de entrada de vivero forestal
12	Zona verde, frente al nuevo edificio (ampliación) de la Biblioteca José Figueres Ferrer
13	Zona verde cercana al centro de investigación de biotecnología (CIB)
14	Zona verde cercana a la planta de tratamiento de aguas
15	Zona verde, contiguo al edificio L3 (taller de aserrado y afilado)
16	Zona verde, orilla de la carretera hacia forestal

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

La separación de 180 m lineales se debe a que la extensión de las mangueras utilizadas por los camiones de bomberos precisamente es de 180 m. En el apéndice 3 se detalla una lista de los edificios que abastece cada hidrante, tomando en cuenta la trayectoria que tendría que realizar la manguera para llegar a cada edificio. La ubicación de los hidrantes contempla los requisitos de acceso para el camión de bomberos en el artículo 3.9 del Manual de Bomberos que solicita un ancho y altura libres de 5 m y un radio de giro externo de 13 m.

Es importante recalcar que los hidrantes tratados para el diseño son de tipo privado, puesto que su operación será bajo un sistema de distribución de agua propio de la universidad. El artículo 22 del Reglamento a la Ley de Hidrantes indica que los hidrantes privados pueden ser utilizados únicamente por el cuerpo de Bomberos de Costa Rica y en caso de riesgos inminentes de desastre natural también se autoriza su uso a la brigada contra incendio de la institución, si es que esta existe. En cuanto al color de los hidrantes, el Reglamento a la Ley de Hidrantes (artículo 8) establece que todo hidrante privado debe ser de color rojo reflectivo, como lo indica la normativa internacional NFPA 291.

4.2. Dimensionamiento de tuberías

Antes de aplicar la metodología de cálculo se tiene que definir la ubicación del tanque cisterna. Se pensaron dos posibles lugares para ubicar el tanque de almacenamiento de agua:

1. Zona verde contigua al tanque elevado que abastece actualmente a todo el campus universitario.
2. Utilizar la piscina como tanque de almacenamiento.

Se analizaron las ventajas y desventajas de ambas opciones y como se verá en la sección 4.3 se determinó que la piscina sería el tanque cisterna del sistema de protección contra incendio. En la siguiente página se muestra la distribución de tuberías realizada para el suministro de agua a cada hidrante.

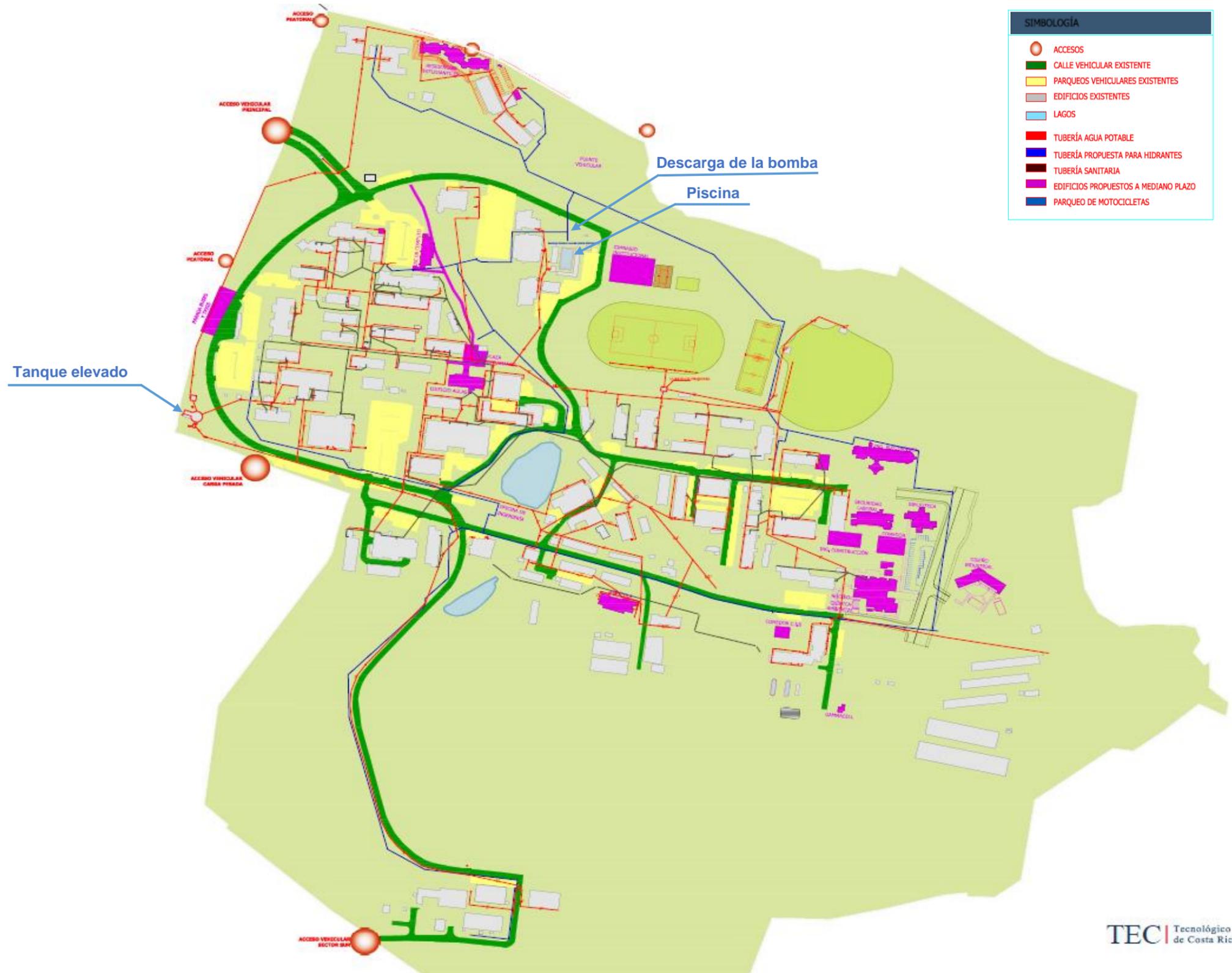


Figura 20: Distribución de tuberías propuesta para el sistema contra incendio (Fuente: Elaboración propia en AutoCAD 2014)

Para la propuesta implementada se analizó que la distribución de tuberías para el sistema contra incendio no se interceptara con cajas eléctricas, cajas del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), postes y cajas de registro presentes en todo el campus universitario. Se evitó lo máximo posible diseñar la trayectoria de tubería por calles y parqueos, debido al costo que representa zanjear en dichas zonas y en los casos en que se tuvo que definir tramos de tubería sobre calles y parqueos se debe a que era inevitable en algunos casos y en otros a que era la manera más factible para pasar de una posición a otra.

A su vez, como se visualiza en la página anterior, se traspusieron la distribución de tuberías para los hidrantes, tuberías de agua potable actual y tuberías sanitarias, todas ellas en un mismo plano para tomar en cuenta posibles intercepciones de estas tuberías al momento de realizar las zanjas para instalar la tubería del sistema de hidrantes.

4.2.1. Selección del material de la tubería

La norma NFPA 24, establece en el capítulo 10 una extensa lista de materiales permitidos para utilizar en el sistema de tuberías, entre los cuales destacan el hierro dúctil, acero revestido, concreto, plástico y cobre. La selección definitiva del material se obtuvo por recomendación de una empresa encargada de diseñar sistemas de extinción de incendios (Globaltec Technologies S.A). De esta manera se optó por definir el cloruro de polivinilo (PVC) C900 como material para las tuberías, decisión que está respaldada por el artículo 3.7.2.e del Manual de Bomberos. Una de las propiedades más determinantes para esta selección fue la resistencia a la corrosión que posee este material.

La NFPA menciona que el PVC C900 debe cumplir con las especificaciones de la norma AWWA C900. En la Tabla 37 (sección de anexos) se proporciona una serie de características de este material entre las que destacan la excelente resistencia a químicos, la cual es requisito ya que el agua utilizada proviene de la piscina como se justificará en la sección 4.3.

Una vez definido el material a utilizar para la tubería, a nivel comercial se investigó cuales ángulos de accesorios había disponibles para el PVC C900. En la sección de anexos (Figura 51) se presentan los accesorios tomados en cuenta para direccionar la tubería hacia los diferentes puntos de consumo, estos son: tees y codos de 22,5°, 45° y 90°. Además, en muchos tramos de la distribución propuesta se tomó en cuenta que el PVC C900 permite una deflexión máxima de 3° (ver Tabla 39) para un diámetro de 200 mm (8 in), luego de realizar el ensamble concéntrico. Se aclara que con esta deflexión se espera lograr trayectorias cuyos ángulos de dirección propuestos se desviaban un poco con respecto a los ángulos permitidos por los accesorios que se distribuyen comercialmente.

Cabe mencionar que la longitud de cada una de las tuberías es de 6,1 m (20 ft) y la unión entre dos tubos se realiza mediante un sistema de espiga y campana (unión a presión) prevista desde el momento en que se realiza la manufactura de dicha tubería. El ensamble se puede realizar de forma manual o con algún medio mecánico y podría requerir la aplicación de lubricante. Se debe verificar que las superficies de la espiga y campana estén totalmente limpias al momento de realizar la unión. En la Tabla 40 y Tabla 41 de la sección de anexos se detallan las dimensiones que poseen la espiga y campana tanto en milímetros como en pulgadas.

4.2.2. Cálculo de pérdidas (ruta crítica)

Para el dimensionamiento del sistema de distribución de agua se debe tener en cuenta que la distribución propuesta es un sistema de tuberías húmedo en anillo. Esto quiere decir que el caudal que alimenta un hidrante en el momento de su uso proviene de la suma de dos tuberías en paralelo, cada una con diferente trayectoria (longitud) y cantidad de accesorios. Al ser una red en anillo se implementó un sistema de válvulas de compuerta (34 en total) que permite aislar tramos específicos de la tubería sin que esto afecte el funcionamiento normal de los hidrantes.

Esta decisión de diseñar la distribución en anillo se tomó porque si se requiere realizar algún trabajo de mantenimiento a las tuberías de distribución de agua, o si por algún motivo una tubería o hidrante se rompiera, con el manejo adecuado de las válvulas se cuenta con ese mecanismo apropiado para aislar la falla, pero dejando los hidrantes bajo las condiciones normales de operación. La ubicación exacta de cada válvula se detalla en los planos de la distribución propuesta.

El hecho de aislar tramos de tubería en conjunto con la distribución en anillo implica que hay dos posibles rutas para llegar a un punto de consumo y como es de esperar una de ellas es la más crítica. Por ejemplo, en la Figura 21 se adjunta la distribución de tuberías propuesta a cierta escala de reducción. Se exponen dos posibles rutas para llegar desde la descarga de la bomba (punto 1) hasta un hidrante ubicado en las residencias estudiantiles (punto 2). En la Figura 21.a se observan las trayectorias que recorrerán cada parte del caudal requerido por el hidrante del punto 2, es decir, una parte del caudal fluye por el tramo marcado con verde y la otra parte del caudal fluye a través de las tuberías marcadas con anaranjado. Como se explicó en la sección 3.5 los caudales divididos se suman en el nodo indicado con la flecha, siguiendo una trayectoria en serie manteniendo un flujo capaz de abastecer el caudal requerido por los puntos de consumo.

Suponiendo una posible ruptura de tubería en el punto denotado con una equis en la Figura 21.b, se procede a aislar dicho tramo de tubería mediante las válvulas de compuerta instaladas para dicho propósito. Para ese entonces, la red ya no está trabajando bajo una configuración de anillo y se ha convertido en una red abierta. Todo el caudal que requeriría el hidrante ubicado en el punto 2 recorrería una única trayectoria, precisamente la mostrada en la Figura 21.b. De esta manera y conociendo de antemano que se utilizará un único diámetro y material para toda la distribución propuesta se entiende que esa ruta es más crítica ya que las pérdidas de presión están asociadas al caudal que fluye por la tubería. Sobre este caso analizado se puede concluir que el diseño se basará en los cálculos obtenidos para la ruta crítica.

Un análisis similar al anterior se realizó para cada hidrante y de esta manera se determinó la ruta más crítica probable para cada punto de consumo. De todas estas rutas se escogerá como la ruta crítica de todo el sistema de distribución en general aquella cuyo valor de pérdidas de presión sea más alto, este es el propósito de los datos mostrados en la presente sección.

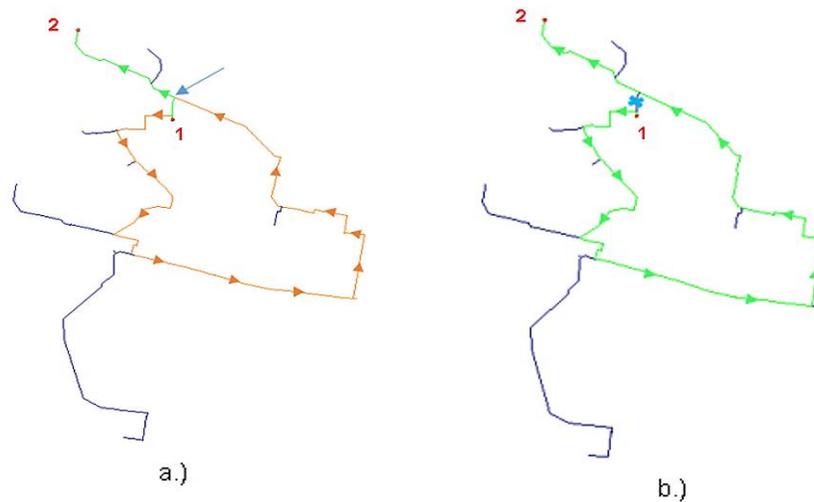


Figura 21: Explicación de ruta crítica a.) Trayectoria 1 y b.) Trayectoria 2
Fuente: Elaboración propia en AutoCAD 2014

Teniendo clara la definición de ruta crítica, se procede a realizar un levantamiento de longitud, altura y accesorios referentes a cada trayectoria crítica ubicada desde la descarga de la bomba hasta el punto de conexión de mangueras, esto para cada uno de los 16 hidrantes que componen el sistema contra incendios. En el caso de la longitud se realizó un plano 3D con líneas para tomar en cuenta la topografía del terreno. Se utilizaron curvas de nivel y puntos topográficos de un plano suministrado por la Oficina de Ingeniería del TEC. De esta manera se obtiene una aproximación más precisa de la longitud real de tubería que se requiere.

La siguiente figura define los diferentes nodos que componen la totalidad de la red de distribución de agua para el sistema contra incendios:

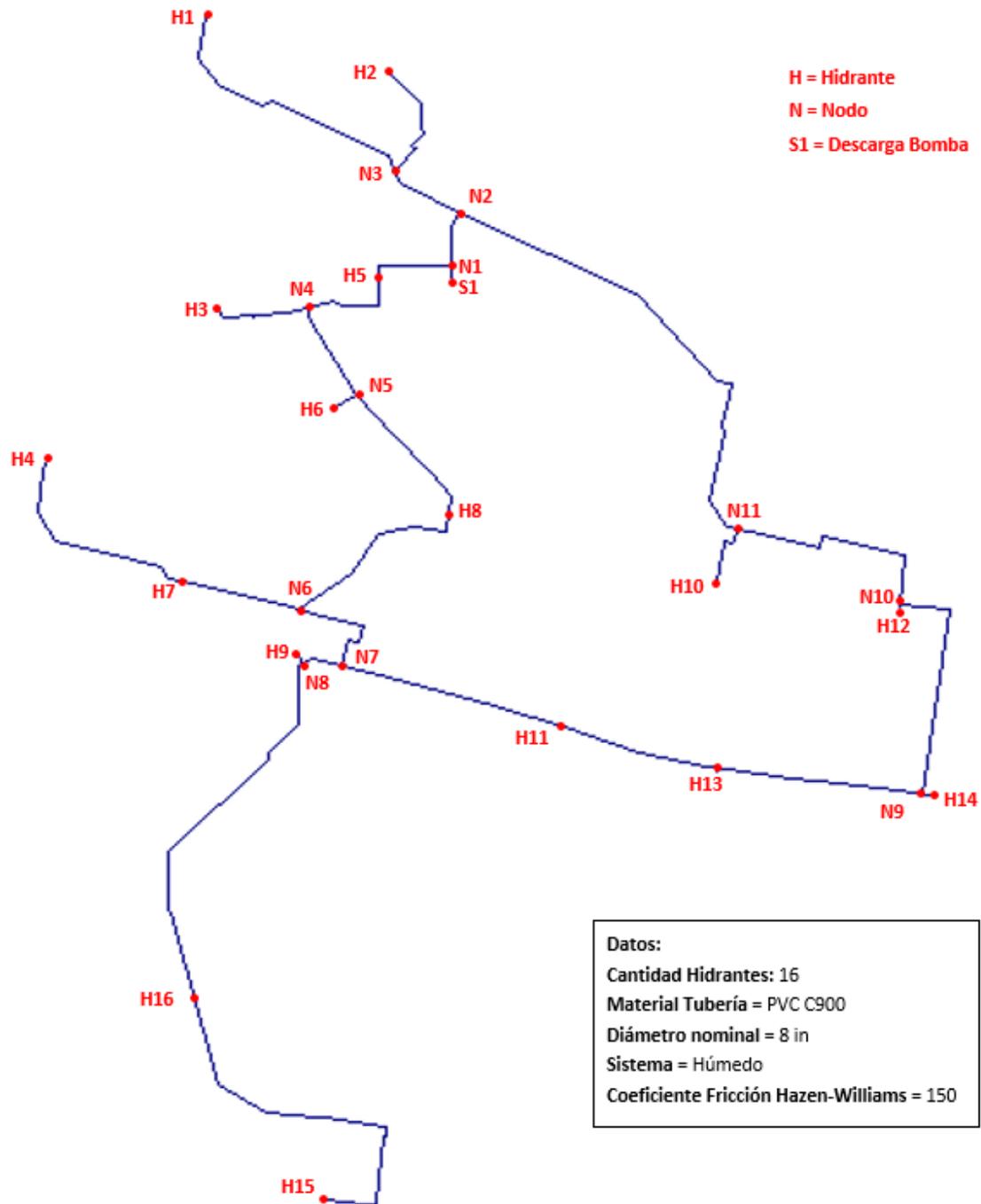


Figura 22: Definición de nodos en la red de distribución para facilitar recolección de datos.
 Fuente: Elaboración propia en AutoCAD 2014

Tabla 4: Longitudes y accesorios entre los diferentes nodos de la red de distribución.

Tramo	Longitud (m)	Accesorios					
		22,5°	45°	90°	Tee	VC	VA
De S1 a N1	10,65	0	2	0	1	0	1
De N1 a N2	49,43	1	0	0	1	2	0
De N2 a N3	69,47	0	1	0	1	1	0
De N3 a H1	243,38	4	4	1	0	1	0
De N3 a H2	111,96	0	3	3	0	1	0
De N1 a H5	69,70	0	0	1	1	2	0
De H5 a N4	89,64	1	3	1	1	2	0
De N4 a H3	82,55	0	3	1	0	1	0
De N4 a N5	90,23	1	0	0	1	2	0
De N5 a H6	22,70	0	2	1	0	0	0
De N5 a H8	137,84	0	1	1	1	2	0
De H8 a N6	173,94	2	2	1	1	2	0
De N6 a H7	184,63	1	2	2	1	1	0
De H7 a H4	111,95	4	2	1	0	1	0
De N6 a N7	102,19	2	0	3	1	2	0
De N7 a H11	193,70	1	0	0	1	2	0
De H11 a H13	137,85	1	0	0	1	2	0
De H13 a N9	178,74	0	0	0	1	2	0
De N9 a H14	5,89	0	0	1	0	0	0
De N2 a N11	429,73	1	7	1	1	2	0
De N11 a H10	58,31	4	0	3	0	0	0
De N11 a N10	199,78	4	0	3	1	2	0
De N10 a H12	1,65	0	0	1	0	0	0
De N10 a N9	210,87	2	0	1	0	2	0
De N7 a N8	35,31	0	1	0	1	0	0
De N8 a H9	15,91	0	0	1	0	0	0
De N8 a H16	332,45	0	6	0	1	1	0
De H16 a H15	369,75	1	3	5	0	1	0

VC=Válvula de compuerta, VA=Válvula Anti retorno

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

En relación con el caudal y presión se consultó directamente a Bomberos de Costa Rica el caudal recomendado para el tipo de instalaciones tratadas, la cual es una red privada de incendios conectada a un sistema de bombeo. Los parámetros de diseño a utilizar para el dimensionamiento de tuberías y sistema de bombeo son:

$$\text{Caudal} = 0,95 \text{ m}^3/\text{min} \text{ (250 gpm) para un hidrante}$$

$$\text{Presión mínima requerida} = 6,89 \text{ bar (100 psi)}$$

Se advierte que no deben confundirse los criterios de diseño mencionados anteriormente con los establecidos por Bomberos de Costa Rica para hidrantes públicos. En el caso de la cantidad de hidrantes por considerar para el diseño se debe contemplar el uso de tres hidrantes trabajando simultáneamente siempre que esto sea posible, considerando la cercanía entre hidrantes, su radio de cobertura y el análisis de riesgos que representan las edificaciones que se desean proteger en caso de incendio. Esto no está normalizado en el Manual de Bomberos, pero sí es un criterio basado en la experiencia de la atención de emergencias.

Respecto a la presión máxima permitida en un hidrante, es importante entender que para la presión de diseño los hidrantes deben ser utilizados únicamente por personal entrenado de bomberos o brigadas conformados, ya que para el uso de otras personas la presión máxima permitida es 4,48 bar (65 psi). Cuando el cuerpo de Bomberos de Costa Rica utiliza los hidrantes ellos mismos regulan la presión manipulando la válvula de apertura del hidrante respectivo. Para definir el diámetro de la tubería se toma como referencia lo estipulado en la NFPA 24 (capítulo 13) que establece para tuberías enterradas un diámetro mínimo de 150 mm (6 in) para servicio privado de suministro de agua para hidrantes. Teniendo esto en mente y visualizando la gran longitud de la red de distribución se llegó a la conclusión de utilizar un diámetro nominal de 200 mm (8 in) previendo obtener un valor razonable de pérdidas de carga. Se debe tener presente que el diámetro de conexión del hidrante es de 150 mm, por lo tanto, se debe utilizar una reducción en la tubería vertical que conecta cada hidrante.

En el anexo 2 se muestra la pérdida de presión y velocidad asociada a los diámetros de 150 y 200 mm, utilizando PVC como material y un caudal para definir las pérdidas de presión y velocidad de 2,84 m³/min (750 gpm) considerando un máximo de tres hidrantes operando simultáneamente, lo que sería el caso crítico. Para un diámetro de 200 mm se obtuvo una pérdida de presión igual a 0,42 m por cada 100 m de longitud equivalente de tubería y una velocidad de 1,47 m/s.

Sobre estos valores, ASHRAE recomienda que la pérdida de carga no supere los 4 m por cada 100 m de longitud equivalente, por lo tanto, el valor de pérdida de presión obtenido para el diámetro de 200 mm cumple con este requerimiento. Por otra parte, en el caso de la velocidad las normas NFPA no establecen ningún criterio en específico, pero en el diseño se considerarán las recomendaciones del código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones de Costa Rica, que establece un rango de velocidad del flujo entre 0,6 m/s y 2 m/s.

La velocidad mínima se define así para evitar sedimentación de partículas, mientras que la velocidad máxima se limita por el tema de golpe de ariete y posibles ruidos excesivos. Se concluye que las pérdidas de presión y velocidad de flujo están en los rangos aceptables para el diámetro y caudal requeridos. Ahora corresponde calcular la longitud equivalente (L_{eq}) de los accesorios. Para esto se hará uso de la Tabla 42 mostrada en la sección de anexos. En resumen, sería:

Tabla 5: Longitud equivalente de los accesorios considerados en la distribución de tuberías.

Accesorio	Leq (ft)	Leq (m)
Codo 90°	14,0	4,27
Codo 45°	7,0	2,13
Codo 22,5°	3,5	1,07
Tee	30,0	9,14
Válvula de compuerta	3,0	0,91
Válvula check	32,0	9,75
Reducción	2,49	1,02

Fuente: Tabla 8.3.1.3, NFPA 14

Como se puede observar en la Tabla 42 (sección de anexos) no hay ninguna longitud equivalente asociada a las reducciones. Para este caso, Yunus (2006) plantea la siguiente ecuación para calcular la longitud equivalente:

$$L_{eq} = \frac{D}{f} \cdot K_L \quad (4.1)$$

Donde:

D: Diámetro de la tubería (m)

f: Factor de fricción

K_L: Coeficiente de pérdida

Para una reducción de 200 mm a 150 mm Yunus (2008) recomienda un $K_L = 0,1$.

Para el caso del factor de fricción se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$f = \frac{0,25}{\left(\log\left(\frac{\varepsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{5,47}{Re^{0,9}}\right)\right)^2} \quad (4.2)$$

Donde:

ε: Rugosidad de la tubería (mm)

Re: Número de Reynolds

Las reducciones se aplican a tubería de hierro (una a la salida de la bomba y otra en la tubería vertical en la conexión de cada hidrante), por lo tanto, el valor de rugosidad a utilizar es 0,15 mm. En el caso de número de Reynolds se debe considerar otra ecuación:

$$Re = \frac{4Q}{\pi Dv} \quad (4.3)$$

Donde:

Q: Caudal de agua (m³/s)

v: Viscosidad cinemática del fluido (m²/s)

En el caso del agua, suponiendo una temperatura de 20 °C, la viscosidad cinemática tiene un valor de $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Utilizando un caudal de $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ (750 gpm), un diámetro de 0,20 m (8 in) y sustituyendo los demás valores ya mencionados se obtiene a partir de la ecuación 4.1 una longitud equivalente de 1,02 m asociada a cada reducción presente en la distribución de tuberías.

Antes de mostrar los resultados obtenidos de pérdidas de presión se debe tener claro un aspecto muy importante con el tema de los caudales. Como ya se mencionó anteriormente, al inicio de la presente sección, la ruta crítica ocurre cuando la red en anillo se abre. En ese caso, para abastecer cualquier hidrante habrá un tramo de tubería por donde fluirá un caudal total (Q_{Total}), este caudal puede ser máximo $2,84 \text{ m}^3/\text{min}$ (750 gpm) que se presentaría en caso de utilizar tres hidrantes simultáneamente, pero dependiendo de la zona donde ocurra algún posible incendio este caudal podrá ser menor, en este caso se tomará un mínimo de $1,89 \text{ m}^3/\text{min}$ (500 gpm), es decir, 2 hidrantes utilizados al mismo tiempo, por ejemplo este sería el caso de los hidrantes 1 y 2 (ver Figura 19), ya que no habría ningún otro hidrante de la red de distribución privada a diseñar, que contribuya a la atención de una emergencia en las áreas de cobertura de esos dos hidrantes.

Además de los tramos por donde fluye un Q_{Total} , también se deben considerar los tramos por donde fluye el caudal de consumo del hidrante (Q_{Hidrante}), en otras palabras, cuando Q_{Total} llega a cierto nodo se divide para abastecer a una cantidad determinada de hidrantes. En este caso también se definió Q_{Hidrante} con una magnitud mínima de $0,95 \text{ m}^3/\text{min}$ (250 gpm) y un valor máximo de $1,89 \text{ m}^3/\text{min}$.

Este caso de valor máximo de Q_{Hidrante} se presentaría por ejemplo en la determinación de pérdidas del hidrante 7, ya que si bien es cierto existe la posibilidad de utilizar los hidrantes 3,6 y 7 simultáneamente, lo que provocaría que al hidrante 7 lleguen $0,95 \text{ m}^3/\text{min}$, también existe la posibilidad de utilizar al mismo tiempo los hidrantes 3,4 y 7, de manera que en este caso por el tramo de tubería que conecta el hidrante 7 deberían fluir $1,89 \text{ m}^3/\text{min}$, es decir, se debe incluir también el caudal para abastecer el hidrante 3.

Analizando todos estos casos particulares se hace una diferenciación entre Q_{Total} y Q_{Hidrante} , la cual se puede visualizar en las tablas que se muestran en las siguientes páginas, tomando en todos los casos el caudal máximo, teniendo en mente que se desea calcular las pérdidas de presión más críticas probables.

Para finalizar con este tema de definición de caudales, hay dos casos especiales (hidrantes 13 y 16) en los cuales no se considera ningún Q_{Hidrante} porque con el Q_{Total} es suficiente para definir su estado más crítico probable de pérdidas de presión.

También se aclara que los datos de altura mostrados tienen como línea de referencia la altura de descarga de la bomba, por ejemplo, para el hidrante 15, el valor de -34,3 m indica que el hidrante está ubicado 34,3 m por debajo del nivel de la descarga de la bomba y cabe recalcar que los accesorios contabilizados contemplan aquellos codos que se requieren para hacer tanto cambios de dirección como cambios de nivel (altura).

Se aclara que en el apéndice 4 se detallará una muestra de los cálculos realizados para determinar las pérdidas de presión, evidenciando como afecta el material escogido a los datos mostrados en la Tabla 42, recordando que hay que aplicar un factor de corrección de acuerdo al material. Finalmente, para calcular la pérdida de presión, el artículo 3.7.5 del Manual de Bomberos menciona que hay que considerar pérdidas por elevación, velocidad y fricción.

Se recuerda que en la sección 3.5 se definieron las ecuaciones asociadas a estas pérdidas de presión que hay que considerar, las cuales aplican para este caso de análisis de ruta crítica pues se está trabajando con la red abierta. Utilizando dichas ecuaciones y siendo uniforme con las unidades de medición, se obtienen los siguientes resultados de pérdidas de presión totales (P_T).

Tabla 6: Longitud, altura y accesorios para el tramo donde fluye Q_{Total} utilizado para calcular pérdida de presión de cada hidrante.

N° Hidrante	Altura (m)	Longitud Tubería (m)	Accesorios						
			Codo 22,5°	Codo 45°	Codo 90°	Tee	Válvula compuerta	Válvula check	Reducción
1	7,35	2094,33	15	16	12	13	25	1	1
2	-1,70	2094,33	15	16	12	13	25	1	1
3	14,05	1824,72	14	12	10	10	20	1	1
4	19,57	1697,57	17	15	11	10	19	1	1
5	0,70	1824,72	14	12	10	10	20	1	1
6	13,10	1824,72	14	12	10	10	20	1	1
7	19,46	1512,94	12	9	8	8	16	1	1
8	10,17	1512,94	12	9	8	8	16	1	1
9	9,85	1410,75	10	9	5	7	14	1	1
10	0,80	1395,35	10	8	8	10	20	1	1
11	3,85	1079,20	8	9	5	5	10	1	1
12	-7,60	1395,35	10	8	8	10	20	1	1
13	-3,73	1085,64	8	11	6	6	11	1	1
14	-16,40	1005,74	8	8	7	9	16	1	1
15	-34,30	1778,51	10	16	5	9	15	1	1
16	-16,66	1778,51	10	16	5	9	15	1	1

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

Tabla 7: Longitud, altura y accesorios para el tramo donde fluye Q_{Hidrante} utilizado para calcular pérdida de presión de cada hidrante.

N° Hidrante	Longitud Tubería (m)	Accesorios						
		Codo 22,5°	Codo 45°	Codo 90°	Tee	Válvula compuerta	Válvula check	Reducción
1	243,38	4	4	1	0	1	0	1
2	111,96	0	3	3	0	1	0	1
3	172,78	1	3	1	1	3	0	1
4	111,95	4	2	1	0	1	0	1
5	179,87	2	3	1	2	4	0	1
6	22,70	0	2	1	0	0	0	1
7	184,63	1	2	2	1	1	0	1
8	173,94	2	2	1	1	2	0	1
9	51,22	0	1	1	1	0	0	1
10	258,09	8	0	6	1	2	0	1
11	137,85	1	0	0	1	2	0	1
12	1,65	0	0	1	0	0	0	1
13	0,00	0	0	0	0	0	0	1
14	184,63	0	0	1	1	2	0	1
15	369,75	1	3	5	0	1	0	1
16	0,00	0	0	0	0	0	0	1

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

Tabla 8: Longitud equivalente asociada al tramo donde fluye Q_{Total} de cada hidrante del sistema contra incendios.

N° Hidrante	Accesorios (m)						
	Codo 22,5°	Codo 45°	Codo 90°	Tee	Válvula compuerta	Válvula check	Reducción
1	31,07	66,28	99,41	209,41	46,02	20,71	1,02
2	31,07	66,28	99,41	209,41	46,02	20,71	1,02
3	29,00	49,71	82,84	161,09	36,82	20,71	1,02
4	35,21	62,13	91,13	161,09	34,98	20,71	1,02
5	29,00	49,71	82,84	161,09	36,82	20,71	1,02
6	29,00	49,71	82,84	161,09	36,82	20,71	1,02
7	24,85	37,28	66,28	128,87	29,46	20,71	1,02
8	24,85	37,28	66,28	128,87	29,46	20,71	1,02
9	20,71	37,28	41,42	112,76	25,77	20,71	1,02
10	20,71	33,14	66,28	161,09	36,82	20,71	1,02
11	16,57	37,28	41,42	80,54	18,41	20,71	1,02
12	20,71	33,14	66,28	161,09	36,82	20,71	1,02
13	16,57	45,56	49,71	96,65	20,25	20,71	1,02
14	16,57	33,14	57,99	144,98	29,46	20,71	1,02
15	20,71	66,28	41,42	144,98	27,61	20,71	1,02
16	20,71	66,28	41,42	144,98	27,61	20,71	1,02

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

Nota: Para el caso de los codos de 22,5° siguiendo la tendencia presentada en la Tabla 42 para un diámetro de 200 mm (8 in), se asumen valores iguales a la mitad de los tabulados para el codo de 45°.

Tabla 9: Longitud equivalente asociada al tramo donde fluye Q_{Hidrante} del sistema contra incendios.

N° Hidrante	Accesorios (m)						
	Codo 22,5°	Codo 45°	Codo 90°	Tee	Válvula compuerta	Válvula check	Reducción
1	8,28	16,57	8,28	0,00	1,84	0,00	1,02
2	0,00	12,43	24,85	0,00	1,84	0,00	1,02
3	2,07	12,43	8,28	16,11	5,52	0,00	1,02
4	8,28	8,28	8,28	0,00	1,84	0,00	1,02
5	4,14	12,43	8,28	32,22	7,36	0,00	1,02
6	0,00	8,28	8,28	0,00	0,00	0,00	1,02
7	2,07	8,28	16,57	16,11	1,84	0,00	1,02
8	4,14	8,28	8,28	16,11	3,68	0,00	1,02
9	0,00	4,14	8,28	16,11	0,00	0,00	1,02
10	16,57	0,00	49,71	16,11	3,68	0,00	1,02
11	2,07	0,00	0,00	16,11	3,68	0,00	1,02
12	0,00	0,00	8,28	0,00	0,00	0,00	1,02
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,02
14	0,00	0,00	8,28	16,11	3,68	0,00	1,02
15	2,07	12,43	41,42	0,00	1,84	0,00	1,02
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,02

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

Nota: Para el caso de los codos de 22,5° siguiendo la tendencia presentada en la Tabla 42 para un diámetro de 200 mm (8 in), se asumen valores iguales a la mitad de los tabulados para el codo de 45°.

Tabla 10: Longitud total equivalente (accesorios + tubería) desde la descarga de la bomba hasta la conexión de cada hidrante.

N° Hidrante	L_{Accesorios} Q_{Total} (m)	L_{Accesorios} Q_{Hidrante} (m)	L_{Tubería} Q_{Total} (m)	L_{Tubería} Q_{Hidrante} (m)	L_{Total} Q_{Total} (m)	L_{Total} Q_{Hidrante} (m)
1	473,92	36,00	2094,33	243,38	2568,25	279,38
2	473,92	40,14	2094,33	111,96	2568,25	152,10
3	381,18	45,43	1824,72	172,78	2205,90	218,21
4	406,27	27,71	1697,57	111,95	2103,84	139,66
5	381,18	65,45	1824,72	179,87	2205,90	245,32
6	381,18	17,59	1824,72	22,70	2205,90	40,29
7	308,47	45,89	1512,94	184,63	1821,41	230,52
8	308,47	41,52	1512,94	173,94	1821,41	215,46
9	259,68	29,56	1410,75	51,22	1670,43	80,78
10	339,76	87,09	1395,35	258,09	1735,11	345,18
11	215,96	22,88	1079,20	137,85	1295,16	160,73
12	339,76	9,30	1395,35	1,65	1735,11	10,95
13	250,47	1,02	1085,64	0,00	1336,11	1,02
14	303,86	29,10	1005,74	184,63	1309,60	213,73
15	322,73	58,78	1778,51	369,75	2101,24	428,53
16	322,73	1,02	1778,51	0,00	2101,24	1,02

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

Tabla 11: Pérdidas de presión asociadas a cada hidrante del sistema contra incendios.

N° Hidrante	L_{Total} Q_{total} (ft)	L_{Total} Q_{hidrante} (ft)	Altura (ft)	Diámetro (in)	Q_{Total} (gpm)	Q_{Hidrante} (gpm)	P_{mínima} Hidrante (psi)	P_T (psi)	P_T (bar)
1	8426,03	916,60	24,11	7,68	500	250	100	128,28	8,84
2	8426,03	499,02	-5,58	7,68	500	250	100	115,18	7,94
3	7237,22	715,92	46,10	7,68	750	250	100	151,89	10,47
4	6902,36	458,22	64,21	7,68	750	250	100	158,13	10,90
5	7237,22	804,87	2,30	7,68	500	250	100	116,33	8,02
6	7237,22	132,18	42,98	7,68	750	250	100	150,21	10,35
7	5975,74	756,31	63,85	7,68	750	500	100	155,25	10,70
8	5975,74	706,90	33,37	7,68	500	500	100	128,20	8,83
9	5480,41	265,01	32,32	7,68	500	250	100	125,43	8,64
10	5692,63	1132,47	2,62	7,68	500	250	100	113,50	7,82
11	4249,20	527,34	12,63	7,68	500	250	100	114,54	7,89
12	5692,63	35,94	-24,93	7,68	500	250	100	100,95	6,96
13	4383,56	3,35	-12,24	7,68	500	500	100	103,75	7,15
14	4296,60	701,20	-53,81	7,68	500	250	100	85,97	5,92
15	6893,84	1405,94	-112,53	7,68	500	250	100	66,25	4,56
16	6893,84	3,35	-54,66	7,68	500	500	100	90,52	6,24

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

Nota: El diámetro usado para el cálculo no es el diámetro nominal de la tubería, se usa el diámetro interno cuyo valor es 195 mm (7,68 in), dato tomado de la Tabla 40 en la sección de anexos.

Para el cálculo de pérdidas de presión se seleccionó un grosor de tubería DR 14. Un DR menor implica una pared de tubería más gruesa y por ende capaz de resistir mayor presión. En la Tabla 38 de la sección de anexos se muestra la presión máxima permitida para cada grosor, en el caso de un DR 14 se permite un máximo de 21 bar (305 psi). Un detalle importante a considerar al momento de definir el grosor de la tubería es la presión de ariete, la cual según Garro (2015) se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

$$Pa = rcV \quad (4.4)$$

$$c = \frac{\left(\frac{E_0}{r}\right)^{0,5}}{\left(1 + \frac{E_0 \cdot D_i}{E \cdot e}\right)^{0,5}} \quad (4.5)$$

Donde:

P_a : Presión de ariete (Pa)

c : Celeridad de la onda elástica del fluido en la tubería (m/s)

V : Velocidad del fluido (m/s)

r : Densidad del fluido (998,3 kg/m³ a 20 °C)

E_0 : Módulo de elasticidad del fluido (Agua = 2,1x10⁹ Pa)

E : Módulo de elasticidad (PVC = 2,82x10⁹ Pa)

e : Espesor de la tubería (mm)

D_i : Diámetro interno de la tubería (mm)

Conociendo que el diámetro interno de la tubería es 195 mm y el espesor para un DR 14 es 16,4 mm (ver Tabla 40), se obtiene:

$$c = \frac{\left(\frac{2,1 \times 10^9}{998,3}\right)^{0,5}}{\left(1 + \frac{2,1 \times 10^9 \cdot 195,1}{2,82 \times 10^9 \cdot 16,4}\right)^{0,5}} = 461,92 \text{ m/s}$$

A partir de la Figura 50 (sección de anexos), se obtiene que la velocidad del fluido para un diámetro nominal de 200 mm es 1,47 m/s (4,82 ft/s). Utilizando la ecuación 4.4 se obtiene la presión de ariete:

$$Pa = 998,3 \cdot 461,92 \cdot 1,47 = 6,8 \times 10^5 \text{ Pa} = 6,8 \text{ bar}$$

Como se indicó anteriormente la tubería PVC C900 resiste 21 bar (305 psi) como presión de trabajo. Garro (2012) recomienda que la diferencia mínima entre las presiones de trabajo y ariete sea de 1 bar. Tomando en cuenta que hay una presión de bombeo cuya magnitud es cercana a 11 bar (159,5 psi, ver Tabla 11), en caso de haber presión de ariete, la presión dentro de la tubería sería de 17,8 bar (258,2 psi). En este caso se obtiene una diferencia de 3,2 bar (46,4 psi), por lo que se justifica la escogencia del grosor DR 14 para la distribución planteada.

Por último, para complementar los resultados de la Tabla 11, se puede concluir que hay dos posibles casos críticos:

1. Hidrantes 3,4 y 6 funcionando simultáneamente
2. Hidrantes 3,4 y 7 funcionando simultáneamente

En el apéndice 6 se muestran los resultados de la simulación efectuada a la distribución de tuberías utilizando el software SPRINCAD 3D. Como su nombre lo indica la distribución simulada contempla las diferentes alturas y niveles por donde pasa la tubería, es decir, es un análisis de tuberías en tres dimensiones. Se adjuntan los resultados obtenidos para las dos posibles rutas críticas mencionadas anteriormente, esto con el objetivo de definir cuál sería la presión de selección de la bomba principal del sistema contra incendios (teniendo en mente que aún faltaría tomar en cuenta las pérdidas asociadas a la succión de la bomba que se calculan en la sección 4.4.

Con base en los resultados mostrados en dicho apéndice se verifica que la metodología de cálculo aplicada fue adecuada y está acorde a herramientas de análisis más sofisticadas como lo es la simulación en este caso. Las diferencias mostradas en los valores se deben principalmente al hecho que en el software se utilizan accesorios comerciales que permiten un análisis más preciso y que causan variaciones al momento de comparar resultados.

4.2.3. Diseño de bloques de inercia y abrazaderas

La norma NFPA 24, indica en el artículo 10.8.1 que se deben utilizar bloques de inercia o sistemas de unión para empotrado de tuberías en todos los cambios de dirección, válvulas, cambios de diámetro y derivaciones de hidrante. Los bloques de inercias también son conocidos como bloques de empuje. En el diseño planteado se considera utilizar sólo bloques de empuje para las válvulas de compuerta que se encuentran en la red en anillo y para todos los demás casos, tales como codos, tees y reducciones se emplearán tanto bloques de empuje como abrazaderas, las cuales son aptas para la tubería enterrada PVC C900.

En el caso de los bloques de inercia, para determinar el área de la superficie de apoyo se utilizará la Tabla 45 de la sección de anexos. De dicha tabla se obtiene, que para un diámetro de 200 mm (8 in) se recomiendan áreas de apoyo mínimas, según sea el accesorio. En el caso de los codos de 22,5° se utilizan las mismas especificaciones de diseño planteadas para los codos de 45°. Para comprender mejor esta área se adjunta la siguiente imagen:

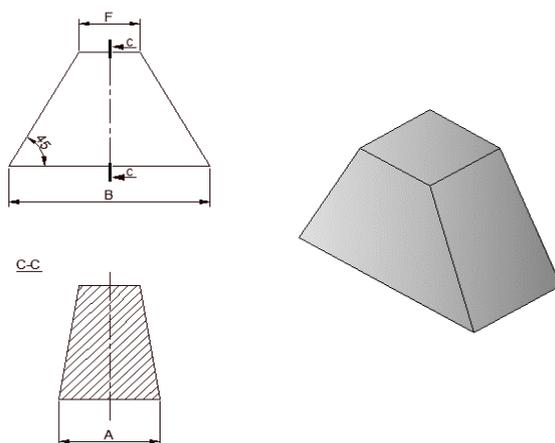


Figura 23: Dimensiones a tomar en cuenta para los bloques de inercia.
Fuente: Elaboración propia en AutoCAD 2014

El área de superficie de apoyo es la multiplicación de las dimensiones A y B mostradas en la figura anterior. Por su parte, las dimensiones recomendadas para la dimensión F se adjuntan en la Tabla 45.

En la sección cuadrada, cuyo lado tiene una longitud F es donde debe ir sentado el accesorio correspondiente. Además, en el caso de las válvulas para evitar el movimiento hacia arriba de la válvula, se requiere el uso de varillas #2, dobladas, sobre la campana de conexión entre tubería y válvula. Esto mantendrá las válvulas unidas al bloque de empuje de manera permanente. El bloque formará parte de la caja de registro de la válvula.

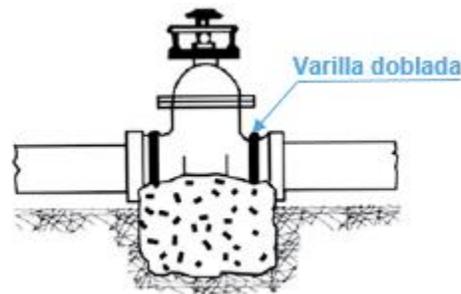


Figura 24: Instalación de bloque de inercia para una válvula
Fuente: Catálogo de Durman

En cuanto a las dimensiones A y B señaladas en la Figura 23, se utilizarán las longitudes adjuntadas en la Tabla 46 (sección de anexos). Como se puede observar, para un diámetro de 200 mm (8 in) se asignan los valores de B = 90 cm (35,4 in) y A = 45 cm (17,7 in), es decir, el área de la superficie de apoyo sería 0,41 m² (4,36 ft²), lo cual supera el valor mínimo recomendado mencionado anteriormente. Lo anterior es válido suponiendo un terreno de arena y grava con roca, se debe hacer un estudio de suelo para definir el tipo de terreno por donde se realizará el zanjeo, lo cual no es parte de los objetivos de este proyecto.

La norma NFPA 24 establece que para los bloques de inercia se necesita una mezcla de concreto que no tenga menos de una parte de cemento, dos y media partes de arena y cinco partes de piedra. Además, los bloques no deben empotrar las válvulas ni la tubería, ya que es posible que exista expansión térmica y porque los accesorios deben quedar accesibles en caso de inspección o reparación. Para todos los cambios de dirección que formen parte de la distribución de tuberías para el sistema contra incendios se utilizarán abrazaderas como la siguiente:

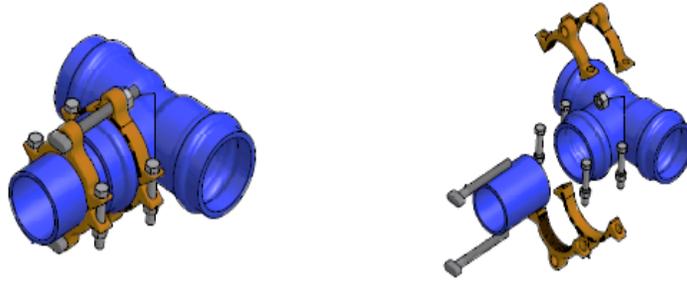


Figura 25: Tipos de abrazaderas a utilizar en los codos y tees.
Fuente: Catálogo de Romac Industries.

En la sección de anexos (Tabla 47 y Tabla 48) se adjuntan las dimensiones que deben tener las abrazaderas, tornillos, arandelas y número de varilla a utilizar para un diámetro de 200 mm (8 in), de acuerdo a la norma NFPA 24.

4.2.4. Detalles para realizar el zanjeo

Como ya se indicó en secciones anteriores, la tubería de toda la distribución del sistema contra incendios estará enterrada. Es importante tener presente ciertas consideraciones al momento de realizar el zanjeo para la instalación de la tubería. La norma NFPA 24 (artículo 10.4.3) establece que en aquellos lugares donde no hay problemas de congelación, se recomienda una profundidad de zanja no menor a 80 cm (31,5 in) medidos desde el centro de la tubería.

Por su parte, por recomendaciones del fabricante, el ancho máximo en el fondo de la zanja no debe sobrepasar el diámetro externo de la tubería más 60 cm (23,6 in). Para el diseño propuesto ese ancho máximo en el fondo de la zanja será de 80 cm. El ancho en la parte superior de la zanja será determinado por las condiciones locales. Se deben tener presentes las siguientes 3 operaciones básicas al momento de realizar el zanjeo: Excavación, tendido de la tubería y relleno. En el caso del relleno se deben considerar varias capas de material:

1. Cimentación: Puede o no ser necesario y su objetivo es brindar soporte y nivel a la tubería. Se recomienda un mínimo de 100 mm (4 in) de material de cimentación, que normalmente es arena.

- Enriñonado: Se refiere a la capa de material utilizada para eliminar los espacios vacíos debajo de la tubería, tal como lo indica la siguiente imagen:

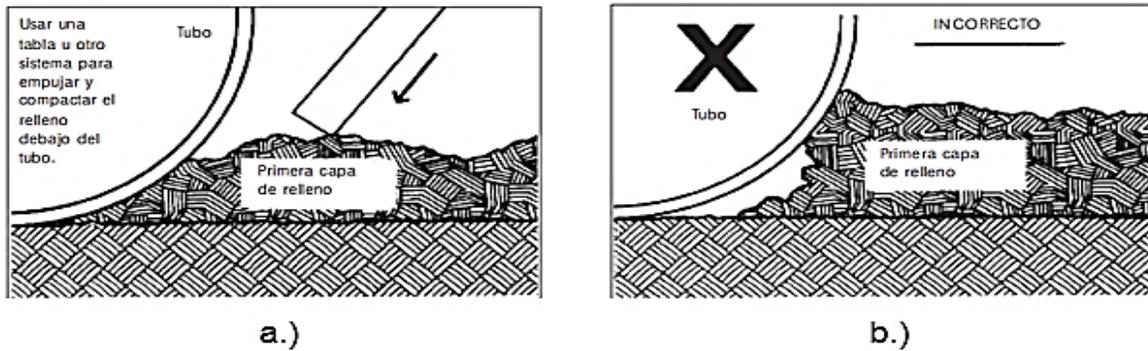


Figura 26: Enriñonado a.) Correcto y b.) Incorrecto
Fuente: Guía para instalación de tuberías enterradas, Grupo Orbis

- Relleno inicial: Su propósito es proteger la tubería del relleno final. Puede ser realizado con el mismo material extraído de la zanja, pero se debe verificar que no hay presencia de piedras con diámetros superiores a 3,8 cm (1,5 in).
- Relleno final: Se puede realizar con material nativo de la zanja y puede contener piedras de hasta 150 mm (6 in) de diámetro.
- Compactación: La densidad de compactación debe ser al menos de 95%.

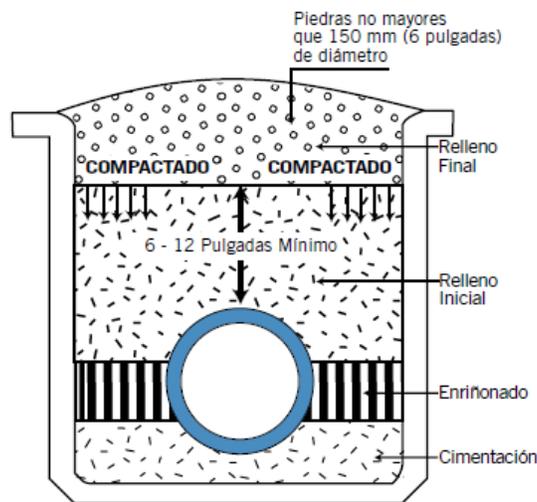


Figura 27: Capas de material a considerar para el relleno de la zanja
Fuente: Catálogo de Durman

4.3. Dimensionamiento del tanque de captación

Como se mencionó al inicio de la sección 4.2 se consideraron dos posibilidades para la ubicación del tanque de captación. Por un lado, estaba la opción de ubicarlo cerca del tanque elevado que abastece a todo el sistema de agua potable de la universidad. En este caso las principales ventajas consistían en que este es uno de los puntos de mayor altitud en todo el campus universitario, lo que permitiría preliminarmente seleccionar una bomba de menor capacidad y como segunda ventaja en esa zona no hay obstáculos (aceras, piedras, árboles, desniveles) para construir el tanque cisterna si se quisiera. La desventaja era el costo que implicaba la construcción del tanque en su totalidad.

Como segunda opción se consideró utilizar la piscina ubicada en el área de deportes, en este caso teniendo la ventaja que el tanque cisterna estaría construido y sólo había que realizar algunas modificaciones para comunicar la descarga de la piscina con la succión de la bomba. Por otra parte, su principal desventaja es que al seleccionar la bomba se debía considerar una altura cercana a los 18 m de elevación de agua.

Se analizaron estos aspectos en conjunto con la posible distribución que tendría la tubería si se ubicara el tanque en cada una de las posiciones propuestas. Se llegó a la conclusión de definir la piscina como tanque de captación para el sistema contra incendios, esto porque si se ubicaba el tanque de almacenamiento de agua en la otra posición en disputa, se debía hacer una red de distribución más larga y además se debía construir el tanque en su totalidad y se consideró que estos costos no eran comparables con el hecho de tener el tanque prácticamente construido (piscina) y en lo único que se debía invertir era en ajustar la descarga de la piscina a la succión de la bomba y probablemente en seleccionar una bomba con una capacidad un poco mayor para lograr la elevación de agua requerida. La norma NFPA 20 (artículo 4.6.2.1) respalda que cualquier fuente de agua adecuada en cantidad, calidad y presión sea utilizada como suministro de agua contra incendios y en este caso la piscina cumple con dichos requerimientos.

Una vez definida la posición del tanque cisterna, se procedió a solicitar una lista de los químicos agregados a la piscina periódicamente (ver anexo 1) con el propósito de consultar a Bomberos de Costa Rica si dicha agua efectivamente cumple con todas las condiciones para ser utilizada en la extinción de incendios. Además, es importante considerar las concentraciones de químicos en el agua para la selección de los materiales de la bomba. También se verificó que ninguno de los químicos afectara la tubería de PVC C900 seleccionada, precisamente siendo una de las ventajas de este material su excelente resistencia a los químicos.

En cuanto a los requerimientos de volumen del tanque cisterna, el artículo 3.7.2.c del Manual de Bomberos establece que el suministro de agua debe ser estático y capaz de abastecer el sistema contra incendios por 30 minutos al caudal nominal de la bomba. Considerando que la bomba tendría un caudal máximo de operación de $2,84 \text{ m}^3/\text{min}$ (750 gpm), el volumen mínimo del tanque debería ser:

$$V_{\text{Tanque}} = Q_{\text{Bomba}} \cdot \text{Duración} = \frac{2,84 \text{ m}^3}{\text{min}} \cdot 30 \text{ min} = 85,2 \text{ m}^3 \quad (4.6)$$

Luego se consultó a la Unidad de Deportes las dimensiones de la piscina, los cuales se detallan en la siguiente imagen:

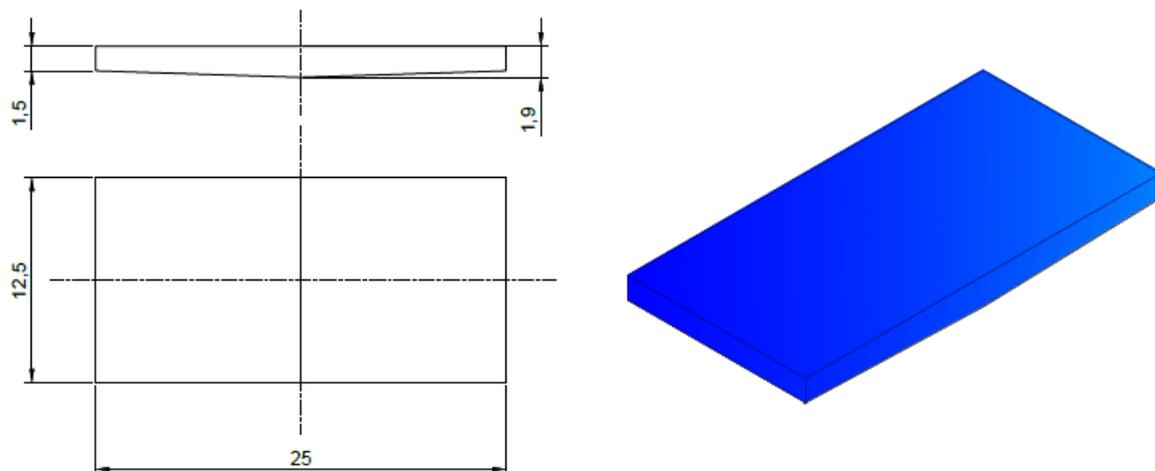


Figura 28: Dimensiones de la piscina utilizada como tanque cisterna
Fuente: Elaboración propia en AutoCAD 2014

Como se puede ver, el nivel de agua de la piscina tiene una altura de 1,5 m en los extremos y conforme se acerca al centro su altura incrementa hasta llegar a los 1,9 m. La intención es colocar la succión de la bomba a un extremo de la piscina y no en el centro, esto por la futura posición del cuarto de bombas porque sería la manera más factible de realizar la succión desde la piscina. Se debe restar además una altura de 0,15 m que corresponde a la altura de succión de la placa anti-vórtice respecto el fondo de la piscina (especificada en los planos). De esta manera se obtiene, que el volumen total de agua disponible en la piscina, para atención de incendios es:

$$V_{Piscina} = largo \cdot ancho \cdot altura = 25 \cdot 12,5 \cdot 1,35 = 421,88 \text{ m}^3 \quad (4.7)$$

De esta manera se verifica que el volumen de agua contenido en la piscina sobrepasa el volumen mínimo exigido por Bomberos de Costa Rica mostrado en la ecuación 4.6. La norma NFPA 22 (artículo 4.4) establece como materiales para los tanques el acero, concreto, madera, fibra de vidrio y plástico reforzado. En el caso de la piscina, su material es de concreto, enchapado con vitro-cerámica. Esta característica permite cumplir con el requerimiento de permeabilidad que se especifica en el artículo 10,5 (NFPA 22) para las paredes del tanque.

Un detalle importante a tomar en cuenta es la duración que tendría el suministro de agua en caso de un eventual incendio. Para calcular ese tiempo de duración se debe tomar en cuenta el caudal de salida y entrada en la piscina. El sistema de bombeo de agua hacia la piscina consta de dos bombas idénticas operando en paralelo. Conociendo que el caudal de una bomba es 0,49 m³/min (130 gpm), entonces el caudal de entrada de agua a la piscina sería 0,98 m³/min (260 gpm). Con esto claro, la duración del agua que suministra la piscina ante un incendio sería:

$$Duración = \frac{V_{piscina}}{Q_{salida} - Q_{entrada}} = \frac{421,88 \text{ m}^3}{\frac{2,84 \text{ m}^3}{min} - \frac{0,98 \text{ m}^3}{min}} = 226,82 \text{ min} = 3,8 \text{ h} \quad (4.8)$$

Por último, se debe tener presente las siguientes consideraciones en torno al uso de la piscina como tanque de abastecimiento de agua del sistema contra incendios:

- El agua contenida en la piscina cumple con las concentraciones químicas establecidas en el Reglamento Sobre Manejo de Piscinas (Decreto 35309, publicada en el 2009). Estos parámetros son los que se utilizaron para definir el material de la bomba principal.
- El agua de la piscina nunca se descarga, ya que se le da tratamiento químico constante (ver Tabla 35, sección de anexos) que ayuda a mantener los estándares de partes por millón (ppm) que se requieren.
- En vez de descargar toda el agua de la piscina, hay una renovación continua del agua, es decir, constantemente el agua se está descargando, pero al mismo tiempo se sustituye por agua nueva, manteniendo un volumen constante en todo momento, lo cual es una ventaja de utilizar la piscina como tanque cisterna para el sistema contra incendios.
- En caso que se requiera realizar un trabajo o un mantenimiento específico a la piscina que obligue a descargar toda el agua de la misma, se debe coordinar con Departamento de Mantenimiento del TEC para programar ese trabajo el mismo día del año en el cual se le da mantenimiento a la unidad de bombeo.
- Para los usuarios de la piscina se debe colocar una alarma sonora y lumínica en las cercanías de la piscina, que se activará cuando el sistema de bombeo arranque.

4.4. Selección del equipo de bombeo

Para la selección de la bomba se utilizarán los criterios de diseño establecidos en la norma NFPA 20 (versión 2010) y en el artículo 3.7.2.c del Manual de Bomberos. El tipo de bomba a utilizar es centrífuga horizontal y para determinar la presión de elevación de dicha bomba, Carnicer (2004) establece la siguiente ecuación:

$$H_T = H_{TD} \pm H_{TS} \quad (4.9)$$

Donde:

H_T : Presión de elevación de la bomba (psi)

H_{TD} : Presión total en la descarga (psi)

H_{TS} : Presión total en la succión (psi)

La presión total en la succión y descarga son el resultado de dos componentes: una estática y otra dinámica. Lo anterior se evidencia en la siguiente ecuación:

$$H_T = H_{ED} + H_{DD} \pm H_{ES} + H_{DS} \quad (4.10)$$

Donde:

H_{ED} : Presión estática en la descarga (psi)

H_{DD} : Presión dinámica en la descarga (psi)

H_{ES} : Presión estática en la succión (psi)

H_{DS} : Presión dinámica en la succión (psi)

En el caso de la presión dinámica, para calcularla se aplica la siguiente ecuación:

$$H_{Dinámica} = \frac{V_{fluido}^2}{2g} \quad (4.11)$$

Donde:

V_{fluido} : Velocidad del fluido (m/s)

g : Aceleración causada por la gravedad (9,81 m/s²)

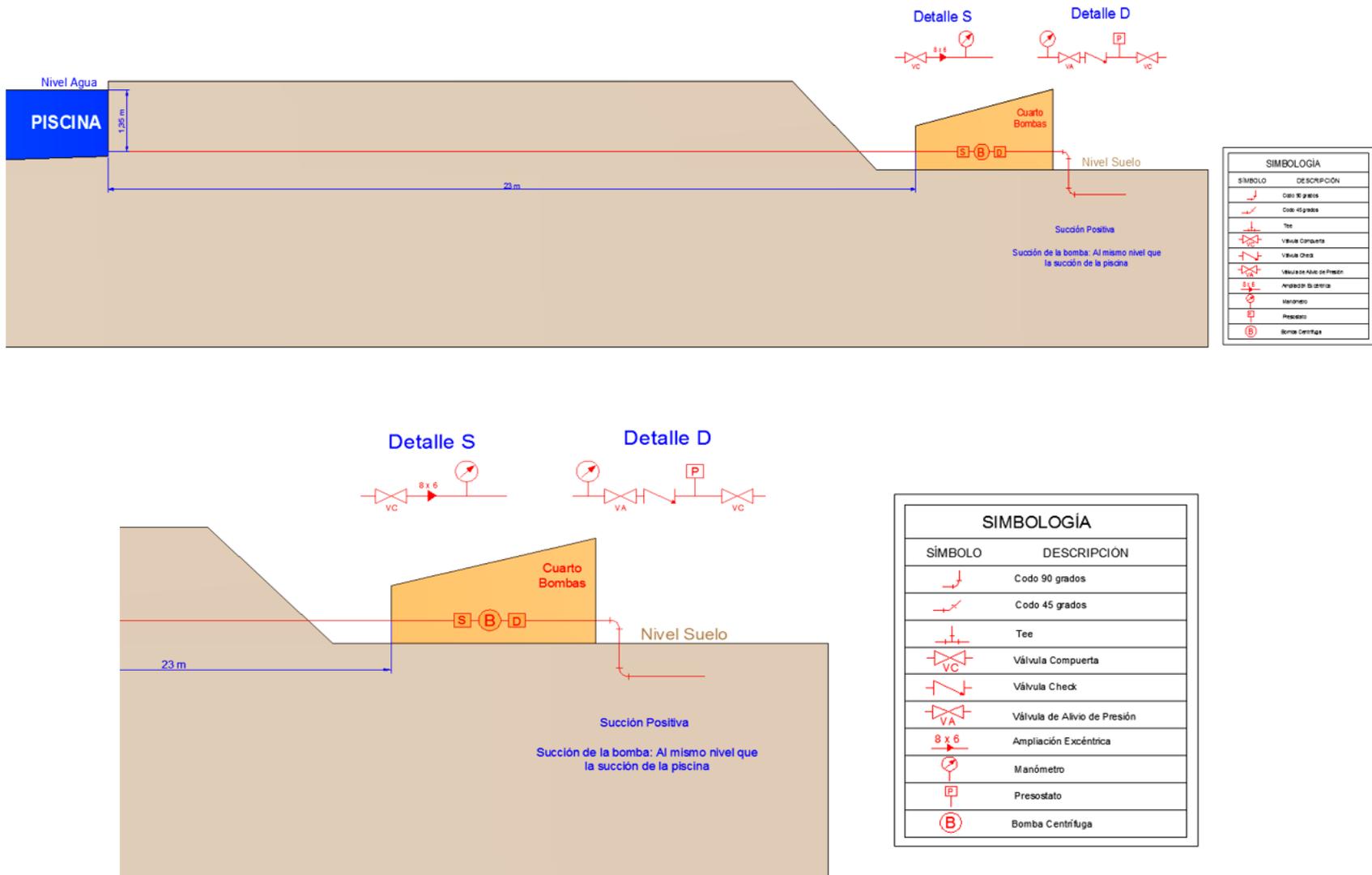


Figura 29: Distancias y accesorios a tomar en cuenta para la selección de la bomba (Fuente: Elaboración propia en AutoCAD 2014).

Como se puede observar en la imagen anterior, la bomba centrífuga está en succión positiva, tal como lo exige el artículo 6.1.2 de la norma NFPA 20. La altura de la succión en la piscina será la misma altura que la succión de la bomba, esto para prevenir cierta turbulencia que podría producirse en la succión. Por otra parte, H_{ED} se refiere a las pérdidas de presión contabilizadas desde la descarga de la bomba hasta el punto crítico del sistema (10,52 bar, ver Tabla 11). Las presiones dinámicas se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 12: Cálculo de presiones dinámicas en la succión y descarga.

Ubicación	Material	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Presión dinámica (mca)	Presión dinámica (psi)
Succión (H_{DS})	Hierro	150	2,71	0,52	0,74
Descarga (H_{DD})	Hierro	200	1,56	0,17	0,25

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

En la siguiente tabla se muestran los datos tomados en cuenta para calcular H_{ES}

Tabla 13: Datos utilizados y longitud equivalente para el cálculo de pérdidas en la succión.

Longitud Tubería (m)	Altura (m)	Cantidad de accesorios		
		Válvula Compuerta	Reducción	Codo 90°
23,20	1,35	1	1	1
Longitud Equivalente Tubería (m)				
23,20	0	1,22	1,02	4,27

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

La altura considerada es la diferencia de nivel entre el agua en la piscina y la succión de la placa anti-vórtice, es una columna de 1,35 m de agua. Esta altura no suma como longitud equivalente. Según el artículo 4.14.10 de la norma NFPA 20 la placa anti-vórtice debe ser cuadrada, de acero inoxidable y con una longitud de 0,3 m (2 veces el diámetro de succión). Por último, utilizando los valores de la tabla anterior y siendo uniforme con las unidades requeridas, en la siguiente tabla se presenta el valor de H_{ES} calculado mediante la ecuación 3.9.

Tabla 14: Cálculo de pérdida de presión en la succión de la bomba.

Longitud Total (ft)	Altura (ft)	Diámetro (in)	Caudal (gpm)	H_{ES} (psi)	H_{ES} (mca)
96,46	4,43	6,00	750	0,18	0,13

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

El caudal de selección de la bomba es 2,84 m³/min (750 gpm) y la longitud total mostrada en la tabla anterior se refiere a la longitud de tubería en la succión más la longitud equivalente debido a accesorios. Con los datos calculados es posible determinar con la ecuación 4.10 la presión de selección de la bomba:

$$H_T = 158,13 + 0,74 + 0,18 + 0,25 = 159,30 \text{ psi (112,19 mca, 11 bar)}$$

A este valor calculado se adicionan aproximadamente 0,34 bar (5 psi) como factor de seguridad, por lo tanto, la presión de selección de la bomba centrífuga principal sería de 11,4 bar (165 psi). Ahora corresponde determinar el NPSH disponible, para esto se utilizará la ecuación 3.4. Se requiere conocer los siguientes valores:

Tabla 15: Datos a utilizar para calcular el NPSH disponible

Dato	Valor	Unidad
H_{atm}	8,78	mca
h_v	0,24	mca
$\sum h_f$	1,50	mca
h_g	1,35	mca

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

Se debe aclarar que la presión atmosférica presentada es para una altura de 1360 metros sobre el nivel del mar, altura a la que se encuentra la ciudad de Cartago, donde se pretende instalar los hidrantes. Por su parte, la presión de vapor (h_v) mostrada corresponde a una temperatura supuesta de 20 °C.

La sumatoria de pérdidas se obtuvo mediante un proceso similar al utilizado para calcular H_{ES} , pero sin considerar la altura porque su efecto se estaría tomando en cuenta en el término h_g . El valor del NPSH disponible ($NPSH_D$) obtenido es:

$$NPSH_D = 8,78 - 0,24 - 1,5 + 1,35 = 8,39 \text{ mca (11,91 psi)}$$

Se debe recordar que la recomendación para evitar cavitación es que el $NPSH_D$ supere al menos un 25% el NPSH requerido por la bomba. La bomba centrífuga principal debe ser accionada por un motor de combustión interna de diesel, como lo indica el artículo 3.7.2.b. del Manual de Bomberos, contando con una reserva mínima de combustible que permita la operación continua del sistema contra incendio durante un lapso de 8 horas. No se puede utilizar un motor eléctrico porque la zona donde se pretende instalar la caseta de bombeo no cuenta con un generador que suministre energía en caso de emergencia. El capítulo 11 de la norma NFPA 20 establece las siguientes consideraciones importantes en torno a la instalación del motor de diesel las cuales deben aplicarse al diseño planteado:

- El motor de diesel debe estar listado por Underwriters Laboratories (UL) para el servicio contra incendio.
- El gabinete utilizado para el control del motor debe ser tipo NEMA 2 (a prueba de goteo).
- El motor contará con al menos dos unidades de baterías de almacenamiento.
- Se debe instalar un sistema de refrigeración al motor (intercambiador de calor, radiador, entre otros) de tal manera que la temperatura del mismo no sea mayor a 49 °C en la cámara de combustión. El suministro de agua para refrigeración será tomado desde la descarga de la bomba.
- El tanque de almacenamiento de diesel será del tipo elevado y contará con un dique con capacidad suficiente para retener todo el combustible que almacena el tanque en caso de que este se derrame.
- No se debe instalar ninguna válvula de cierre en la línea de retorno.

- El tanque de almacenamiento debe tener una conexión tipo rosca NPT de 100 mm (4 in) en la parte superior, próxima al centro del tanque, esto para la instalación de un sensor de nivel.
- El nivel mínimo de combustible permitido en el tanque es cuando alcanza 2/3 de su capacidad.
- La conexión entre motor y tanque se realizará con mangueras flexibles debidamente protegidas. No se permite utilizar tuberías metálicas.
- Se utilizará una chimenea con un diámetro no menor al diámetro de salida de gases del motor, dirigida hacia el techo para proporcionar un escape a los gases de combustión.

En relación a la bomba jockey, el artículo 4.25 de la norma NFPA 20, define únicamente como parámetros de selección que la presión y el caudal deben ser tales que permitan reponer la presión y caudal que se ha perdido en el sistema contra incendios producto de fugas admisibles y caídas de presión normales. Se consultó a una empresa especializada en el tema (Globaltec Technologies S.A.) y la tasa normal de fugas es equivalente al 1% del caudal de selección de la bomba principal. En el caso de la presión se recomienda seleccionar la bomba jockey con una presión de 0,69 bar (10 psi) por encima de la presión nominal de la bomba principal. No es necesario que la bomba de mantenimiento de presión y sus accesorios estén listados y debido a que no se exige su conexión a una planta de emergencia su accionamiento puede ser mediante motor eléctrico. El esquema de conexión recomendado es:

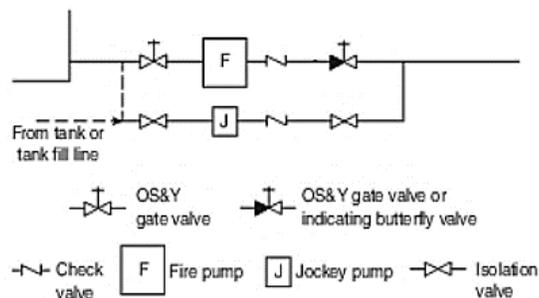


Figura 30: Instalación de la bomba jockey con la bomba principal
Fuente: Norma NFPA 20

En la siguiente tabla se muestran las bombas seleccionadas para la unidad de presión del sistema contra incendios y sus principales características:

Tabla 16: Selección de bomba principal y bomba jockey.

Bomba principal	Bomba jockey
<p>Tipo: Centrífuga horizontal de carcasa partida Aprobación y listada: FM y UL Marca: SPP Pumps Modelo: TE12E Capacidad de bombeo: 3,79 m³/min (1000 gpm) Presión nominal de trabajo: 11,4 bar (165 psi) NPSH requerido: 3,05 m Presión al 0%: 13,8 bar (200 psi) Presión al 150%: 8,3 bar (120 psi) Fuente de energía: Diesel Marca del motor: Clarke Modelo motor: JU6H-UFM2 Potencia del motor: 200 hp @ 2600 rpm Panel de control: FTA1100, Firetrol Arranque: Automático</p>	<p>Tipo: Centrífuga vertical en línea Aprobación y listada: FM y UL Marca: Grundfos Modelo: CR1-21 Capacidad de bombeo: 0,04 m³/min (10 gpm) Presión nominal de trabajo: 12,1 bar (175 psi) NPSH requerido: 1,5 m Fuente de energía: Eléctrica Voltaje: 230 V (trifásico) Frecuencia: 60 Hz Marca del motor: Grundfos Modelo motor: TCCV Potencia del motor: 3 hp @ 3450 rpm Panel de control: FTA550F, Firetrol Arranque: Automático</p>
	

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

También se tiene que tomar en cuenta que cada controlador debe tener su propia línea sensora de presión y que la conexión de dicha línea sensora de presión debe estar entre la válvula de retención y la válvula de compuerta ubicada en la descarga. Se permite el uso de uniones de cara aplanada con resistencia a la corrosión para conectar las líneas sensoras. Es importante notar que el caudal final de selección de la bomba principal fue 3,79 m³/min (1000 gpm) y por su parte el caudal de selección de la bomba jockey debe ser 0,04 m³/min (10 gpm).

Este cambio de caudal al momento de seleccionar la bomba se dio pensando en posibles ampliaciones en la red de hidrantes o en la posibilidad de que ante un eventual incendio se requiera echar mano de más hidrantes de los tomados en cuenta para el diseño y se justifica económicamente ya que el aumento en el costo de la bomba principal al hacer este cambio es de apenas 5%, según datos de Globaltec Technologies S.A.

Por otro lado, para corroborar que hidráulicamente la bomba principal estaría entregando caudal y presión necesarios para el punto de operación que se determinó previamente (caudal = 2,84 m³/min, 750 gpm y presión = 11,4 bar, 165 psi) se empleó la aplicación System Syzer para obtener la curva del sistema diseñado. La ecuación con la cual trabaja esta aplicación es la siguiente:

$$h_f = \frac{Q^2}{C_v^2} \quad (4.12)$$

Donde:

h_f : Pérdida de carga del fluido (psi)

Q : Caudal trasegado por la bomba (gpm)

C_v : Coeficiente C_v de una válvula de control de flujo (ver definición en sección 3.2)

De esta manera los valores de los coeficientes C_v a utilizar son:

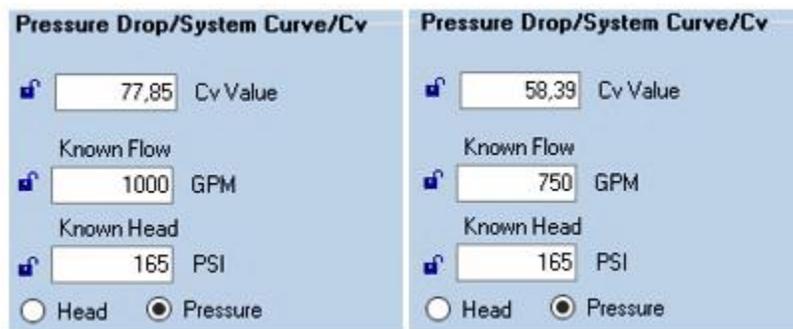


Figura 31: Determinación de los coeficientes C_v para determinar curva del sistema.
Fuente: System Syzer

Una vez definidos los coeficientes C_V , haciendo uso de la ecuación 4.12 es posible obtener los datos necesarios para determinar las curvas del sistema a diferentes caudales. Los valores de h_f para diferentes caudales se adjuntan en el apéndice 9. Con esos datos se procedió a realizar el gráfico que muestra los puntos de operación de la bomba principal para caudales de 2,84 m³/min (750 gpm) y 3,78 m³/min (1000 gpm), que corresponde a los puntos de intersección entre la curva de rendimiento de la bomba y la curva del sistema a un caudal específico.

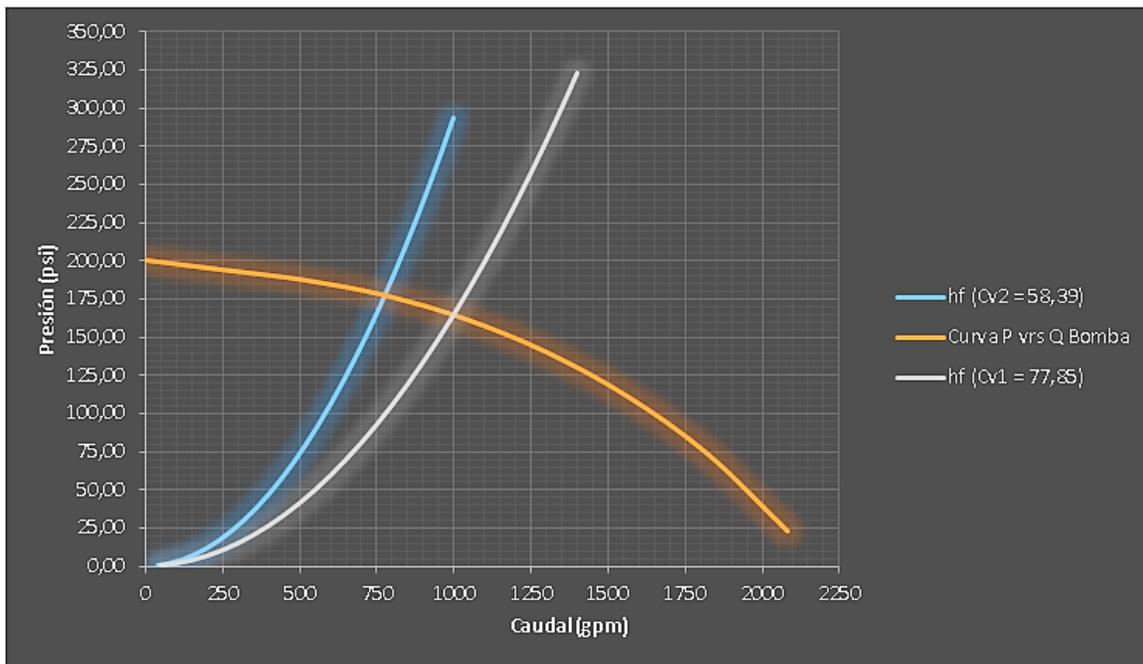


Figura 32: Puntos de operación de la bomba principal a 750 gpm y 1000 gpm.
Fuente: Elaboración propia en Excel 2013

En la figura anterior se puede observar que para un $C_V = 58,39$ (determinado para un caudal de 2,84 m³/min) el punto de operación indica un caudal de 2,93 m³/min (775 gpm) y una presión de 12,1 bar (175 psi) aproximadamente, de manera que si cumplirían con los requisitos mínimos establecidos para ese punto de operación (caudal = 2,84 m³/min y presión = 11,4 bar) justificando que la bomba está bien seleccionada desde el punto de vista hidráulico.

Otro aspecto importante a tomar en cuenta es la instalación del cabezal de pruebas para la bomba centrífuga (ver Figura 33) el cual se requiere para verificar anualmente el comportamiento de la curva característica de presión versus capacidad de la bomba. De acuerdo al artículo 8.3.5.4 de la norma NFPA 25, se establece que cuando exista una desviación de al menos un 5% de la curva de presión versus capacidad de la bomba, respecto a la curva normada que se muestra en la Figura 15, se debe realizar una investigación para identificar la causa que desmejora el rendimiento, o en su defecto la bomba debe ser reemplazada. En el anexo 6 se adjuntan las tablas suministradas por la NFPA 20 para dimensionar el cabezal de pruebas.

Para el diseño planteado se requieren 4 salidas para conexión de manguera de 65 mm (2 ½ in) con rosca NPT y que la tubería de alimentación al cabezal de pruebas sea de 150 mm (6 in). También se recomienda instalar una válvula de compuerta entra la línea de alimentación y el cabeza de pruebas. En caso de prueba la descarga de agua se efectuará hacia una zona verde y calle ubicada en la parte trasera de la caseta de bombeo, siendo esta una zona libre de obstáculos.



Figura 33: Cabezal para pruebas de flujo de bombas hidráulicas.
Fuente: Firepro systems

Para finalizar con la definición del sistema de bombeo, conociendo la potencia requerida por la bomba principal, es posible calcular el volumen mínimo exigido para el tanque de almacenamiento de diesel, aplicando el artículo 11.4.2 de la norma NFPA 20. El volumen mínimo del tanque sería:

$$\text{Volumen tanque} = 1 \text{ galón} \cdot 200 \text{ hp} + 10\% = 220 \text{ galones (757 litros)} \quad (4.13)$$

La adición de un 10% al volumen del tanque de combustible se debe al hecho de considerar un 5% para expansión y un 5% para el sumidero de combustible en el tanque. De esta manera, se selecciona un tanque de combustible con una capacidad inmediatamente mayor a la calculada, en este caso consiste en 250 galones (0,95 m³). Una vez definido el volumen del tanque es posible dimensionar el dique para contener el combustible en caso de que este se derrame.

Lo ideal es que el dique contenga el volumen de combustible máximo del tanque más un 10%. Por lo tanto, se define un dique con dimensiones 1,5 x 0,9 x 0,8 m (largo x ancho x altura). El material del dique será concreto y deberá poseer una estructura metálica para evitar salpiques. Un detalle importante a considerar es que el motor de combustión consume 20,8 galones por cada hora de operación (78,74 litros por hora, ver anexo 8). Con este dato es posible calcular que el motor funcionará por un lapso de 12 horas consecutivas con la capacidad del tanque de combustible seleccionada, la cual es de 250 galones (946,3 litros). Esto garantiza que en caso de emergencia se descargue toda el agua de la piscina antes de que el combustible reservado se acabe, por lo tanto, la duración del agua para atender la emergencia se mantiene en 3,8 horas, tal como se indicó en la sección 4.3.

En el caso del dimensionamiento de la chimenea se utilizó una aplicación suministrada por la marca del motor: Clarke. Como se puede ver en el anexo 7, se debe utilizar un diámetro de 100 mm (4 in) para lograr una correcta evacuación de los gases de combustión. El largo aproximado de la chimenea será de 4 m y en el extremo superior se requiere instalar una tapa que se levante debido a la presión de los gases de combustión, esto para evitar que el agua de lluvia, ceniza, o demás agentes externos ingresen al sistema de combustión a través de la chimenea.

En la siguiente tabla se detallan los accesorios que se deben usar para el correcto funcionamiento de la unidad de presión del sistema contra incendios.

Tabla 17: Accesorios a utilizar en el sistema de bombeo.

Nombre	Especificaciones	Imagen
Acople flexible para alivio de tensión	Diámetro: 6 in. Unión: Bridada. Largo: 12 in. Presión: 190 psi. Peso: 52 libras. Modelo: Metramini. Marca: Metraflex.	
Válvula de compuerta bomba principal	Diámetro: 6 in. Tipo: Vástago ascendente (OS&Y). Unión: Bridada. Material: Hierro Fundido ASTM A-126, clase B. Presión: 300 psi. Clase: 300. Modelo: AFOSY3-FF-080. Marca: Fivalco. UL listado y FM aprobado.	
Cabezal de pruebas	Diámetro de conexión: 6 in. Número de salidas: 4 con tapa y cadena, configuración en línea. Diámetro salidas: 2 ½ in. Material cuerpo: Acero, cédula 40. Clase: 300. Rosca NPT macho. Modelo: 6830. Marca Croker.	
Válvula de alivio de presión	Diámetro: 6 in. Unión: Bridada. Material: Hierro Dúctil ASTM A536. Presión: 400 psi. Clase: 300. Rango de ajuste: 100 – 300 psi. Modelo: 2050B-4KG1. Marca: CLA-VAL. UL listado y FM aprobado.	
Manómetro de succión y descarga	Diámetro de carátula: 90 mm. Rango de medición: 0 – 300 psi. Modelo: 9465. Marca: Guardian Fire Equipment. UL listado.	
Válvula check bomba principal	Diámetro: 8 in. Material: Hierro Dúctil ASTM A536. Tipo: Columpio. Unión: Bridada. Presión: 300 psi. Clase: 300. UL listado y FM aprobado. Modelo: CV-1F. Marca: TYCO	
Válvula de compuerta bomba jockey	Diámetro 1 ¼ in. Tipo: Vástago ascendente (OS&Y). Material: Bronce. Unión: Roscada. Presión: 200 psi. Clase: 125. Modelo: T-111. Marca: NIBCO. UL listado y FM aprobado.	
Válvula check bomba jockey	Diámetro 1 ¼ in. Material: Bronce. Unión: Roscada. Presión: 200 psi. Clase: 125 UL listado y FM aprobado. Modelo: T-413. Marca: NIBCO.	

Nombre	Especificaciones	Imagen
Válvula mariposa descarga bomba principal	Diámetro: 6 in. Clasificación: Mariposa tipo wafer con actuador. Unión: Bridada. Material: Hierro Dúctil ASTM A-536. Presión: 300 psi. Clase: 300 Modelo: 705W. Marca: Victaulic. UL listado y FM aprobado.	
Tablero bomba principal	Utilizado para el control de motores de diésel. Contiene indicadores LED y cargador de baterías. Armario de acero NEMA tipo 2. Modelo: FTA1100-J. Marca: Emerson. UL listado y FM aprobado. Cumple con la norma NFPA 20 y el Código Eléctrico Nacional (NFPA 70).	
Tablero bomba jockey	Voltaje trifásico: 208 V. Frecuencia: 60 hz. Armario de acero NEMA tipo 2. Modelo: Firetrol FTA550F. Marca: Emerson. UL listado. Cumple con el Código Eléctrico Nacional (NFPA 70).	
Panel de incendio	Potencia de entrada: 120 V, 5 A. Voltaje de salida: 24 V. Frecuencia: 50/60 Hz. Modelo: NFS-320. Marca: Honeywell. UL listado y FM aprobado. Cumple con los requerimientos de la NFPA 72.	
Sensor de flujo	Diámetro: 8 in. Flujo para enviar señal: 4-10 gpm. Presión máxima: 450 psi. Voltaje: 125/250 Vac. Amperaje: 10 A. Modelo: VSR-EU8. Marca: System Sensor. UL listado y FM aprobado.	
Tubería metálica	Diámetros: 6 y 8 in. Material: Hierro Negro ASTM A53. Cédula: 40. Protegidos contra con la corrosión con un barniz. Largo de cada tubo: 6 m. Distribuidor: Tecnoval.	
Tubería PVC	Diámetro: 8 in. Material: PVC C900. Grosor: DR 14. Tipo de unión: Espiga y campana. Longitud: 6,1 m. Distribuidor: Durman	

Nombre	Especificaciones	Imagen
Tanque de combustible	Capacidad: 250 galones (731 litros). Tipo: Pared Sencilla. Combustible a almacenar: Diesel. Cumple con la norma UL-142. Marca SPP Pumps. UL listado.	
Estación Manual	Dimensiones: Alto: 14 cm, Ancho: 10,5 cm y Profundidad: 3,5 cm. Modelo: NBG-12LXSP. Marca: Notifier. UL listado y FM aprobado.	
Detector de humo	Voltaje Directo: 15-32 V. Temperatura operativa: 0-49 °C. Utiliza una base especial por separado para simplificar la instalación. Modelo: FAPT-851. Marca: Notifier. UL listado.	
Luz y sirena estroboscópica	Voltaje: 12/24 V. Temperatura operativa: 0-49 °C. Dimensiones: Largo: 142 mm, Ancho: 119 mm. Bocina: 88 dB. Modelo: P2R-SP. Marca: System Sensor. UL listado y FM aprobado.	
Módulo de monitoreo	Voltaje: 12/24 V. Temperatura operativa: 0-49 °C. Dimensiones: Largo: 114 mm, Ancho: 102 mm. Modelo: FMM-1. Marca: Notifier. UL listado y FM aprobado.	
Abrazaderas (restrainers)	Peso: 30 lb. Modelo: 1200. Marca: Star Pipe. Cumple con los requerimientos de AWWA C900. FM aprobado.	
Acople para conexión bridada	Diámetro: 8 in. Hierro dúctil ASTM A-536 con revestimiento contra corrosión. Número de pernos: 8 ASTM A-183. (3/4 x 3 - 3/4). Tuercas hexagonales ASTM A563. Modelo: G584. Marca: Grinnell, Tyco.	
Válvula compuerta red en anillo	Diámetro: 8 in. Tipo: Vástago no ascendente. Unión: Bridada. Material: Hierro Fundido ASTM A-126, clase B. Presión: 200 psi. Clase: 150. Modelo: F-619. Marca: NIBCO. UL listado y FM aprobado.	
Hidrante de columna	Diámetro conexión: 6 in. Unión: Bridada. Material: Hierro Dúctil. Presión: 250 psi. Diámetros de salida: Dos de 2 1/2 in y uno de 4 1/2 in. Modelo: J4060AR. Marca: James Jones. UL listado y FM aprobado.	

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

4.5. Cotización del proyecto

En la presente sección se mostrará de manera detallada el costo que implica realizar la instalación del sistema contra incendios a base de hidrantes diseñado para la universidad. En las siguientes tablas se visualizan en diversas categorías los diferentes elementos que se necesitan para implementar el proyecto y el costo asociado a ellos, sin considerar impuesto de venta ya que el TEC es exonerado de dicho impuesto, todo esto con el objetivo de brindar las bases necesarias a la Oficina de Ingeniería para presupuestar la ejecución de la obra.

Tabla 18: Costo del equipo utilizado en la caseta de bombeo.

Elemento	Marca	Modelo	Costo Unitario	Cantidad	Costo Total
SISTEMA DE BOMBEO CONTRA INCENDIOS					
Bomba principal (BP). Centrífuga horizontal de carcasa partida. Presión: 165 psi, Caudal: 1000 gpm. Altura: 1360 msnm	SPP Pumps	TE12E	\$61.900,00	1	\$61.900,00
Bomba jockey (BJ). Centrífuga vertical en línea. Presión: 175 psi, Caudal: 10 gpm	Grundfos	CR1-21			
Tablero control motor principal	Emerson	FTA1100-J			
Tablero de control motor jockey	Emerson	FTA550F			
Tanque de diesel, 250 galones	SPP Pumps	SPP Pumps			
Conjunto de baterías motor diesel	SPP Pumps	SPP Pumps			
Válvula de alivio angular (Diámetro: 8 in)	CLA-VAL	2050B-4KG1			
VÁLVULAS Y ACCESORIOS DE CASA MÁQUINAS					
Válvula compuerta BP (Diámetro: 6 in)	FIVALCO	AFOSY3-FF-080	\$843,75	1	\$843,75
Válvula mariposa (Diámetro: 8 in)	VICTAULIC	705W	\$546,88	2	\$1.093,75

Elemento	Marca	Modelo	Costo Unitario	Cantidad	Costo Total
Válvula check BP (Diámetro: 8in)	TYCO	CV-1F	\$750,00	1	\$750,00
Válvula compuerta BJ (Diámetro: 1 ¼ in)	NIBCO	T-111	\$234,38	2	468,76\$
Válvula check BJ (Diámetro: 1 ¼ in)	NIBCO	T-413	\$156,25	1	\$156,25
Válv. compuerta tanque combustible (D: 3 in)	NIBCO	T-619	\$430,56	1	\$430,56
Acople Flexible (Diámetro: 6 in)	Metraflex	Metramini	\$546,88	1	\$546,88
Manómetros de presión succión y descarga	Guardian Fire	9465	\$28,25	2	\$56,50
Sensor de flujo (Diámetro: 8 in)	SYSTEM SENSOR	VSR-EU8	\$166,67	1	\$166,67
Soportería	TOLCO	TOLCO	\$2.097,50	4	\$8.390,00
Placa anti-vórtex	Fabricación nacional	Fabricación nacional	\$220,00	1	\$220,00
EQUIPOS DE DETECCIÓN Y ALARMA					
Panel de incendios	NOTIFIER	NFS-320	\$1.978,00	1	\$1.978,00
Baterías 12V-12AH	NOTIFIER	BAT-12120	\$88,00	2	\$176,00
Detector de humo tipo foto-térmico, con base B210LP	NOTIFIER	FAPT-851	\$87,49	1	\$87,49
Luz y sirena estroboscópica	NOTIFIER	P2R-SP	\$39,58	1	\$39,58
Estación manual de doble acción	NOTIFIER	NBG-12LXSP	\$86,72	1	\$86,72
Módulo de monitoreo	NOTIFIER	FMM-1	\$62,50	8	\$500,00
Tarjeta para comunicación remota vía red	NOTIFIER	NFN / NCM	\$2.638,89	1	\$2.638,89
Canalización y cableado	NOTIFIER	MAT-ELEC	\$1.200,00	1	\$1.200,00
TOTAL					\$81.729,81

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

Tabla 19: Costo de tuberías y accesorios.

Elemento	Proveedor/Marca	Costo unitario	Cantidad	Costo Total
Tubería HN, Cédula: 40, Diámetro: 6 in	Tecnoval	\$168,17	8	\$1.345,36
Tubería HN, Cédula: 40, Diámetro: 8 in	Tecnoval	\$403,45	1	\$403,45
Tubería HN, Cédula: 40, Diámetro: 1 ¼ in	Tecnoval	\$21,87	1	\$21,87
Tubería PVC C900 Grosor DR 14 Diámetro: 8 in	Durman	\$261,38	619	\$161.794,22
Tee de hierro negro, ranurada. Diámetro: 8 in	VICTAULIC	\$154,38	2	\$308,76
Codo 90° hierro negro, ranurado. Diámetro: 8 in	VICTAULIC	\$65,28	1	\$65,28
Codo 90° hierro negro, ranurado. Diámetro: 6 in	VICTAULIC	\$22,98	4	\$91,92
Codo 90° hierro negro, roscado. Diámetro: 1 ¼ in	VICTAULIC	\$2,22	4	\$8,88
Tee PVC C900, junta mecánica. Diámetro: 8 in	Durman	\$184,26	17	\$3.131,42
Codo 22,5° PVC C900, junta mec. Diámetro: 8 in	Durman	\$105,36	28	\$2.950,08
Codo 45° PVC C900, junta mec. Diámetro: 8 in	Durman	\$99,98	44	\$4.399,12
Codo 90° PVC C900, junta mec. Diámetro: 8 in	Durman	\$123,95	34	\$4.214,30
Válvulas de compuerta para la red en anillo. Diámetro: 8 in	NIBCO (F-619)	\$1.015,63	34	\$34.531,42

Elemento	Proveedor/Marca	Costo unitario	Cantidad	Costo Total
Reducción excéntrica hierro negro (8 in a 6 in)	VICTAULIC	\$55,26	18	\$994,68
Líneas de sensado de presión para paneles de control	Compra nacional	\$512,66	1	\$512,66
Tubería flexible para suministro de diesel	Tecnoval (FXB-28)	\$312,08	1	\$312,08
Abrazaderas (restrainers) para sujeción	STAR PIPE	\$98,09	263	\$25.797,67
Acople para conexión bridada Diámetro: 8 in	Tyco (G584)	\$51,12	85	\$4.345,20
TOTAL				\$245.229,37

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

En relación a este costo total obtenido para las tuberías y sus accesorios, se debe considerar un porcentaje de 5% (\$ 12.261,47) para contemplar las abrazaderas que se requieren para conectar tuberías de PVC cuyos extremos (campana y espiga) han sido cortados y se perdería la sujeción predeterminada de fábrica para esta clase de tuberías. Tomando en cuenta dicho porcentaje, el costo debido a tuberías y accesorios ascendería a:

$$\$245.229,37 + \$ 12.261,47 = \$257.490,84$$

Tabla 20: Costo de hidrantes y toma directa.

Elemento	Proveedor	Marca/Modelo	Costo Unitario	Cantidad	Costo Total
Hidrantes de columna	JAMES JONES	J4060	\$1.875,00	16	\$30.000,00
Cabezal de pruebas, 4 salidas	CROKER	6830	\$2.141,44	1	\$2.141,44
TOTAL					\$32.141,44

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

Tabla 21: Costo de trabajos de obra civil.

Trabajo	Descripción	Costo Total Aproximado
Succión de la piscina	Picar la piscina para hacer trampa de sólidos con malla jordomex.	\$339,32
Zanjeo de 2903,10 m de tierra	Hacer una zanja de 1,2 m de altura, realizar cimentación de terreno, instalación de tubería, rellenar y compactar el terreno.	\$75.154,00
Zanjeo de 721,30 m de calle		\$50.018,30
Zanjeo de 49,80 m de acera		\$3.897,96
Zanjeo de 35 m de parqueo		\$3.163,44
Caseta de bombeo	Construir cuarto de bombas, Tamaño: 6 x 4 x 3,5 m (L x A x H).	\$19.285,71
Dique para tanque de diesel	Construir dique de concreto. Dimensiones: 150 x 90 x 80 cm (L x A x H).	\$500,00
Cajas de registro válvulas	Hacer las 34 cajas de registro para instalar válvulas de compuerta de la red en anillo. Dimensiones: 60 x 60 x 120 cm (L x A x H).	\$10.928,57
Bloques de inercia	Construir 157 bloques de empuje de concreto y varillas de sujeción para los accesorios de la red en anillo.	\$6.688,20
Chimenea	Instalar chimenea (diámetro: 4 in, con techo) para la expulsión de gases de combustión del tanque de diesel de bomba principal.	\$786,22
Pedestales	Construcción de los 16 pedestales de concreto a la salida de los hidrantes.	\$424,32
Instalación eléctrica	Realizar la instalación y control eléctrico del sistema de bombeo.	\$1.551,60
TOTAL		\$172.731,64

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

En el anexo 8 se adjuntan algunos catálogos referentes al equipo seleccionado. Habiendo desglosado la cantidad de dinero a invertir en los principales rubros a considerar para la ejecución del proyecto, en la siguiente tabla se muestra el costo total que implicaría la realización de la obra.

Tabla 22: Costo total a considerar para la instalación de hidrantes en el TEC.

Categoría	Monto
Equipo caseta de bombeo	\$81.729,81
Tuberías y accesorios	\$257.490,84
Hidrantes y cabezal de prueba	\$32.141,44
Obra civil	\$172.731,64
TOTAL	\$544.093,73

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

Además, se debe tomar en cuenta un porcentaje de 10% adicional (\$ 54.409,37) al monto total mostrado en la tabla anterior, asociado a costos por imprevistos o equipos y accesorios secundarios que se requieran para la implementación del proyecto. Por lo tanto, el costo total de la obra ascendería a:

$$\underline{\$ 544.093,73 + \$ 54.409,37 = \$ 598.503,10 (\cancel{\$335.161.736,76})}$$

Se debe aclarar que los montos asumidos en el rubro de obra civil ya incluyen la mano de obra requerida para efectuar dichos trabajos. Además, se consultó el costo aproximado asociado a la construcción de un tanque cisterna enterrado de 85,2 m³ de volumen. Este tanque cisterna sería el que habría que construir si no se hubiese considerado la piscina como tanque de almacenamiento de agua.

	Suma Costos Directos e indirectos	€16.542.923
1%	Transportes	€165.429
3%	Imprevistos	€496.288
	Subtotal	€17.204.640
15.0%	Administración	€2.580.696
20.0%	Utilidad	€3.440.928
	TOTAL	€23.226.264
	Monto a Cobrar en Dolares	\$45.993
	utilidad en Dolares	\$0
	Total:	\$45.993

Figura 34: Costo aproximado asociado a la construcción de un tanque cisterna enterrado.

Fuente: Globaltec Technologies S.A.

4.6. Rutinas de mantenimiento

El objetivo de la presente sección es determinar los requisitos para garantizar un grado razonable de protección al sistema contra incendios diseñado, definiendo las rutinas mínimas de inspección, mantenimiento y pruebas necesarias para monitorear constantemente el buen desempeño del sistema de protección de incendios a base de hidrantes de columna húmeda.

Para definir las tareas que forman parte del programa de mantenimiento, se utilizó como principal referencia las consideraciones reglamentadas en la norma NFPA 25. Antes de entrar de lleno a las tareas de mantenimiento, es importante mencionar las pruebas de aceptación que estipula la norma NFPA 20, una vez concluida la etapa de instalación del equipo. Estas pruebas respetando su orden de ejecución son las siguientes:

1. Prueba de descarga de agua: Esta prueba consiste en fluir un caudal de 5,15 m³/min (1360 gpm) desde el suministro (piscina) o el máximo posible que permita dicho suministro hacia un tramo de tubería de la succión abierto a la atmósfera o en su defecto hacia el cabezal de pruebas del sistema contra incendios. El propósito es limpiar la tubería, la prueba concluye cuando se confirme mediante inspección visual que el agua descargada está limpia.
2. Prueba hidrostática: Se debe hacer funcionar el sistema con una presión de 13,8 bar (200 psi) durante un lapso de 2 horas. Con esto se pretende evaluar que la tubería soporta esta presión elevada sin sufrir rupturas o presentar fugas considerables.
3. Prueba de flujo: La bomba debe operar a caudal cero, a caudal nominal y con un caudal máximo de 150% del caudal nominal de la bomba, utilizando el cabezal de pruebas para descargar el agua, esto para verificar la curva característica exigida para la bomba contra incendios (ver Figura 15).

Para la prueba de flujo se debe registrar lo siguiente:

Tabla 23: Datos a registrar para la prueba de flujo anual.

Caudal	Velocidad motor (rpm)	Presión succión (psi)	Presión descarga (psi)	Tamaño boquilla (in)	Promedio lecturas de flujo (gpm)
Cero					-
Nominal					
150% Nominal					

Fuente: Norma NFPA 20

Además de realizar la prueba de flujo al inicio de la etapa de operación del sistema contra incendios, esta prueba debe ser ejecutada cada año y se recomienda que cuando exista una desviación de 5% entre la curva característica original y la curva característica actual, la bomba sea reemplazada. Se deben realizar otras acciones como parte de los requerimientos de aceptación de campo, las cuales se estipulan en el capítulo 14 de la norma NFPA 20 (versión 2010). A su vez, la norma NFPA 25 menciona una serie de requisitos a tomar en cuenta al momento de ejecutar algún tipo de mantenimiento al sistema contra incendios, destacando los siguientes:

- Durante cualquier prueba o acción de mantenimiento programada al sistema contra incendios, este debe permanecer en servicio, a excepción de que ocurra un evento de desactivación debido a equipo deteriorado o emergencias tales como desabastecimiento de agua o tubería rota.
- Si se detecta una deficiencia en el sistema o se modifican las condiciones de diseño originales se deben tomar las medidas necesarias para corregir el problema de forma inmediata.
- Todas las inspecciones, pruebas y tareas de mantenimiento deben ser ejecutadas por personal calificados
- En caso de que el sistema esté desactivado se debe utilizar un rótulo para indicar que el sistema o parte de este no está en condiciones óptimas de operación. Una propuesta de rótulo de desactivación a implementar es:

○	
"Leer instrucciones detrás"	
Equipo o elemento defectuoso	
Función del equipo defectuoso	
Cerrada por:..... (Firma)	Fecha: .../.../...
Especificaciones de prueba de verificación de funcionamiento	
Presión estática:.....(bar)	Presión a flujo:.....(bar)
Prueba de desagüe hecha por:(Firma)	Fecha: .../.../...

Figura 35: Rótulo a utilizar en caso de que ocurra una desactivación en el sistema.
Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

- Si se tuviera que desactivar el sistema contra incendios, antes de cerrar el sistema se debe informar al cuerpo de Bomberos indicando el propósito de la desactivación y el tiempo estimado para reactivar el sistema.
- Cuando el equipo desactivado es puesto en marcha de nuevo, también se debe informar al cuerpo de Bomberos que la protección está restaurada, y se debe retirar el rótulo de desactivación.
- Cada vez que se restaura el sistema de protección contra incendios después de la reparación de un daño a un equipo, se debe poner en marcha el sistema y verificar el buen funcionamiento del mismo.
- Todos los registros (órdenes de trabajo, bitácoras, catálogos, entre otros) de las inspecciones, pruebas y mantenimiento realizado al sistema contra incendios debe estar en completa disposición para el cuerpo de Bomberos en cualquier momento que estos lo requieran.
- Los registros tomados en las pruebas de aceptación del sistema deben guardarse durante toda la vida útil del sistema. Los registros subsiguientes deben guardarse durante una duración mínima de 1 año.

En las siguientes páginas se adjuntan las rutinas de inspección, mantenimiento y pruebas recomendadas para el sistema contra incendios:

Tabla 24: Inspecciones a realizar al sistema contra incendios.

Elemento	Inspección a realizar	Frecuencia	Artículo NFPA 25
Hidrantes	Revisar estado físico del hidrante.	Anual y después de cada operación	7.2.2.5
	Detectar si hay presencia de fugas.		
	Chequear tapas y cadenas en puntos de conexión de manguera.		
Tuberías expuestas	Revisar si hay presencia de fugas.	Anual	7.2.2.1
	Chequear que no existe daño físico.		
	Revisar si hay presencia de corrosión y en el caso que exista aplicar tratamiento anticorrosivo.		
	Inspeccionar los elementos de sujeción.		
Sistema de bombeo	Verificar que las válvulas de succión y descarga están totalmente abiertas.	Semanal	8.2.2.(2)
	Corroborar que la lectura de los manómetros de presión en la succión y descarga son normales.		
	La diferencia entre estas lecturas indica la presión a caudal cero, que se muestra en la placa de datos de la bomba.		
	Confirmar que la bomba arrancó automáticamente (anotar presión).		
	Revisar el ajuste de las empaquetaduras, si hay un prensa estopas es necesario al menos una gota por segundo para mantener el empaque lubricado. Si el goteo en el prensa estopas no es normal debe reemplazar el empaque. Si el sello es mecánico, no debe haber goteo y en caso que exista debe haber reemplazo de este.		
	Estar atento a ruidos extraños, vibraciones excesivas o cualquier otra anomalía.		
Tanque de combustible	Verificar que el tanque de combustible está lleno en al menos 2/3 de su capacidad (167 galones).	Semanal	8.2.2.(4)
	Chequear que no existe agua o presencia de materiales extraños en el tanque.		

Elemento	Inspección a realizar	Frecuencia	Artículo NFPA 25
Baterías Motor	Confirmar que las baterías están cargadas.	Semanal	8.2.2.(4)
	Chequear el cargador y régimen de carga de las baterías.		
	Corroborar que las lecturas de voltaje y corrientes de carga de las baterías son normales.		
	Observar que las luces piloto de las baterías están apagadas.		
	Chequear que las terminales de conexión están libres de corrosión.		
	Revisar que el nivel de electrolitos de la batería es normal.		
Motor de diesel	Revisar que los niveles de aceite en el cárter y engranajes son adecuados.	Semanal	8.2.2.(4)
	Verificar que el nivel de agua de enfriamiento es normal.		
	Corroborar que el selector del regulador (control) está en posición automática.		
	Verificar la operación de la válvula solenoide e interruptor de flotador del tanque.		
	Todas las luces piloto de alarma y de falla de batería deben estar en OFF.		
Sistema de enfriamiento	Revisar el estado de las mangueras flexibles que alimentan al motor de combustible.	Semanal	8.2.2.(1)
Caseta de bombeo	Verificar que todos los accesos para ventilación de la caseta no están bloqueados.	Semanal	8.2.2.(1) y A.8.5.1
	La temperatura promedio adecuada para el cuarto debe rondar los 21 °C, en ningún caso debe ser mayor a mínima recomendada por el fabricante del motor.		
Tanque cisterna (piscina)	Verificar que el nivel de agua de la piscina es normal.	Semanal	9.2.1.2
	Inspeccionar que no hay presencia de objetos extraños contenidos en el agua.		
Interior tanque cisterna (piscina)	Inspeccionar el interior de la piscina para detectar señales de picaduras, posible corrosión en la placa anti-vórtice, fallas locales o cualquier otro tipo de deterioro.	Cada 5 años	9.2.6.1.2 y 9.2.6.3

Elemento	Inspección a realizar	Frecuencia	Artículo NFPA 25
Válvulas	Observar la apariencia general y condición de todas las válvulas.	Semanal	12.3.2.1
	Chequear que no hay fugas.		
	Corroborar la posición (abierta o cerrada) según corresponda de todas las válvulas del sistema contra incendio.		
	Confirmar que cada válvula está bien identificada.		
Válvulas de retención	Deben ser inspeccionadas internamente para verificar que todas sus partes operan correctamente y están en buenas condiciones.	Cada 5 años	12.4.2.1
Válvula de alivio de presión	Verificar que el agua fluye a través de la válvula cuando la bomba de incendio está operando a presión de cierre para evitar que la bomba se sobrecaliente.	Semanal	12.5.6.1.1
Conexiones de bomberos	Inspeccionar que las conexiones de bomberos están accesibles.	Trimestral	12.7.1
	Chequear que los acoples no estén dañados y giren fácilmente.		
	Verificar que los rótulos de identificación están colocados.		
Equipo de detección de presión	Corroborar que el puerto de desahogo de la válvula de detección diferencial no está descargando continuamente.	Semanal	12.6.1.2
Válvula de cabezal de pruebas	Verificar que la válvula de compuerta que comunica con el cabezal de pruebas está cerrada.	Semanal	Anexo B

Fuente: Norma NFPA 25

Tabla 25: Pruebas a realizar para el sistema contra incendios.

Elemento	Prueba a realizar	Frecuencia	Artículo NFPa 25
Tubería subterránea	Implementar una prueba de flujo a 750 gpm. Comparar los resultados medidos con los valores teóricos y con los registros de pruebas de flujo anteriores. En caso de detectar alguna irregularidad corregir el problema inmediatamente garantizando caudal y presión mínimos requeridos en los hidrantes.	Cada 5 años	7.3.1
Hidrantes	Cada hidrante se debe abrir completamente y dejar fluir caudal para limpiar materias extrañas, esto durante un tiempo mínimo de 1 minuto y hasta que el agua no esté sucia.	Anual	7.3.2
Sistema de bombeo (sin flujo)	Debe ponerse en marcha el sistema de bombeo durante 30 minutos con la válvula de descarga cerrada. La bomba entrará en funcionamiento de manera automática. Se debe registrar las lecturas de presión en la succión y descarga, el tiempo requerido para que el motor arranque y el tiempo requerido para que el motor alcance su velocidad nominal de funcionamiento. Anotar la presión y temperatura del aceite.	Semanal	8.3.1, 8.3.1.3, 8.3.2 y Anexo B.
Sistema de bombeo (con flujo)	Operar la bomba a caudal cero, caudal nominal (1000 gpm) y caudal máximo (1500 gpm). La descarga de agua se realizará por el cabezal de pruebas. Verificar que la válvula de alivio de presión está cerrada durante la prueba de lo contrario esto afectara los resultados. Se deben registrar las presiones de succión y descarga, así como las medidas de flujo de cada chorro de manguera o boquilla del cabezal de pruebas, esto para determinar el caudal y potencia total de la bomba principal contra incendios. Además, se debe anotar la velocidad de operación de la bomba y revisar la alineación paralela entre bomba y motor.	Anual	8.3.3.1
Válvula de alivio de presión	Cuando se realiza la prueba del sistema de bombeo con flujo, se debe verificar que la válvula de alivio de presión abre y cierra a las presiones ajustadas.	Anual	8.3.3.3.1
Tableros de control	Se debe simular situaciones de alarma en las posiciones donde existan detectores o sensores para monitorear condiciones seguras de operación. Verificar que los tableros de control emiten las señales de fallas (visuales o audibles).	Anual	8.3.3.5

Elemento	Prueba a realizar	Frecuencia	Artículo NFPA 25
Motor eléctrico bomba jockey	Medir la corriente y voltaje en todas las líneas del motor y corroborar que estos valores no exceden el resultado de voltaje y corriente de carga máxima nominales multiplicados por el factor de servicio permitido. Además, si los voltajes medidos están dentro de un rango de 5% menos a 10% más del voltaje nominal mostrado en el dato de placa del motor se considera que el voltaje es aceptable.	Anual	8.3.3.5
Tanque cisterna (piscina)	Monitorear la composición química del agua (ph y ppm de los químicos agregados a la piscina). Corroborar que las concentraciones están en los rangos requeridos (ph neutro, cloro entre 1 - 1,5 ppm, alcalinidad entre 80 - 120 ppm).	Mensual	-
Sensor de flujo	Se debe monitorear que las alarmas de flujo de agua están funcionando de forma adecuada con base a las instrucciones del fabricante.	Trimestral	12.2.7
Válvulas de control	Operar manualmente (abrir o cerrar según sea el caso) cada válvula de control, hasta lograr una apertura o cierre completo y luego retornar las válvulas de control a su posición de apertura original. Las válvulas tipo vástago ascendente deben devolverse un cuarto de vuelta para evitar atascamiento.	Anual	12.3.3.1 y 12.3.3.3
Hidrantes	Registrar la presión en el hidrante más crítico. Estas lecturas se deben comparar con las presiones de diseño para verificar que el suministro de agua cumple con los requerimientos originales de diseño (100 psi).	Anual	12.4.3.2.4.1
Válvula de alivio de presión	Realizar una prueba de flujo total (ver anexo A.12.4.4.2.2.2, NFPA 25) y comparar con los resultados de las pruebas anteriores.	Cada 5 años	12.5.1.2
Tuberías	Se debe hacer funcionar el sistema con una presión de 13,8 bar (200 psi) durante un lapso de 2 horas.	Cada 5 años	6.3.2.1

Fuente: Norma NFPA 25

Tabla 26: Rutinas de mantenimiento del sistema contra incendios.

Elemento	Rutina de mantenimiento	Frecuencia	Artículo NFPA 25
Hidrantes	Lubricar las salidas del hidrante para garantizar que todas las tapas, cierres y roscas estén en condiciones óptimas de funcionamiento.	Anual	7.4.3
Equipo de bombeo	Lubricar los cojinetes con la cantidad y tipo adecuados de lubricante y revisar la alineación de acoples.	Anual	8.5.3 y Anexo B
Sistema de control de bombeo	Accionar los medios manuales de arranque para verificar su correcto funcionamiento.	Semestral	8.5.3
Conexiones eléctricas	Revisar las conexiones eléctricas y ajustar si es necesario	Anual	8.5.3
Transmisión mecánica motor	Engrasar cojinetes del motor.	Anual	8.5.3
Motor eléctrico	Engrasar cojinetes del motor.	Anual	8.5.3
	Chequear que los bornes de conexión están en buenas condiciones y los conductores con un apriete adecuado.		
Filtro de combustible	Brindar el mantenimiento respectivo al filtro de combustible de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Se recomienda cambiar el filtro de combustible cada 50 horas de operación (cada 2 años en caso de que el sistema se encienda sólo durante los 30 minutos mínimos exigidos semanalmente).	Trimestral	8.5.3 y Anexo B
Sistema de enfriamiento	Realizar una limpieza interior del intercambiador de calor del motor y verificar que el flujo de agua para enfriamiento sea adecuado.	Anual	8.5.3
Sistema de escape	Realizar la purga de condensación del desagüe.	Semanal	8.5.3
	Chequear y sacudir la chimenea para detectar si hay presencia de corrosión o agentes externos que afecten la salida de gases de combustión.		

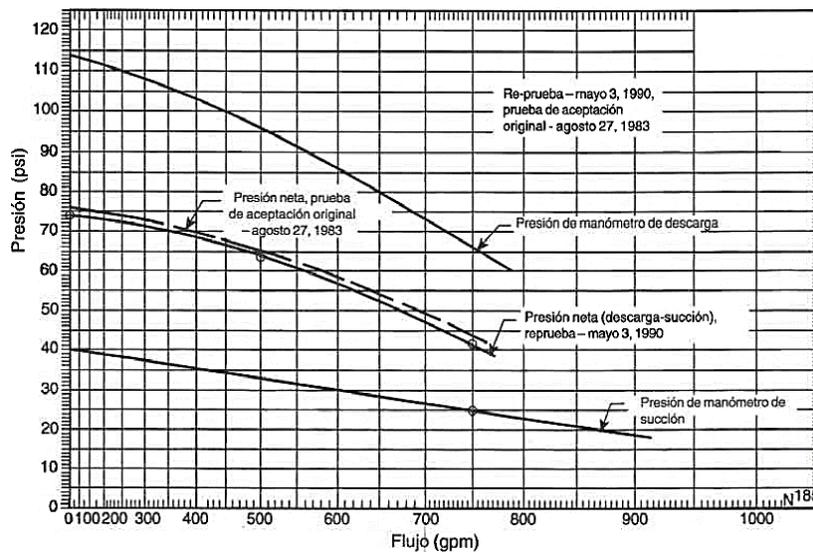
Elemento	Rutina de mantenimiento	Frecuencia	Artículo NFPA 25
Baterías motor diesel	Corroborar que los terminales de conexión están limpios y ajustados.	Trimestral	8.5.3 y A.8.5.1
	Las platinas deben mantenerse sumergidas siempre y sólo se permite agua destilada en las celdas de la batería.		
Tableros de control	Revisar que los tableros de control están condiciones normales.	Semestral	8.5.3
	Verificar que no hay ningún cable suelto ni presencia de corrosión.		
Válvulas vástago ascendente	Lubricar los vástagos de operación de las válvulas de vástago ascendente (OS&Y).	Anual	12.3.4.1
	Cerrar la válvula completamente y reabrirla hasta su posición original para distribuir el lubricante.		
Motor de diesel	Mantener el motor limpio, seco y bien lubricado.	Semanal	A.8.5.1
	Corroborar que el nivel de aceite en el cárter es el adecuado.		
Respiradero motor diesel	Limpiar o reemplazar el respiradero del cárter en el sistema de lubricación del motor diesel.	Trimestral	Anexo B
Bomba jockey	Anotar las presiones de encendido y apagado de la bomba jockey.	Anual	Anexo B
	Verificar que las válvulas de la bomba jockey están abiertas.		
	Chequear alineación correcta con el motor y revisar las conexiones eléctricas.		

Fuente: Norma NFPA 25

En el apéndice 8 se pueden visualizar las órdenes de trabajo (fichas de revisión) propuestas para llevar un registro continuo y ordenado que favorezca la toma de decisiones para garantizar una gestión de mantenimiento óptima, ya que debido a su aplicación un sistema contra incendios tiene como requisito estar siempre en condiciones para operar.

Para finalizar con esta sección, vale la pena detallar mejor el procedimiento a seguir para realizar la prueba de flujo anual. Como se mencionó en la Tabla 25 la descarga de agua se realizará a través del cabezal de pruebas, el cual consta de 4 válvulas de compuerta de 63,5 mm (2 ½ in) de diámetro. Los caudales exigidos para la prueba se logran manipulando dichas válvulas de compuerta del cabezal, ajustando su apertura manualmente. Para conocer cuando se tiene el caudal deseado se debe utilizar equipo de pitometría o instalar un medidor de flujo.

Se debe realizar una medición de las presiones de succión y descarga de la bomba a caudal cero, es decir, con la válvula de descarga de la bomba cerrada, luego medir dichas presiones, pero a un caudal nominal de 3,79 m³/min (1000 gpm). Esto se logra midiendo en cada una de las 4 válvulas del cabezal un flujo de 0,95 m³/min (250 gpm). Y por último se registran de nuevo las presiones de succión y descarga, pero con un caudal máximo de 5,68 m³/min (1500 gpm), estableciendo un flujo 1,42 m³/min (375 gpm) en cada salida del cabezal de pruebas. Estos datos se registran en la Tabla 23, y se utilizan para dibujar la curva actual de la bomba, la cual debe ser comparada con la curva original y en caso de existir una variación de 5% (ver Figura 36) evidencia la necesidad de una investigación o reemplazo de bomba.



Para unidades SI, 1 psi = 0.0689 bar; 1 gpm = 3.785 L.

Figura 36: Variaciones de curva presión – caudal que indican problemas en la bomba.
Fuente: Norma NFPA 25

CONCLUSIONES

1. Se definió una cantidad de 16 hidrantes ubicados en puntos estratégicos, respetando una separación máxima de 180 m entre hidrantes, logrando cobertura en todas las edificaciones del campus universitario.
2. Se planteó una distribución en anillo con tubería enterrada de PVC C900 grosor DR 14, con una extensión total de 3,7 km para suministrar agua a los hidrantes, analizando el caso más crítico de forma teórica y con simulación, obteniendo una pérdida de presión máxima de 10,9 bares (158,13 psi), según los requerimientos de presión y caudal exigidos por bomberos.
3. Se seleccionó la piscina institucional como tanque de almacenamiento de agua del sistema contra incendios, determinando que el volumen de agua útil para incendio tiene una duración de 3,8 horas y realizando una propuesta de succión segura para usuarios y sistema de bombeo.
4. Se identificó el equipo hidráulico (válvulas, bombas y accesorios) y sistema de soporte (bloques de inercia y abrazaderas) necesarios para operar el sistema contra incendio de manera adecuada según la normativa NFPA. Se planteó un sistema de bombeo con succión positiva y se seleccionó una bomba principal tipo centrífuga horizontal de carcasa partida accionada por un motor de combustión (200 hp) con un caudal de 1000 gpm y una presión de 165 psi y una bomba jockey tipo centrífuga vertical en línea de motor eléctrico (3 hp) con un caudal de 10 gpm y una presión de 175 psi.
5. Se realizó un estudio de mercado para presupuestar el proyecto del sistema contra incendios diseñado, tomando en cuenta costos de obra civil, equipo de unidad de presión, tuberías, accesorios e hidrantes, obteniendo un costo total de \$ 598.503,10 (¢335.161.736,76).
6. Se dibujaron los planos de distribución de tubería del sistema contra incendios, caseta de bombeo y demás detalles requeridos para implementar el proyecto de diseño propuesto.

RECOMENDACIONES

1. Se debe capacitar como mínimo a 2 funcionarios del Departamento de Seguridad del TEC en el manejo del sistema de bombeo que alimenta la piscina institucional propuesta como tanque de almacenamiento de agua, ya que en caso de emergencia se debe activar la alimentación de agua a la piscina y no es apropiado que únicamente el responsable de velar por el mantenimiento de la piscina sea el único capaz de realizar esta acción, ya que esta persona no es un funcionario permanente en la universidad, sino que asiste unas cuantas horas a la semana.
2. Es importante realizar un estudio de suelo en puntos convenientes de la distribución de tuberías planteada para el sistema contra incendio, para definir de manera más exacta las dimensiones de los bloques de inercia que se deben instalar en todos los cambios de dirección de tubería.
3. En cuanto al agua de la piscina se recomienda mantener el valor de cloro al mínimo posible (lo más cercano a 1 ppm), reducir el valor de ph a 7 (valor de acidez neutra) utilizando los químicos recomendados por el Reglamento de piscinas (2009) y sustituir el hipoclorito de calcio utilizado para la desinfección de la piscina por hipoclorito de sodio.
4. Se debe monitorear mensualmente las condiciones (composición química) del agua de la piscina, para verificar que las concentraciones de químicos están en los rangos permitidos, de manera que se pueda disminuir lo máximo posible cualquier afectación sobre el sistema de bombeo del sistema contra incendios debido a incompatibilidad entre los materiales del sistema de bombeo y los químicos agregados a la piscina.
5. Se recomienda distribuir de manera paralela a la distribución de tuberías del sistema contra incendio 2 tuberías de $\frac{3}{4}$ in de diámetro como previstas, que permitirán en un futuro distribuir cableado para un posible monitoreo inteligente a base de sensores de presión, con el objetivo de identificar fugas o defectos al momento de operar el sistema.

6. Para facilitar su identificación, se recomienda pintar de color rojo las cajas de registro que contienen las 34 válvulas de compuerta que permiten manipular la distribución de agua a través de la red en anillo propuesta.
7. Cuando se realicen las pruebas de funcionamiento para el hidrante más crítico del sistema se debe confirmar que la posición (abierta o cerrada) de las válvulas de la red en anillo están en la posición correcta para lograr que el agua fluya en la trayectoria crítica analizada para este proyecto en el capítulo 4 y para la cantidad de hidrantes funcionando simultáneamente.
8. En aquellos casos en los que requiera que la tubería no se encuentre enterrada, sino que pase de manera elevada en alguna parte de la distribución por alguna circunstancia especial (por ejemplo: topografía del terreno, salida de tubería hacia cuarto de bombas, paso de caños, entre otros) la tubería debe ser empotrada en soportes de concreto.
9. Se recomienda que el encargado de realizar la prueba semanal de 30 minutos al sistema contra incendios, se encargue simultáneamente de llenar la piscina hasta el nivel de agua que tenía antes de realizar la prueba. Además, es recomendable que dicha prueba se efectúe cada martes en horas de la noche para no afectar la disponibilidad de la piscina y porque cada miércoles se efectúa la visita de mantenimiento semanal.
10. Se debe realizar un enclavamiento eléctrico entre el sistema de bombeo del sistema contra incendios y el sistema de bombeo que suministra agua a la piscina, capaz de manipular de forma automática el accionamiento de ambos sistemas de bombeo, así como una adecuada lógica de operación.
11. Se recomienda que un ingeniero civil realice un análisis estructural a la piscina para verificar que la modificación para implementar la propuesta de succión de agua hacia el sistema de bombeo, no tiene un efecto severo sobre la estructura civil que compone la piscina.
12. Verificar el estado físico de los hidrantes actuales del campus universitario y en caso que estén en condiciones óptimas de funcionamiento considerar utilizar dichos hidrantes en el diseño planteado.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANSI/AWWA C111, Norma para estandarización de clases de presión de accesorios. (2001). American National Standards Institute.
2. Asepeyo. (26 de julio de 2016). *Sistemas de hidrantes exteriores*. Obtenido de [http://prevencion.asepeyo.es/apr/apr0301.nsf/ficheros/PPI0708021%20Sistemas%20de%20hidrantes%20exteriores%20PPT.pdf/\\$file/PPI0708021%20Sistemas%20de%20hidrantes%20exteriores%20PPT.pdf](http://prevencion.asepeyo.es/apr/apr0301.nsf/ficheros/PPI0708021%20Sistemas%20de%20hidrantes%20exteriores%20PPT.pdf/$file/PPI0708021%20Sistemas%20de%20hidrantes%20exteriores%20PPT.pdf)
3. ASME B16.5, Norma para bridas de tuberías y conexiones con bridas. (2003). American National Standards Institute.
4. AWWA C900, Norma para estandarización de tubería de Policloruro de vinilo (PVC C900). (2007). American Water Works Association.
5. Barquero, K. (12 de febrero de 2014). *Bomberos denuncian a 16 municipios por incumplimiento de la Ley de Hidrantes*. Obtenido de Crhoy: <http://www.crhoy.com/bomberos-denuny-de-hidrantes-y0l7x/>
6. Bósquez, F. (mayo de 2013). Tesis para optar por el grado de Ingeniera Industrial. *Diseño de un sistema contra incendios con base a la normativa NFPA, para la empresa metalúrgica Adelca C.A.* Ecuador: Escuela superior politécnica de Chimborazo.
7. Botta, N. (julio de 2011). Red Proteger. *Sistema de protección por hidrantes*. Tercera Edición.
8. Carnicer, E. (2004). *Bombas Centrífugas*. España: Segunda Edición. Editorial Thomson.
9. Cengel, Y. (2006). *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones*. México: Primera Edición. Editorial McGraw Hill.
10. Chowanczak, A. (2009). *Diseño de instalaciones contra incendio - hidrantes*. Buenos Aires, Argentina: Nueva Librería.
11. Decreto N° 35309: Reglamento sobre manejo de piscinas. (2 de julio de 2009). *Diario Oficial La Gaceta*. Costa Rica.

12. Durman. (2015). *Tubería y accesorios de presión en PVC: Guía de instalación*. IPEX.
13. Durman. (2016). *Sistema hidráulico para agua a presión: Manual técnico y de instalación*.
14. FM 3-10, Norma para instalación y mantenimiento de redes privadas contra incendio y sus accesorios. (2000). FM Global.
15. Fornaguera, I. (02 de abril de 2015). *Bomberos advierte sobre falta de 2900 hidrantes*. Obtenido de La Nación: http://www.nacion.com/nacional/servicios-publicos/Bomberos-advierte-falta-hidrantes_0_1479052098.html
16. Garro, J. (2012). *Bombas hidráulicas*. Cartago, Costa Rica.
17. Gómez, C. (noviembre de 2008). Tesis para optar por el grado de Ingeniero en Mantenimiento Industrial. *Evaluación del sistema contra incendios actual, diseño de sistema contra incendios tanque de almacenamiento diésel para pescadores*. Cartago: Tecnológico de Costa Rica.
18. Lara, J. (29 de septiembre de 2015). *Bomberos van a incendios con su agua por sequía de hidrantes*. Obtenido de La Nación: http://www.nacion.com/nacional/infraestructura/Bomberos-llevan-incendios-hidrantes-secos_0_1515048506.html
19. Lara, J. (09 de febrero de 2016). *Aresep eleva tarifa de agua por servicio de hidrantes a clientes del AyA*. Obtenido de La Nación: http://www.nacion.com/nacional/servicios-publicos/Aresep-Autoridad_Reguladora_de_los_Servicios_Publicos-hidrantes-tarifas-Instituto_Costarricense_de_Acueductos_y_Alcantarillados-AyA-aumentos-ajustes_0_1541645933.html
20. Ley N° 8641: Ley de hidrantes. (19 de mayo de 2009). *Diario Oficial La Gaceta*. Costa Rica.
21. NFPA 14, Norma para instalación de sistemas de tubería. (2007). National Fire Protection Association.
22. NFPA 20, Norma para instalación de bombas estacionarias de protección contra incendios. (2010). National Fire Protection Association.

23. NFPA 22, Norma de especificaciones para tanques de agua de sistemas de protección privada de incendios. (2013). National Fire Protection Association.
24. NFPA 24, Norma para la instalación de tuberías para servicio privado de incendio y sus accesorios. (2010). National Fire Protection Association.
25. NFPA 25, Norma para inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de protección de fuego basados en agua. (2002). National Fire Protection Association.
26. NFPA 291, Norma para identificación de hidrantes. (2007). National Fire Protection Association.
27. O-tek International S.A. (2015). *Guía de instalación de tuberías enterradas*. Medellín, Colombia.
28. Reglamento a la ley de declaratoria del servicio de hidrantes como servicio público. (2009). *35206-MP-MINAET, N°*. Costa Rica.
29. Reglamento técnico 295:1997: Hidrantes de columna húmeda para lucha contra incendios. (2 de diciembre de 1997). *Diario Oficial La Gaceta*. Costa Rica.
30. *Reseña del TEC*. (20 de julio de 2016). Obtenido de Tecnológico de Costa Rica: <http://www.tec.ac.cr/eltec/Paginas/default.aspx>
31. *Reseña histórica*. (20 de julio de 2016). Obtenido de Oficina de ingeniería: <http://www.tec.ac.cr/d01/ingenieria/Paginas/default.aspx>
32. Tame, M. (2010). Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios. *Diseño de redes contra incendio*. PEMEX.
33. Unidad de Ingeniería de Bomberos. (2013). *Características de los hidrantes*. Bomberos de Costa Rica.
34. Unidad de Ingeniería de Bomberos. (2013). *Manual de disposiciones técnicas generales sobre seguridad humana y protección contra incendios*. Bomberos de Costa Rica.
35. Unidad de Ingeniería de Bomberos. (2013). *Tabla de requerimientos por caudal*. Bomberos de Costa Rica.

APÉNDICES

Apéndice 1: Cronograma del proyecto

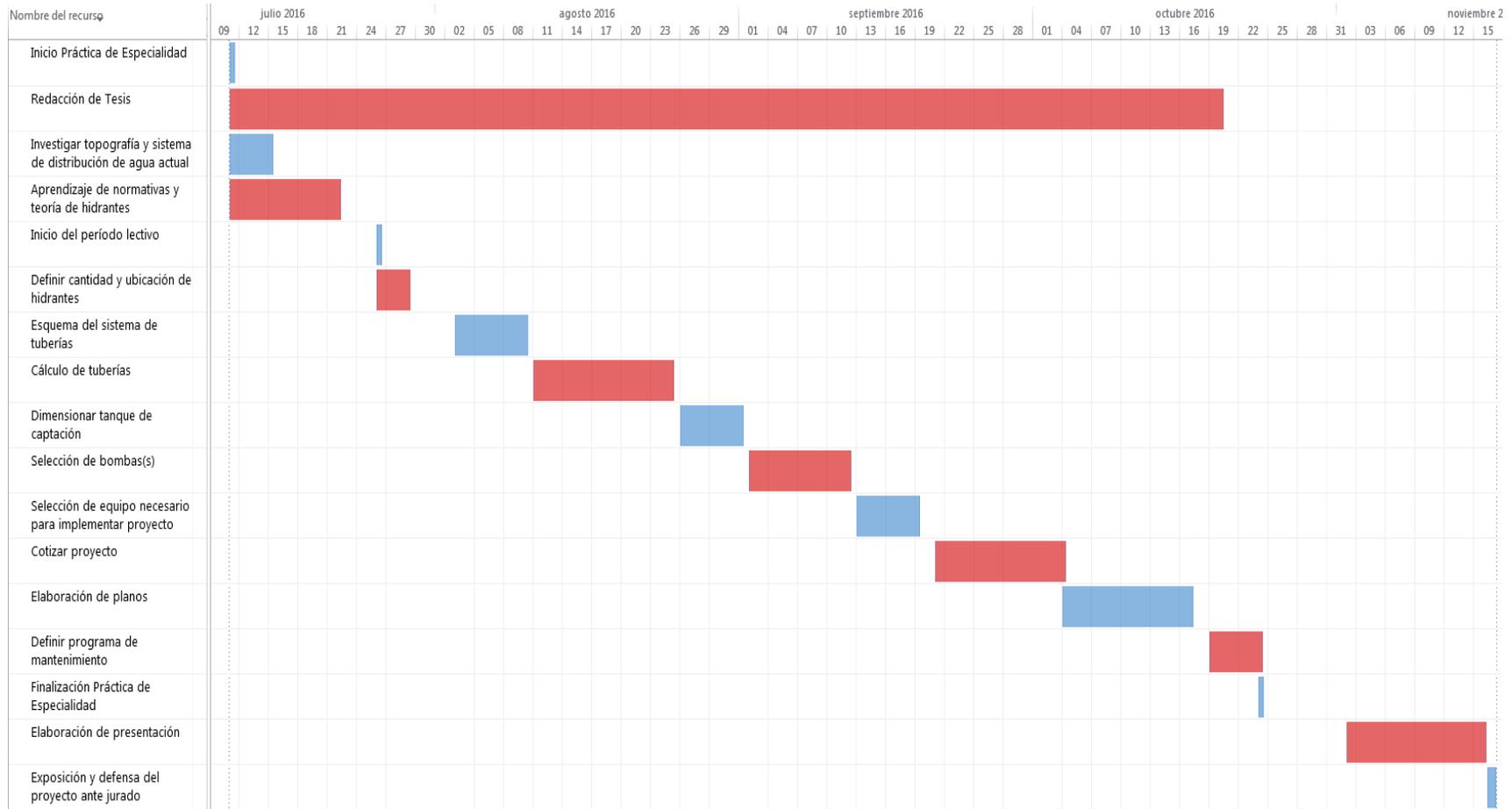


Figura 37: Cronograma propuesto para la realización del proyecto (Fuente: Elaboración propia en Project 2013)

Apéndice 2: Normativas consultadas

Tabla 27: Normativas consultadas para la realización del proyecto

Normativa	Artículo	Descripción
Reglamento Ley de hidrantes (2008)	4	Certificación de hidrantes
	5	Criterios para ubicación de hidrantes
	6	Conexión de hidrante a la tubería de abastecimiento
	8	Colores para hidrantes públicos y privados
	12	Responsables de la inspección de hidrantes
	14	Responsables por daños en hidrantes
Manual de bomberos (versión 2013)	3.7.2.b	Requerimientos de la bomba contra incendios
	3.7.2.c	Requerimientos del tanque de abastecimiento
	3.7.2.d	Ubicación del cuarto de bombas
	3.7.2.e	Condiciones de diseño del sistema de tuberías
	3.7.2.f	Toma siamesa
	3.7.2.g	Requerimientos del múltiple de pruebas
	3.7.5	Presentación memoria de cálculo
	3.7.6	Generalidades de los hidrantes
NFPA 14 (versión 2007)	4.3	Requerimientos para accesorios de tuberías
	4.8	Conexión para el cuerpo de bomberos
	6.3	Conexión de válvulas de compuerta y anti-retorno
	6.4	Requerimientos conexiones a bomberos
	6.4.5.4	Ubicación de la toma siamesa
	7.2	Limitación de presión en el sistema
	7.8	Presión máxima y mínima permisibles en el sistema
	7.10	Tasas de flujo para diferentes clases de sistema
	8.1	Especificaciones de planos
	8.2	Aspectos a tomar en cuenta para cálculos hidráulicos
	8.3.1.3	Longitud equivalente asociada a diversos accesorios
9.2	Suministro mínimo de agua	

Normativa	Artículo	Descripción
NFPA 20 (versión 2010)	4.6.5	Cabezal disponible por el suministro de agua
	4.8	Capacidades de bombas centrífugas contra incendios
	4.10	Requerimientos de los manómetros de presión
	4.11	Requerimientos de la válvula de alivio de presión
	4.13.2	Métodos de conexión de tuberías
	4.14.3	Tamaño de tubería de succión de la bomba
	4.14.5	Válvula a instalar en la tubería de succión
	4.14.6.4	Reducción y ampliación excéntrica
	4.14.8	Requerimientos para los filtros en la succión
	4.14.10	Placa anti-vórtice
	4.15	Especificaciones de diseño de la tubería de descarga
	4.20.2	Especificaciones de los dispositivos de medición y prueba
	4.25	Bombas de mantenimiento de presión
	4.26	Resumen de la información de la bomba centrífuga
	4.27.3	Ubicación de dispositivos en la tubería de succión
	6.2	Desempeño de fábrica requerida para la bomba centrífuga
	6.3	Accesorios requeridos para la bomba centrífuga
	14.1	Pruebas hidrostáticas y de lavado con agua
NFPA 22 (versión 2013)	4.1	Capacidad del tanque de almacenamiento de agua
	4.4	Materiales para los tanques de captación
	4.6.2.2	Especificaciones para la presentación de planos
	5.5.4.1	Grosor de fondo para tanques de concreto
	10.3	Capacidades estándar para tanques de concreto
	10.5	Permeabilidad de la pared del tanque de concreto
	12.2	Cimientos para tanques que funcionan con bombas
	14.1.5	Precauciones durante las reparaciones del tanque
	14.1.8	Indicador de nivel de agua
	14.2	Dimensiones de la tubería de descarga
	14.2.13	Placa anti-vórtice
14.6	Dimensiones de la tubería de rebalse	

Normativa	Artículo	Descripción
NFPA 24 (versión 2010)	4.1.3	Elementos a considerar en la representación de planos
	5.2.1	Tamaño de tuberías principales
	5.9	Conexión del cuerpo de bomberos
	6.1	Válvulas a utilizar en el sistema contra incendios
	6.7	Identificación y aseguramiento de las válvulas
	7.1	Requerimientos para la conexión de hidrantes
	7.2	Número y ubicación de hidrantes
	10.1.1	Materiales permitidos para la red de tuberías
	10.1.4	Parámetros a considerar para la tubería subterránea
	10.1.5	Presión de trabajo mínima a considerar para la tubería
	10.2	Materiales normalizados para los accesorios
	10.10.1	Aprobación de tubería subterránea
	10.10.2.2	Prueba hidrostática
	11.1	Cálculo hidráulico de pérdida de presión
NFPA 25 (versión 2002)	4.6	Aplicación de mantenimiento al sistema
	5.1	Inspección, prueba y mantenimiento de rociadores
	7.1	Mantenimiento a tuberías del servicio contra incendio
	7.2.2.5	Inspecciones para hidrantes de columna húmeda
	8.1	Prueba y mantenimiento para bombas de incendio
	8.2.2	Inspecciones visuales semanales a bombas de incendio
	8.5.3	Resumen de gestión de mantenimiento a bombas
	9.1	Mantenimiento a tanques de almacenamiento de agua
	12.1	Inspección, prueba y mantenimiento de accesorios
	12.7	Mantenimiento para las conexiones de bomberos
13.2	Investigación y prevención de obstrucciones	
NFPA 291 (versión 2007)	5.1	Clasificación de hidrantes según el caudal
	5.2.1.1	Marcado de hidrantes públicos
	5.2.1.2	Marcado de hidrantes según caudal
	5.2.5	Marcado de hidrantes privados

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

Apéndice 3: Atención de incendios en edificios por hidrante.

N° Hidrante	Edificios cubiertos	
1	J1	Residencias estudiantiles
	J2	Sala de estudio
	J3	Residencias estudiantiles
	J4	Residencia
2	J5	Residencias estudiantiles
	J6	Residencias estudiantiles
	-	Nuevo edificio residencias estudiantiles
3	A1	Rectoría, vice-rectoría y financiero contable
	A2	Departamento de ingeniería en cómputo
	A3	Admisión y registro
	A5	Centro de investigación de computación
	B1	Aulas y laboratorios de cómputo
	B2	Aulas y sala de dibujo técnico
	B3	Aulas y LAIMI C
	B5	Escuela de cultura y deporte y el CEDA
	B6	Editorial Tecnológico y diseño industrial
4	A4	Escuela de matemática y física
	C1	Aulas especializadas y federación de estudiantes
	C9	LAIMI 1
	C10	Comedor institucional
	D1	Escuela de administración de empresas
	D5	Librería
	D6	Central telefónica
5	E1	Gimnasio Armando Vásquez Rojas
	E2	Piscina
	E6	Unidad deportiva
	E11	Gimnasio ASETEC
	-	Centro de las artes
	-	Restaurante El Ferrocarril
6	B4	Escuela de química

N° Hidrante	Edificios cubiertos	
6	B10	Servicios sanitarios estudiantes
	D2	Auditorio Sim-tec
	-	Edificio de aulas nuevo
7	C2	Tanque elevado para agua potable
	C3	Biblioteca José Figueres Ferrer
	C4	Laboratorios de física y química
8	D4	Unidad de proveeduría
	D7	Seguridad laboral
	D8	Departamento de servicios generales
	D9	Taller de publicaciones
	D10	Escuela de ingeniería electromecánica
	F1	Escuela de ingeniería en construcción
	F6	Soda Casa Luna
	F11	Clínica de salud
	G8	Administración de mantenimiento
	G13	Sala de artes marciales
	G16	Taller infantil tecnológico
9	D11	Taller escuela electromecánica
	I1	Escuela de ingeniería en materiales
	I2	Taller escuela de materiales
	I3	Escuela de producción industrial
	-	Laboratorios escuela de materiales
	-	Colegio científico costarricense
	-	Oficina de ingeniería
10	F2	Aulas
	F3	Laboratorios de electrónica
	F4	Aulas
	F5	Aulas
	F9	Aulas ciencias de lenguaje
	F10	LAIMI 2
	G1	Escuela de agro-negocios
	G2	Ingeniería forestal

N° Hidrante	Edificios cubiertos	
10	G3	Planta piloto agroindustrial
	G4	Planta piloto de investigación
	G5	Centro experimental de construcción
	G6	Centro de investigación en vivienda y construcción
	G7	Biología
11	G11	Estación meteorológica
	G12	Procesadora de papel vegetal
	G14	Unidad de transportes
	H1	Vivero forestal
	H3	Laboratorio de inyección
	H4	Maquinaria agrícola
	H5	Ampo de prácticas agropecuarias
	H6	Campo de prácticas docentes e investigación agropecuaria
	-	Nuevo edificio: Ingeniería agrícola
12	-	Nuevo edificio: Ingeniería electrónica
	-	Nuevo edificio: Seguridad laboral
	-	Nuevo edificio: Biblioteca
	-	Nuevo edificio: Comedor
	-	Nuevo edificio: Ingeniería en construcción
13	-	Centro de investigación de biotecnología (CIB)
	-	Nuevo edificio: Comedor CIB
	-	Nuevo edificio: GAMMACELL
	G17	Ingeniería ambiental
14	-	Planta de tratamiento
	-	Nuevo edificio: Diseño industrial
	-	Nuevo edificio: Núcleo química ambiental
15	L1	Centro de industrialización de la madera
	L2	Centro experimental del mueble
	L3	Taller de escuela de aserrado y afilado

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

Apéndice 4: Muestra de cálculo: Presión ruta crítica

A continuación, se detalla el procedimiento realizado para el cálculo de pérdida de presión de la ruta crítica, la cual corresponde al hidrante #4 para el caso particular que la red en anillo se abra tal y como se indicó en la sección 4.2.2. Los resultados de pérdida de presión para todos los hidrantes están en la Tabla 11. Se utilizará el método Hazen – Williams. Los datos necesarios para efectuar el cálculo son:

Tabla 28: Datos para realizar la muestra de cálculo de pérdida de presión (ruta crítica).

Dato a utilizar	Valor
Material	PVC C900
Q_{Total}	750 gpm
$Q_{Hidrante}$	250 gpm
Diámetro interno	8 in
Número hidrantes operando	3
Altura	64,21 ft
Accesorios Q_{Total}	
Longitud	5569,46 ft
Codos 22,5°	17
Codos 45°	15
Codos 90°	11
Tees	10
Válvulas de compuerta	19
Válvulas check	1
Reducción	1
Accesorios $Q_{Hidrante}$	
Longitud	367,29 ft
Codos 22,5°	4
Codos 45°	2
Codos 90°	1
Válvulas de compuerta	1
Reducción	1

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

Para calcular la longitud equivalente se emplea la Tabla 42, sin embargo, dicha tabla presenta sus valores para un coeficiente de pérdidas por fricción (C) igual a 120. Como se observa en la Tabla 43, al plástico se le asigna un valor de 150 al coeficiente de pérdidas por fricción, esto quiere decir que se debe aplicar un factor de corrección, el cual se presenta en la Tabla 44 y tiene un valor de 1,51. Con esto en mente el cálculo de longitud equivalente (LEq) sería:

$$L_{eq} Q_{Total} = (17 \cdot 1,51 \cdot 4,5) + (15 \cdot 1,51 \cdot 9) + (11 \cdot 1,51 \cdot 18) + (10 \cdot 1,51 \cdot 35) \\ + (19 \cdot 1,51 \cdot 4) + (1 \cdot 1,51 \cdot 45) + 1,02 = 1332,90 \text{ ft}$$

$$L_{eq} Q_{Hidrante} = (4 \cdot 1,51 \cdot 4,5) + (2 \cdot 1,51 \cdot 9) + (1 \cdot 1,51 \cdot 18) + (1 \cdot 1,51 \cdot 4) + 1,02 \\ = 90,93 \text{ ft}$$

El valor de 1,02 que se observa en las ecuaciones de longitud equivalente corresponde a la reducción que se calculó en la sección 4.2.2.

De esta manera la longitud total (accesorios + tubería) a considerar es:

$$\text{Longitud total } Q_{Total} = 5569,46 + 1332,90 = 6902,36 \text{ ft}$$

$$\text{Longitud total } Q_{Hidrante} = 367,29 + 90,93 = 458,22 \text{ ft}$$

Tabla 29: Datos para realizar cálculo de pérdida de presión

Dato a utilizar	Valor
Longitud total Q_{Total}	6902,36 ft
Longitud total $Q_{Hidrante}$	458,22 ft
Altura (ft)	64,21 ft
Diámetro interno	8 in
Q_{Total}	750 gpm
$Q_{Hidrante}$	250 gpm
$P_{mínima}$ requerida	100 psi

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

Nota: La presión mínima de 100 psi mostrada en la tabla anterior es un requisito exigido por bomberos para hidrantes conectados a una unidad de bombeo.

Para finalizar, utilizando los datos mostrados en la Tabla 29, se procede a calcular las tres componentes de pérdidas que establece el artículo 3.7.5 del Manual de Bomberos que se deben tomar en cuenta para dimensionar la pérdida de presión. Estas son:

Las pérdidas por fricción son:

$$P_f = \frac{4,52}{d^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q_{Total}}{C}\right)^{1,85} \cdot Longitud Q_{Total} + \frac{4,52}{d^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q_{Hidrante}}{C}\right)^{1,85} \cdot Longitud Q_{Hidrante}$$

$$= \frac{4,52}{8^{4,87}} \cdot \left(\frac{750}{150}\right)^{1,85} \cdot 6902,35 + \frac{4,52}{8^{4,87}} \cdot \left(\frac{250}{150}\right)^{1,85} \cdot 458,22 = 24,71 \text{ psi}$$

Las pérdidas por velocidad son:

$$P_v = \frac{0,001123Q^2}{d^4} = \frac{0,001123 \cdot 750^2}{8^4} = 0,15 \text{ psi}$$

Y las pérdidas por elevación son:

$$P_e = 0,433h = 0,433 \cdot 64,21 = 27,80 \text{ psi}$$

Finalmente, la pérdida de presión total en la ruta crítica se obtiene sumando las pérdidas de presión ya calculadas

$$P_T = P_f + P_v + P_e = 24,71 + 0,15 + 27,80 = 52,67 \text{ psi}$$

A este valor se debe sumar la presión mínima requerida por el hidrante, por lo tanto, la presión que se debe tomar en cuenta para seleccionar la bomba sería:

$$P_{final} = P_T + P_{mínima\ requerida} = 52,67 + 100 = 152,67 \text{ psi}$$

Apéndice 5: Muestra de cálculo: Cotización zanjeo

Dimensiones de la zanja a considerar: Ancho = 0,8 m. Altura = 1,1 m.

1. Zanjeo en Tierra:

Longitud: 2903,10 m

Costo zanja: ₡6.400 / m³

Costo instalación tubería: ₡8.865 / m

$$(2903,10 \cdot 1,1 \cdot 0,8) \cdot 6400 + 8865 \cdot 2903,10 = ₡42.086.241$$

2. Zanjeo en Calle:

Longitud: 721,30 m

Costo corte asfalto: ₡8.896 / m

Costo zanja: ₡6.400 / m³

Costo instalación tubería: ₡8.865 / m

Costo rehacer calle: ₡15.440 / m

$$(721,30 \cdot 1,1 \cdot 0,8) \cdot 6400 + (8896 + 15440 + 8865) \cdot 721,30 = ₡28.010.243$$

3. Zanjeo en Acera:

Longitud: 49,80 m

Costo corte concreto: ₡15.568 / m

Costo zanja: ₡6.400 / m³

Costo instalación tubería: ₡8.865 / m

Costo rehacer acera: ₡13.700 / m

$$(49,80 \cdot 1,1 \cdot 0,8) \cdot 6400 + (15568 + 13700 + 8865) \cdot 49,80 = ₡2.179.497$$

4. Zanjeo en Parqueo:

Longitud: 35 m

Costo corte concreto: ₡15.568 / m

Costo zanja: ₡6.400 / m³

Costo instalación tubería: ₡8.865 / m

Costo rehacer parqueo: ₡20.550 / m

$$(35 \cdot 1,1 \cdot 0,8) \cdot 6400 + (15568 + 20550 + 8865) \cdot 35 = ₡1.771.525$$

Nota: Fuente de datos: Oficina de Ingeniería (TEC) y Globaltec Technologies S.A. Tipo de cambio utilizado: 1\$ = ₡560

Apéndice 6: Resultados obtenidos con la simulación de SprinkCAD 3D

Job : RED DE HIDRANTES-TEC

Hydraulic Analysis for : Hidrantes 3-4-6

Calculation Info

Calculation Mode	Demand
Hydraulic Model	Hazen-Williams
Fluid Name	Water @ 60F (15.6C)
Fluid Weight, (N/m ³)	N/A for Hazen-Williams calculation.
Fluid Dynamic Viscosity, (Pa·s)	N/A for Hazen-Williams calculation.

Water Supply Parameters

Hoses

Inside Hose Flow / Standpipe Demand (gpm)	0
Outside Hose Flow (gpm)	
Additional Outside Hose Flow (gpm)	
Other (custom defined) Hose Flow (gpm)	
Total Hose Flow (gpm)	762,614

Sprinklers

Ovehead Sprinkler Flow (gpm)	
InRack Sprinkler Flow (gpm)	
Other (custom defined) Sprinkler Flow (gpm)	
Total Sprinkler Flow (gpm)	

Other

Required Margin of Safety (psi)	0
S1 - Required Pressure (psi)	156,15
S1 - Flow (gpm)	762,614
Demand w/o System Pump(s)	N/A

Figura 38: Información obtenida de la simulación de los hidrantes 3,4 y 6 (ruta crítica)
Fuente: SprinkCAD 3D 2016

Tomando como referencia el valor máximo de los resultados de pérdidas de presión mostrados en la Tabla 11, se obtiene un porcentaje de error de 1,25% entre el valor calculado y el valor simulado.

Diagram For Design Area : Hidrantes 3-4-6

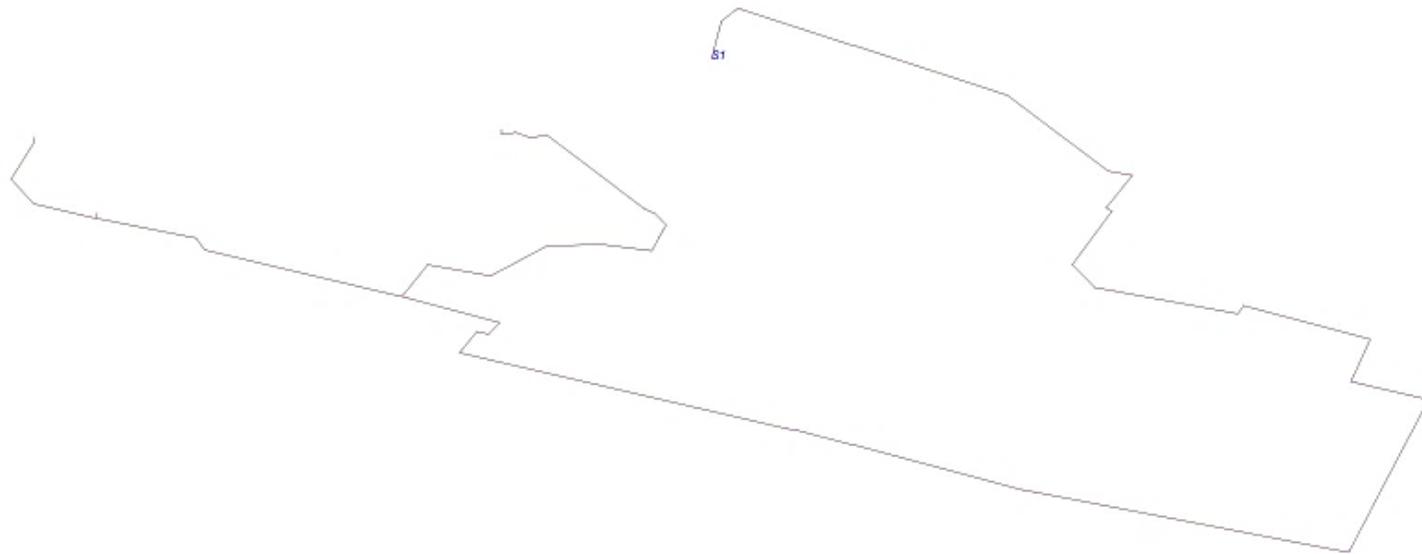


Figura 39: Distribución de tuberías utilizada para la simulación de los hidrantes 3,4 y 6. (Fuente: SprinkCAD 3D 2016).

Hydraulic Analysis for : Hidrante 3-4-7

Calculation Info

Calculation Mode	Demand
Hydraulic Model	Hazen-Williams
Fluid Name	Water @ 60F (15.6C)
Fluid Weight, (N/m ³)	N/A for Hazen-Williams calculation.
Fluid Dynamic Viscosity, (Pa·s)	N/A for Hazen-Williams calculation.

Water Supply Parameters

Hoses

Inside Hose Flow / Standpipe Demand (gpm)	0
Outside Hose Flow (gpm)	
Additional Outside Hose Flow (gpm)	
Other (custom defined) Hose Flow (gpm)	-----
Total Hose Flow (gpm)	760,808

Sprinklers

Ovehead Sprinkler Flow (gpm)	
InRack Sprinkler Flow (gpm)	
Other (custom defined) Sprinkler Flow (gpm)	-----
Total Sprinkler Flow (gpm)	

Other

Required Margin of Safety (psi)	0
S1 - Required Pressure (psi)	156,03
S1 - Flow (gpm)	760,808
Demand w/o System Pump(s)	N/A

Figura 40: Información obtenida de la simulación de los hidrantes 3,4 y 7 (ruta crítica)
Fuente: SprinkCAD 3D 2016

Tomando como referencia el valor máximo de los resultados de pérdidas de presión mostrados en la Tabla 11, se obtiene un porcentaje de error de 1,33% entre el valor calculado y el valor simulado.

Diagram For Design Area : Hidrante 3-4-7

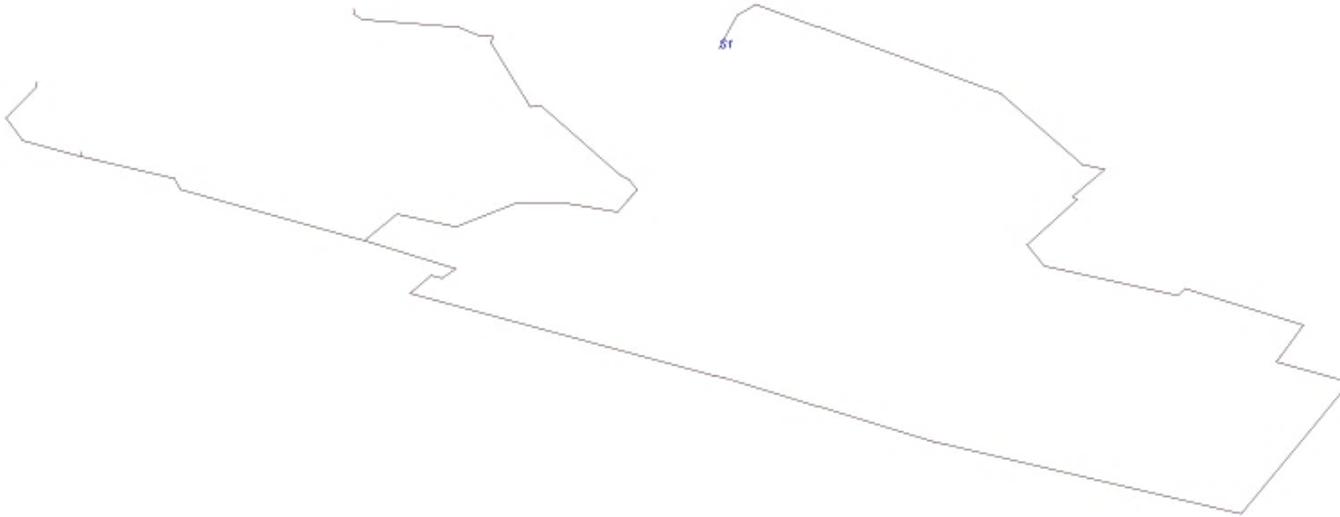
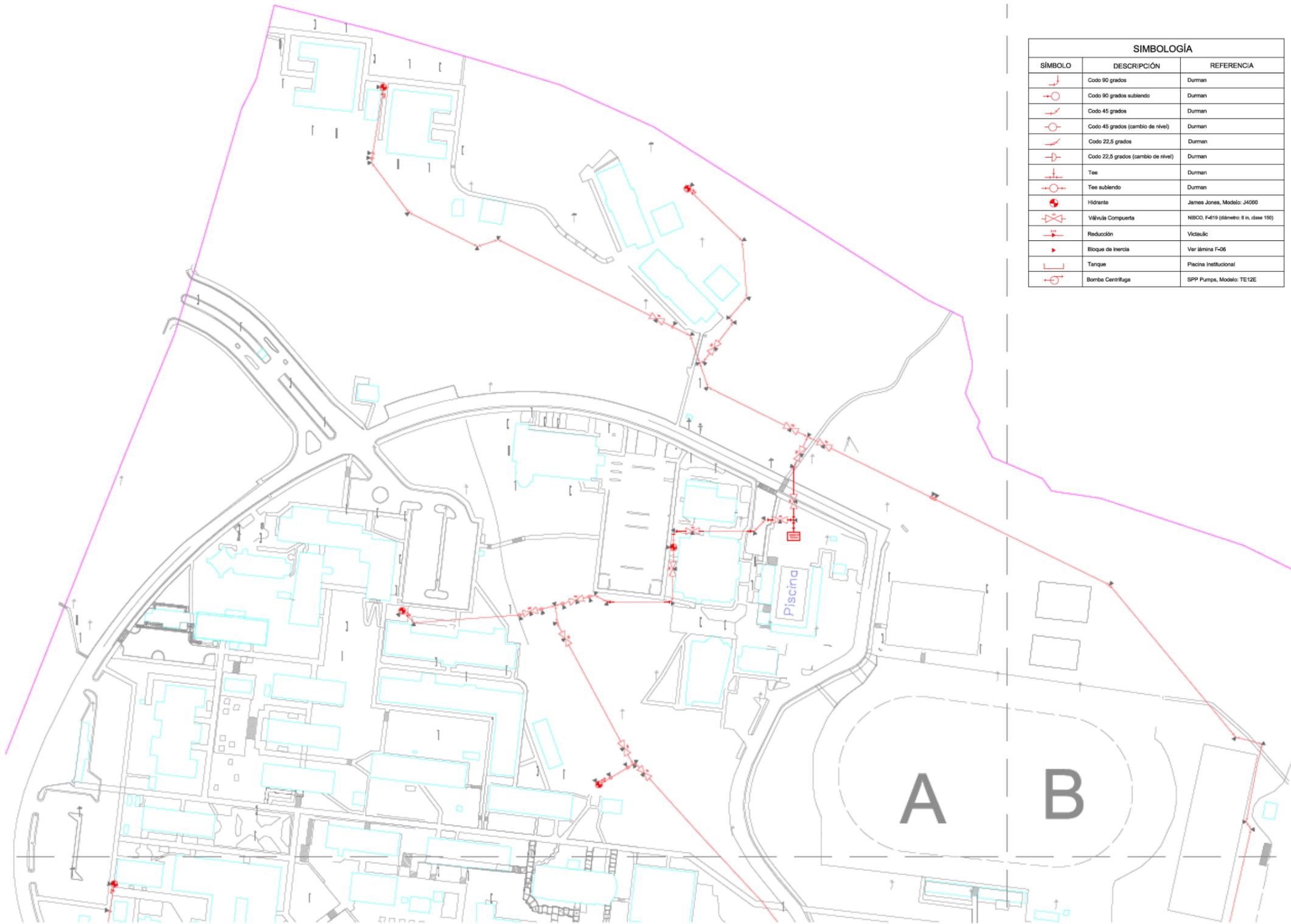


Figura 41: Distribución de tuberías utilizada para la simulación de los hidrantes 3,4 y 7. (Fuente: SprinkCAD 3D 2016)

Apéndice 7: Planos realizados para el sistema contra incendios propuesto.



Figura 42: Cuadrantes para la presentación del sistema de distribución de tuberías. (Fuente: Elaboración propia en AutoCAD 2014)



SIMBOLOGÍA		
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA
	Codo 90 grados	Durman
	Codo 90 grados subiendo	Durman
	Codo 45 grados	Durman
	Codo 45 grados (cambio de nivel)	Durman
	Codo 22,5 grados	Durman
	Codo 22,5 grados (cambio de nivel)	Durman
	Tee	Durman
	Tee subiendo	Durman
	Hidrante	James Jones, Modelo: J4000
	Válvula Compuerta	NIBCO, F-619 (diámetro: 8 in, clase 150)
	Reducción	Victaulic
	Bloque de Inercia	Var lámina F-06
	Tanque	Piscina Institucional
	Bomba Centrífuga	SPP Pumpa, Modelo: TE12E

Figura 43: Distribución de tuberías en los cuadrantes A y B. (Fuente: Elaboración propia en AutoCAD 2014)

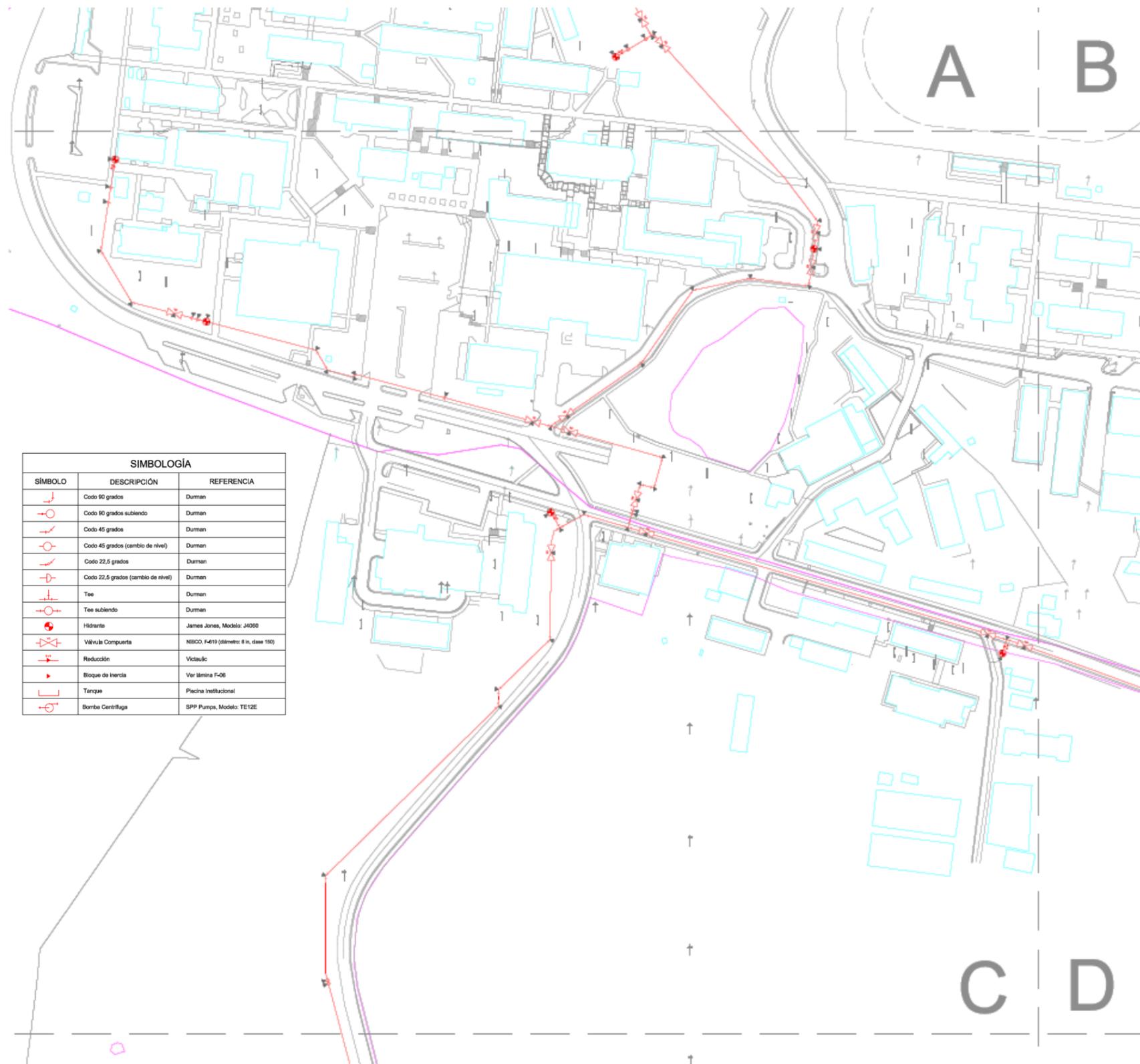


Figura 44: Distribución de tuberías en el cuadrante C. (Fuente: Elaboración propia en AutoCAD 2014)

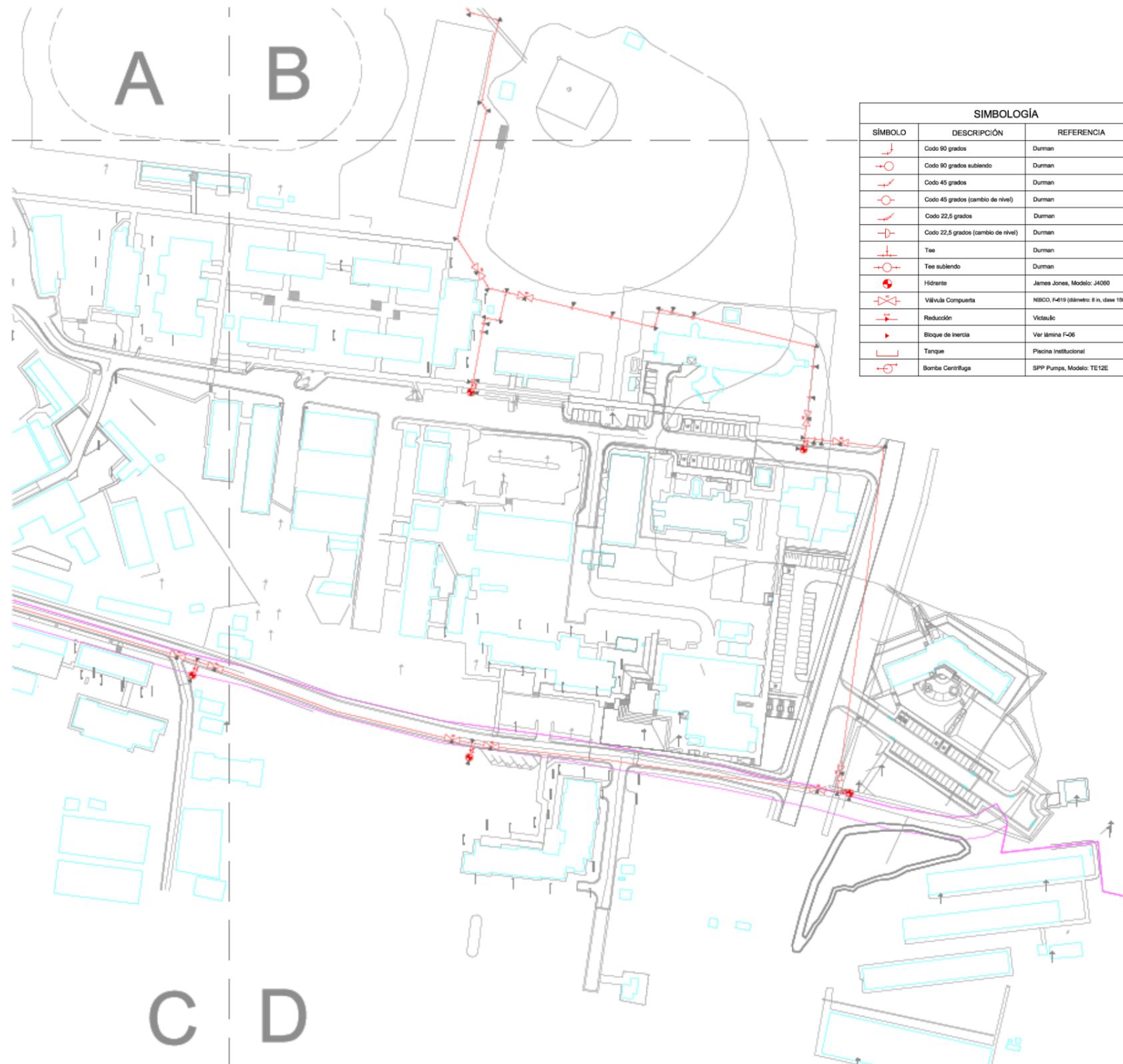


Figura 45: Distribución de tuberías en el cuadrante D. (Fuente: Elaboración propia en AutoCAD 2014)

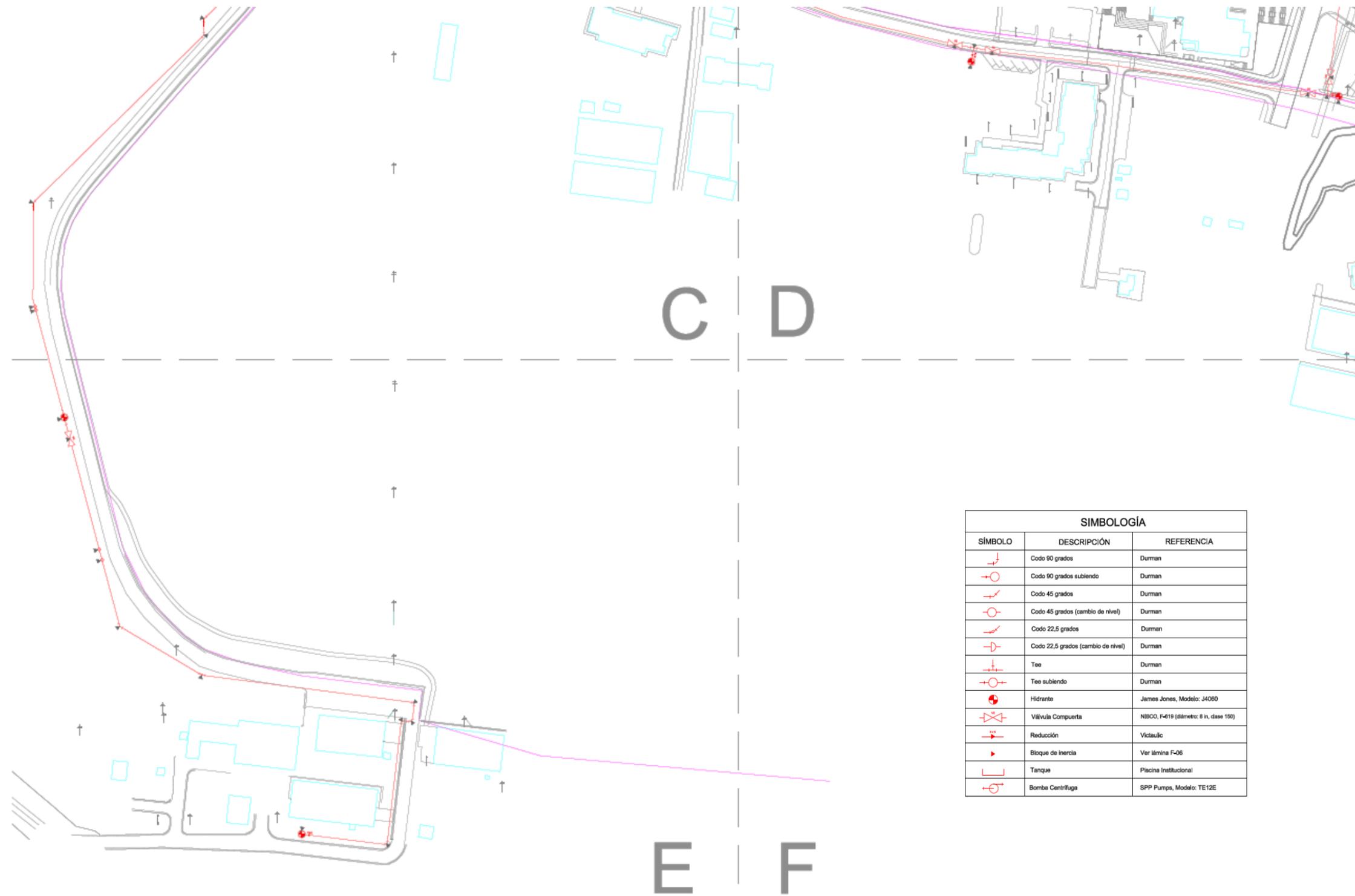


Figura 46: Distribución de tuberías en el cuadrante E. (Fuente: Elaboración propia en AutoCAD 2014)

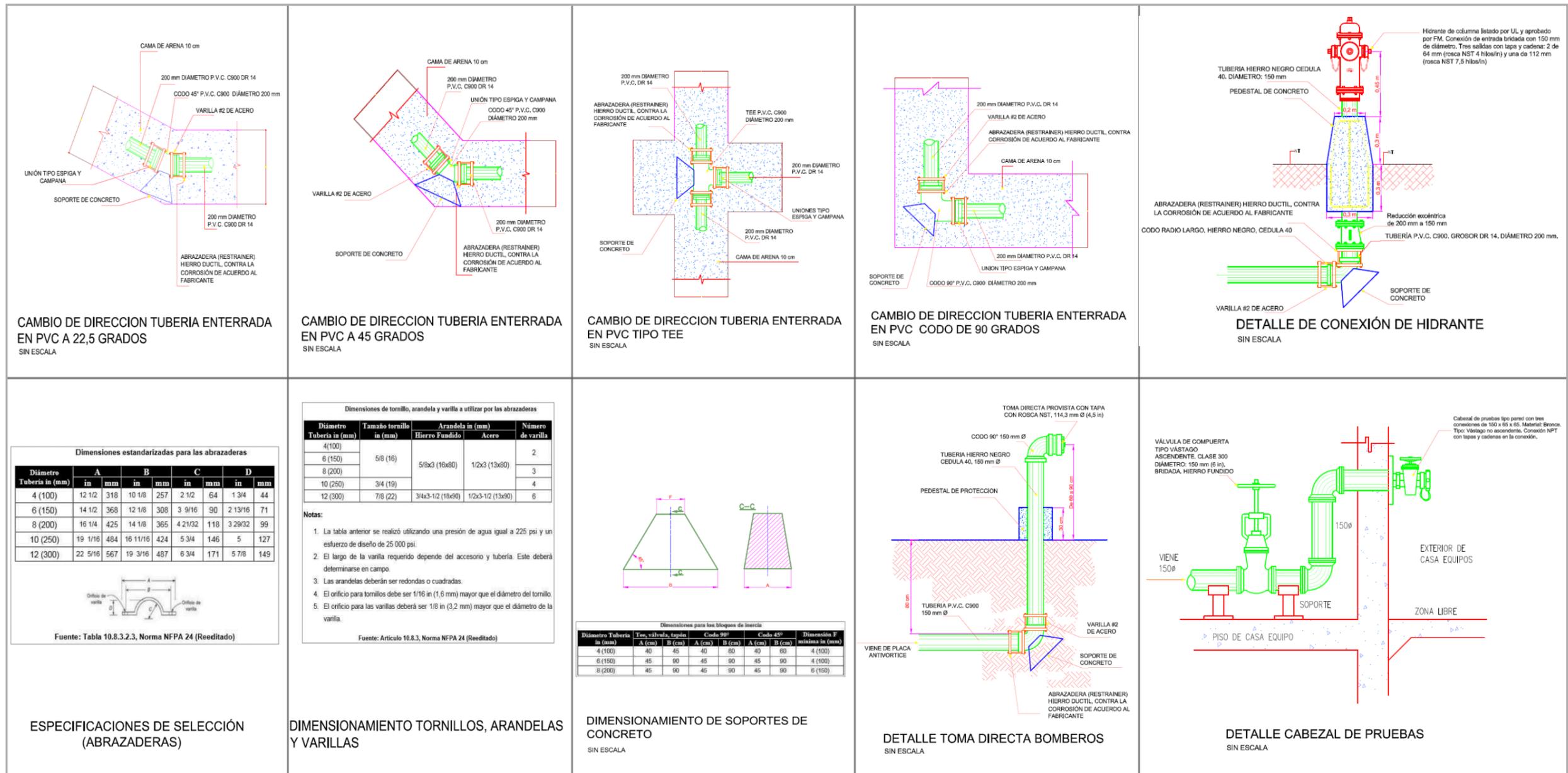


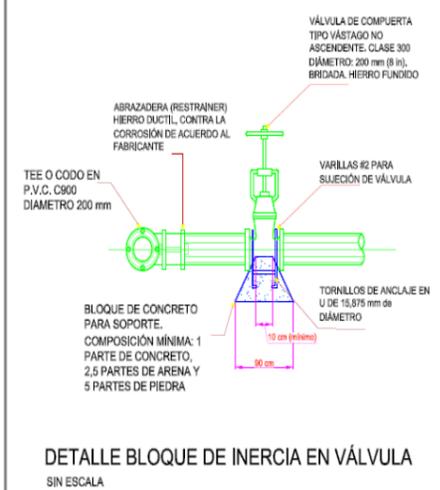
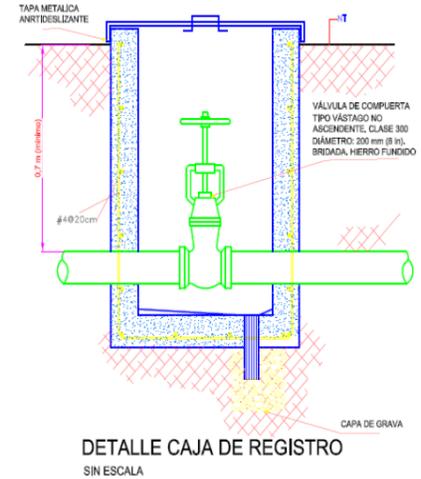
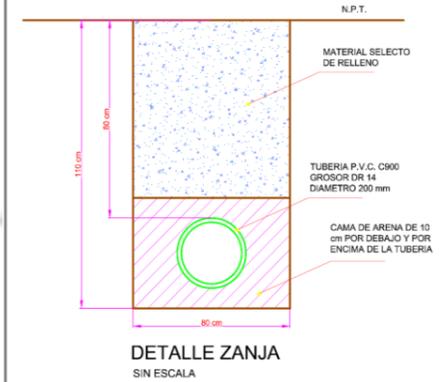
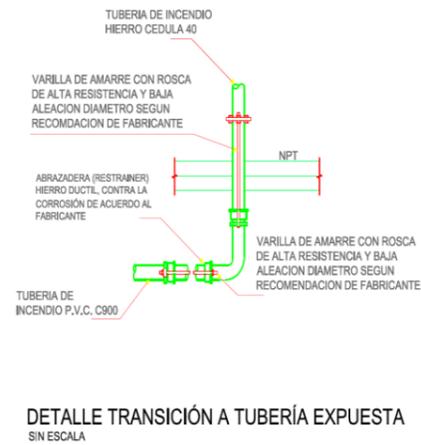
Figura 47: Detalles típicos a considerar para la distribución de tuberías para la instalación de hidrantes. (Fuente: Elaboración propia en AutoCAD 2014)

MEMORIA DE CÁLCULO

Longitud, altura y accesorios para el tramo donde fluye Q_{Total} utilizado para calcular pérdida de presión de cada hidrante

N° Hidrante	Altura (m)	Longitud Tubería (m)	Accesorios						
			Codo 22,5°	Codo 45°	Codo 90°	Tee	Válvula compuerta	Válvula check	Reducción
1	7,35	2094,33	15	16	12	13	25	1	1
2	-1,70	2094,33	15	16	12	13	25	1	1
3	14,05	1824,72	14	12	10	10	20	1	1
4	19,57	1697,57	17	15	11	10	19	1	1
5	0,70	1824,72	14	12	10	10	20	1	1
6	13,10	1824,72	14	12	10	10	20	1	1
7	19,46	1512,94	12	9	8	8	16	1	1
8	10,17	1512,94	12	9	8	8	16	1	1
9	9,85	1410,75	10	9	5	7	14	1	1
10	0,80	1395,35	10	8	8	10	20	1	1
11	-3,85	1079,20	8	9	5	5	10	1	1
12	-7,60	1395,35	10	8	8	10	20	1	1
13	-3,73	1085,64	8	11	6	6	11	1	1
14	-16,40	1005,74	8	8	7	9	16	1	1
15	-34,30	1778,51	10	16	5	9	15	1	1
16	-16,66	1778,51	10	16	5	9	15	1	1

N° Hidrante	L _{total} (ft)	Q _{total} (gpm)	L _{total} Q _{hidrante} (ft)	Altura (ft)	Diámetro (in)	Q _{total} (gpm)	Q _{hidrante} (gpm)	P _{mínima} Hidrante (psi)	P _r (psi)	P _r (bar)
1	8426,03	916,60	24,11	7,68	500	250	100	128,28	8,84	
2	8426,03	499,02	-5,58	7,68	500	250	100	115,18	7,94	
3	7237,22	715,92	46,10	7,68	750	250	100	151,89	10,47	
4	6902,36	458,22	64,21	7,68	750	250	100	158,13	10,90	
5	7237,22	804,87	2,30	7,68	500	250	100	116,33	8,02	
6	7237,22	132,18	42,98	7,68	750	250	100	150,21	10,35	
7	5975,74	756,31	63,85	7,68	750	500	100	155,25	10,70	
8	5975,74	706,90	33,37	7,68	500	500	100	128,20	8,83	
9	5480,41	265,01	32,32	7,68	500	250	100	125,43	8,64	
10	5692,63	1132,47	2,62	7,68	500	250	100	113,50	7,82	
11	4249,20	527,34	12,63	7,68	500	250	100	114,54	7,89	
12	5692,63	35,94	-24,93	7,68	500	250	100	100,95	6,96	
13	4383,56	3,35	-12,24	7,68	500	500	100	103,75	7,15	
14	4296,60	701,20	-53,81	7,68	500	250	100	85,97	5,92	
15	6893,84	1405,94	-112,53	7,68	500	250	100	66,25	4,56	
16	6893,84	3,35	-54,66	7,68	500	500	100	90,52	6,24	



NOTAS GENERALES

1. TODOS LOS MATERIALES DE TUBERÍA SERÁN LISTADOS POR UL Y APROBADOS POR FM.
2. LA INSTALACIÓN PROPUESTA CUMPLIRÁ CON LAS ESPECIFICACIONES DE DISEÑO ESTABLECIDAS EN LAS NORMAS NFPA 13, 14, 20, 22, 24, 25 Y 70. ADEMÁS SE UTILIZÓ EL MANUAL DE DISPOSICIONES TÉCNICAS GENERALES SOBRE SEGURIDAD HUMANA Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS (VERSIÓN 2013).
3. SE REQUERIRÁ QUE SE PRESENTE INFORMACIÓN Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE TODOS LOS EQUIPOS Y COMPONENTES PARA SU DEBIDA REVISIÓN Y APROBACIÓN.
4. SI EXISTIERA ALGÚN CONFLICTO ENTRE LOS REQUERIMIENTOS, LAS NORMAS YA MENCIONADAS, LAS REGULACIONES LOCALES Y LO ESTIPULADO EN EL DOCUMENTO DE PROYECTO SE DEBERÁN CONSIDERAR SOBRE TODOS LOS DEMÁS.
5. LA PROFUNDIDAD MÍNIMA DE LA PARTE SUPERIOR DEL TUBO ENTERRADO SERÁ 0,8 m. (VER DETALLE ADJUNTO).
6. PARA LOGRAR UNA SUJECIÓN ADECUADA ENTRE ACCESORIOS (Codos, TEES Y VÁLVULAS) Y TUBERÍA ENTERRADA SE UTILIZAN ABRAZADERAS MECÁNICAS Y BLOQUES DE EMPUJE SEGÚN LA NORMA NFPA 24.
7. LA TUBERÍA DE PVC C900 DEBE SER LIMPIADA E INCLUSO LUBRICADA ANTES DE EFECTUAR LA UNIÓN DE ESPIGA Y CAMPANA.
8. LA TUBERÍA PVC C900 DEBE CUMPLIR CON LAS ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE LA NORMA AWWA 900.
9. LA RED DE DISTRIBUCIÓN SE DISEÑÓ TOMANDO EN CUENTA EL FUNCIONAMIENTO DE TRES HIDRANTES A LA VEZ, ESTO SEGÚN CONSULTA A LA UNIDAD DE INGENIERÍA DE BOMBEROS DE COSTA RICA.
10. EL COLOR DE LOS HIDRANTES SERÁ ROJO REFLECTIVO SEGÚN LA NORMA NFPA 291. (TIPO PRIVADO).
11. TODA TUBERÍA O ACCESORIO QUE PUEDA PRESENTAR PROBLEMAS DE CORROSIÓN DEBE SER PROTEGIDOS CON ANTICORROSIVO.
12. LAS PRUEBAS DEL SISTEMA CONTRA INCENDIO DEBEN SER REALIZADAS POR PERSONAL CALIFICADO Y CAPAZ DE MANEJAR LOS PROCEDIMIENTOS DE PRUEBA ESTABLECIDOS.
13. LA PRUEBA Y ACEPTACIÓN FINAL DEL SISTEMA CONTRA INCENDIO DEBE CONTAR CON LOS FORMATOS DE LAS NORMAS NFPA CORRESPONDIENTE A CADA CASO.
14. EL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO ANUAL DEBE REALIZARSE EL MISMO DÍA QUE SE DESCARGA EL AGUA DE LA PISCINA (ESTO EN CASO QUE SE NECESITE DESCARGAR EL AGUA DE LA PISCINA POR ALGÚN MOTIVO).
15. LOS PANELES DE CONTROL ELÉCTRICO DE LAS BOMBAS DEBEN SER ARMADOS SEGÚN REGULACIONES DEL CÓDIGO ELÉCTRICO NACIONAL.
16. LA DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍAS SE REALIZÓ EVITANDO PASAR POR CAJAS DE REGISTRO, CAJAS ELÉCTRICAS Y CAJAS SANITARIAS CON BASE A LOS PLANOS SUMINISTRADOS POR LA OFICINA DE INGENIERÍA DEL TEC.
17. LA MEMORIA DE CÁLCULO ADJUNTA CORRESPONDE A LA RUTA CRÍTICA DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS (CUANDO SE ABRE LA RED EN ANILLO POR REPARACIÓN O MANTENIMIENTO) Y NO A LA OPERACIÓN NORMAL DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS (RED EN ANILLO).
18. PARA LOGRAR LA DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍAS DE PVC C900 ENTERRADAS SE PERMITE DOBLAR LA TUBERÍA HASTA UNA DEFLEXIÓN MÁXIMA DE 3 GRADOS POR CADA TUBO.
19. LA VÁLVULA DE CADA HIDRANTE NO ESTÁ NECESARIAMENTE A LA PAR DEL HIDRANTE, SINO QUE SE UBICÓ EN UNA POSICIÓN ESTRATÉGICA EN LA RED EN ANILLO, AÚN ASÍ EN CASO DE RUPTURA CADA HIDRANTE PUEDE SER AISLADO.

Figura 48: Continuación detalles típicos a considerar para la distribución de tuberías para la instalación de hidrantes. (Fuente: Elaboración propia en AutoCAD 2014)

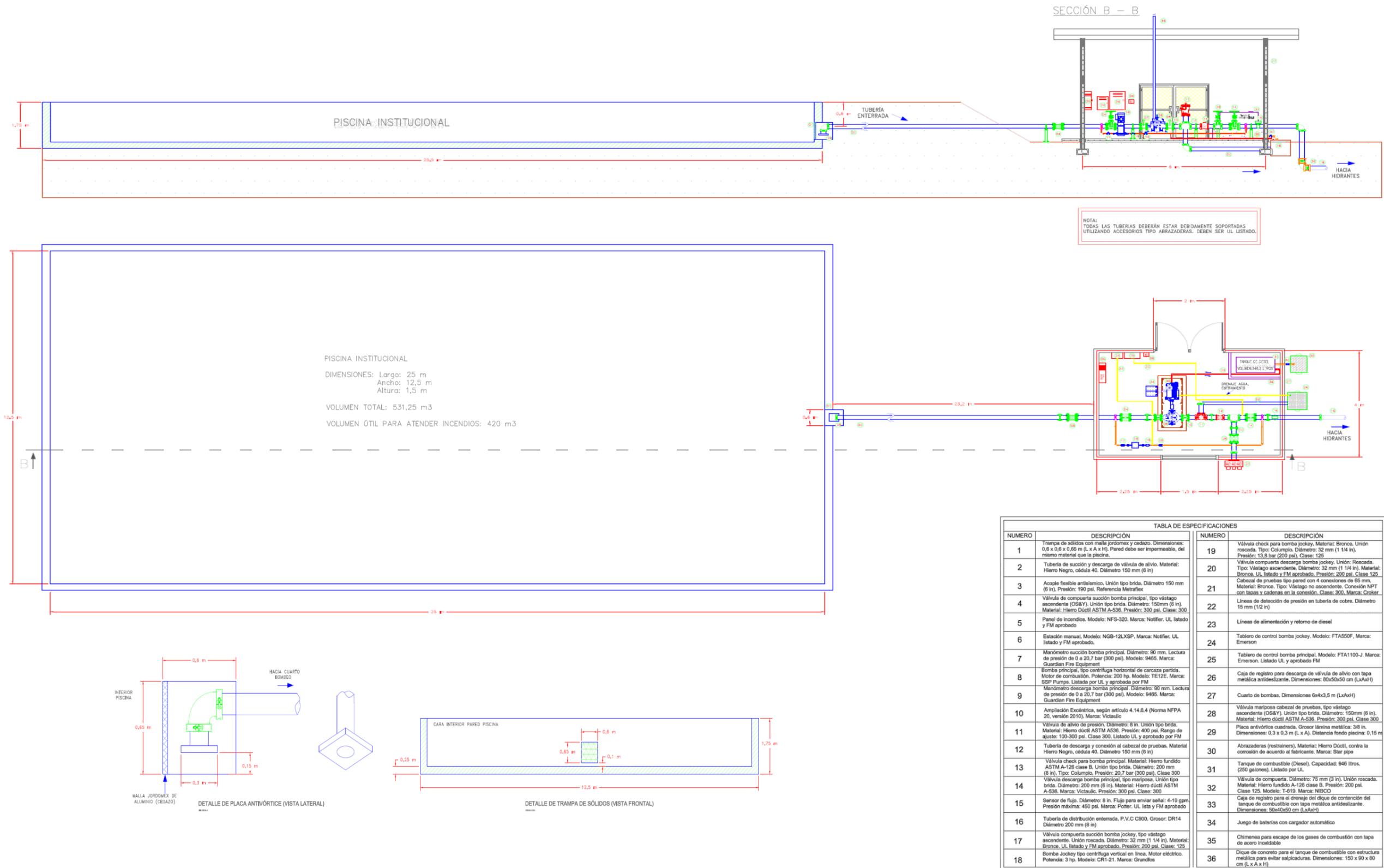


Figura 49: Caseta de bombeo. (Fuente: Elaboración propia en AutoCAD 2014)

Apéndice 8: Registros a considerar para el mantenimiento del equipo.

Tabla 30: Formato de orden de trabajo semanal para el sistema contra incendios

Orden de Trabajo Semanal		TEC Tecnológico de Costa Rica
N° OT: Año-Consecutivo		
Realizado por:	Tipo de mantenimiento: Preventivo () Correctivo () Otro:	

N°	Elemento	Actividad	Acción a realizar	Si	No	
1	Sistema de bombeo	Inspección	Válvulas de succión y descarga abiertas			
2		Inspección	Lecturas normales en manómetros de succión y descarga			
3		Inspección	Bomba arrancó automáticamente			
4		Inspección	Goteo del sello de la bomba es normal			
5		Inspección	No hay ruidos extraños ni vibraciones excesivas			
6	Tanque de diésel	Inspección	Tanque está lleno en al menos 2/3 partes de su capacidad			
7	Baterías motor diésel	Inspección	Baterías están cargadas			
8		Inspección	Voltaje, corriente, cargador y régimen de carga normales			
10		Inspección	Terminales de conexión están libres de corrosión			
11		Inspección	Nivel de electrolitos adecuado			
12	Motor diésel	Inspección	Nivel de aceite en el cárter y engranajes es correcto			
13		Inspección	Nivel de agua de enfriamiento adecuado. Mangueras en buen estado			
14		Inspección	Selector del regulador está en posición automática			
15		Inspección	Válvula solenoide e interruptor de flotador operando			
16		Inspección	Luces piloto y de falla en OFF (Incluir batería)			
17	Caseta bombeo	Inspección	Ventilación adecuada (no obstruida). Temperatura normal (21°C)			
18	Tanque cisterna	Inspección	Nivel de agua normal. No hay objetos extraños en el agua.			
19	Válvulas	Inspección	No hay presencia de fugas			
20		Inspección	Posición de las válvulas es la correcta			
21		Inspección	Válvula de compuerta hacia cabezal de pruebas está cerrada			
22	Válvula alivio presión	Inspección	El agua fluye a través de la válvula de alivio de presión			
23	Sistema de bombeo (sin flujo)	Prueba	Se puso en marcha el sistema automático de bombeo durante 30 minutos, decargando agua por válvula de alivio	Presión arranque: ____ psi Presión succión: ____ psi Presión descarga: ____ psi Arranque motor: ____ min Velocidad nominal: ____ min		
24	Sistema de escape	Mantenimiento	Se realizó la purga de condensación del desagüe			
25			La chimenea no está obstruida. Se sacudió la chimenea.			

Observaciones o comentarios		
Si es necesario utilice el dorso de la hoja		
*** Se debe justificar cualquier No marcado en la checklist ***		
Autorizado por:	Firma:	Fecha: ... / ... / ... Duración:

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

Tabla 31: Formato de orden de trabajo mensual, trimestral y semestral para el sistema contra incendios.

Orden de Trabajo Mensual, trimestral y semestral	
N° OT: <u>Año-Consecutivo</u>	

N°	Elemento	Actividad	Acción a realizar	Si	No
----	----------	-----------	-------------------	----	----

Periodicidad: Mensual

Realizado por:			Tipo de mantenimiento: Preventivo () Correctivo () Otro:		
1	Tanque cisterna (piscina)	Prueba	Se monitoreó la composición química del agua (ph y ppm de químicos) corroborando rangos máximos permitidos.		
Autorizado por:			Firma:	Fecha: ... / ... / ... Duración:	

Periodicidad: Trimestral

Realizado por:			Tipo de mantenimiento: Preventivo () Correctivo () Otro:		
2	Conexiones de bomberos	Inspección	Las conexiones de bomberos están accesibles		
3		Inspección	Los acoples no están dañados y giran fácilmente		
4		Inspección	Los rótulos de identificación están colocados		
5	Sensor de flujo	Prueba	Las alarmas de flujo de agua están funcionando de forma adecuada		
6	Filtro de combustible	Mantenimiento	Se brindó mantenimiento al filtro de combustible		
7	Baterías motor diésel	Mantenimiento	Terminales de conexión están limpios y ajustados		
8		Mantenimiento	Platinas están sumergidas en agua destilada en las celdas de la batería		
10	Respiradero motor diésel	Mantenimiento	Se limpió el respiradero del cárter en el sistema de lubricación del motor diésel		
Autorizado por:			Firma:	Fecha: ... / ... / ... Duración:	

Periodicidad: Semestral

Realizado por:			Tipo de mantenimiento: Preventivo () Correctivo () Otro:		
11	Sistema de control de bombeo	Mantenimiento	Se accionaron los medios de arranque manuales para verificar su correcto funcionamiento		
12	Tableros de control	Mantenimiento	Tableros de control están en condiciones normales		
13		Mantenimiento	No hay ningún cable suelto ni presencia de corrosión		
Autorizado por:			Firma:	Fecha: ... / ... / ... Duración:	

Observaciones o comentarios

Si es necesario utilice el dorso de la hoja

*** Se debe justificar cualquier No marcado en la checklist ***

Fuente: Elaboración propia en Excel 2016

Tabla 32: Formato de orden de trabajo anual para el sistema contra incendios.

Orden de Trabajo Anual		TEC Tecnológico de Costa Rica
N° OT: Año		
Realizado por:.....	Tipo de mantenimiento: Preventivo () Correctivo () Otro:.....	

N°	Elemento	Actividad	Acción a realizar	Si	No
1	Hidrantes (En el caso de las rutinas de inspección, también deben realizarse después de cada uso)	Inspección	Hidrantes en buen estado físico y sin fugas		
2		Inspección	Tapas y cadenas en puntos de conexión de mangueras		
3		Prueba	Cada hidrante se abrió completamente y se dejó fluir caudal durante 1 minuto y hasta que el agua no presentara impurezas		
4		Prueba	Se registró la presión del hidrante más crítico y se comparó con la presión de diseño (100 psi). Presión hidrante: ____ psi		
5		Mantenimiento	Se lubricó las salidas de cada hidrante		
6	Tuberías expuestas	Inspección	Tuberías en buen estado físico y sin fugas		
7		Inspección	No hay presencia de corrosión		
8		Inspección	Elementos de sujeción en buen estado		
9	Sistema de bombeo (con flujo)	Prueba	Se puso en marcha el sistema de bombeo a caudal cero, caudal nominal (1000 gpm) y caudal máximo (1500gpm), descargando el agua por el cabezal de pruebas		
10		Prueba	La válvula de seguridad está cerrada durante la prueba		
11		Prueba	Se registraron los datos requeridos (ver tabla de abajo)		
12		Prueba	Los valores registrados en la tabla son aceptables: Presión a caudal cero: menor a 231 psi, presión a caudal nominal: cercano o igual 165 psi y presión a caudal máximo mayor a 107 psi		
13		Prueba	Se revisó la alineación entre motor y bomba		

Caudal	Velocidad motor (rpm)	Presión succión (psi)	Presión descarga (psi)	Tamaño boquilla (in)	Promedio lecturas de flujo (gpm)
Cero					-
Nominal					
150% Nominal					

14	Válvula de alivio de presión	Prueba	Luego de realizar la prueba de flujo se abrió la válvula de alivio de presión y se verificó que abría y cerraba a las presiones ajustadas. Presión de apertura: ____ psi Presión de cierre: ____ psi		
15	Tableros de control	Prueba	Los detectores y sensores emitieron señales de falla después de simular situaciones de alarma que atentaban contra la operación segura del sistema		

Observaciones o comentarios		
Si es necesario utilice el dorso de la hoja		
*** Se debe justificar cualquier No marcado en la checklist ***		
Autorizado por:	Firma:.....	Fecha: .../.../... Duración:

N° OT: Año

Orden de Trabajo Anual



N°	Elemento	Actividad	Acción a realizar	Si	No
Periodicidad: Anual					
Realizado por:			Tipo de mantenimiento: Preventivo () Correctivo () Otro:		
16	Motor eléctrico bomba jockey	Prueba	Se midió corriente y voltaje en todas las líneas y se corroboró que estaban dentro de los rangos aceptables: Rango: 5% menos - 10% más del voltaje nominal de la placa del motor		
17		Mantenimiento	Se chequearon que las conexiones eléctricas estaban bien ajustadas y el cable en buenas condiciones.		
18	Válvulas de control	Prueba	Se operaron manualmente todas las válvulas de control hasta lograr una apertura y cierre completo (según corresponda) y se retornó la válvula a su posición original. (válvulas tipo vástago ascendente deben devolverse un cuarto de vuelta para evitar atascamiento)		
19	Equipo de bombeo	Mantenimiento	Se lubricaron los cojinetes y acoples del equipo de bombeo con tipo y cantidad de lubricante correctos		
20	Conexiones eléctricas	Mantenimiento	Se revisaron que las conexiones eléctricas estaban bien ajustadas		
21	Sistema de enfriamiento	Mantenimiento	Se realizó una limpieza del interior del intercambiador de calor		
22		Mantenimiento	Se verificó que el flujo de agua de enfriamiento es adecuado		
23	Válvula vástago ascendente	Mantenimiento	Se lubricaron los vástagos de operación de las válvulas de vástago ascendente (OS&Y)		
24	Bomba jockey	Mantenimiento	Se anotaron las presiones de encendido y apagado de la bomba jockey. Presión encendido: ____ psi Presión apagado: ____ psi		
25		Mantenimiento	Se verificó que las válvulas de bomba jockey están abiertas		
26		Mantenimiento	Se chequeó la alineación correcta con el eje del motor eléctrico		
Autorizado por:			Firma:	Fecha: .../.../....	Duración:

Periodicidad: Cada 5 Años					
Realizado por:			Tipo de mantenimiento: Preventivo () Correctivo () Otro:		
1	Interior tanque cisterna (piscina)	Inspección	Se inspeccionó el interior de la piscina para detectar problemas (corrosión, picaduras). Se verificó buen estado de placa anti-vórtice		
2	Válvulas de retención	Inspección	Se inspeccionó internamente las válvulas de retención para corroborar su buen estado y operación correcta		
3	Tubería subterránea	Prueba	Se hizo fluir caudal por la tubería (750 gpm, 3 hidrantes) y se compararon los resultados medidos (presión) con los valores teóricos y resultados de pruebas anteriores confirmando que son		
4	Válvula de alivio de presión	Prueba	Se realizó una prueba de flujo total (ver anexo A.12.4.4.2.2.2, norma NFPA 25) y se compararon resultado con pruebas anteriores		
5	Tuberías	Prueba	Se hizo funcionar el sistema con una presión de 13,8 bar (200 psi) durante un lapso de 2 horas para probar estado de la tubería		
Autorizado por:			Firma:	Fecha: .../.../....	Duración:

Observaciones o comentarios
Si es necesario utilice el dorso de la hoja
*** Se debe justificar cualquier No marcado en la checklist ***

Apéndice 9: Datos para definir los puntos de operación de la bomba.

Tabla 34: Datos utilizados para elaborar las curvas del sistema a 750 gpm y 1000 gpm

Bomba a 1000 gpm		Bomba a 750 gpm	
Cv1	77,85	Cv2	58,39

Q (gpm)	h _f 1 (psi)	Q (gpm)	h _f 2 (psi)
50	0,41	40	0,47
100	1,65	80	1,88
150	3,71	120	4,22
200	6,60	160	7,51
250	10,31	200	11,73
300	14,85	240	16,89
350	20,21	280	23,00
400	26,40	320	30,03
450	33,41	360	38,01
500	41,25	400	46,93
550	49,91	440	56,78
600	59,40	480	67,58
650	69,71	520	79,31
700	80,85	560	91,98
750	92,81	600	105,59
800	105,60	640	120,14
850	119,21	680	135,63
900	133,65	720	152,05
950	148,91	760	169,41
1000	165,00	800	187,72
1050	181,91	840	206,96
1100	199,65	880	227,14
1150	218,21	920	248,26
1200	237,60	960	270,31
1250	257,81	1000	293,31
1300	278,85		
1350	300,71		
1400	323,40		

Nota: Los datos utilizados para crear la curva P versus Q de la bomba principal que se observa en la Figura 32 se obtienen de la Figura 54 (anexo 8)

ANEXOS

Anexo 1: Lista de químicos agregados a la piscina

Tabla 35: Químicos y dosis semanal agregados a la piscina

Nombre del Químico	Dosis Semanal
Hipoclorito de calcio (en grano)	12 kilos (uso de shock de cloro)
Sulfato de cobre (alguicida)	2 litros
CLARIFOC (Clarificador)	2 litros
Bicarbonato de sodio	10 kilos
Ácido Tricloro Isocianúrico	8 kilos

Fuente: Unidad de Deportes, ITCR

Tabla 36: Concentraciones de químicos en el agua de la piscina

Químico	Concentración
Cloro Libre	1 ppm - 3 ppm
ph	7,4 - 7,6
Alcalinidad	80 ppm - 120 ppm
Dureza	200 ppm - 400 ppm
Ácido Cianúrico	Máximo 75 ppm

Fuente: Unidad de Deportes, ITCR

De acuerdo a la Unidad de Deportes de la universidad, específicamente el encargado de brindar mantenimiento semanal a la piscina institucional y consultando las tablas de compatibilidad química suponiendo que la bomba del sistema contra incendios posee materiales estándar (eje de acero inoxidable, carcasa de hierro fundido e impulsor de bronce) se concluye que:

- El valor actual de ph en la piscina tiene un valor de 7,5, sin embargo, el Reglamento de piscinas (2009) permite una magnitud de ph entre 6,8 y 8, por lo que se debe disminuir el valor de ph a 7 (valor de acidez neutra), esto utilizando algún de los químicos permitidos en el mismo Reglamento de piscinas para tal fin.

- El hipoclorito de calcio (en grano) utilizado para la desinfección de la piscina, la mayoría se disuelve en el agua y el residual se deposita en el fondo de la piscina. El hipoclorito de calcio si tiene un efecto severo sobre el bronce y el hierro fundido por lo que se estaría recomendando la sustitución de este químico en el mantenimiento de la piscina. En su lugar utilizar hipoclorito de sodio también permitido por el Reglamento de piscinas (2009) y cuya afectación sería mucho menor sobre los materiales de la bomba.
- El bicarbonato de sodio se diluye aumentando la alcalinidad del agua. Su afectación en los materiales estándar de la bomba es mínima.
- El sulfato de cobre utilizado como alguicida se agrega a la piscina diluido en mililitros mínimos por galón, por lo tanto, aunque es un químico que no es compatible con el hierro fundido, su afectación es sumamente baja y no se considera un riesgo para la integridad del equipo de bombeo.
- En el caso del cloro, este químico si afecta los materiales de la bomba. Es importante recordar que el agua potable de cualquier acueducto tiene una concentración de cloro entre 0,5 a 1 ppm, por lo tanto, se recomienda mantener el cloro al valor mínimo posible en el agua de la piscina.

Anexo 2: Pérdida de presión y velocidad para el caudal máximo probable

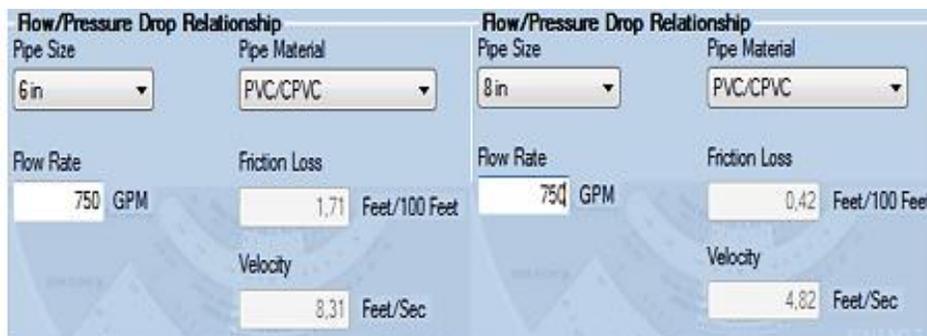


Figura 50: Velocidad de flujo y pérdida de presión para diámetros de 150 y 200 mm
Fuente: Software System Syzer V4.4

Anexo 3: Datos importantes de la tubería PVC C900

Tabla 37: Propiedades físicas y químicas del PVC C900

PROPERTY	AWWA C900 BLUE BRUTE™ PVC PIPE
Fiber Hoop Stress at 73° F	
Minimum Short Term Bursting Strength (psi)	6400
1,000 Hour Strength (psi) min	4200
Working Pressure Rating	
73° F (% of rating at 73° F)	100%
80° F (% of rating at 73° F)	88%
100° F (% of rating at 73° F)	62%
Chemical Resistance at 73° F	
Acids	Excellent
Salts - Bases	Excellent
Physical Properties of Compound Std. Test Specimens	
Minimum Tensile Strength (psi) at 73° F	7000
Thermal Expansion (in / 100 ft / 50° F Change)	2"
Fire Resistance	Self Extinguishing
Flame Spread	10
Smoke Development	330
Coefficient of Flow Hazen & Williams	C = 150
Mannings N Value	N = 0.009

* For data, sizes, or classes not reflected in these charts, please contact JM Eagle™ for assistance.

Fuente: Catálogo de JM Eagle

Tabla 38: Capacidad de presión máxima permisible en un aumento ocasional y cambios bruscos en la velocidad del agua permisibles en la tubería a 23 °C

DR	Pressure Class (PC)	Occasional Surge Pressure Capacity	Corresponding Sudden Delta V with WP = % of PC			
			100%	80%	60%	40%
	(psi)	(psi)	(fps)	(fps)	(fps)	(fps)
25	165	264	6.7	9.0	11.2	13.5
18	235	376	8.1	10.8	13.5	16.2
14	305	488	9.2	12.3	15.4	18.5

*The surge pressure tolerances in this table apply only to pipe and not to system components, which may have lesser tolerances. The design should consider possible system reactions and their potential effect on system components.

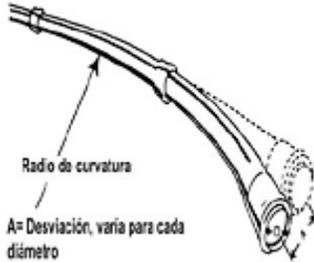
See Sec. 3 for definitions of recurring and occasional surge pressures.

A pipe may sometimes be subjected to net negative internal pressure because of the individual or combined effect of internal negative transients and external forces (such as water table). When this situation exists, refer to the supplier for information on the hydraulic collapse resistance of the pipeline.

Fuente: Norma AWWA C900

Tabla 39: Deflexión máxima recomendada según grosor para la tubería PVC C900

Tamaño de tubería D mm pulg	RD 25, 18, 14			
	Desviación máxima A mm pulg		Ángulo de desviación resultante	Radio de curvatura resultante m pies
100 4	600 24	5.7°	30 100	
150 6	430 17	4.0°	44 144	
200 8	300 12	3.0°	58 189	
250 10	n/r n/r		- -	
300 12	n/r n/r		- -	



Fuente: Catálogo de Durman

Codo de 90°



Tamaño nominal	A		B		C	
mm pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg
100 4	257	10.4	159	6.25	257	10.14
150 6	353	13.90	226	8.88	353	13.90
200 8	430	16.90	289	11.36	430	16.90

Codo de 45°



Tamaño nominal	A		B	
mm pulg	mm	pulg	mm	pulg
100 4	143	5.63	159	6.27
150 6	192	7.56	225	8.80
200 8	224	8.80	287	11.30

Codo de 22½°



Tamaño nominal	A		B	
mm pulg	mm	pulg	mm	pulg
150 6	173	6.82	225	8.84
200 8	200	7.90	287	11.30

Tee

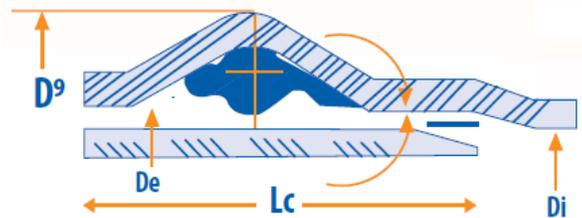


Tamaño nominal	A		B		C		D		
mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg		
100x100x100	4x4	35.7	14.04	159	6.27	258	10.15	124	4.88
150x150x100	6x4	43.2	16.99	226x159	8.88x6.27	316	12.43	176	6.93
150x150x150	6x6	48.1	18.92	226	8.88	353	13.90	176	6.93
200x200x100	8x4	47.1	18.55	289x159	11.37x6.27	373	14.68	232	9.13
200x200x150	8x6	52.0	20.48	289x226	11.37x8.88	410	16.14	232	9.13
200x200x200	8x8	57.1	22.46	289	11.37	430	16.91	232	9.13

Figura 51: Accesorios utilizados para la distribución de tuberías.
Fuente: Catálogo de Durman

Tabla 40: Dimensiones estandarizadas para la tubería PVC C900, grosor DR 14

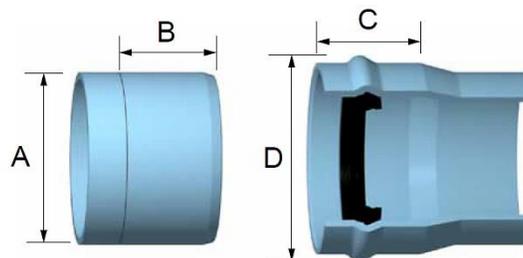
DIAMETRO NOMINAL (pul)	Diám. ext. (De) (mm)	Diám. int. (Di) (mm)	Espesor de pared (e) (mm)	Long. de campana (Lc) (mm)	D _s (mm)	Peso aprox. (kg/m)
4	121.9	103.4	8.7	120.7	172.7	4.75
6	175.3	148.8	12.5	139.7	238.8	9.96
8	229.9	195.1	16.4	158.8	307.3	17.24
10	281.9	239.3	20.1	177.8	363.2	26.15
12	335.3	284.5	24.0	198.1	429.3	37.29



Fuente: Catálogo de Cresco

Tabla 41: Dimensiones estandarizadas de la espiga y campana de la tubería PVC C900

Diametro Nominal	Diametro Exterior A	Largo de insercion de la Espiga B	Profundidad Aprox. De la Campana C	Diametro Exterior Aprox. De la Campana D
Pulgadas				
4	4.80	3.88	5.00	6.50
6	6.90	5.13	5.75	9.25
8	9.05	6.13	7.00	11.75
10	11.10	6.63	7.25	14.25
12	13.20	7.38	8.00	16.75



Fuente: Norma AWWA C900

Anexo 4: Tablas utilizadas para el cálculo de pérdida de presión.

Tabla 42: Longitud equivalente de accesorios para un C=120

Accesorios y válvulas (in)	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5	6	8	10	12
Codo 45 grados	1	1	1	2	2	3	3	3	4	5	7	9	11	13
Codo 90 grados	2	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	18	22	27
Codo 90 grados (radio largo)	1	2	2	2	3	4	5	5	6	8	9	13	16	18
Tee o cruz	3	5	6	8	10	12	15	17	20	25	30	35	50	60
Válvula mariposa					6	7	10		12	9	10	12	19	21
Válvula de compuerta					1	1	1	1	2	2	3	4	5	6
Anti-retorno giratorio		5	7	9	11	14	16	19	22	27	32	45	55	65
Válvula de globo				46		70								
Válvula de ángulo				20		31								

Fuente: Tabla 8.3.1.3, NFPA 14 (Reeditado)

Tabla 43: Valores del coeficiente C de Hazen - Williams

Material Tubería	Valor de C
Hierro fundido sin revestimiento interior	100
Acero negro (sistemas secos)	100
Acero negro (sistemas húmedos)	120
<u>Galvanizado (todos)</u>	<u>120</u>
<u>Plásticos</u>	<u>150</u>
Hierro fundido con revestimiento interno de cemento	140
Tubo de cobre o acero inoxidable	150

Fuente: Tabla 8.3.2.3, NFPA 14 (Reeditado)

Tabla 44: Ajuste de factores para diferentes valores de C

Factor multiplicador	Valor de C
0,713	100
1,16	130
1,33	140
<u>1,51</u>	<u>150</u>

Fuente: Tabla 8.3.2.2, NFPA 14 (Reeditado)

Anexo 5: Tablas para el cálculo de bloques de inercia y abrazaderas.

Tabla 45: Área de superficie de apoyo mínima para los bloques de inercia

Diámetro Tubería in (mm)	Dimensión F mínima in (mm)	Codo 90° ft ² (m ²)	Codo 45° ft ² (m ²)	Tees, hidrantes, válvulas, tapones ft ² (m ²)
4 (100)	4 (100)	2 (0,2)	2 (0,2)	2 (0,2)
6 (150)	4 (100)	5 (0,5)	3 (0,3)	4 (0,4)
<u>8 (200)</u>	<u>6 (150)</u>	<u>8 (0,7)</u>	<u>5 (0,5)</u>	<u>6 (0,6)</u>
10 (250)	8 (200)	13 (1,2)	7 (0,7)	9 (0,8)
12 (300)	8 (200)	18 (1,7)	10 (0,9)	13 (1,2)
14 (350)	10 (250)	25 (2,3)	14 (1,3)	18 (1,8)
16 (400)	12 (300)	32 (3,0)	18 (1,7)	23 (2,3)

Nota: Las áreas se obtuvieron utilizando 225 psi de presión de agua y 2000 lb/ft² de resistencia de terreno. Esto es típico para terrenos de arena y grava con roca. Para otros tipos de terreno, se debe multiplicar los valores de la tabla por los siguientes factores: Arcilla suave: 4, Arena: 2, Arena y grava: 1,3, Arena y grava cementada con arcilla: 0,5 y capa dura de esquisto: 0,4.

Fuente: Tabla 2, Norma FM 3-10 (Reeditado)

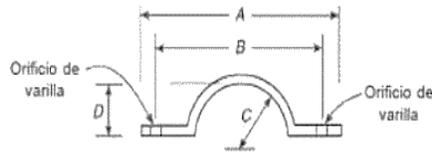
Tabla 46: Dimensiones para los bloques de inercia

Diámetro Tubería in (mm)	Tee, válvula, tapón		Codo 90°		Codo 45°	
	A (cm)	B (cm)	A (cm)	B (cm)	A (cm)	B (cm)
4 (100)	40	45	40	60	40	60
6 (150)	45	90	45	90	45	90
<u>8 (200)</u>	<u>45</u>	<u>90</u>	<u>45</u>	<u>90</u>	<u>45</u>	<u>90</u>

Fuente: Globaltec Technologies S.A. (Reeditado)

Tabla 47: Dimensiones estandarizadas para las abrazaderas.

Diámetro Tubería in (mm)	A		B		C		D	
	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
4 (100)	12 1/2	318	10 1/8	257	2 1/2	64	1 3/4	44
6 (150)	14 1/2	368	12 1/8	308	3 9/16	90	2 13/16	71
8 (200)	16 1/4	425	14 1/8	365	4 21/32	118	3 29/32	99
10 (250)	19 1/16	484	16 11/16	424	5 3/4	146	5	127
12 (300)	22 5/16	567	19 3/16	487	6 3/4	171	5 7/8	149



Fuente: Tabla 10.8.3.2.3, Norma NFPA 24 (Reeditado)

Tabla 48: Dimensiones de tornillo, arandela y varilla a utilizar por las abrazaderas

Diámetro Tubería in (mm)	Tamaño tornillo in (mm)	Arandela in (mm)		Número de varilla
		Hierro Fundido	Acero	
4(100)	5/8 (16)	5/8x3 (16x80)	1/2x3 (13x80)	2
6 (150)				3
8 (200)				4
10 (250)	3/4 (19)	3/4x3-1/2 (18x90)	1/2x3-1/2 (13x90)	4
12 (300)	7/8 (22)			6

Notas:

1. La tabla anterior se realizó utilizando una presión de agua igual a 225 psi y un esfuerzo de diseño de 25 000 psi.
2. El largo de la varilla requerido depende del accesorio y tubería. Este deberá determinarse en campo.
3. Las arandelas deberán ser redondas o cuadradas.
4. El orificio para tornillos debe ser 1/16 in (1,6 mm) mayor que el diámetro del tornillo.
5. El orificio para las varillas deberá ser 1/8 in (3,2 mm) mayor que el diámetro de la varilla.

Fuente: Artículo 10.8.3, Norma NFPA 24 (Reeditado)

Anexo 6: Datos de selección normalizados para bombas centrífugas

Tabla 49: Resumen de información de bombas centrífugas contra incendio en unidades inglesas y en unidades del sistema internacional (SI)

Pump Rating (gpm)	Minimum Pipe Sizes (Nominal) (in.)						
	Suction ^{a,b,c}	Discharge ^a	Relief Valve	Relief Valve Discharge	Meter Device	Number and Size of Hose Valves	Hose Header Supply
25	1	1	¾	1	1¼	1 — 1½	1
50	1½	1½	1¼	1½	2	1 — 1½	1½
100	2	2	1½	2	2½	1 — 2½	2½
150	2½	2½	2	2½	3	1 — 2½	2½
200	3	3	2	2½	3	1 — 2½	2½
250	3½	3	2	2½	3½	1 — 2½	3
300	4	4	2½	3½	3½	1 — 2½	3
400	4	4	3	5	4	2 — 2½	4
450	5	5	3	5	4	2 — 2½	4
500	5	5	3	5	5	2 — 2½	4
750	6	6	4	6	5	3 — 2½	6
1000	8	6	4	8	6	4 — 2½	6
1250	8	8	6	8	6	6 — 2½	8
1500	8	8	6	8	8	6 — 2½	8
2000	10	10	6	10	8	6 — 2½	8
2500	10	10	6	10	8	8 — 2½	10
3000	12	12	8	12	8	12 — 2½	10
3500	12	12	8	12	10	12 — 2½	12
4000	14	12	8	14	10	16 — 2½	12
4500	16	14	8	14	10	16 — 2½	12
5000	16	14	8	14	10	20 — 2½	12

Pump Rating (L/min)	Minimum Pipe Sizes (Nominal) (mm)						
	Suction ^{a,b,c}	Discharge ^a	Relief Valve	Relief Valve Discharge	Meter Device	Number and Size of Hose Valves	Hose Header Supply
95	25	25	19	25	32	1 — 38	25
189	38	32	32	38	50	1 — 38	38
379	50	50	38	50	65	1 — 65	65
568	65	65	50	65	75	1 — 65	65
757	75	75	50	65	75	1 — 65	65
946	85	75	50	65	85	1 — 65	75
1,136	100	100	65	85	85	1 — 65	75
1,514	100	100	75	125	100	2 — 65	100
1,703	125	125	75	125	100	2 — 65	100
1,892	125	125	75	125	125	2 — 65	100
2,839	150	150	100	150	125	3 — 65	150
3,785	200	150	100	200	150	4 — 65	150
4,731	200	200	150	200	150	6 — 65	200
5,677	200	200	150	200	200	6 — 65	200
7,570	250	250	150	250	200	6 — 65	200
9,462	250	250	150	250	200	8 — 65	250
11,355	300	300	200	300	200	12 — 65	250
13,247	300	300	200	300	250	12 — 65	300
15,140	350	300	200	350	250	16 — 65	300
17,032	400	350	200	350	250	16 — 65	300
18,925	400	350	200	350	250	20 — 65	300

Fuente: Artículo 4.26, Norma NFPA 20

Anexo 7: Dimensionamiento de chimenea del motor de diesel.

Exhaust Backpressure Calculator

LOCATION

USA Purchased
 UK Purchased

UNITS

English Units
 Metric Units

MARKET

UL/FM/NFPA20
 LPCB
 Non-Listed
 APSAD

Engine Series, Model, RPM/HP:

DDFP	UFADP8	1470 / 136HP
DP6H	UFADQ0	1760 / 175HP
DQ6H	UFADR0	2100 / 207HP
DR8H	UFADR8	2350 / 200HP
DS0H	UFADS0	2600 / 200HP
D50R	UFADS8	
DT2H	UFADT0	
IK6H	UFADW8	
IK6R	UFADX8	
JDFP	UFD0	
JU4H	UFD2	
JU4R	UFG8 *	
JU6H	UFKAQ8 *	
JU6R	UFM0	

* denotes obsolete model

SILENCER TYPE

Critical
 Hospital
 Industrial
 Residential
 No silencer
 Non-Clarke silencer

SILENCER CONFIG:

End in, End out
 Side in, End out
 Side in, Side out

3" Industrial, P/N 00C06542, NPT
3.5" Industrial, P/N 00C06543, NPT
4" Industrial, P/N 00C06544, 150# Flange
5" Industrial, P/N 00C06545, 150# Flange
6" Industrial, P/N 00C06546, 150# Flange
8" Industrial, P/N 00C06547, 150# Flange
10" Industrial, P/N 00C06548, 150# Flange

EXHAUST PIPING DATA:

Number 90° elbow or Y:

Number 45° elbows:

Number Tees:

Straight Pipe (Feet):

Pipe Size:

BACKPRESSURE CALCULATIONS
(inches water)

9.0	Pipe
+	4.6 Silencer (see note 1)
<hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/>	
13.5	Total
25.0	Maximum Allowable Backpressure

Result: Total Backpressure is within limits

1) CAUTION: Silencer Backpressure is based upon a Clarke USA provided Silencer. Actual Silencer Backpressure will vary depending upon the actual Silencer used (manufacturer, size, type and model). If the total Backpressure from the pipe, Silencer and orifice plate (if required) is close to the engine Maximum Allowed Backpressure, it is highly recommended you obtain the actual Backpressure (for the engine exhaust flow given above) on the Silencer being used and then confirm that the total Backpressure is still under the Maximum Allowed Backpressure.

2) Schedule 40 pipe used in calculations

3) All pipe sizes and lengths are in inches and feet.

Figura 52: Dimensionamiento de la chimenea para el motor de diesel
Fuente: Clarkefire, 2015

Anexo 8: Catálogos de equipo hidráulico

Equipo de bombeo para aplicación en servicio contra incendio que cumple con NFPA-20, compuesto de:

Item	Cant	Descripción
1	1	<p>Bomba tipo horizontal carcasa partida, Listada UL y Aprobada FM:</p> <p>Marca: SPP Flujo: 1000 GPM P. D. C.: 200.8 PSI Modelo: TE12E P. Desc: 165 PSI Rotación: CW RPM: 2600 HP Max.: 170.0 BHP Const: Fo.Fo / Bce Succ: 6" 250# FF Desc: 5" 250# FF</p> <p>Accesorios incluidos:</p> <p>1 Juego de manómetros: 4" Dial, Succ: -30-300 PSI , Desc: 0 - 300 PSI 1 Válvula de alivio de aire: 1/2" , PSI max: 300 , Listada: UL 1 Base común bomba-motor de acero: Sin charola de goteo 1 Guardacople estándar</p>
1	1	<p>Motor de combustión interna diesel, Listado UL y Aprobado FM:</p> <p>Marca: Clarke Tier: 1 RPM: 2600 % Ded.: 13.2 VDC: 12 HZ: 60 Modelo: JU6H-UFM2 HP: 200.0 HP Ded.: 173.6 VAC: 230 F: 1</p> <p>Accesorios incluidos:</p> <p>1 Barra cardán (drive shaft): Listada UL 1 Conector flexible estándar: 5" 1 Silenciador: 5" Tipo: Residencial 1 Sistema de enfriamiento: 1" 250 PSI max 1 Juego de 2 (Dos) baterías con rack y cables: Tipo: Plomo-Acido</p>
1	1	<p>Tablero de control diesel, Listado UL y Aprobado FM:</p> <p>Marca: Firetrol VDC: 12 F: 1 Montaje: Pared PSI max: 300 Modelo: FTA1100 VAC: 230 HZ: 60 Nema: 2 Incluye: Alarmas y características estándar;</p>
2	1	<p>Accesorios Opcionales:</p> <p>Bomba Jockey tipo vertical en línea:</p> <p>Marca: Grundfos GPM: 10 RPM: 3450 Volts: 230 Modelo: CR1-21 PSI: 175 F: 3 Motor: TCCV HP: 3.00 HZ: 60</p>
3	1	<p>Tablero de control para bomba jockey, Listado UL:</p> <p>Marca: Firetrol HP: 3.00 Volts: 230 Montaje: Pared Modelo: FTA550F F: 3 HZ: 60 Nema: 2 Non Metallic Arranque: Directo Incluye: Alarmas y opciones estándar;</p>
4	1	Tanque diesel, UL-142: 250 Gal., Listado: UL, Pared: Sencilla
5	1	Medidor de flujo: 6-1000-G , Tipo: Ranurado
6	1	Válvula de alivio principal: 2050B-4KG-1 , 4" , 300# x 150# , Tipo: Angular
7	1	Cono se sobreflujo: 4" 125# FF x 8" 125# FF
8	1	Reductor excéntrico en la succión: 8" 125# FF x 6" 250# FF
9	1	Reductor concéntrico de descarga: 5" 250# FF x 6" 250# FF



1. Notas Técnicas y Observaciones:

- 1.01 El equipo cotizado es construido de acuerdo al diseño y materiales estándar de SPP Pumps y en cumplimiento con los requerimientos mínimos de UL, FM y NFPA-20. No se incluye el cumplimiento por parte de SPP Pumps de cualquier otro estándar

**Figura 53: Equipo de bombeo seleccionado para el proyecto propuesto.
Fuente: SPP Pumps**

Pump Performance Datasheet					
Customer	: 6115- SPP Inc Mexico	Quote number	: 238123		
Customer enquiry	: 1000-165 HBD	Pump Size	: TE12E		
Item number	: 001	Stages	: 1		
Usage - Tertiary	:	Based on curve number	: TE12E-FMT-C2600 Rev 0		
Quantity	: 1	Date last saved	: 12 Oct 2016 12:31 PM		
Operating Conditions			Liquid		
Flow, rated	: 1,000.0 USgpm	Liquid Type/ Application	: Water		
Differential Head (requested)	: 165.0 psi	Additional liquid description	:		
Suction pressure, rated / max	: 0.00 / 0.00 psi.g	Temperature, max	: 68.00 deg F		
NPSH available, rated	: Ample	Fluid density rated	: 1.000 / 1.000 SG		
Frequency	: 60 Hz	Viscosity, rated	: 1.00 cP		
Flow (USgpm)	Head (psi)	Pump Efficiency (%)	Power Required (hp)	NPSH required (ft)	
0.00	200.8	0	66.52	-	
260.3	194.3	36	81.07	-	
520.6	187.7	58	98.43	-	
780.9	177.6	69	117	-	
1,041.2	162.1	74	133	-	
1,301.6	140.5	73	146	-	
1,561.9	111.8	65	156	-	
1,822.2	74.10	48	163	-	
2,082.5	23.37	17	170	-	

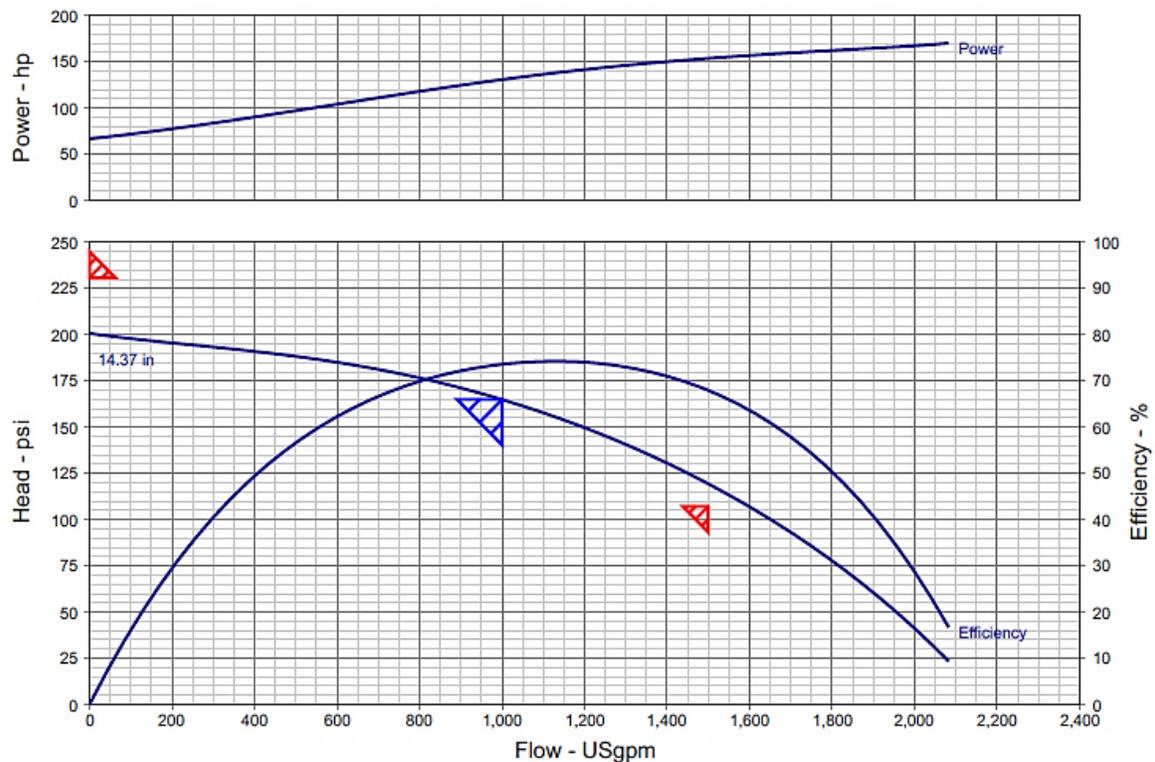
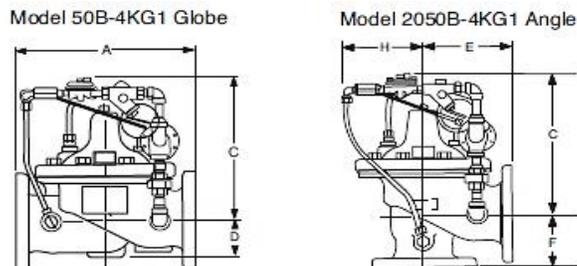


Figura 54: Información de las curvas características de la bomba principal seleccionada
Fuente: SPP Pumps

Nota: Los triángulos que se visualizan en el gráfico son las tres capacidades de operación que reglamenta la norma NFPA 20 (caudal cero, caudal nominal y 150% del caudal nominal).

Pump Performance Datasheet			
Customer	: 6115- SPP Inc Mexico	Quote number	: 238123
Customer enquiry	: 1000-165 HBD	Pump Size	: TE12E
Item number	: 001	Stages	: 1
Usage - Tertiary	:	Based on curve number	: TE12E-FMT-C2600 Rev 0
Quantity	: 1	Date last saved	: 12 Oct 2016 12:31 PM
Operating Conditions		Liquid	
Flow, rated	: 1,000.0 USgpm	Liquid Type/ Application	: Water
Differential Head (requested)	: 165.0 psi	Additional liquid description	:
Suction pressure, rated / max	: 0.00 / 0.00 psi.g	Temperature, max	: 68.00 deg F
NPSH available, rated	: Ample	Fluid density rated	: 1.000 / 1.000 SG
Frequency	: 60 Hz	Viscosity, rated	: 1.00 cP
NFPA Limits		Performance	
Flow, rated	: 1,000.0 USgpm	Speed, rated	: 2600 rpm
Head, rated	: 165.1 psi	Impeller diameter, rated (approx.)	: 14.37 in
Power, rated	: 131 hp	Impeller diameter, maximum	: 14.96 in
NPSHr, rated	: -	Impeller diameter, minimum	: 11.22 in
Efficiency, rated	: 74 %	Efficiency	: 74 %
Flow at 150%	: 1,500.0 USgpm	NPSH required / margin required	: - / 0.00 ft
Head at 150%, actual/limit	: 119.4 psi	Head, maximum, rated diameter (approx.)	: 200.8 psi
Efficiency at 150%	: 68 %	Diameter ratio (rated / max)	: 96.05 %
NPSHr at 150% flow	: -	Driver & Power Data	
Power required at 150% flow	: 154 hp	Power, hydraulic	: 96.24 hp
Peak power	: 170 hp	Power, rated	: 131 hp
Closed valve pressure	: 200.8 psi.g	Power, maximum, rated diameter	: 170 hp
140% Head at shutoff	: 231.0 psi	Material	
65% Head at 150% flow	: 107.2 psi	Material selected	: CI / Br / CS (Standard)
Cooling flow (None)	: 0.00 USgpm	Selection status	
Pressure Data		FM/UL/cUL approved	: FM/UL/cUL
Maximum working pressure	: 200.8 psi.g	Near miss reasons	:
Maximum allowable working pressure	: 362.6 psi.g		
Maximum allowable suction pressure	: 72.52 psi.g		
Hydrostatic test pressure	: 301.1 psi.g		

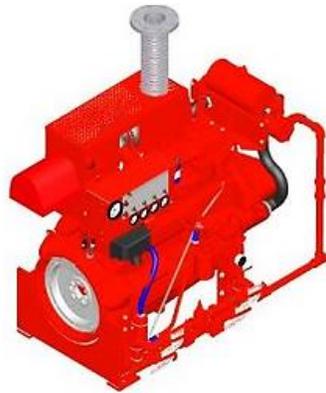
Figura 55: Hoja de datos de la bomba del sistema contra incendios.
Fuente: SPP Pumps



We recommend providing adequate space around valve for maintenance work.

Valve Size (inches)	2"	2-1/2"	3"	4"	6"	8"	10"
Threaded Ends	9.38	11.00	12.50	---	---	---	---
A 150 Flanged	9.38	11.00	12.00	15.00	20.00	25.38	29.75
300 Flanged	10.00	11.62	13.25	15.62	21.00	26.38	31.12
300 X 150			12.88	15.31	20.56	25.88	30.44
B	3.31	4.00	4.56	5.75	7.88	10.00	11.81
C	12.00	12.25	12.50	13.00	14.31	16.31	18.00
D	1.50	1.69	2.66	3.19	4.31	5.31	9.25
Threaded Ends	4.75	5.50	6.25	---	---	---	---
E 150 Flanged	4.75	5.50	6.00	7.50	10.00	12.75	14.88
300 Flanged	5.00	5.88	6.38	7.88	10.50	13.25	15.56
Threaded Ends	3.25	4.00	4.50	---	---	---	---
F 150 Flanged	3.25	4.00	4.00	5.00	6.00	8.00	8.62
300 Flanged	3.50	4.31	4.38	5.31	6.50	8.50	9.31
G & H	6.00	6.69	7.75	7.88	8.50	9.75	13.25

Figura 56: Especificaciones válvula de alivio de presión
Fuente: CLA-VAL



SPECIFICATIONS

Number of Cylinders	6
Aspiration	T
Rotation*	Clockwise (CW)
Overall Dimensions - in. (mm)	57 (1458) L x 37 (931) W x 46 (1164) H
Crankshaft Centerline Height - in. (mm)	14 (356)
Weight - lb(kg)	1657 (750)
Compression Ratio	17.0:1
Displacement - cu. in. (l)	414 (6.8)
Engine Type	4 Stroke Cycle - In-line Construction
Bore & Stroke - in.(mm)	4.19 x 5.00 (106 x 127)
Engine Series	John Deere 6068 Series
Emissions	NSPS Compliant Available until 12/31/2009 ¹

CLARKE

Fire Protection Products, Inc.

JU6H-UFM2

INSTALLATION & OPERATION DATA (I&O Data)

USA Produced

	2350	2600
Exhaust System		
Exhaust Flow - ft. ³ /min (m ³ /min) -----	1299 (36.8)	1068 (30.2)
Exhaust Temperature - °F (°C) -----	977 (525)	989 (532)
Maximum Allowable Back Pressure - in H ₂ O (kPa) -----	25 (6.2)	25 (6.2)
Minimum Exhaust Pipe Dia. - in (mm) ^[3] -----	5 (127)	5 (127)
Fuel System	2350	2600
Fuel Consumption - gal/hr (L/hr) -----	12.6 (47.7)	12.4 (46.9)
Fuel Return - gal/hr (L/hr) -----	7.7 (29.1)	8.4 (31.8)
Fuel Supply - gal/hr (L/hr) -----	20.3 (76.8)	20.8 (78.7)
Fuel Pressure - lb/in ² (kPa) -----	3 (20.7) - 4 (27.6)	
Minimum Line Size - Supply - in. -----	.50 Schedule 40 Steel Pipe	
Pipe Outer Diameter - in (mm) -----	0.848 (21.5)	
Minimum Line Size - Return - in. -----	.375 Schedule 40 Steel Pipe	
Pipe Outer Diameter - in (mm) -----	0.675 (17.1)	
Maximum Allowable Fuel Pump Suction Lift with clean Filter - in H ₂ O (mH ₂ O) -----	31 (0.8)	
Maximum Allowable Fuel Head above Fuel pump, Supply or Return - ft (m) -----	4.5 (1.4)	
Fuel Filter Micron Size -----	5	

Figura 57: Especificaciones del motor de diesel
Fuente: Clarke



Lista de Precios



TUBERIAS Y ACCESORIOS DURMAN C900

Precios válidos a partir del 01 de Octubre del 2014



Ultima actualización: 26/05/2016

FIGURA	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	Precio de venta (c) + IV	Precio de venta (c)
	2025259	TUBO PVC 100MM(4")X6M DR18 C900 CEL CE	58.521,00	66.128,73
	2025260	TUBO PVC 150MM(6")X6M DR18 C900 CEL CE	120.739,00	136.435,07
	2025261	TUBO PVC 200MM(8")X6M DR18 C900 CEL CE (**)	207.982,00	235.019,66
	2025262	TUBO PVC 250MM(10")X6M DR18 C900 CEL CE (**)	312.786,00	353.448,18
	2025263	TUBO PVC 300MM(12")X6M DR18 C900 CEL CE (**)	442.008,00	499.469,04
	2025264	TUBO PVC 100MM(4")X6M DR14 C900 CEL CE	73.839,00	83.438,07
	2025265	TUBO PVC 150MM(6")X6M DR14 C900 CEL CE	152.574,00	172.408,62
	2025266	TUBO PVC 200MM(8")X6M DR14 C900 CEL CE (**)	262.307,00	296.406,91
	2025267	TUBO PVC 250MM(10")X6M DR14 C900 CEL CE (**)	394.832,00	446.160,16
	2025268	TUBO PVC 300MM(12")X6M DR14 C900 CEL CE (**)	558.354,00	630.940,02
<p>Code de 90°</p>	9045689	CODO PVC 100MM(4")X90° DR18 C900 CE	39.097,00	44.179,61
	9039019	CODO PVC 150MM(6")X90° DR18 C900 CE	69.642,00	78.695,46
	9038105	CODO PVC 200MM(8")X90° DR18 C900 CE (**)	121.702,00	137.523,26
<p>Code de 45°</p>	9045691	CODO PVC 100MM(4")X45° DR18 C900 CE	39.097,00	44.179,61
	9039021	CODO PVC 150MM(6") X 45° DR18 C900 CE	67.826,00	76.643,38
	9038104	CODO PVC 200MM(8")X45° DR18 C900 CE (**)	100.165,00	113.186,45
<p>Code de 22½°</p>	9038099	CODO PVC 100MM(4")X22.5° DR18 C900 CE	40.649,00	45.933,37
	9035665	CODO PVC 150MM(6") X 22.5° DR18 C900 CE	67.826,00	76.643,38
	9038103	CODO PVC 200MM(8")X22.5° DR18 C900 CE (**)	99.564,00	112.507,32

Figura 58: Costo de tuberías y accesorios de PVC C900
Fuente: SPP Pumps

Nota: Se aclara que los precios unitarios que se observan en la imagen anterior no coinciden con los registrados en la cotización del proyecto, ya que Durman establece cierto descuento al adquirir una gran cantidad de tubería tal y como implica el proyecto propuesto. Se debe considerar la columna sin I.V. ya que el TEC es exonerado de este impuesto.

Anexo 9: Fotografías del campus universitario



**Figura 59: Piscina institucional a utilizar como tanque de almacenamiento de agua.
Fuente: Fotografía propia**



**Figura 60: Toma directa para conexión de bomberos instalada en alrededores de la piscina.
Fuente: Fotografía propia**



Figura 61: Zona donde se propone construir la caseta de bombeo
Fuente: Fotografía propia



Figura 62: Ubicación de los hidrantes actuales instalados en el TEC.
Fuente: Fotografía propia



a.)



b.)



c.)



d.)



e.)



f.)

Figura 63: Ubicación propuesta para: a.) hidrante 5, b.) hidrante 9, c.) hidrante 10, d.) hidrante 13, e.) hidrante 15 y f.) hidrante 16. (Fuente: Fotografías propias)