



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTROMECÁNICA

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

Modelación del coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams para tuberías de acero negro en el cálculo de las pérdidas de presión en sistemas hidráulicos de redes ramificadas.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Electromecánica

Autora:

Defaz Chimba Jessica Belén

Tutor:

PhD. Laurencio Alfonso Héctor Luís

LATACUNGA – ECUADOR

2022

AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “Modelación del coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams para tuberías de acero negro en el cálculo de las pérdidas de presión en sistemas hidráulicos de redes ramificadas” presentado por Defaz Chimba Jessica Belén para optar por el título magíster en Electromecánica.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, abril, 29, 2022



.....
PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso
CC.:175836725-2

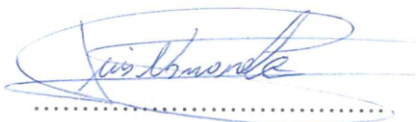
AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “Modelación del coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams para tuberías de acero negro en el cálculo de las pérdidas de presión en sistemas hidráulicos de redes ramificadas”, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electromecánica; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, junio, 02, 2022



.....
PhD. Enrique Torres Tamayo
CC.:175712194-0
Presidente del Tribunal



.....
Mg. Luis Miguel Navarrete López
CC.:180374728-4
Lector 2



.....
Mg. Byron Paúl Corrales Bastidas
CC.:050234776-8
Lector 3

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por bendecir mi la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser esa fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Asimismo, agradezco mi esposo y compañero de aventuras (Alexis) por cuidar de mí, ser mi apoyo, enseñarme lo bueno y lo malo de la vida y regalarme muchos momentos llenos de felicidad. A mi madre y mis hermanas (Martha, Jenny, Mayra, Susana), quienes con sus palabras me hacían sentir orgullosa de lo que soy, de lo que les puedo enseñar y de lo que puede llegar a conseguir.

De la misma manera, deseo expresar mis agradecimientos al director de esta tesis PhD. Héctor Laurencio, por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo.

JESSICA BELÉN DEFAZ CHIMBA

DEDICATORIA

Aprendí que todo el esfuerzo y el talento se entregan a las personas que uno ama.

Dedico este trabajo a mi amada hija Isabellita, quien con su inocencia y su amor ha llenado mi vida de felicidad, y a mi esposo Alexis quien está a mi lado en todo momento.

BELÉN

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, junio, 02, 2022



.....
Ing. Jessica Belén Defaz Chimba
CC.:0503634800

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, junio, 02, 2022



.....
Ing. Jessica Belén Defaz Chimba
CC.:0503634800

AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación “Modelación del coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams para tuberías de acero negro en el cálculo de las pérdidas de presión en sistemas hidráulicos de redes ramificadas” contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, junio, 02, 2022



.....
PhD. Enrique Torres Tamayo
CC.:175712194-0
Presidente del Tribunal

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Título: Modelación del coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams para tuberías de acero negro en el cálculo de las pérdidas de presión en sistemas hidráulicos de redes ramificadas.

Autor: Defaz Chimba Jessica Belén

Tutor: PhD. Héctor Luís Laurencio Alfonso

RESUMEN

Existen diversos modelos matemáticos que permiten determinar la pérdida de presión en redes hidráulicas de sistemas contra incendios, cada uno de ellos con cierta precisión de cálculo. Parte del reglamento ecuatoriano de extinción y mitigación de incendios se basa en las normas NFPA (National Fire Protection Association) las cuales recomiendan el uso del método de Hazen – Williams para dicho cálculo, si bien es cierto, este método resulta sencillo, rápido y fácil de usar, pero poco preciso debido a su limitado rango de coeficientes de rugosidad de Hazen – Williams. Por tanto, en este trabajo investigativo se presenta la modelación del coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams en función del número de Reynolds, diámetro y la rugosidad del material para tuberías de acero ASTM A53, con el objetivo de disminuir los errores en la determinación de pérdidas de presión en sistemas hidráulicos de redes ramificadas. Dicha modelación ha permitido comprobar que el coeficiente de Hazen – Williams C_{HW} cambia dependiendo las condiciones del flujo y del material. Al comparar las pérdidas de presión por fricción H_f conseguidas en función de los coeficientes modelados, con otros métodos como son el modelo experimental y el de Darcy – Weisbach, se ha alcanzado una diferencia mínima en el cálculo de las pérdidas H_f .

PALABRAS CLAVE: pérdida de presión; coeficiente de Hazen – Williams; Reynolds; rugosidad; caudal; ecuación de Darcy – Weisbach.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Title: “Modeling of the Hazen-Williams roughness coefficient for black steel pipes in the calculation of pressure losses in hydraulic systems of branched networks”.

Author: Defaz Chimba Jessica Belén

Tutor: PhD. Héctor Luís Laurencio Alfonso

ABSTRACT

There are several mathematical models to determine the pressure loss in hydraulic networks of fire fighting systems, each of them with a certain calculation accuracy. Part of the Ecuadorian fire extinguishing and mitigation regulations is based on the NFPA (National Fire Protection Association) standards, which recommend the use of the Hazen-Williams method for such calculation, although it is true that this method is simple, fast and easy to use, but not very accurate due to its limited range of Hazen-Williams roughness coefficients. Therefore, this research work presents the modeling of the Hazen-Williams roughness coefficient as a function of Reynolds number, diameter and material roughness for ASTM A53 steel pipes, with the objective of reducing errors in the determination of pressure losses in hydraulic systems of branched networks. This modeling has allowed to verify that the Hazen - Williams C_{HW} coefficient changes depending on the flow and material conditions. When comparing the friction pressure losses H_f obtained as a function of the modeled coefficients, with other methods such as the experimental model and the Darcy - Weisbach model, a minimum difference in the calculation of the H_f losses has been achieved.

KEYWORDS: pressure loss; Hazen - Williams coefficient; Reynolds; roughness; flow rate; Darcy - Weisbach equation.

Yo, Marco Paul Beltrán Semblantes con cédula de identidad número:0502666514 Magister en Lingüística Aplicada a la Enseñanza del idioma Inglés como Lengua Extranjera con número de registro de la SENESCYT: 1020-2021-2354162; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: “**Modelación del coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams para tuberías de acero negro en el cálculo de las pérdidas de presión en sistemas hidráulicos de redes ramificadas**” de: Defaz Chimba Jessica Belén, aspirante a Magister en Electromecánica



Mg. Marco Paul Beltrán Semblantes
0502666514



Latacunga, mayo, 2021

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del problema	3
Formulación del problema.....	4
Objeto de estudio	4
Campo de acción.....	4
Objetivos	4
Objetivo General.....	4
Objetivos específicos	5
Justificación.....	6
Hipótesis.....	7
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO PARA LA MODELACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE HAZEN-WILLIAMS PARA TUBERÍAS DE ACERO NEGRO EN EL CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN SISTEMAS HIDRÁULICOS DE REDES RAMIFICADAS.....	8
1.1. Introducción y objetivo.....	8
1.2. Antecedentes de la investigación.....	8
1.2.1. Ecuación de Hazen – Williams para el cálculo de la pérdida de presión en tuberías.....	9
1.2.2. Limitaciones en el uso de la ecuación de Hazen-Williams.....	11
1.2.3. Correlación entre el coeficiente CHW, el factor de fricción (f) de Darcy – Weisbach, el número de Reynolds y la rugosidad relativa.	12
1.2.4. Sistemas de redes ramificadas.....	14
1.3. Fundamentación teórica.....	16
1.3.1. Conservación de la masa.....	16
1.3.2. Conservación de la energía	16
1.3.3. Rugosidad.....	17
1.3.4. Número de Reynolds.....	19

1.3.5. Pérdida de presión en tuberías.....	21
1.3.6. Métodos de cálculo de la caída de presión.....	21
1.3.7. Coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams en función de la presión.....	22
1.3.8. Sistemas de protección contra incendios en Ecuador	23
1.3.9. Red hidráulica ramificada	24
1.4. Objeto de estudio	26
1.5. Conclusiones.....	28
CAPÍTULO 2. MATERIALES, MÉTODOS Y CONDICIONES EXPERIMENTALES.	29
Introducción y objetivo.....	29
Metodología de cálculo.....	29
2.1.1. Ecuación de Hazen – Williams	29
2.1.2. Modelos matemáticos para el cálculo del coeficiente de Hazen-Williams (<i>CHW</i>).....	30
2.1.3. Número de Reynolds.....	32
Tuberías de acero al carbono para redes hidráulicas.	32
2.1.4. Tuberías que conforman la red hidráulica del sistema contra incendios (Acero ASTM A53).....	32
Medidores de flujo.....	36
2.1.5. Principio de funcionamiento del tubo Venturi.....	38
Medidores de presión.....	40
Fluido de circulación dentro de la red hidráulica	42
Pérdida de presión en redes de sistemas contra incendios usando del método de Hazen – Williams.....	43
Pérdida de presión en redes de sistemas contra incendios usando el método de Darcy – Wisbach.....	45
2.1.6. Cálculo del factor de fricción de Darcy-Wisbach (λ)	47

Carga dinámica total (TDH)	48
Diseño experimental	48
Conclusiones del capítulo 2	49
CAPÍTULO 3. APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA	50
Introducción y objetivo	50
Condiciones del flujo de circulación	50
Medición de caudal en la red	52
Pérdida de presión por fricción en el sistema	58
3.1.1. Cálculo de la pérdida de presión por fricción usando el método de Hazen – Williams.	58
3.1.2. Cálculo de la pérdida de presión por fricción usando el método de Darcy – Weisbach.....	61
3.1.3. Cálculo de la pérdida de presión por fricción usando el método experimental.	64
3.1.4. Comparación de las pérdidas de presión por fricción entre varios métodos.....	64
3.1.5. Comparación de las pérdidas de presión por fricción entre los métodos de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams.....	66
3.1.6. Cálculo de la carga dinámica total (TDH)	72
Variación del coeficiente CHW en función del tiempo.....	75
Análisis de impacto.....	76
3.1.7. Impacto tecnológico	77
3.1.8. Impacto económico	77
Conclusiones del capítulo 3	78
Conclusiones generales.....	79
Recomendaciones generales	80
Referencias bibliográficas.....	81
Anexo 1	85

Anexo 2.....	86
Anexo 3.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Pérdida de presión con el método de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams.....	13
Figura 1.2. Pérdida de presión con el método de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams.....	14
Figura 1.3. Representación de la conservación de masa.....	16
Figura 1.4. Rugosidades en el interior de una tubería.....	18
Figura 1.5. Diagrama del flujo laminar desarrollado.....	20
Figura 1.6. Diagrama del flujo turbulento.....	21
Figura 1.7. Presión vs. Coeficiente de rugosidad CHW para tuberías de PVC.	23
Figura 1.8. Ejemplo de una red ramificada.....	24
Figura 1.9. Sistema hidráulico de red ramificada.....	27
Figura 2.1. Tipos de tuberías ASTM A53.....	33
Figura 2.2. Tuberías de acero ASTM A53.....	35
Figura 2.3. Tubo Venturi.....	38
Figura 2.4. Caudalímetro Venturi.....	40
Figura 2.5. Referencia de presión.....	41
Figura 2.6. Manómetro.....	42
Figura 2.7. Gabinete de extinción de incendios.....	42
Figura 2.8. Regresión polinómica $FM = f(C)$	45
Figura 2.9. Diagrama de flujo de la metodología para el cálculo del factor de fricción λ	47
Figura 3.1. Regresión polinómica $\rho = f(t)$	51
Figura 3.2. Regresión polinómica $\mu = f(t)$	52
Figura 3.3. Vista en corte de la red del sistema contra incendios.....	53
Figura 3.4. Ubicación del medidor de flujo en una red contra incendios.....	54
Figura 3.5. Medidor de flujo de 3 pulgadas ranurado.....	54
Figura 3.6. Coeficiente de rugosidad (C_{HW}) vs. Caudal.....	56
Figura 3.7. Regresión lineal de $CHW = f(Q)$	57
Figura 3.8. Regresión polinómica para $CHW = f(D, Q)$	58
Figura 3.9. Pérdida de presión por fricción vs. Caudal.....	65

Figura 3.10. Comparación de las pérdidas de presión usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams para tuberías de 3” con factores de $CHW = 120$	67
Figura 3.11. Comparación de las pérdidas de presión usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams para tuberías de 3” con factores de $CHW = f(Re, \varepsilon/D)$	68
Figura 3.12. Comparación de las pérdidas de presión usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams para tuberías de 2,5” con factores de $CHW = 120$	68
Figura 3.13. Comparación de las pérdidas de presión usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams para tuberías de 2,5” con factores de $CHW = f(Re, \varepsilon/D)$	69
Figura 3.14. Comparación de las pérdidas de presión usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams para tuberías de 2” con factores de $CHW = 120$	70
Figura 3.15. Comparación de las pérdidas de presión usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams para tuberías de 2” con factores de $CHW = f(Re, \varepsilon/D)$	70
Figura 3.16. Comparación de las pérdidas de presión usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams para tuberías de 1,5” con factores de $CHW = 120$	71
Figura 3.17. Comparación de las pérdidas de presión usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams para tuberías de 1,5” con factores de $CHW = f(Re, \varepsilon/D)$	71
Figura 3.18. Comparación del TDH usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams con factores de $CHW = 120$	74
Figura 3.19. Comparación del TDH usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams con factores de $CHW = f(Re, \varepsilon/D)$	74
Figura 3.20. Regresión polinómica $\varepsilon = f(T)$	75
Figura 3.21. Variación del coeficiente CHW vs. Tiempo.	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de tareas en función de los objetivos específicos.....	5
Tabla 1.1. Coeficiente de Hazen-Williams para diferentes materiales.	10
Tabla 1.2. Valores de C de Hazen – Williams.	11
Tabla 1.3. Valores de rugosidades absolutas para varios materiales.	19
Tabla 2.1. Tuberías permitidas en sistemas contra incendios de acuerdo a la NFPA.	34
Tabla 2.2. Propiedades del Acero ASTM A53.	35
Tabla 2.3. Dimensiones tuberías ASTM A53.	36
Tabla 2.4. Tipos de medidores de flujo.....	37
Tabla 2.5. Tabla de longitudes equivalentes de la tubería de acero cédula 40.	44
Tabla 2.6. Multiplicador del valor C.....	44
Tabla 3.1. Temperatura del agua durante el día.	50
Tabla 3.2. Propiedades del flujo.....	51
Tabla 3.3. Datos del caudal y presión medidos.....	55
Tabla 3.4. Coeficientes CHW estimados.	55
Tabla 3.5. Cantidad de accesorios en la red y longitudes equivalentes.	59
Tabla 3.6. Pérdida de presión en tuberías y accesorios usando el método de Hazen-Williams.....	60
Tabla 3.7. Pérdida de presión por fricción en tuberías y accesorios usando el método Darcy-Weisbach.....	62
Tabla 3.8. Pérdida de presión en tuberías y accesorios H_f usando el método experimental.....	64
Tabla 3.9. Pérdidas de presión H_f totales usando varios métodos.	65
Tabla 3.10. Comparación de las pérdidas usando el método de Hazen-Williams y Darcy.	66
Tabla 3.11. Pérdida de presión total en la red contra incendios.....	73
Tabla 3.12. Variación del coeficiente C_{HW} en función del tiempo.....	76

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el transporte del agua a través de conductos tubulares cerrados como son las tuberías se ha vuelto muy común como resultado de los avances en la tecnología industrial [1]. La necesidad de mover el agua conforme pasa el tiempo se ha vuelto mayor, el agua por lo general siempre es presurizada para ser transportada de un punto a otro, salvo en unos pocos casos. El transporte de agua presurizada permite tener ciertos beneficios como son la flexibilidad de diseño de las redes hidráulicas, control en el suministro del líquido, reducción del impacto ambiental debido al ahorro del agua, control en la calidad del agua y una mayor eficiencia [2]. Sin embargo, debido al crecimiento poblacional y la disminución de este recurso hídrico natural, es crucial realizar un estudio que permita la reducción de los impactos negativos en el transporte de agua presurizada.

La creciente preocupación por la reducción de este líquido vital para la vida ha llevado a realizar numerosos estudios que permitan reducir tanto el consumo de agua en los diferentes sistemas de distribución como el consumo de energía. La gran mayoría de estos estudios han sido orientados al aumento de la eficiencia en equipos de presión, reducción de las fugas de líquido, disminución de la fricción en tuberías y la precisión en la estimación de la pérdida de carga en los sistemas de distribución [2].

El cálculo de la caída de presión en un sistema de abastecimiento de agua es uno de los parámetros más importantes dentro del diseño de sistemas hidráulicos, ya que una correcta estimación de la pérdida de presión en un sistema de distribución de agua permite seleccionar equipos adecuados y con ello aportar en la eficiencia de un sistema [3]. Es así el caso de los sistemas contra incendios los cuales utilizan redes de tuberías en su gran mayoría de acero negro para transportar agua presurizada. Existen diversos modelos matemáticos que permiten determinar la pérdida de presión, cada uno de ellos con cierta precisión de cálculo. El método recomendado por la NFPA (National Fire Protection Association) para sistemas contra incendios es el de Hazen – Williams que es sencillo y rápido de usar, pero presenta ciertas limitaciones respecto al uso del coeficiente de rugosidad, ya que teóricamente existen limitados coeficientes de rugosidad tabulados, haciendo que

el cálculo de la pérdida de presión sea menos preciso [4]. Diversos autores han dedicado sus estudios a determinar el método más preciso rápido y fácil de utilizar para la industria.

Antecedentes

La implementación de sistemas contra incendios en el Ecuador día a día toma más poder, en su gran mayoría los sistemas contra incendios a base de agua son instalados con redes de tuberías de acero negro. Parte del reglamento ecuatoriano de extinción y mitigación de incendios se basa en las normas NFPA las cuales recomiendan el uso del método de Hazen – Williams para el cálculo de la pérdida de presión en redes hidráulicas [4]. Si bien es cierto este método resulta sencillo, rápido y fácil de usar, pero poco preciso debido a su limitado rango de coeficientes de rugosidad de Hazen – Williams. Se ha observado en diferentes instalaciones realizadas que los datos teóricos de pérdida de presión obtenidos mediante el uso de este método difieren en cierto porcentaje con los datos tomados in situ. Esto se puede deber a que dicho coeficiente de rugosidad no tiene una correlación directa con el régimen del flujo y la rugosidad del material [3].

Actualmente la estimación de pérdidas de presión en tuberías de agua es un campo de investigación que está activo, se han estudiado diversos métodos que permitan estimar de manera más precisa y rápida dicha pérdida de presión [5]. Así es el caso de la ecuación de Hazen – Williams para la cual varios autores han dedicado sus estudios a buscar modelos matemáticos que correlacionen el coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams con las propiedades y características del fluido y el material que los transporta, principalmente con la rugosidad del material y el régimen de flujo, con el objetivo de estimar de manera más precisa la pérdida de carga en los sistemas de distribución. [3]

El presente trabajo investigativo corresponde a las siguientes líneas de investigación:

Líneas de investigación de la Universidad:

- Procesos Industriales

Los estudios que se realicen en esta línea de investigación, estarán enfocados a la estimación de la pérdida de presión de una forma más precisa y rápida en sistemas de transporte de agua presurizada a través de redes de tuberías de acero negro. De tal manera que se pueda aportar con estudios y datos que permitan diseñar, dimensionar y seleccionar sistemas y equipos hidráulicos de presión más eficientes en la industria.

- Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Los estudios y datos generados en esta segunda línea de investigación permitirán diseñar sistemas hidráulicos energéticamente eficientes con el fin de proteger el medio ambiente mediante la disminución de la intensidad energética y adaptando al consumidor a gastar lo necesario y no más.

Sublíneas de la maestría:

- Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.
- Eficiencia energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

Título del proyecto

Modelación del coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams para tuberías de acero negro en el cálculo de las pérdidas de presión en sistemas hidráulicos de redes ramificadas.

Planteamiento del problema

La falta de precisión en el cálculo de las pérdidas de presión en los sistemas hidráulicos ha ocasionado que se generen errores en el dimensionamiento de dichos sistemas, los cuales al no ser funcionales conllevan a tener pérdidas económicas y sistemas poco eficientes. Uno de los métodos más usados para el cálculo de la pérdida de presión en sistemas contra incendios es el de Hazen- Williams, el cual es sencillo y rápido de usar, pero tiene ciertas limitaciones, una de ellas radica en el uso del coeficiente de rugosidad, ya que teóricamente existen limitados coeficientes

de rugosidad tabulados, haciendo que el cálculo de la pérdida de presión sea poco preciso [3].

En la actualidad la ciencia de materiales ha tenido un alto avance y hoy en día existen diversos tipos de materiales de acero en el mercado con diferentes propiedades y características, dando como resultado tuberías de acero con coeficientes de rugosidades más altos con respecto a los tabulados en un inicio por Hazen – Williams, mismos que no se encuentran tabulados en la actualidad [6] .

El método de Hazen – Williams básicamente presenta un modelo matemático para el cálculo de la pérdida de presión en tuberías, el cual carece de una correlación con el régimen de flujo, diámetro de tubería y la rugosidad del material [7]. Una correlación adecuada entre el este método y las propiedades del material y las características del flujo permitirá calcular las pérdidas por fricción en tuberías con una mayor precisión [8].

Formulación del problema

Falta de precisión en el cálculo de la pérdida de presión en sistemas de redes hidráulicas de tuberías de acero negro mediante el uso del método de Hazen – Williams, debido a la falta de una correlación entre el régimen de flujo, diámetro y rugosidad del material.

Objeto de estudio

Coefficiente de rugosidad de Hazen – Williams para tuberías de acero negro.

Campo de acción

Bombas y equipos para manipulación de líquidos e instalaciones de flujo.

Objetivos

Objetivo General

Modelar el coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams en función del número de Reynolds, el diámetro y la rugosidad relativa para tuberías de acero negro en el cálculo de las pérdidas de presión en redes ramificadas.

Objetivos específicos

Revisar la información bibliográfica que existe sobre la determinación de la pérdida de presión en sistemas de redes hidráulicas mediante el método de Hazen – Williams.

Determinar el flujo de circulación y la presión en la red hidráulica de las tuberías de acero negro in situ.

Aplicar y validar el modelo matemático que correlaciona el número de Reynolds, el diámetro de la tubería y la rugosidad relativa para la determinación de la pérdida de presión en sistemas hidráulicos.

Sistema de tareas en función a los objetivos específicos

Tabla 1. Sistema de tareas en función de los objetivos específicos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN)
Revisar la información bibliográfica que existe sobre la determinación de la pérdida de presión en sistemas de redes hidráulicas mediante el método de Hazen – Williams.	Estudio y análisis de la información bibliográfica existente para la determinación de la pérdida de presión en sistemas hidráulicos.	Datos e información de estudios realizados por otros autores.	Revisión de artículos científicos, publicaciones, libros, tesis, estudios, etc.
Determinar el flujo de circulación y la presión en la red hidráulica de las tuberías de acero negro in situ.	Determinación de las características topográficas del sistema, propiedades físicas y químicas del material y el fluido de circulación. Implementación un sistema hidráulico de redes ramificadas.	Parámetros de diseño del sistema. Valores de flujos y presiones en las tuberías.	Uso de un software CAD. Uso de catálogos comerciales. Uso de un medidor de flujo y un medidor de presión.

	Medición del flujo y presión en las tuberías.		
Aplicar y validar el modelo matemático que correlaciona el número de Reynolds, el diámetro de la tubería y la rugosidad relativa para la determinación de la pérdida de presión en sistemas hidráulicos de redes ramificadas de acero negro.	Determinación de los coeficientes de rugosidad de Hazen – Williams para el acero negro aplicando un modelo matemático que correlacione el régimen de flujo, diámetro y la rugosidad relativa. Validación de los datos obtenidos experimentalmente vs. los teóricos.	Coeficientes de Hazen –Williams reajustados. Pérdida de presión total en el sistema hidráulico. Porcentaje de error.	Ecuación en función de régimen de flujo y la rugosidad relativa para la estimación del coeficiente de rugosidad C de Hazen – Williams. Uso de herramientas estadísticas para la validación de resultados.

Justificación

La pérdida de presión es una consideración física y financiera importante cuando se trabaja con redes hidráulicas, ya que un cálculo erróneo de la pérdida de presión proporciona sistemas ineficientes arrastrando con ello lesiones económicas.

En la actualidad nos encontramos con el hecho de que existe un mercado competitivo y cada vez la ciencia de los materiales va progresando, de tal manera que los materiales van modificando sus propiedades y características continuamente con el fin de mejorar la funcionalidad y resistencia del mismo [1]. En los sistemas hidráulicos es de vital importancia conocer las características físicas y químicas de las tuberías, ya que en sistemas en los cuales se desee dimensionar sistemas hidráulicos uno de los parámetros importantes es el cálculo de la caída de presión a lo largo del sistema [9].

Uno de los métodos más usados para el cálculo de la caída de presión en sistemas de redes hidráulicas de sistemas contra incendios es el de Hazen- Williams, pero éste método tiene la desventaja que está limitado para un cierto tipo de materiales, es decir el método contiene coeficientes de rugosidades tabulados para un número

limitado de materiales, además debido al desarrollo que ha tenido la ciencia de los materiales las tuberías cada vez van mejorando sus propiedades y características y por ende también varían los coeficientes de rugosidad calculados y tabulados en un principio por Hazen–Williams [4]. En el Ecuador, en su gran mayoría se usan tuberías de acero negro en las diferentes instalaciones de sistemas contra incendios [10]. Es por ello que en este proyecto investigativo al no conocer los coeficientes de rugosidad tabulados para tuberías de acero al carbono (acero negro) se propone estimar dichos coeficientes, el proceso se lo realizará mediante una recopilación directa de datos in situ de la rugosidad interna (o factor C) mediante una serie de pruebas de pérdida de carga y presión en las tuberías de la red hidráulica, además del uso de modelos matemáticos para la estimación de los coeficientes de rugosidad de Hazen –Williams [11].

La estimación del coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams permitirá realizar un cálculo más preciso de la caída de presión en sistemas de redes hidráulicos de tuberías de acero negro.

Hipótesis

Mediante la modelación del coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams en función del número de Reynolds, diámetro y la rugosidad del material para tuberías de acero ASTM A53, se disminuirá los errores en la determinación de pérdidas de presión en sistemas hidráulicos de redes ramificadas.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO PARA LA MODELACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE HAZEN-WILLIAMS PARA TUBERÍAS DE ACERO NEGRO EN EL CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN SISTEMAS HIDRÁULICOS DE REDES RAMIFICADAS.

1.1. Introducción y objetivo

En este capítulo se estudia y analizan los temas más importantes y relevantes de la bibliografía relacionada con la mecánica de fluidos, el modelado del coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams, la pérdida de presión en tuberías de acero negro, y los métodos para el cálculo de la pérdida de presión en sistemas hidráulicos; con el objetivo de establecer los fundamentos teóricos y metodológicos de la investigación a partir del análisis de los estudios precedentes, además de la metodología seguida para su desarrollo y la base teórica que la sustenta, necesarios para la modelación del coeficiente de rugosidad de Hazen –Williams para tuberías de acero negro.

1.2. Antecedentes de la investigación

Determinar de forma correcta las pérdidas de presión es uno de los parámetros más importantes en el diseño de redes hidráulicas de conducción de agua. Por tal motivo es de gran importancia calcular la pérdida de presión con mayor precisión. Existen diversos modelos matemáticos y ecuaciones que permiten determinar la pérdida de presión, cada una de ellas con cierta precisión [12].

De acuerdo con varios investigadores, mantienen que a partir de números ensayos realizados se ha encontrado, que, para todos los modelos matemáticos de cálculo de la pérdida de presión en tuberías, se tiene que, la ecuación que representa de manera general esta pérdida se describe en forma de exponenciales [3].

La ecuación descrita en forma de exponenciales, representa a los llamados modelos matemáticos empíricos para el cálculo de la pérdida de presión en conducciones forzadas. Los exponentes fueron obtenidos de manera empírica por diversos investigadores, y el coeficiente K es aquel que contiene al coeficiente de rugosidad. En base a estos estudios realizados fueron desarrolladas varias ecuaciones, entre las más populares están las ecuaciones empíricas de Hazen-Williams, Manning, Chezy, Schoder y Scobey [12]. Estas ecuaciones se

caracterizan por tener implícito un valor constante del coeficiente de rugosidad para varios materiales, proporcionando de tal manera su uso para cierto rango de velocidades y para diámetros limitados de conductos.

Aunque es un hecho que en la actualidad el método mayormente confiable es el de Darcy-Weisbach para calcular la pérdida de presión en conductos tubulares, a partir de la estimación del factor de fricción (f) propuesto por Colebrook-White, aún se siguen usando las ecuaciones empíricas para dicho cálculo, debido a su sencillez, fácil y rápido uso [13]. Cabe destacar que, para reducir las limitaciones de uso de estas ecuaciones, debe emplearse un método que permita determinar los coeficientes de rugosidad tomando en cuenta las características del flujo, del fluido y del material del conducto por el cual circula el fluido [7].

1.2.1. Ecuación de Hazen – Williams para el cálculo de la pérdida de presión en tuberías.

Una de las ecuaciones empíricas más populares, sobre todo en América, es la de Hazen – Williams, la cual ha sido usada desde el año 1902, y respaldada por trabajos experimentales de diversos autores y por varios estudios de sus predecesores. Desde su formulación y aparición a principios del siglo XX (1905), ha sido muy usada por profesionales consagrados al diseño de redes hidráulicas [12].

A pesar, de ser un método muy popular para el diseño de sistemas hidráulicos, esta ecuación ha sido usada para el cálculo de la caída de presión en conducciones forzadas desmedidamente, sin tomar en cuenta sus limitaciones con las cuales fue formulada. El uso de la expresión está limitado al flujo de agua en conductos tubulares de diámetro mayor a dos pulgadas y menor de seis pies, aunque varios investigadores indican que dicha ecuación no debe usarse en tuberías de diámetro menor a una pulgada. Por otra parte, se recomienda usar esta ecuación para velocidades menores a diez pies por segundo (3.05 m/s). Además, el rango de temperaturas válido para su aplicación esta entre ($5 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C}$), siendo $15 \text{ }^\circ\text{C}$ el valor de la temperatura del agua óptimo, para el uso de este método. Debido a que el coeficiente de rugosidad no está en función del diámetro de la tubería ni de la velocidad resulta ser un método sencillo [14].

Cabe recalcar que el coeficiente de rugosidad de Hazen -Williams (C_{HW}), es un valor que depende solo del estado de lisura de la superficie interna de la tubería y la edad del mismo [12]. A través del tiempo, mediante diversos estudios experimentales se ha logrado determinar el coeficiente C_{HW} para diferentes materiales, los cuales se los encuentra tabulados como el que se observa en la Tabla 2.1, los valores que muestra esta tabla son varios materiales cuando son nuevos, limpios o cuando llevan algunos años en uso. Este último aspecto toma en consideración los sedimentos que se acumulan en el interior de los conductos después de cierto tiempo de haber estado en funcionamiento. Los valores más altos del coeficiente C_{HW} corresponden a los conductos más lisos, mientras que los valores más bajos corresponden a los conductos con mayor rugosidad. La información que proporciona la Tabla 2.1, corresponde a tuberías con diámetros iguales o mayores a 100 cm, es muy poco conocido que para diámetros inferiores se debe realizar una corrección a los valores mostrados en dicha tabla, dicha corrección se la realiza con el uso de una ecuación la cual está en función del diámetro de la tubería y el coeficiente C_{HW} tabulado [15].

Tabla 1.1. Coeficiente de Hazen-Williams para diferentes materiales.

MATERIAL	C
Asbesto cemento	140
Ladrillo de saneamiento	100
Hierro fundido nuevo	130
Hierro fundido de 10 años de edad	107-113
Hierro fundido de 20 años de edad	89-100
Hierro fundido de 30 años de edad	75-90
Hierro fundido de 40 años de edad	64-83
Concreto	120-140
Cobre	130-140
Hierro Dúctil	120
Hierro galvanizado	120
Vidrio	140
Plomo	130-140
Plástico (PVC, PE)	140-150
Tubería lisa nueva	140
Acero nuevo	140-150
Acero	130

Acero rolado	110
Madera	120
Hormigón	120-140

Fuente: [16]

De acuerdo con la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA) los valores de coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams (C_{HW}) asignados para algunas tuberías de diferentes materiales se muestran la tabla de la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Valores de C de Hazen – Williams.

Tubería o tubo	Valor C^*
Fundición de hierro o fundición dúctil sin recubrimiento	100
Acero negro (sistemas de tubería seca, incluyendo de Acción previa)	100
Acero negro (sistemas de tubería húmeda, incluyendo diluvio)	120
Galvanizada (toda)	120
Plástico (listada), toda	150
Fundición de hierro o fundición dúctil, revestida de cemento	140
Tubo de cobre o acero inoxidable	150
Asbesto cemento	140
Concreto	140
* Debe permitirse que la autoridad competente considere otros valores de C.	

Fuente: [4]

1.2.2. Limitaciones en el uso de la ecuación de Hazen-Williams

Un gran número de autores han dedicado diversos estudios a determinar el coeficiente de rugosidad C_{HW} para conductos tubulares fabricados con diferentes materiales, una gran parte de ellos han tratado de incluir la rugosidad relativa y el número de Reynolds, lo cual hace que dicho coeficiente C_{HW} no se mantenga constante como aparecen tabulados en varias literaturas [3].

Tras varios estudios realizados sobre el método de Hazen- Williams, cinco décadas más tarde desde la aparición de dicho método, en 1960 Diskin fue el primero en reconocer que dicha ecuación tenía sus limitaciones, y es así que reacomodó y llevó la ecuación de Hazen- Williams a la forma de Darcy-Weisbach, logrando de esa

manera obtener una expresión en función del factor de fricción (f), el diámetro de la tubería (D) y el número de Reynolds (Re). Con esa expresión planteada, Diskin demostró que el coeficiente C_{HW} no es un valor constante para la rugosidad de las paredes interiores de la tubería, y más bien depende del régimen del flujo, la rugosidad relativa, el diámetro del conducto tubular, y la viscosidad cinemática. Además, con los resultados obtenidos, Diskin situó en el diagrama de Moody ciertos valores del coeficiente C_{HW} con lo cual demostró que el método es aplicable solo para las zonas de flujo laminar y en transición [17].

Por otra parte, con estos antecedentes en el año 2000 Christensen experimentó con un conducto tubular de una alcantarilla de 3.66 m de diámetro en Estados Unidos, donde los datos obtenidos del coeficiente C_{HW} oscilaban entre 80 y 90, lo cual comprobó una vez más que los valores encontrados en diferentes tablas no podían ser considerados como constantes en el cálculo de la pérdida de presión en tuberías [3].

1.2.3. Correlación entre el coeficiente C_{HW} , el factor de fricción (f) de Darcy – Weisbach, el número de Reynolds y la rugosidad relativa.

Varios autores han propuesto diversas ecuaciones para el cálculo del coeficiente C_{HW} , pero las más conocidas son la ecuación de Diskin que apareció en el año de 1960, y la ecuación de Fernandez y Martinez propuesta en el año 2005, las cuales permiten calcular el coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams (C_{HW}), las dos ecuaciones se caracterizan por estar en función de la rugosidad absoluta y la viscosidad cinética, todas expresadas a través del factor de fricción f y el número de Reynolds Re . Además, estos modelos matemáticos que se presentan han permitido realizar numerosos estudios y nuevas propuestas de modelos para el cálculo más preciso del coeficiente C_{HW} .

León (2004), sus estudios fueron direccionados hacia la determinación del coeficiente C_{HW} para tuberías dentro de un rango de diámetros de (50 -500) mm, rugosidades entre (0.01 – 1) mm y números de Reynolds entre 10^3 y 10^6 . Como consecuencia de dicha investigación, plantea una ecuación, la cual está solo en función de la rugosidad relativa, dejando de lado el número de Reynolds [18].

Uno de los estudios más recientes a cerca del coeficiente C_{HW} fue realizado en el año 2019 por los autores Algret y Martinez, los cuales proponen una ecuación en función de la rugosidad relativa y del número de Reynolds de manera directa, tomando como referencia el modelo matemático propuesto en el año 2004 por León.

De manera analítica obtuvieron las curvas de la Figura 2.1 para el hierro galvanizado con ciertas características del fluido y del material, las cuales muestran el porcentaje de error al aplicar el coeficiente C_{HW} en función de la rugosidad relativa y el número de Reynolds, en la ecuación de Hazen – Williams para el cálculo de la pérdida de presión versus el método de Darcy-Weisbach, siendo esta ecuación una de las más precisas.

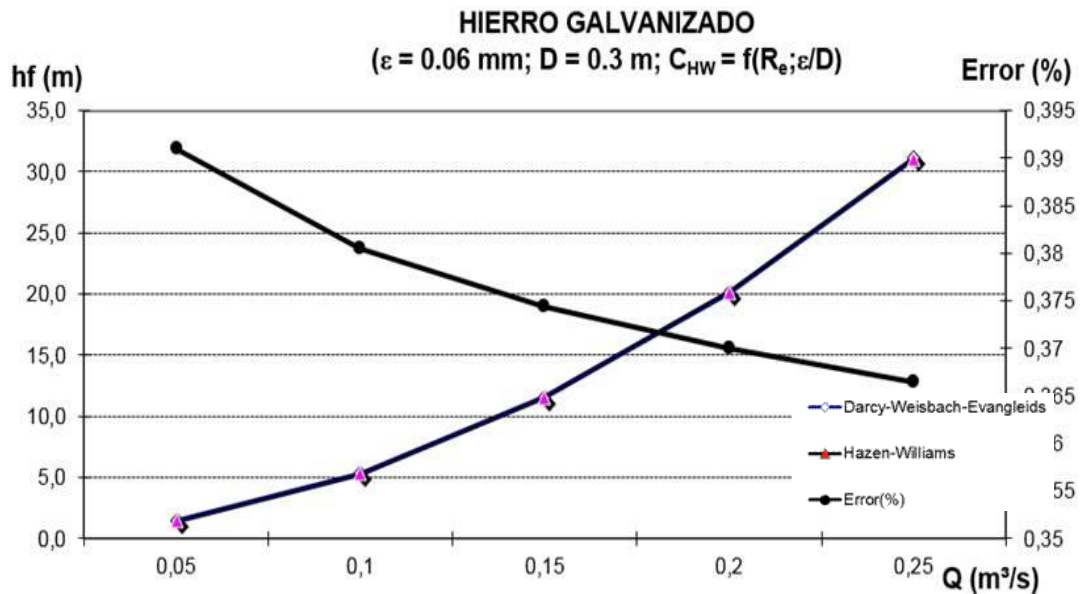


Figura 1.1. Pérdida de presión con el método de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams.

Fuente: [3]

Se aprecia en la Figura 1.2 que al usar el coeficiente C_{HW} tabulado en varias literaturas, el porcentaje de error al comparar el método de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams es mayor que el observado en la Figura 2.1.

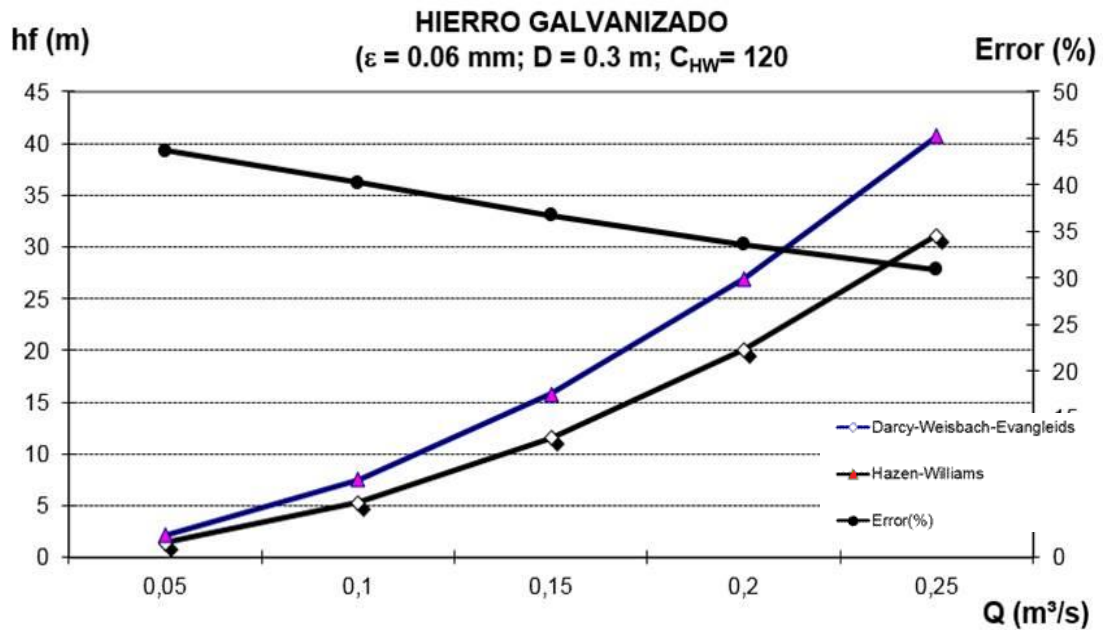


Figura 1.2. Pérdida de presión con el método de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams.

Fuente: [3]

1.2.4. Sistemas de redes ramificadas

Durante los últimos años, un gran número de ingenieros hidráulicos e investigadores han dedicado sus estudios a desarrollar técnicas que ayuden a mejorar los diseños, e inclusive técnicas de análisis de redes de distribución de agua, con el fin de optimizar los costos de inversión y mantenimiento [19].

Resolver un sistema de redes de distribución de agua es un tema complejo, ya que, su principal problema radica en la distribución discreta de sus elementos, donde se tiene una situación no lineal y no convexa, teniendo como resultado un problema matemático con una solución compleja.

Hasta el día de hoy, se han planteado varios métodos y formulaciones para la solución del diseño de sistemas de redes, con el uso de técnicas de optimización con el objetivo de reducir sus costos. Dentro de la clasificación de las redes hay dos grupos importantes que dependen de la topología de la red, éstas pueden ser de tipo mallado y ramificado. Respecto a la influencia de la disposición geométrica en el sistema de redes, es importante resaltar que el de tipo ramificado es más sencillo, ya que se puede conocer los caudales en la red partiendo de los datos de consumos en cada nodo. Dentro de los métodos más usados para la solución de las redes de

distribución de aguas están las que se fundamentan en técnicas de programación lineal y no lineal [19].

A menudo, se suelen emplear métodos analíticos para resolver problemas de redes de tuberías, lo cual no resulta ser muy conveniente, ya que como resultado se tiene un problema no lineal, y las ecuaciones para el cálculo de la pérdida de presión son de carácter empírico como la de Hazen – Williams o la de Darcy-Weisbach las cuales se deberían usar para casos particulares. Varios investigadores recomiendan utilizar métodos de iteración o de aproximaciones sucesivas para resolver problemas reales de redes hidráulicas. Uno de los métodos más conocidos es el de Hardy-Cross, el cual se basa en la ecuación de continuidad la cual usa una corrección en cada uno de los circuitos, para así determinar los caudales y para tener un adecuado balance entre ellos. Este método tiene un proceso que se lleva a cabo de forma iterativa hasta que la corrección resultante consiga valores muy bajos, de tal manera que la solución no se modifique; es así como se obtiene un resultado definitivo del flujo en cada componente y nodo de la red [20].

El método de Hardy-Cross es aplicable a cualquier tamaño de red, cuando se tiene redes relativamente pequeñas el método puede ser usando en calculadoras programables para encontrar la solución, sin embargo, cuando se tienen redes mucho más grandes y con una alta cantidad de componentes en la red, se requiere el uso de un software el cual tenga base en el en dicha metodología y así permita dar con la solución del problema. Existen diversos tipos de método iterativos en la literatura técnica, siendo los más populares los del balanceo de caudales o presiones en los nodos, también existen otros métodos, los cuales se basan en la modelación de problemas a través de ecuaciones no lineales, las mismas que pueden ser resueltas por el método de Newton Raphson [20].

Uno de los programas de computador más populares para modelar redes hidráulicas es el de Ansys, basado en la técnica de elementos finitos, la solución que brinda este software se basa en el uso del método de Newton-Raphson. La gran mayoría de los softwares basados en esta técnica, tienen la habilidad de modelar numéricamente diversos sistemas de redes, y resolver de forma eficiente e

inequívoca sistemas de gran envergadura, que analíticamente serían casi imposibles de resolver [20].

De igual manera, varios autores han investigado la redundancia de los sistemas, entre ellos están los algoritmos analíticos que brindan una solución eficaz en el diseño de redes mediante la utilización de un número finito de procesos definidos. Dentro de las técnicas más usuales que utilizan estos algoritmos están los métodos de optimización discontinua, multiplicadores de Lagrange, programación no lineal y lineal. Dichas técnicas han demostrado ser eficaces al ser aplicados a redes de tipo ramificado siempre y cuando se preestablezca los caudales de diseño [21].

1.3. Fundamentación teórica

1.3.1. Conservación de la masa

La Figura 1.3 muestra el comportamiento su un fluido incompresible al atravesar un componente tubular y de la cual se deriva la ecuación de continuidad [9]. Por tanto, se puede decir que la conservación de la masa consiste en que la cantidad de masa que ingresa por una tubería es igual a la misma cantidad que sale en un intervalo de tiempo.

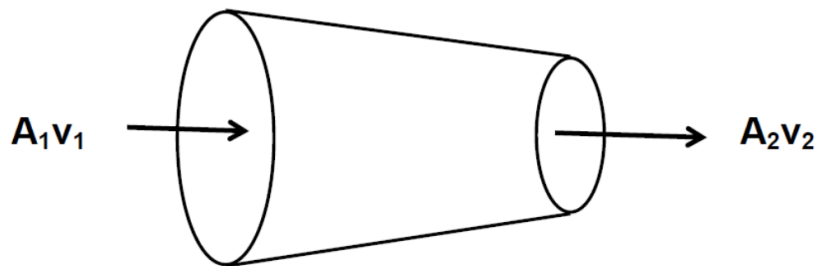


Figura 1.3. Representación de la conservación de masa

Fuente: [22]

Con la ecuación de continuidad se cumple que la cantidad de flujo que ingresa a un sistema por unidad de tiempo es igual a la que sale por unidad de tiempo.

1.3.2. Conservación de la energía

Para la conservación de la energía en tuberías se consideran siempre tres formas de energía, los cuales son energía potencial, cinética y de flujo [16].

1.3.2.1. Energía potencial

Esta energía es la mecánica y se debe a la ubicación de un cuerpo en el interior de un campo de fuerzas, la energía potencial es el resultado de que dicho sistema de fuerzas sea de tipo conservativo. De manera sencilla, se debe a la elevación de un cuerpo respecto a algún nivel de referencia. [16].

1.3.2.2. Energía cinética

Esta energía se debe a la velocidad, es decir, es aquella que posee un cuerpo en movimiento. Se puede definir como el trabajo requerido para que un cuerpo pueda salir del reposo hasta llegar a una velocidad indicada [16].

1.3.2.3. Energía de flujo

Es la cantidad de energía que se necesita para trasladar un fluido a través de una tubería teniendo la presión en contra [16]. Aplicando el principio de Bernoulli para la conservación de la energía para un fluido ideal sin rozamiento se obtiene la altura total de presión (H).

En cambio, cuando se tiene un fluido real, que circula entre dos secciones 1 y 2 del elemento para la conducción se considerará las resistencias debido al rozamiento con las paredes interiores de la tubería y accesorios [16].

1.3.3. Rugosidad

Las tuberías nunca tienen sus paredes internas completamente lisas a nivel microscópico, esto se debe a las irregularidades que tienen en las superficies, dichas irregularidades dependen en su mayoría del material que conforma las tuberías [23].

La rugosidad es una característica de los materiales que varía con el tiempo y uso, es decir después de estar en servicio una tubería, la rugosidad se aumenta debido a las incrustaciones y a la corrosión. Este incremento de la rugosidad puede variar entre cinco y diez veces el valor de la rugosidad inicial, es decir cuando la tubería es nueva [24].

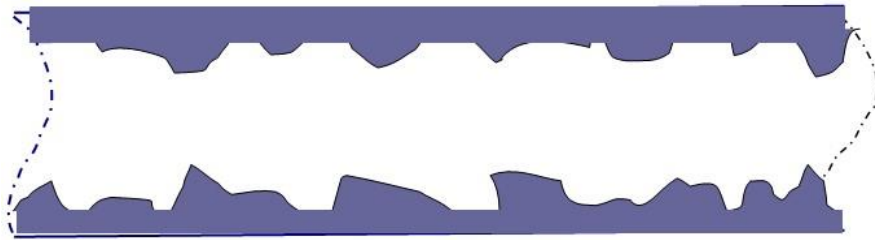


Figura 1.4. Rugosidades en el interior de una tubería.

Fuente: [25]

La rugosidad y el diámetro son parámetros que cambian debido a la corrosión y desgaste de las paredes internas o a su vez la aglomeración de partículas minerales, el hecho de que exista esta variación afecta a la disipación de energía en las tuberías.

La interacción del fluido con las paredes de la tubería produce una disipación de energía causada por la fricción, la cual se la conoce como pérdida de carga, las cuales se pueden clasificar en dos tipos, las pérdidas mayores relacionadas a las tuberías y su interacción con el fluido, y las pérdidas menores que corresponden a los accesorios como codos, bridas, válvulas, etc. [24].

Al hablar de rugosidad se incluyen los términos absolutos y relativos, la rugosidad absoluta (ϵ) varía de acuerdo al tamaño de la tubería, esta puede presentar valores significativos en tubos de diámetro pequeño mientras que en tubos de gran diámetro los valores pueden ser insignificantes. De tal manera que, la rugosidad relativa (E) de un tubo es igual a la razón entre la rugosidad absoluta y el diámetro (ϵ/D).

La medición directa de la rugosidad de la superficie de una tubería, especialmente si son muy pulidas requiere equipos de precisión, pero para realizar mediciones indirectas se lo puede realizar mediante modelos matemáticos de dimensiones lineales que tenga en consideración el efecto combinado de la magnitud y distribución de las irregularidades de la superficie [26].

La Tabla 1.3 muestra los valores de la rugosidad absoluta expresada en milímetros para diferentes materiales.

Tabla 1.3. Valores de rugosidades absolutas para varios materiales.

MATERIAL	ϵ en mm
De vidrio, cobre latón, madera, acero nuevo soldado; tubo de acero de precisión sin costura, serpentines industriales, plástico, hule.	0,0015
Tubos industriales de latón	0,025
Tubos de madera	0,2 a 1
Hierro forjado	0,05
Hierro Fundido nuevo	0,25
Hierro fundido, con protección inferior de asfalto	0,12
Hierro fundido oxidado	1 a 1,5
Hierro fundido, con incrustaciones	1,5 a 3
Hierro fundido centrifugado	0.05
Hierro fundido nuevo, con bridas o juntas de macho y campana	0,15 a 0,3
Hierro fundido usado, con bridas o juntas de macho y campana	2 a 3,5
Hierro fundido para agua potable, con bastantes incrustaciones y diámetro de 50 a 125 mm	1 a 40
Hierro galvanizado	0,15
Acero rolado nuevo	0,05
Acero laminado, nuevo	0,04 a 0,1
Acero laminado con protección interior de asfalto	0,05

Fuente: [16]

1.3.4. Número de Reynolds

El número de Reynolds es aquel número que resulta de la relación de las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas, como ello se puede determinar las características de un flujo, es decir, si se trata de un flujo laminar o turbulento [27].

Tipos de flujo de acuerdo al número de Reynolds:

- Si $Re < 2300$, el flujo es laminar
- Entre $2300 < Re < 4000$ flujo en transición.
- Si $Re > 4000$ el flujo es turbulento [9]

De la ecuación general de cálculo del número de Reynolds, se derivan varias expresiones que permiten determinar el Re para diferentes condiciones.

1.3.4.1. Flujo laminar

Este tipo de flujo se presenta en forma de líneas continuas que no se cruzan conforma avanza la corriente, por lo tanto, al no cruzarse ni bifurcarse con la superficie estas siguen una trayectoria paralela.

Una particularidad de este tipo de flujo es el estudio del flujo laminar totalmente desarrollado, el cual se caracteriza por que cada partícula que compone el fluido se desplaza a una velocidad axial constante a lo largo de una línea de corriente y el perfil de velocidad $u(r)$ de igual manera se mantiene constante en la dirección del flujo. Además, el movimiento en la dirección radial es nulo, de tal forma que la velocidad en la dirección normal es nula y la aceleración igual a cero [9].

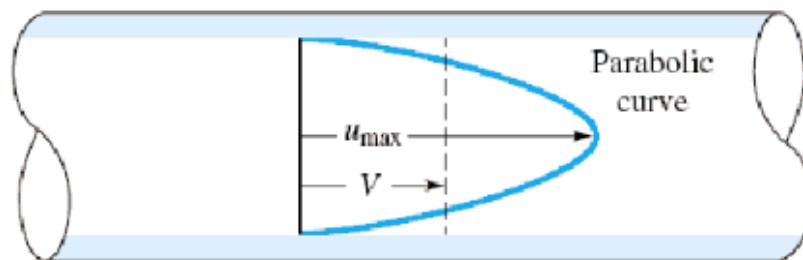


Figura 1.5. Diagrama del flujo laminar desarrollado.

Fuente: [9]

1.3.4.2. Flujo en transición.

Un flujo en transición es aquel que se encuentra en el proceso de cambio del régimen laminar a régimen turbulento, este es un proceso que se da gradualmente [27].

1.3.4.3. Flujo turbulento

El flujo turbulento se caracteriza por los remolinos giratorios y fluctuaciones aleatorias que producen las líneas de corriente del flujo, estas fluctuaciones además producen un mecanismo para transferir movimiento y energía.

En este tipo de flujo los remolinos giratorios que se producen tienen la habilidad de transportar cantidad de masa, cantidad de movimiento y cantidad de energía de una región a otra del flujo, aumentando en gran medida la cantidad de masa, la cantidad de movimiento y la transferencia de calor y los valores de coeficientes de fricción [9].

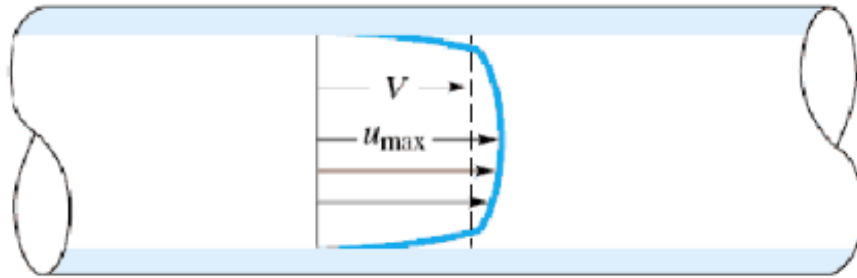


Figura 1.6. Diagrama del flujo turbulento.

Fuente: [9]

En la práctica de ingeniería la mayoría de los flujos son turbulentos.

1.3.5. Pérdida de presión en tuberías

La pérdida de presión o de carga en las tuberías es aquella pérdida de energía que al interactuar un fluido con las paredes de la tubería que lo contiene cuando éste se encuentra en circulación, esta interacción entre fluido y superficie se conoce como fricción [3].

La pérdida de carga por unidad de longitud depende de la rugosidad de la tubería, de su diámetro, del caudal que circula por ella y de su velocidad [28].

1.3.6. Métodos de cálculo de la caída de presión

Existen varios métodos para el cálculo de la caída de presión que han sido desarrollados a lo largo de los años, en este capítulo se hablará únicamente de tres métodos los cuales son: método de Darcy – Weisbach, Chezy – Manning y Hazen - Williams.

1.3.6.1. Método de Darcy - Weisbach

El método de Darcy presenta una ecuación que sirve para el cálculo de la pérdida de energía (presión) a causa de la fricción en secciones rectilíneas y largas de

tuberías redondas, ya sea para flujo laminar como para flujo turbulento, el coeficiente de rugosidad f depende del tipo de material [16].

1.3.6.2. Método de Chezy - Manning

Este método es muy usado en el estudio del flujo con superficie libre, el coeficiente de rugosidad n igual que en el anterior caso depende del tipo de material de la tubería, además este método es usado en el régimen turbulento [29].

1.3.6.3. Método de Hazen - Williams

La ecuación que define el método de Hazen – Williams es una de tipo empírica, dicha expresión es usada ampliamente debido a que no es una ecuación en función del número de Reynolds, la cual no depende ni de la temperatura ni de la viscosidad del fluido [16]. Este método tiene la desventaja de que solo se puede usar para el agua y además tiene limitado rango de aplicabilidad [3].

El uso de del método de Hazen – Williams está limitado a:

- Diámetros mayores a 2 pulgadas y menores de 6 pies.
- Uso de agua como fluido de trabajo.
- La velocidad del flujo no debe ser mayor a 10 *pies/s*.
- Limitados coeficientes de rugosidad tabulados para los materiales de tuberías.
- La temperatura del agua debe estar alrededor de 60 °F.

1.3.7. Coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams en función de la presión.

En la Figura 1.7 se observa la incidencia de la presión sobre el coeficiente de rugosidad C_{HW} para tuberías de material plástico (PVC) y aplicado en diámetros de unos 50 mm. De tal manera que se aprecia que el coeficiente de rugosidad C_{HW} , de Hazen-Williams se ve afectado directamente, ya que conforme aumenta de la presión también aumenta el valor de los coeficientes de rugosidad C_{HW} [23].

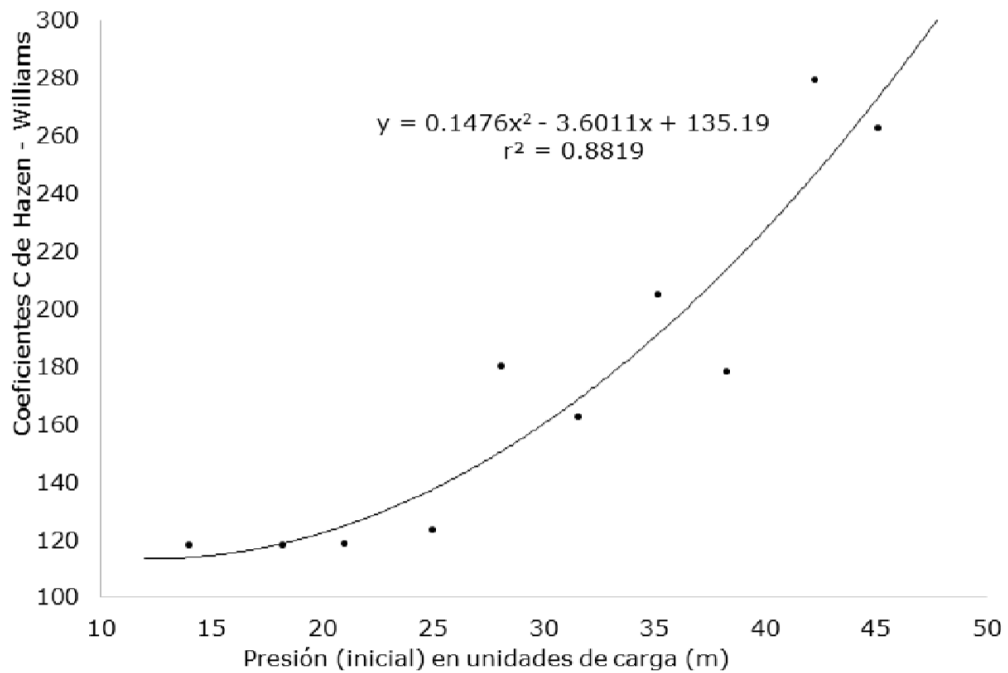


Figura 1.7. Presión vs. Coeficiente de rugosidad C_{HW} para tuberías de PVC.

Fuente: [23]

Al comparar los coeficientes de rugosidad C_{HW} con la presión inicial de prueba, se observa que, el valor del coeficiente C_{HW} depende de la presión y, a su vez depende del tipo de flujo. Es decir, el coeficiente C_{HW} aumenta conforme incrementa el valor del número de Reynolds. Para diámetros constantes, cuando se tienen tuberías lisas como es el caso de las de PVC, el coeficiente C_{HW} muestra una menor dependencia de la rugosidad cada vez que aumenta la presión [23].

1.3.8. Sistemas de protección contra incendios en Ecuador

Se llama sistema de protección contra incendios al conjunto de medidas establecidas y diseñadas, para reducir los efectos causados por el fuego en caso de que se diera algún flagelo dentro de una edificación, y de esa manera salvaguardar la vida de los ocupantes de la edificación, de la propiedad o el inmueble.

De acuerdo con la norma ecuatoriana de construcción (NEC), establece un conjunto de especificaciones mínimas, las cuales buscan brindar una buena calidad de vida para los ecuatorianos, aportando en el área de la construcción una cultura de seguridad y prevención. Dentro de la NEC se establecen los requerimientos mínimos para la implementación de sistemas de protección contra incendios, estos

requerimientos están basados en las especificaciones de la National Fire Protection Association (NFPA).

Para el cálculo de la pérdida de presión por fricción en las tuberías de sistemas de protección contra incendios, la norma NFPA 13 (Norma para la instalación de sistemas de rociadores) recomienda el uso del método de Hazen – Williams, debido a que resulta ser fácil, rápido y sencillo de usar.

1.3.9. Red hidráulica ramificada

Los sistemas hidráulicos de redes ramificadas son aquellos formados por una tubería principal de la que parten tuberías secundarias y así consecutivamente, este tipo de redes ramificadas son muy comunes en sistemas de distribución de agua. La Figura 1.8 muestra un ejemplo de un sistema de distribución de agua tipo ramificado.

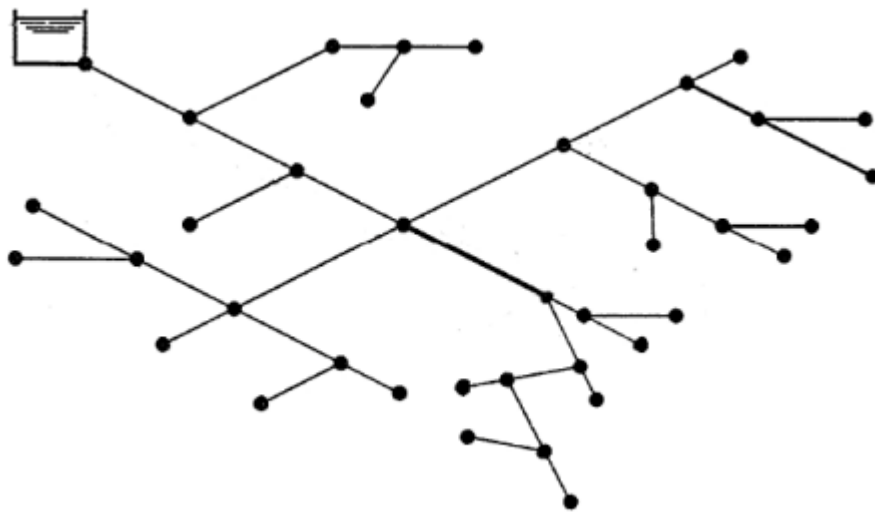


Figura 1.8. Ejemplo de una red ramificada.

Fuente: [22]

1.3.9.1. Elementos de una red de presión

De acuerdo con el aspecto topológico las redes están compuestas de líneas y nudos.

Nudos

Son lugares o puntos donde se unen dos o más líneas de tuberías, estos puntos pueden ser de consumo, de entrada, de salida, de conexión de tuberías, de conexión de válvulas o cualquier otro elemento que conforme la red de distribución de agua [22].

Líneas

Las líneas son aquellos elementos encargados de disipar la energía del fluido, estos elementos pueden ser: tuberías, válvulas, ect. También las bombas son elementos activos que transfieren la energía al fluido [22].

1.3.9.2. Criterios de diseño de una red

Al diseñar una red se debe considerar lo siguiente:

Distribución de la planta

Determinar el trazado de la red con sus respectivos elementos ya sean tuberías, válvulas, depósitos, conexiones, materiales, etc.

Dimensionamiento

Para este proceso se entrelaza y retroalimenta con la anterior fase, además es necesario conocer los siguientes datos para el dimensionamiento de la red y sus componentes:

- Caudal requerido
- Presión requerida
- Trazos y recorridos de la tubería
- Topología
- Velocidades de transporte toleradas y recomendadas
- Diámetros de tuberías disponibles en el mercado
- Tipo de material
- Elementos de suministro y almacenamiento del fluido de la red

1.4. Objeto de estudio

Para esta investigación se toma como objeto de estudio un sistema hidráulico tipo ramificado conformado por tuberías de acero ASTM A53 en su totalidad, en donde se tiene como fluido de trabajo el agua a temperatura ambiente, dicho sistema se instalará en cada uno de los pisos de un edificio Rodríguez ubicado en la ciudad de Quito en la Av. Eloy Alfaro. La Figura 1.9 muestra la instalación de una de las plantas arquitectónicas de la edificación y la distribución de la red de tuberías de acero negro.

La red hidráulica es de tipo ramificada y corresponde a un sistema de extinción de incendios, la misma está conformada por tuberías de diferentes diámetros como son de 3", 2 ½", 2", 1 ½", interconectadas entre sí, dicha red es alimentada por una matriz de 3" que está conectada a un equipo de bombeo ubicado en el subsuelo 2 de la edificación.

Los planos de cada una de las plantas se encuentran adjuntos en el Anexo 3.

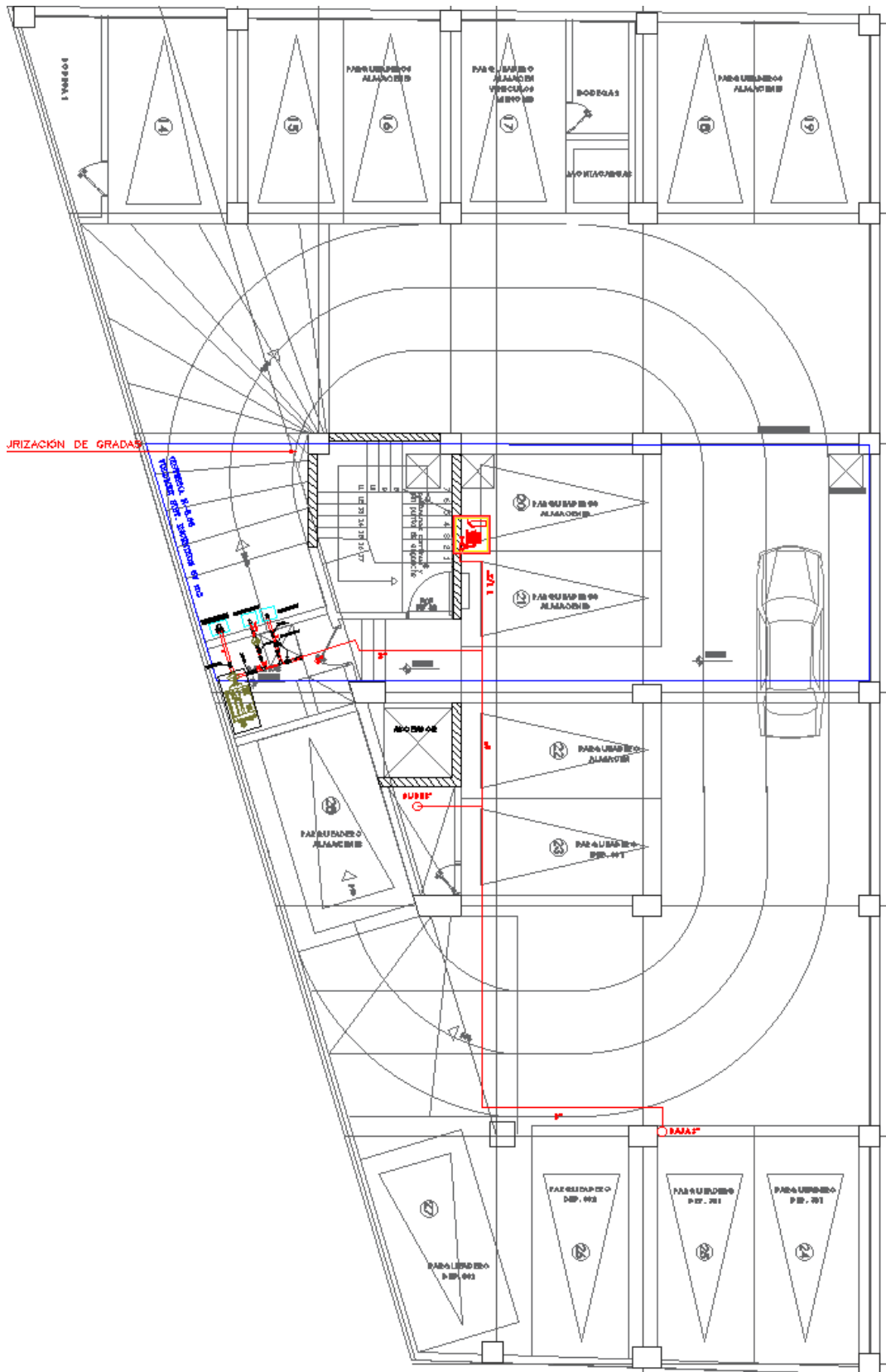


Figura 1.9. Sistema hidráulico de red ramificada.

1.5. Conclusiones

Para el diseño de redes hidráulicas, es permitido utilizar ecuaciones empíricas para el cálculo de la pérdida de presión en tuberías, estas ecuaciones pueden ser las de Hazen-Williams, Manning, Chezy, Schoder y Scobey. Esto es aplicable, siempre que se use un método que correlacione los coeficientes de rugosidad de las ecuaciones empíricas con las características del flujo, del fluido y del material del conducto por el cual circula el fluido.

Es un hecho que en la actualidad el método mayormente confiable es el de Darcy-Weisbach para calcular la pérdida de presión en conductos tubulares, a partir de la estimación del factor de fricción (f) propuesto por Colebrook-White. Por tanto, se concluye que este método se puede usar como un referente para la comparación y validación de otros métodos.

De acuerdo con el estudio realizado acerca de la ecuación de Hazen-Williams y las expresiones que correlacionan su coeficiente de rugosidad C_{HW} con las características del flujo, del fluido y del material del conducto por el cual circula el fluido, se concluye que el modelo matemático que cumple con todos estos requisitos es el de la ecuación de Algret y Martinez publicada en el año 2019, ya que se presenta una expresión para el cálculo del coeficiente C_{HW} en función de la rugosidad relativa y el número de Reynolds. Además, con base en el porcentaje de error obtenido en la Figura 2.1 al comparar el método de Hazen-Williams con el de Darcy-Weisbach para cierto material, resulta ser un error relativamente bajo, lo cual hace que este modelo matemático sea confiable.

CAPÍTULO 2. MATERIALES, MÉTODOS Y CONDICIONES EXPERIMENTALES.

Introducción y objetivo

La ecuación de Hazen – Williams, es una expresión matemática que posee ciertas limitaciones a la hora de realizar los cálculos para determinar la caída de presión en una red hidráulica, la principal se basa en el uso del coeficiente de rugosidad C_{HW} , es por ello que en este capítulo se definen los métodos, procesos y condiciones experimentales que fundamenten la investigación para dar una solución a la situación problemática planteada.

Este capítulo tiene como objetivo establecer los modelos matemáticos, teóricos y procedimientos, adecuados para la estimación del coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams (C_{HW}) del acero ASTM A53.

Metodología de cálculo

2.1.1. Ecuación de Hazen – Williams

El método de cálculo de la pérdida de presión de Hazen – Williams se lo define mediante la ecuación (2.1), es el formato más conocido por el cual se la representa.

$$hf = 10,672 \cdot \frac{L}{D^{4,871}} \cdot \left(\frac{Q}{C_{HW}} \right)^{1,852} \quad (2.1)$$

Donde:

hf : pérdidas de carga en un conducto circular de longitud L ; [m].

L : longitud de la tubería [m].

D : diámetro interior o hidráulico de la conducción [m].

Q : caudal de circulación [m^3/s].

C_{HW} : coeficiente de pérdidas de Hazen – Williams [adimensional].

La información que proporcionan diversas literaturas acerca del coeficiente de rugosidad C_{HW} corresponden a tuberías con diámetros iguales o mayores a 100 cm, es muy poco conocido que para diámetros inferiores se debe realizar una corrección

a los valores mostrados en dicha tabla, la ecuación (2.2) define dicha corrección [15].

$$C_{HWc} = 0,1 \cdot (1 - D) \cdot C_{HW} \quad (2.2)$$

Donde:

C_{HWc} : coeficiente de rugosidad Hazen – Williams corregido [adimensional].

D : diámetro de la tubería [m].

2.1.2. Modelos matemáticos para el cálculo del coeficiente de Hazen-Williams (C_{HW}).

Existen varios modelos matemáticos que han sido desarrollados por diferentes investigadores, los cuales buscan estimar de manera más precisa el coeficiente de rugosidad C_{HW} . Entre los más populares están, la ecuación (2.3) de Diskin, y la ecuación (2.4) de Martínez y Fernández, que están en función de la rugosidad absoluta y la viscosidad cinética, todas expresadas a través del factor de fricción f y el número de Reynolds Re [3].

Ecuación de Diskin, la cual fue conocida en el año 1960 [7].

$$C_{HW} = \left(\frac{1013,67}{f \cdot D^{0,019} \cdot Re^{0,148}} \right)^{0,54} \quad (2.3)$$

Ecuación de Martínez y Fernández la cual fue conocida en el año 2005 [6].

$$C_{HW} = 13,79 \cdot f^{-0,54} \left(\frac{Q^{-0,08}}{D^{-0,0675}} \right)^{0,54} \quad (2.4)$$

León (2004), sus estudios fueron direccionados hacia la determinación del coeficiente C_{HW} para tuberías dentro de un rango de diámetros de (50 -500) mm, rugosidades entre (0,01 – 1) mm y números de Reynolds entre 10^3 y 10^6 . Como consecuencia de dicha investigación, plantea la ecuación (2.5), la cual está solo en función de la rugosidad relativa, dejando de lado el número de Reynolds [18].

$$C_{HW} = 18,85 + 14,3 \left(\frac{\varepsilon}{D} \right) - 16,27 \ln \left(\frac{\varepsilon}{D} \right) - 37 \times 10^{-6} \ln \left(\frac{\varepsilon}{D} \right) - 7,35 \times 10^{-3} \ln \left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^{-1} \quad (2.5)$$

Donde:

ε = rugosidad absoluta [mm].

Q = Caudal ó flujo volumétrico en [m³/s].

f = Factor de fricción[dim].

D = Diámetro interior en [m].

Uno de los estudios más recientes a cerca del coeficiente C_{HW} fue realizado en el año 2019 por los autores Algret y Martinez, los cuales proponen la ecuación (2.6) en función de la rugosidad relativa y del número de Reynolds de manera directa, tomando como referencia el modelo matemático propuesto en el año 2004.

Con base en las ecuaciones propuestas anteriormente plantea la ecuación (2.6) en función de la rugosidad absoluta, el diámetro de la tubería y el número de Reynolds, la cual permite calcular el coeficiente de rugosidad C_{HW} . [3]

$$\begin{aligned} C_{HW} = & 197,17 - 25,79 \ln(Re) - 5,41 \ln\left(\frac{\varepsilon}{D}\right) + 0,4464(\ln(Re))^2 \\ & - 3,39 \left(\ln\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)\right)^2 - 5,086 \ln(Re) \ln\left(\frac{\varepsilon}{D}\right) \\ & + 0,041(\ln(Re))^3 + 0,124 \left(\ln\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)\right)^3 \\ & + 0,39 \ln(Re) \left(\ln\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)\right)^2 + 0,3757(\ln(Re))^2 \ln\left(\frac{\varepsilon}{D}\right) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Donde:

Re : Número de Reynolds [adimensional].

Q : Caudal ó flujo volumétrico en [m³/s].

D : Diámetro interior en [m].

ε : rugosidad absoluta [mm].

Estas ecuaciones demuestran que el coeficiente C_{HW} no se mantiene constante para una determinada rugosidad ε , al contrario, este varía de acuerdo a las condiciones del flujo y material.

2.1.3. Número de Reynolds

Como hemos descrito en el capítulo 1 de esta investigación, uno de los puntos de partida más importantes para estudiar el coeficiente C_{HW} es conocer el régimen del fluido, para ello, la ecuación (2.7) permite calcular el número de Reynolds, el cual define si un flujo está en régimen laminar, turbulento o de transición [9].

$$Re = \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{\rho \cdot D \cdot v}{\mu} \quad (2.7)$$

Donde:

ρ = Densidad del fluido [kg/m^3].

v = Velocidad del fluido [m/s].

μ = Viscosidad dinámica del fluido [$\text{kg/m} \cdot \text{s}$].

Tuberías de acero al carbono para redes hidráulicas.

Son aquellas tuberías metálicas formadas por una aleación de acero al carbono, por su composición química o su nivel de contenido de carbono, se pueden clasificar en tres tipos:

- Tuberías de acero de bajo contenido de carbono [30].
- Contenido de carbono de 0,08% a 0,30%.
- Tuberías de acero de medio contenido de carbono.
- Contenido de carbono de 0,25% a 0,60%.
- Tuberías de acero de alto contenido de carbono.
- Contenido de carbono de 0,60% a 1,40%.

Las tuberías de acero al carbono debido a su versatilidad son usadas en diversos campos de la industria tales como el transporte de fluidos (aceites, agua, gas, vapor, etc.), y también en el área de la construcción como soportes estructurales [30].

2.1.4. Tuberías que conforman la red hidráulica del sistema contra incendios (Acero ASTM A53).

Son tuberías de acero al carbono fabricadas bajo los requerimientos de la ASTM (Sociedad americana para pruebas y materiales), detallados en la especificación ASTM A53.

Las tuberías ASTM A53 vienen fabricadas en dos grados y tres tipos como de los describe en la Figura 2.1.

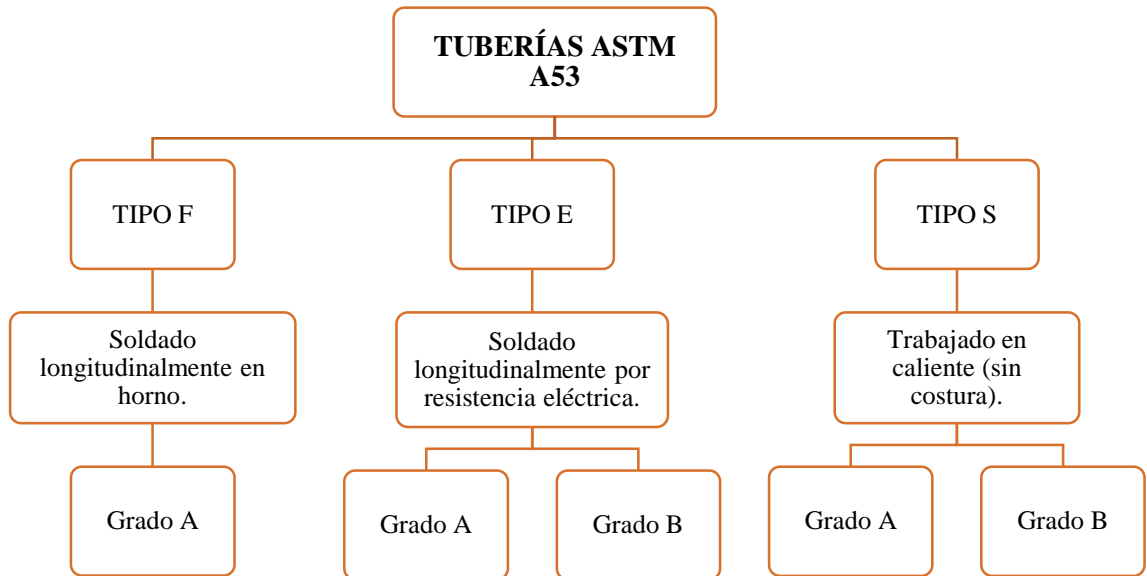


Figura 2.1. Tipos de tuberías ASTM A53.
Fuente: [31]

En la última década, en Ecuador los sistemas de protección contra incendios han ganado una gran importancia principalmente dentro del sector industrial, residencial y comercial, debido a que en ocasiones los diversos accidentes se producen suelen ser provocados por el fuego, causando pérdidas de vidas humanas y pérdidas económicas.

De acuerdo con la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción), los sistemas de protección contra incendios, deben ser diseñados e implementados conforme a las especificaciones mínimas establecidas por la National Fire Protection Association (NFPA).

La norma NFPA 13, la cual es usada para la instalación de sistemas de rociadores, establece los materiales y dimensiones de las tuberías que pueden ser usadas en el diseño e implementación de sistemas de protección contra incendios. La Tabla 2.1 muestra el listado de materiales permitidos en la instalación de dichos sistemas [32].

Tabla 2.1. Tuberías permitidas en sistemas contra incendios de acuerdo a la NFPA.

Materiales y dimensiones	Norma
Tuberías Ferrosas (Con y sin costura) Especificación para tubos de hierro negro y de acero con recubrimiento de zinc en caliente por inmersión (galvanizado), con y sin costura, para uso en protección contra incendios.	ASTM A 795
Especificación para tubos de acero con y sin costura.	ANSI/ASTM A 53
Tubos de acero forjado	ANSI/ASME B 36.10ME
Especificación para tubos de acero soldados por resistencia eléctrica.	ASTM A 135
Tubo de cobre (Trafilado, sin costura)	
Especificación para tubos de cobre sin costura	ASTM B 75
Especificación para tubos de cobre para agua sin costura.	ASTM B 88
Especificación de los requisitos generales para tubos de cobre forjado sin costura y tubos de aleación de cobre.	ASTM 251
Fundentes para aplicaciones de soldadura de tubos de cobre y aleación de cobre.	ASTM B 813
Metal relleno para soldadura con latón (Clasificación BCuP-3 o BCuP-4)	AWS A 5.8
Metal para soldar; Sección 1: Aleaciones para soldar que contienen menos que 0,2% de plomo y que tienen temperatura de sólido mayores que 400°F	ASTM B 32
Materiales de aleación	ASTM B 446

Fuente: [32]

Actualmente, en el Ecuador el material más comúnmente usado son las tuberías de acero sin costura ASTM A53 - TIPO S, en lo que son las instalaciones de sistemas de protección contra incendios. En la Figura 2.2 se observa las tuberías de las cuales hablamos.



Figura 2.2. Tuberías de acero ASTM A53.

A continuación, se observa en la Tabla 2.2 las propiedades del acero ASTM A53 del cual se va a estimar el coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams.

Tabla 2.2. Propiedades del Acero ASTM A53.

MATERIAL	Acero
ESPECIFICACIÓN	Astm A53
TIPO	Tipo S
GRADO	Grado B
CÉDULA	SCH 40
RUGOSIDAD	0,05 mm

Fuente: [31]

En la Tabla 2.3 se muestra el valor del diámetro interior y exterior de las tuberías de acero usadas en los sistemas de protección contra incendios, de las cuales se estimará el coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams (C_{HW}).

Tabla 2.3. Dimensiones tuberías ASTM A53.

TUBERÍAS DE ACERO ASTM A53			
CÉDULA 40			
Diámetro Nominal		Diámetro Exterior	
Pulg.	mm	Pulg.	mm
3"	76,20	3,50	88,90
2 ½"	63,50	2,875	73,03
2"	50,80	2,375	60,33
1 ½"	38,10	1,90	48,26

Respecto al coeficiente de rugosidad C_{HW} sabemos que, para las tuberías de acero nuevo sin ningún tipo de revestimiento el valor del coeficiente C_{HW} es muy cercano a 140. El deterioro de este material se produce rápidamente y el coeficiente C_{HW} disminuye a 130, sin embargo, se ha demostrado que después de algunos años de uso dicho coeficiente disminuye hasta llegar a un valor de 120. De tal manera que para los diseños de sistemas a base de agua con tuberías de acero se considera un coeficiente C_{HW} de 120.

Para sistemas en los que no se use agua, es decir, sean sistemas secos, se utiliza un coeficiente Hazen-Williams de 100, esto se debe a que estos sistemas tienen una mayor tendencia a la corrosión.

Debido a incrustaciones y la corrosión se debería comprenderse que un sistema nuevo tendrá menos pérdidas de presión respecto a las que hayan sido calculadas teóricamente. Sin embargo, la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA) recomienda usar un coeficiente menor los que se encuentran tabulados en diversas literaturas para hacer sistemas más eficientes y seguros [32].

Medidores de flujo

Los medidores de flujo son aparatos o dispositivos que se colocan en las líneas de tuberías por donde circula un fluido, con el objetivo de obtener ciertas magnitudes entre las más importantes están la velocidad y el caudal [33].

Actualmente, en el mercado existe una gran variedad de medidores de flujo, para diferentes tipos de fluido y características, en la Tabla 2.4 se aprecia una clasificación de los tipos de medidores de flujo.

Tabla 2.4. Tipos de medidores de flujo.

TIPO DE MEDIDOR	MÉTODO	MEDIDOR
Volumétricos	Desplazamiento positivo	Pistón alternativo
		Disco giratorio
	Velocidad	Sondas ultrasónicas
		Turbina
	Tensión inducida	Medidor magnético
	Área variable	Rotámetro
	Presión diferencial	
Tobera		
Tubo Venturi		
Tubo Pitot		
Tubo Annubar		
Caudal - Masa	Térmico	Diferencia temperaturas en dos sondas de resistencia

Fuente: [33]

La medición de caudal dentro de los sistemas de protección contra incendios es de vital importancia, ya que continuamente se requiere realizar pruebas de desempeño y funcionamiento del sistema. Los sistemas contra incendios casi siempre comprenden de una red de tuberías, una bomba contra incendios y una cisterna o tanque. Con la medición del caudal se puede obtener una curva de la bomba la cual puede ser comparada con la curva original proporcionada por el fabricante, y de esa manera poder verificar el desempeño de dicha bomba y con ello el funcionamiento del sistema [34].

Selección del medidor de caudal.

Los dispositivos más usados para la medición de caudal en los sistemas de protección contra incendios son los de tipo volumétrico, los cuales usan el método de presión diferencial. Dentro de este grupo se encuentran los medidores de placa orificio, tobera, tubo Annubar, tubo Pitot y tubo Venturi, siendo los más comúnmente usados dentro de esta rama el tubo Pitot y el tubo Venturi [34].

Tanto el medidor de flujo de tubo Pitot como el tubo Venturi son medidores UL/FM, es decir cuentan con una certificación de calidad la cual garantiza el buen desempeño dentro de los sistemas contra incendios.

Para este trabajo investigativo se usará el Tubo Venturi para la medición del caudal en la tubería. Además de ser apto para este tipo de sistemas, es un dispositivo que se puede colocar en cualquier punto de la red hidráulica, a diferencia del medidor de tubo Pitot el cual se coloca únicamente en puntos de descarga como son cabezales de pruebas, hidrantes, o bocas contra incendios.

2.1.5. Principio de funcionamiento del tubo Venturi

Su principio de funcionamiento tiene base en el efecto Venturi. Este efecto se define como un fenómeno físico el cual radica en el cambio de velocidad de un fluido que circula por un conducto cerrado. El cambio en la velocidad es el resultado de la variación de la presión en el interior del conducto causado por una disminución en el área transversal del conducto por el cual circula el fluido [35].

De acuerdo con la Figura 2.3, en el punto 2 del conducto la velocidad es mayor pero la presión es menor, respecto al punto 1 del mismo conducto.

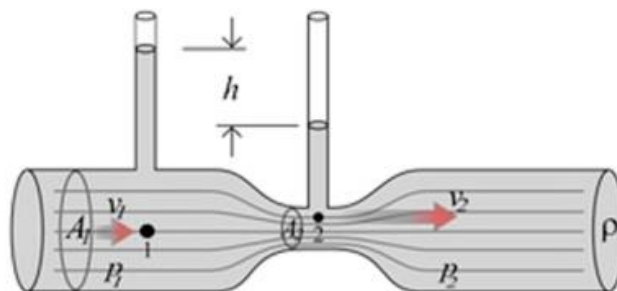


Figura 2.3. Tubo Venturi
Fuente: [35]

La ecuación (2.8) describe el teorema de Bernoulli, en el cual se considera una diferencia de altura y una pérdida de presión por fricción despreciable. Por medio de un despeje de variables se obtiene la ecuación (2.10) que es la variación de la presión entre el punto 1 y 2 dentro del tubo Venturi, la cual está en función de sus velocidades.

$$\frac{P_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.8)$$

$$\frac{P_1}{w} - \frac{P_2}{w} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \quad (2.9)$$

$$\Delta P = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (2.10)$$

Donde:

P_1 : Presión en el punto 1, [Pa].

P_2 : Presión en el punto 2, [Pa].

v_1 : Velocidad en el punto 1, [m/s].

v_2 : Velocidad en el punto 2, [m/s].

g : Constante gravitatoria [9,81 m/s²].

w : peso específico [N/m³].

Se sabe que la velocidad del fluido en el punto 1 y 2 se calcula con la ecuación (2.11) y la ecuación (2.12).

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} \quad (2.11)$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} \quad (2.12)$$

La ecuación (2.13) es el resultado de sustituir las ecuaciones (2.11) y (2.12) en la ecuación (2.10). De manera que cualquier medidor de flujo Venturi se basa en dicha ecuación para el cálculo del caudal dentro de una tubería. La ecuación (2.13) define

el método de diferencia de presiones en el cual se basa el caudalímetro Venturi para el cálculo del caudal. [34].

$$Q = \frac{A_1 \cdot A_2}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta P} \quad (2.13)$$

Donde:

Q : Caudal ó flujo volumétrico en [m³/s].

A_1 : Área transversal en el punto 1, [m²].

A_2 : Área transversal en el punto 2, [m²].

ΔP : Variación de presión [Pa].

La Figura 2.4 muestra el tipo de caudalímetro que comúnmente se instalan en los sistemas de protección contra incendios para medir el caudal que circula en el interior de las tuberías.



Figura 2.4. Caudalímetro Venturi.

Fuente: [35]

En el Anexo 1 se aprecian las especificaciones técnicas del caudalímetro tipo Venturi que se encuentra instalado en la red hidráulica.

Medidores de presión

La presión se define como la cantidad de fuerza que se ejerce sobre unidad de área.

La Figura 2.5 muestra una referencia de los tipos de presiones que se pueden medir [36].

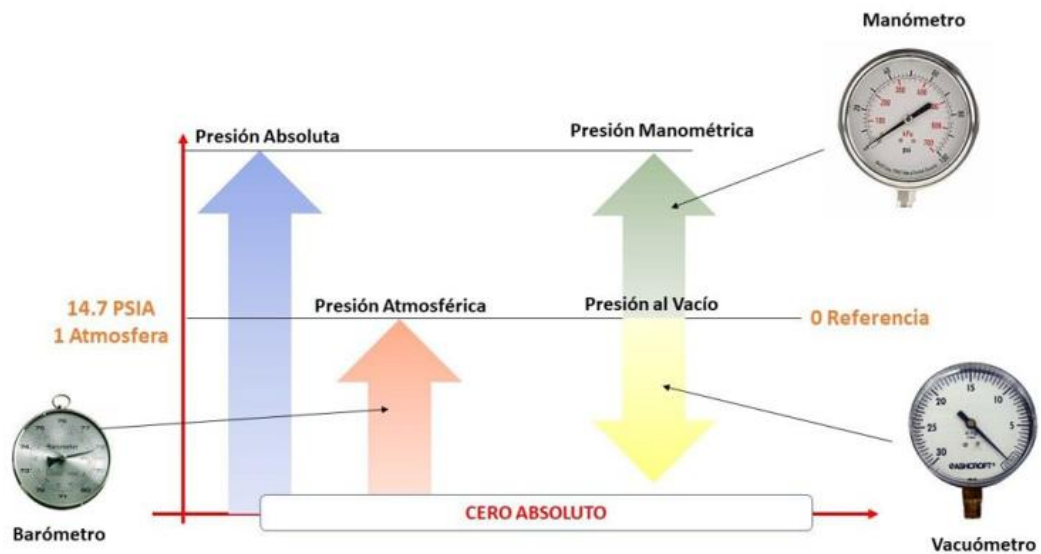


Figura 2.5. Referencia de presión.

Fuente: [36]

Existen diversos dispositivos que son usados para medir diferentes presiones, para esta investigación se usa manómetros en diferentes puntos para medir la presión existente dentro de las tuberías. Los tipos de manómetros más usados son los de tubo Bourdon, de membrana y de cápsula.

Los manómetros de cápsula llenos de líquido son medidores de presión cuya carcasa está completamente llena de un líquido normalmente glicerina que actúa como amortiguador de las vibraciones y de los cortes de presión.

Entre las principales ventajas de usar estos medidores de presión son:

- Son más resistentes a las vibraciones y a los cortes de presión.
- Son herméticos, ya que la presencia del líquido impide que la humedad entre en la carcasa y bloquee el mecanismo.
- Puede funcionar a temperaturas negativas.
- Son respetuosos con el medio ambiente, ya que la glicerina no es tóxica.
- Son económicos y fáciles de usar, proporciona una fácil interpretación de resultados para el usuario.

La Figura 2.6 muestra el tipo de dispositivo que usaremos para medir la presión manométrica.



Figura 2.6. Manómetro.
Fuente: [36]

Especificaciones técnicas:

- Manómetro de glicerina.
- Temperatura de trabajo: de -20°C a 60°C .
- Escala: 0 – 240 (psi)

Fluido de circulación dentro de la red hidráulica

Los sistemas de protección contra incendios se basan en cuatro métodos de extinción del fuego, los cuales son por separación, sofocación, enfriamiento e inhibición. Por lo general el método más usado y económico es el de enfriamiento con agua, el cual consiste en usar agua para disminuir la temperatura de los combustibles, y de esa manera deshacer el equilibrio térmico y extinguir el fuego [32].

La Figura 2.7 muestra un gabinete de extinción de incendios, el cual usa agua para apagar el fuego.



Figura 2.7. Gabinete de extinción de incendios.

Por lo tanto, para este trabajo investigativo se usa agua como el fluido de circulación dentro de la red de tuberías de acero ASTM A53. El fluido de trabajo, en este caso el agua, circula a temperatura ambiente.

El Anexo 2 muestra las propiedades del agua a diferentes temperaturas, dicho anexo proporciona datos importantes para el cálculo del número de Reynolds y así determinar el régimen del fluido que circula dentro de las tuberías [37].

Pérdida de presión en redes de sistemas contra incendios usando del método de Hazen – Williams.

La Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA) recomienda el uso de la ecuación (2.1) de Hazen – Williams para la determinación de la pérdida de presión en tuberías de redes hidráulicas contra incendios [32].

El cálculo de la pérdida de presión en accesorios y válvulas se lo determina con la ecuación (2.14) de Hazen – Williams [32].

$$hf = 10.672 \cdot \frac{L_{eq}}{D^{4.871}} \cdot \left(\frac{Q}{C_{HW}} \right)^{1.852} \quad (2.14)$$

Donde:

L_{eq} : longitud equivalente de accesorios y válvulas (m)

En la Tabla 2.5 se aprecian los valores de las longitudes equivalentes para diferentes accesorios y válvulas, estos valores están definidos por la NFPA. Los valores mostrados en dicha figura únicamente pueden ser usados en casos donde el coeficiente de Hazen – Williams (C_{HW}) sea igual a 120.

Tabla 2.5. Tabla de longitudes equivalentes de la tubería de acero cédula 40.

Accesorios y válvulas	Accesorios y válvulas expresados en pies equivalentes de tubería														
	½ pulg (15 mm)	¾ pulg (20 mm)	1 pulg (25 mm)	1¼ pulg (32 mm)	1½ pulg (40 mm)	2 pulg (50 mm)	2½ pulg (65 mm)	3 pulg (80 mm)	3½ pulg (90 mm)	4 pulg (100 mm)	5 pulg (125 mm)	6 pulg (150 mm)	8 pulg (200 mm)	10 pulg (250 mm)	12 pulg (300 mm)
Codo a 45°	—	1 (0.3)	1 (0.3)	1 (0.3)	2 (0.6)	2 (0.6)	3 (0.9)	3 (0.9)	3 (0.9)	4 (1.2)	5 (1.5)	7 (2.1)	9 (2.7)	11 (3.4)	13 (4)
Codo estándar a 90°	1 (0.3)	2 (0.6)	2 (0.6)	3 (0.9)	4 (1.2)	5 (1.5)	6 (1.8)	7 (2.1)	8 (2.4)	10 (3)	12 (3.7)	14 (4.3)	18 (5.5)	22 (6.7)	27 (8.2)
Codo de giro largo a 90°	0.5 (0.2)	1 (0.3)	2 (0.6)	2 (0.6)	2 (0.6)	3 (0.9)	4 (1.2)	5 (1.5)	5 (1.5)	6 (1.8)	8 (2.4)	9 (2.7)	13 (4)	16 (4.9)	18 (5.5)
Té o cruz (giro de flujo de 90°)	3 (0.9)	4 (1.2)	5 (1.5)	6 (1.8)	8 (2.4)	10 (3)	12 (3.7)	15 (4.6)	17 (5.2)	20 (6.1)	25 (7.6)	30 (9.1)	35 (10.7)	50 (15.2)	60 (18.3)
Válvula mariposa	—	—	—	—	—	6 (1.8)	7 (2.1)	10 (3)	—	12 (3.7)	9 (2.7)	10 (3)	12 (3.7)	19 (5.8)	21 (6.4)
Válvula de compuerta	—	—	—	—	—	1 (0.3)	1 (0.3)	1 (0.3)	1 (0.3)	2 (0.6)	2 (0.6)	3 (0.9)	4 (1.2)	5 (1.5)	6 (1.8)
Retención tipo charnela*	—	—	5 (1.5)	7 (2.1)	9 (2.7)	11 (3.4)	14 (4.3)	16 (4.9)	19 (5.8)	22 (6.7)	27 (8.2)	32 (9.3)	45 (13.7)	55 (16.8)	65 (20)

Para unidades SI: 1 pulg = 25,4 mm; 1 pie = 0.3048 m
 Nota: La información sobre tubería de ½ pulg se incluye en la tabla sólo porque se permite bajo 8.22.19.3 y 8.22.19.4.
 *Debido a las variaciones en el diseño de las válvulas de retención, los equivalentes de los tubos indicados en esta tabla, se consideran un promedio.

Fuente: [32]

Para coeficientes de Hazen – Williams diferentes a 120, se debe usar la Tabla 2.5. Los valores de longitudes equivalentes resultantes deben ser multiplicados por un factor de corrección que se muestra en la Tabla 2.6 de acuerdo al coeficiente C_{HW} que corresponda [32].

Tabla 2.6. Multiplicador del valor C

Valor de C	100	130	140	150
Factor de multiplicación	0.713	1.16	1.33	1.51

NOTA: Estos factores se basan en la pérdida por fricción a través del accesorio, siendo independiente del factor C disponible para la tubería.

Fuente: [32]

Para determinar el factor de multiplicación para el coeficiente C se realiza un análisis de regresión.

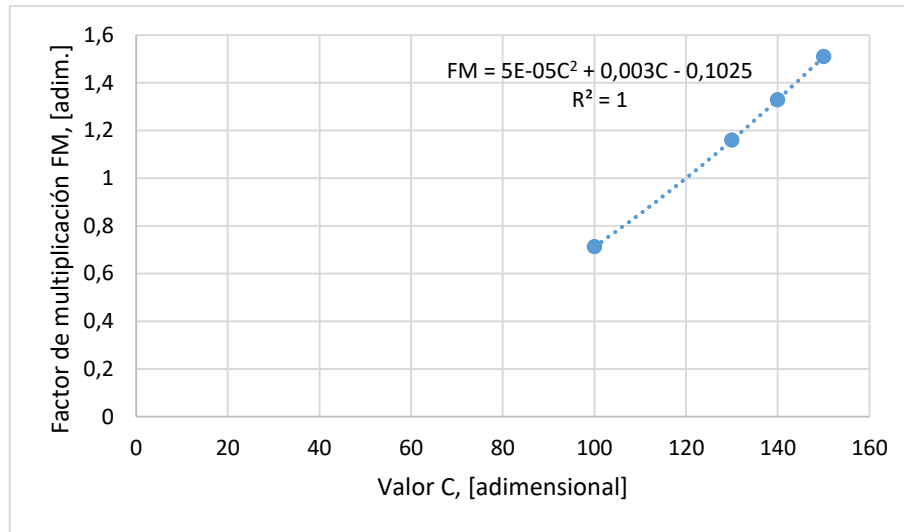


Figura 2.8. Regresión polinómica $FM = f(C)$.

$$FM = 5^{-5} \cdot C^2 + 0,003 \cdot C - 0,1025 \quad (2.15)$$

Para los valores del coeficiente C que sean intermedios a los valores que se encuentran en la Tabla 2.6, se determinan usando la ecuación (2.15) obtenida mediante la regresión polinomial de la Figura 2.8, los cuales nos sirven para obtener las longitudes equivalentes de los accesorios y válvulas.

Pérdida de presión en redes de sistemas contra incendios usando el método de Darcy – Wisbach.

El método de Darcy presenta una ecuación que sirve para el cálculo de la pérdida de energía (presión) a causa de la fricción en secciones rectilíneas y largas de tuberías redondas, ya sea para flujo laminar como para flujo turbulento, el coeficiente de rugosidad f depende del tipo de material [16]. La ecuación (2.16) define dicho método de cálculo.

$$h_f = \left(\lambda \cdot \frac{8}{g \cdot \pi^2 \cdot D^5} \right) \cdot L \cdot Q^2 \quad (2.16)$$

Donde:

h_f = Pérdida de presión [m].

L = Longitud del tubo[m].

Q = Caudal ó flujo volumétrico en $[m^3/s]$.

λ = Factor de fricción [adimensional].

g = aceleración de la gravedad $\approx 9,8 [m/s^2]$. [29]

D = Diámetro interior en [m]. [29]

Cuando se trata de un fluido que se encuentra en régimen laminar se puede determinar el factor de fricción λ usando la ecuación (2.17).

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (2.17)$$

Mientras que, para un fluido en régimen turbulento se utiliza la ecuación de Colebrook – White representada por la expresión (2.18), dicha ecuación también puede ser usado para régimen laminar.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \log \left(\frac{\varepsilon}{3,71 * D} + \frac{2,51}{Re * \sqrt{\lambda}} \right) \quad (2.18)$$

Actualmente, la ecuación de Colebrook – White es considerada la más exacta, para su resolución y obtención de factor de fricción λ requiere de métodos de iteración, allí es donde radica su complejidad [38] .

2.1.6. Cálculo del factor de fricción de Darcy-Wisbach (λ)

Para el cálculo del factor λ se ha planteado una metodología, la cual tiene base en el uso de un método de iteración para dicha estimación. La metodología a seguir se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 2.9, la resolución puede usar diferentes softwares como MatLab, Excel, etc.

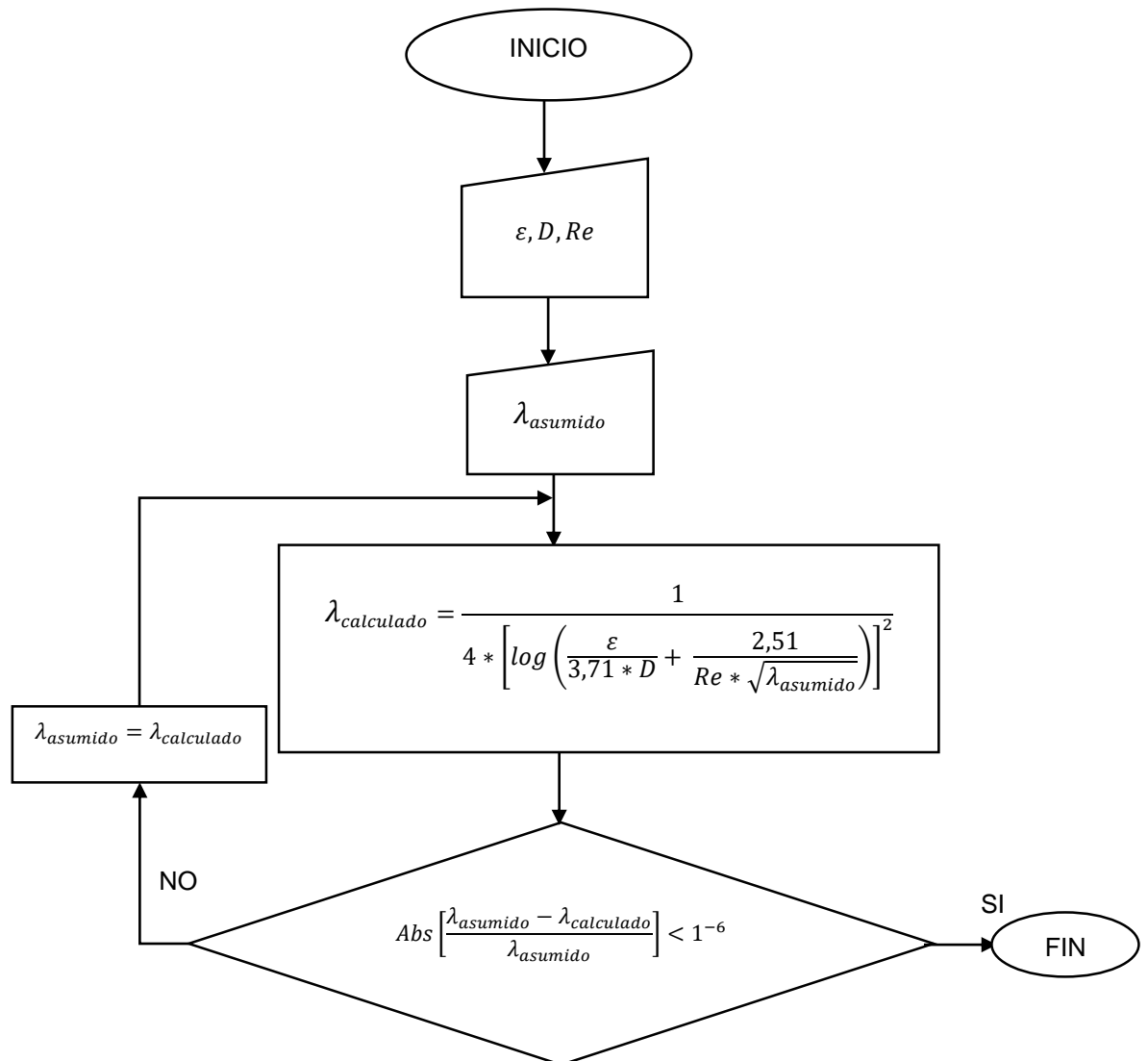


Figura 2.9. Diagrama de flujo de la metodología para el cálculo del factor de fricción λ .

Carga dinámica total (TDH)

La ecuación (2.19) define la carga dinámica total, la cual representa la pérdida de presión total de un sistema hidráulico, magnitud con la cual se puede seleccionar el equipo de bombeo adecuado para mover un fluido [39].

$$TDH = Hf_{total} + \left[\frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \right] - \left[\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 \right] \quad (2.19)$$

Donde:

TDH = Carga total dinámica [m]

Hf_{total} = Pérdida total de presión por fricción [m]

P_2 = Presión en la salida del gabinete = 65 [psi] = 448 159 [N/m²]

V_2 = Velocidad de flujo de agua a la salida del gabinete [m/s]

Z_2 = Altura del gabinete respecto a la bomba = 33,70 [m]

P_1 = Presión en el nivel de toma de agua en la cisterna = 0,00 [psi]

V_1 = Velocidad del agua en la cisterna 0,00 [psi]

Z_1 = Altura de la toma de agua en la cisterna respecto a la bomba = 2,45 [m]

ρ = Densidad del agua 999,77 [kg/m³]

g = Coeficiente de gravedad = 9,8 [m/s]

Para la medición de la presión en el punto más crítico de la red implementada en la edificación, se realiza una prueba hidráulica usando la manguera del gabinete el cual contiene un manómetro como se observa en la Figura 2.7.

Diseño experimental

Para esta sección de la investigación se determina el tamaño de la muestra, es decir el número de mediciones que se realiza con el medidor de caudal tipo Venturi. La función que permite determinar el tamaño de la muestra se denota por: $y = f(x)$ donde y es la variable dependiente mientras que x es la independiente [40].

Variables independientes

Para esta investigación se ha considerado dos variables de independiente o de entrada las cuales son el caudal que circula por el interior de las tuberías y el diámetro de las mismas.

Variables dependientes

Para este punto se ha considerado una variable dependiente o de salida la cual es la presión.

La ecuación (2.20) relaciona las variables independientes y dependientes para poder determinar el número de la muestra.

$$n = 3^k \quad (2.20)$$

Donde:

n = número de mediciones [unidades].

k = variables de entrada [unidades].

$$n = 3^2 = 9$$

De acuerdo con la ecuación (2.20) número mínimo de mediciones de caudal son 9.

Conclusiones del capítulo 2

Es importante definir los métodos a seguir y materiales a utilizar con sus propiedades y respectivas características y especificaciones, para ya obtener los resultados de esta investigación.

Al ser el acero ASTM A53 sin costura, el material más usando en la implementación de los sistemas de protección contra incendios en el Ecuador, las pruebas para la toma de datos de caudal y presión y posterior estimación del coeficiente C_{HW} , se realiza en una red de tuberías de un sistema contra incendios de una edificación.

El cálculo de la pérdida de presión en toda la red del sistema contra incendios, se determina con el nuevo coeficiente de rugosidad C_{HW} estimado para la tubería de acero ASTM A53 sin costura.

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Introducción y objetivo

En el presente capítulo se presenta la fase de desarrollo, cálculos, pruebas y resultados acorde a los métodos expuestos en el capítulo anterior. Principalmente se muestra como resultado de esta investigación el valor estimado del coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams (C_{HW}) para el acero ASTM A53 sin costura, seguido de un cálculo de la pérdida de presión en la red hidráulica del sistema de protección contra incendios.

El objetivo de este capítulo es evaluar los resultados obtenidos de la estimación del coeficiente de rugosidad C_{HW} mediante el uso de la metodología propuesta en el capítulo 2, así como también determinar la pérdida de presión en la red hidráulica.

Condiciones del flujo de circulación

Para determinar la temperatura media del agua, se ha medido la temperatura del líquido dentro de la cisterna de la edificación a diferentes horas del día, teniendo como resultado una temperatura promedio de 9,41°C. La Tabla 3.1 muestra los datos mencionados.

Tabla 3.1. Temperatura del agua durante el día.

Tiempo [Horas]	Temperatura [°C]
3	9,2
6	9,3
9	9,4
12	9,6
15	9,6
18	9,5
21	9,5
24	9,2
MEDIA	9,41

La Tabla 3.2 muestra los valores de densidad y viscosidad dinámica del agua para diferentes temperaturas, mediante el modelo de regresión se obtienen las ecuaciones polinomiales, con las cuales se estiman los valores de densidad y viscosidad

dinámica para la temperatura promedio del agua que circula dentro de las tuberías de la red hidráulica.

Tabla 3.2. Propiedades del flujo.

Temperatura T, [°C]	Densidad $\rho, \left[\frac{kg}{m^3}\right]$	Viscosidad dinámica $\mu, \left[\frac{kg}{m \cdot s}\right]$
0,01	999,8	1,792E-03
5	999,9	1,519E-03
10	999,7	1,307E-03
15	999,1	1,138E-03
20	998,0	1,002E-03

Fuente: [37]

La Figura 3.1 muestra una regresión polinomial de la densidad en función de la temperatura $\rho = f(t)$. Como resultado de este análisis de regresión se tiene la ecuación (3.1), la cual permite determinar la densidad del agua para la temperatura media definida en esta investigación.

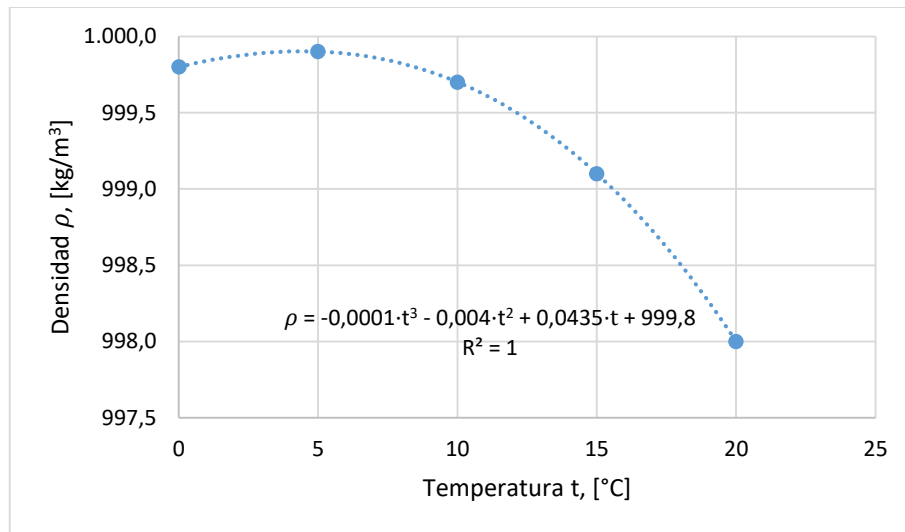


Figura 3.1. Regresión polinómica $\rho = f(t)$.

$$\rho = -0,0001 \cdot t^3 - 0,004 \cdot t^2 + 0,0435 \cdot t + 999,8 \quad (3.1)$$

La Figura 3.2 muestra una regresión polinomial de la viscosidad dinámica en función de la temperatura $\mu = f(t)$. Como resultado de este análisis de regresión se tiene la ecuación (3.2), la cual permite determinar la viscosidad del agua para la temperatura media definida en esta investigación.

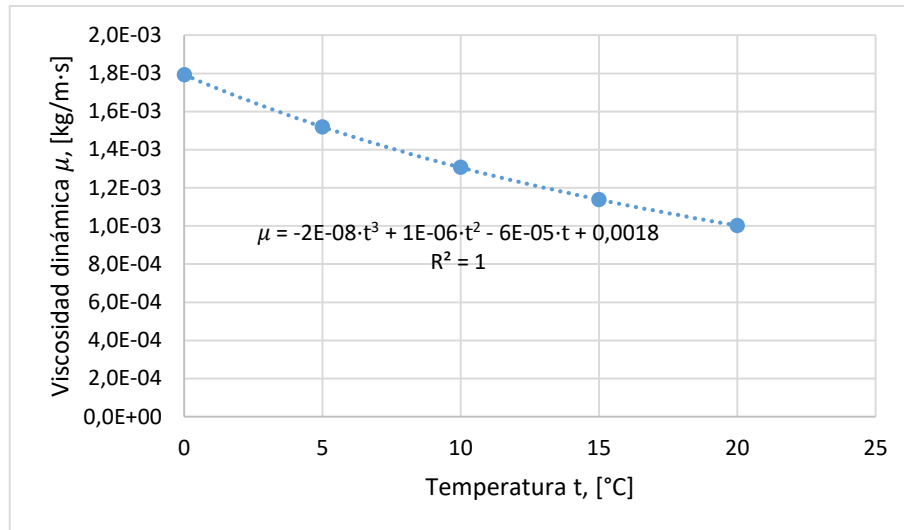


Figura 3.2. Regresión polinómica $\mu = f(t)$.

$$\mu = -2^{-8} \cdot t^3 + 1^{-6} \cdot t^2 - 6^{-5} \cdot t + 0,0018 \quad (3.2)$$

Medición de caudal en la red

Se tiene una red hidráulica que corresponde a un sistema de protección contra incendios instalado en una edificación ubicada en la ciudad de Quito.

La edificación comprende de once plantas, dentro de las cuales se encuentra distribuida la red hidráulica tal y como se muestra en la siguiente Figura 3.3.

Los planos de todas las plantas se aprecian en el Anexo 3.

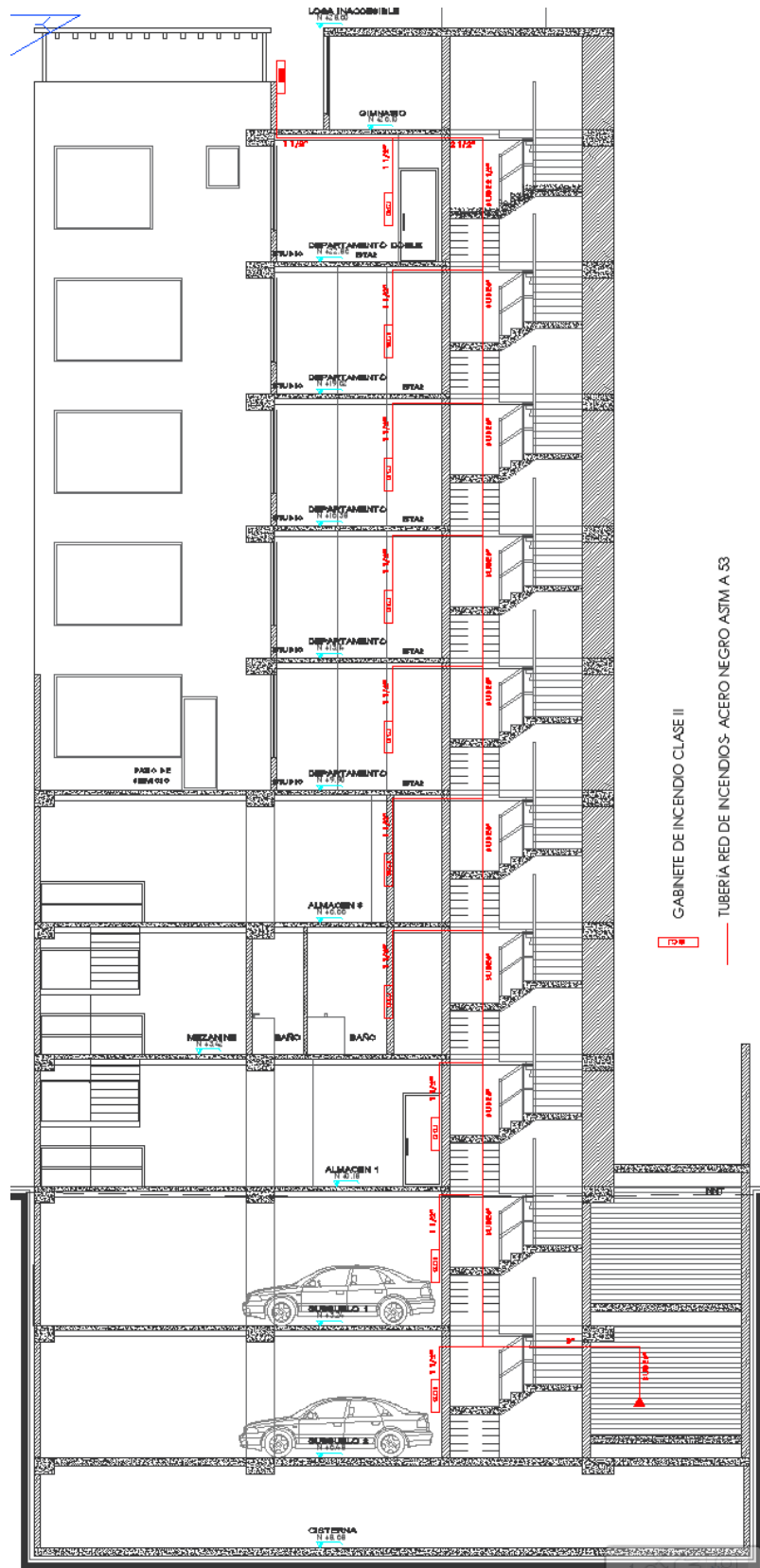


Figura 3.3. Vista en corte de la red del sistema contra incendios.

El equipo utilizado para la medición de caudal dentro de la red es un medidor de flujo tipo Venturi, el cual está instalado a la salida de la bomba del sistema contra incendios, tal como se muestra en la Figura 3.4 y Figura 3.5.

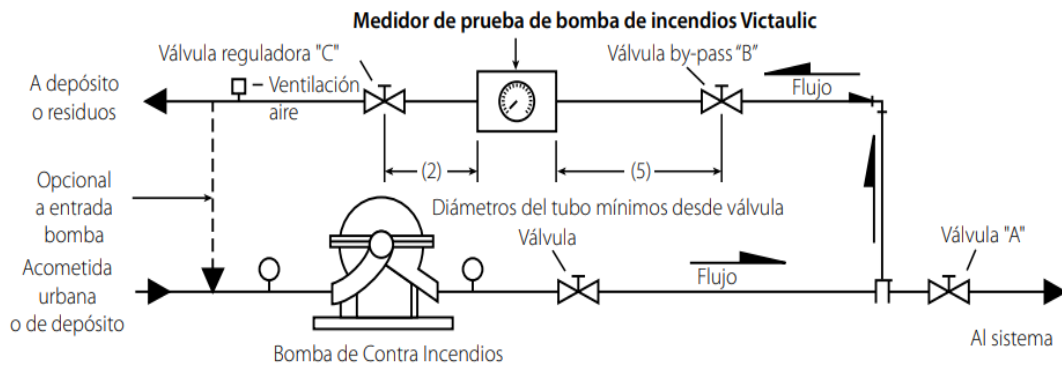


Figura 3.4. Ubicación del medidor de flujo en una red contra incendios.



Figura 3.5. Medidor de flujo de 3 pulgadas ranurado.

En la Tabla 3.3 se observa los datos obtenidos al realizar las pruebas de medición de caudal y presión en la red hidráulica, usando el medidor de flujo tipo Venturi y los manómetros ubicados a la salida del equipo de bombeo y en la salida del gabinete contra incendios ubicado en la última planta de la edificación.

Tabla 3.3. Datos del caudal y presión medidos.

Número de mediciones #	Caudal Q , [GPM]	Presión de descarga de la bomba [psi]	Presión a la salida del gabinete en la última planta P , [psi]
1	153,00	156	66
2	150,00	156	67
3	148,00	156	68
4	148,50	156	68
5	150,00	156	67
6	147,00	156	69
7	150,00	156	67
8	147,00	156	69
9	151,50	156	67
10	153,00	156	66

La Tabla 3.4 muestra los valores estimados del coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams (C_{HW}) para tuberías de acero ASTM A53, los valores que se indican en la tabla están en función de la rugosidad relativa y el número de Reynolds, los mismos han sido calculados para diferentes diámetros y caudales.

Tabla 3.4. Coeficientes C_{HW} estimados.

Diámetro [in]	Densidad [kg/m ³]	Viscosidad [kg/m.s]	Caudal [GPM]	Velocidad [m/s]	Número Reynolds	Rugosidad [m]	C_{HW}
3	999,77	1,307E-03	153,00	2,117	1,234E+05	5,00E-05	135,13
3	999,77	1,307E-03	150,00	2,075	1,209E+05	5,00E-05	135,22
3	999,77	1,307E-03	148,00	2,047	1,193E+05	5,00E-05	135,29
3	999,77	1,307E-03	148,50	2,054	1,197E+05	5,00E-05	135,27
3	999,77	1,307E-03	150,00	2,075	1,209E+05	5,00E-05	135,22
3	999,77	1,307E-03	147,00	2,034	1,185E+05	5,00E-05	135,32
3	999,77	1,307E-03	150,00	2,075	1,209E+05	5,00E-05	135,22
3	999,77	1,307E-03	147,00	2,034	1,185E+05	5,00E-05	135,32
3	999,77	1,307E-03	151,50	2,096	1,222E+05	5,00E-05	135,18
3	999,77	1,307E-03	153,00	2,117	1,234E+05	5,00E-05	135,13
2,5	999,77	1,307E-03	153,00	3,048	1,480E+05	5,00E-05	132,16
2,5	999,77	1,307E-03	150,00	2,988	1,451E+05	5,00E-05	132,27
2,5	999,77	1,307E-03	148,00	2,948	1,432E+05	5,00E-05	132,34
2,5	999,77	1,307E-03	148,50	2,958	1,437E+05	5,00E-05	132,32
2,5	999,77	1,307E-03	150,00	2,988	1,451E+05	5,00E-05	132,27
2,5	999,77	1,307E-03	147,00	2,928	1,422E+05	5,00E-05	132,38

2,5	999,77	1,307E-03	150,00	2,988	1,451E+05	5,00E-05	132,27
2,5	999,77	1,307E-03	147,00	2,928	1,422E+05	5,00E-05	132,38
2,5	999,77	1,307E-03	151,50	3,018	1,466E+05	5,00E-05	132,22
2,5	999,77	1,307E-03	153,00	3,048	1,480E+05	5,00E-05	132,16
2	999,77	1,307E-03	153,00	4,763	1,850E+05	5,00E-05	128,18
2	999,77	1,307E-03	150,00	4,669	1,814E+05	5,00E-05	128,30
2	999,77	1,307E-03	148,00	4,607	1,790E+05	5,00E-05	128,38
2	999,77	1,307E-03	148,50	4,622	1,796E+05	5,00E-05	128,36
2	999,77	1,307E-03	150,00	4,669	1,814E+05	5,00E-05	128,30
2	999,77	1,307E-03	147,00	4,576	1,778E+05	5,00E-05	128,42
2	999,77	1,307E-03	150,00	4,669	1,814E+05	5,00E-05	128,30
2	999,77	1,307E-03	147,00	4,576	1,778E+05	5,00E-05	128,42
2	999,77	1,307E-03	151,50	4,716	1,832E+05	5,00E-05	128,24
2	999,77	1,307E-03	153,00	4,763	1,850E+05	5,00E-05	128,18
1,5	999,77	1,307E-03	153,00	8,467	2,467E+05	5,00E-05	122,58
1,5	999,77	1,307E-03	150,00	8,301	2,419E+05	5,00E-05	122,71
1,5	999,77	1,307E-03	148,00	8,190	2,387E+05	5,00E-05	122,80
1,5	999,77	1,307E-03	148,50	8,218	2,395E+05	5,00E-05	122,78
1,5	999,77	1,307E-03	150,00	8,301	2,419E+05	5,00E-05	122,71
1,5	999,77	1,307E-03	147,00	8,135	2,370E+05	5,00E-05	122,85
1,5	999,77	1,307E-03	150,00	8,301	2,419E+05	5,00E-05	122,71
1,5	999,77	1,307E-03	147,00	8,135	2,370E+05	5,00E-05	122,85
1,5	999,77	1,307E-03	151,50	8,384	2,443E+05	5,00E-05	122,65
1,5	999,77	1,307E-03	153,00	8,467	2,467E+05	5,00E-05	122,58

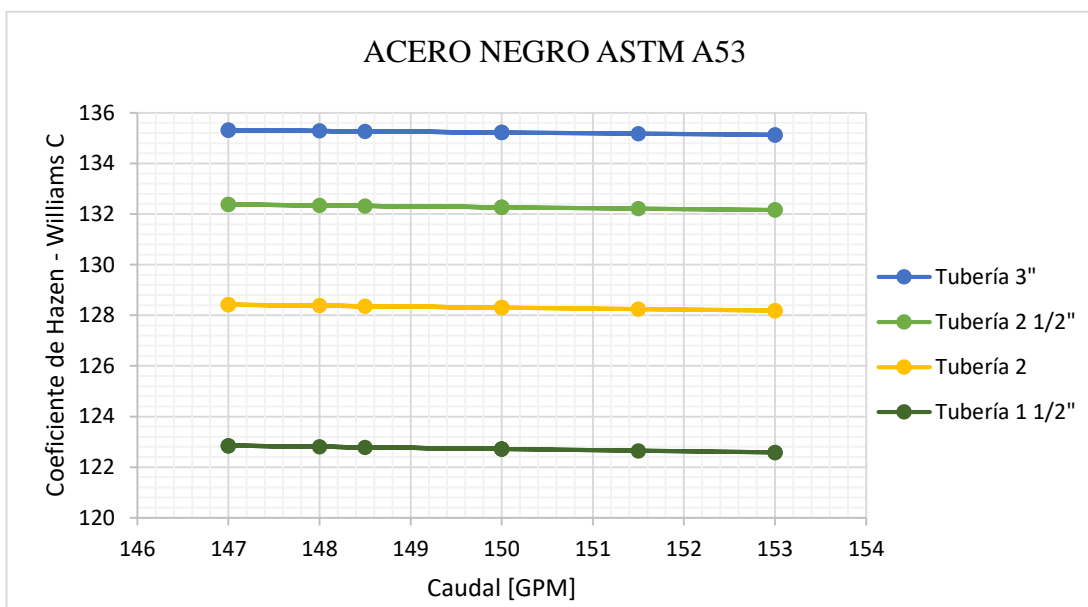


Figura 3.6. Coeficiente de rugosidad (C_{HW}) vs. Caudal.

En la Figura 3.6 se muestra el comportamiento del coeficiente de Hazen – Williams (C_{HW}) versus el caudal para tuberías de acero ASTM A53 de diferentes diámetros.

En dicha figura se aprecia que los coeficientes estimados de C_{HW} disminuyen conforme aumenta el caudal que circula por las tuberías, además se observa que conforme aumenta el diámetro de las tuberías también aumenta el coeficiente de rugosidad C_{HW} . Todos los valores estimados reflejan ser mayores que el coeficiente $C_{HW} = 120$, el cual se encuentra tabulado en la norma NFPA 13 y lo recomiendan para este tipo de material.

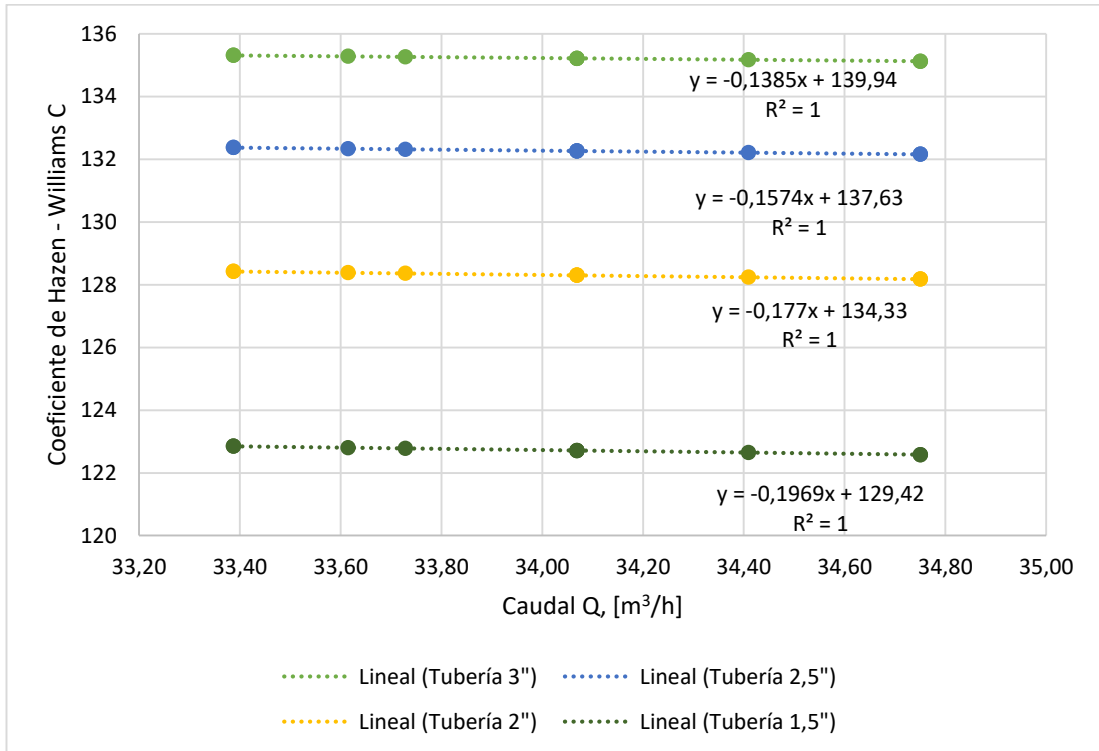


Figura 3.7. Regresión lineal de $C_{HW} = f(Q)$.

La Figura 3.7 muestra las ecuaciones lineales que correlacionan el coeficiente C_{HW} en función del caudal Q para diferentes diámetros. Con las ecuaciones resultantes se procede a realizar una correlación la cual permita obtener el coeficiente C_{HW} en función del diámetro D y el caudal Q .

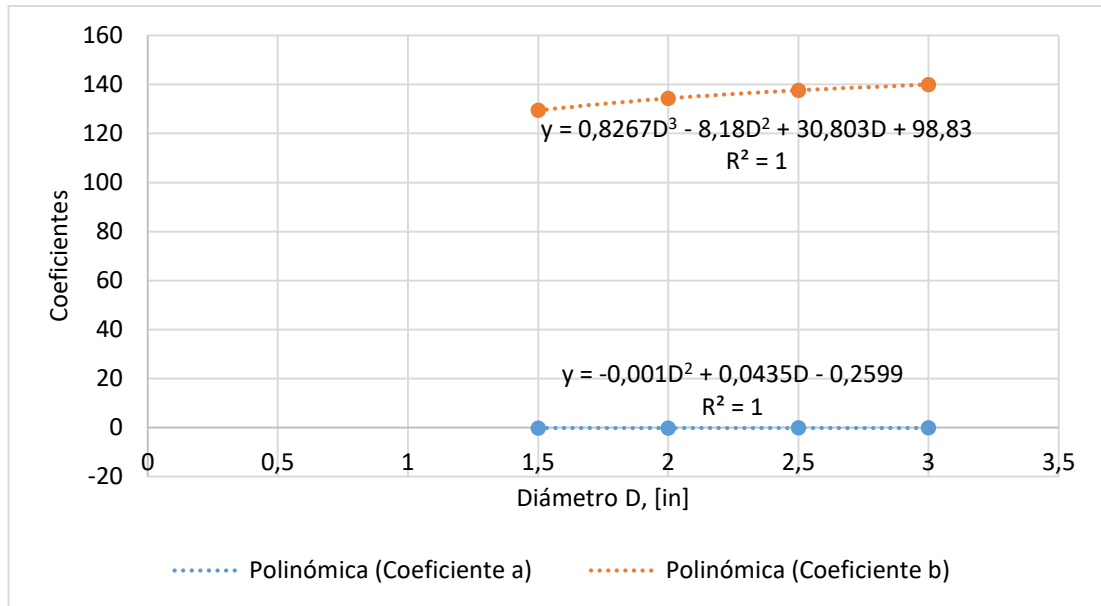


Figura 3.8. Regresión polinómica para $C_{HW} = f(D, Q)$.

Las ecuaciones resultantes de la Figura 3.8 permiten encontrar una función polinómica para la estimación de coeficiente C_{HW} , la misma se encuentra definida por la ecuación (3.3).

$$C_{HW} = (-0,001 \cdot D^2 + 0,0435 \cdot D - 0,2599) \cdot Q + 0,8267D^3 - 8,18D^2 + 30,803D + 98,83 \quad (3.3)$$

Pérdida de presión por fricción en el sistema

Para esta investigación el cálculo de la pérdida de presión del sistema se lo realiza usando dos métodos, los cuales son el de Hazen – Williams y el de Darcy – Weisbach, siendo este último el más confiable para determinar la pérdida de presión.








3.1.1. Cálculo de la pérdida de presión por fricción usando el método de Hazen – Williams.


Para el cálculo de la caída de presión en accesorios se usa el método de las longitudes equivalentes, dichos valores se encuentran tabulados en la

Tabla 2.5 estos valores están definidos por la NFPA 13.

La Tabla 3.5 muestra la cantidad de accesorios existentes en la red hidráulica, a su vez se observa la longitud equivalente para cada uno de los accesorios que la conforman. Para estimar el valor apropiado correspondiente a la longitud equivalente de los accesorios y válvulas se determina el factor multiplicativo con la ecuación (2.15).

Tabla 3.5. Cantidad de accesorios en la red y longitudes equivalentes.

ACCESORIO	GRÁFICO	DIMENSIÓN	$L_{equivalente}$	CANT	FACTOR MULTIP L	$L_{equival total}$
Codoss de 90°		3 [in]	7 [ft]	6 [u]	1,22	51,24 [ft]
		2,5 [in]	6 [ft]	1 [u]	1,17	7,02 [ft]
		2 [in]	5 [ft]	1 [u]	1,11	5,55 [ft]
		1,5 [in]	4 [ft]	1 [u]	1,02	4,208 [ft]
Tee Recta		3 [in]	15 [ft]	12 [u]	1,22	219,6 [ft]
		2,5 [in]	12 [ft]	1 [u]	1,17	14,04 [ft]
Reducción		3 – 2,5 [in]	15 [ft]	1 [u]	1,22	18,3 [ft]
		2,5 – 2 [in]	12 [ft]	1 [u]	1,17	14,04 [ft]
		2 – 1,5 [in]	10 [ft]	1 [u]	1,11	11,1 [ft]
Válvula mariposa		3 [in]	10 [ft]	1 [u]	1,22	12,2 [ft]
Válvula check		3 [in]	16 [ft]	1 [u]	1,22	19,52 [ft]
Válvula de bola		3 [in]	10 [ft]	1 [u]	1,22	12,2 [ft]
Válvula de compuerta		3 [in]	1 [ft]	1 [u]	1,22	1,22 [ft]

Válvula de pie		3 [in]	65,6 [ft]	1 [u]	1,22	80,032 [ft]
----------------	---	--------	-----------	-------	------	-------------

Fuente: [32], [41]

La Tabla 3.4 muestra los valores estimados del coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams para las tuberías de acero ASTM A53, con dichos valores se obtienen las pérdidas de presión en las tuberías y en los accesorios que conforman la red del sistema contra incendios, los valores se los observa en la Tabla 3.6

Tabla 3.6. Pérdida de presión en tuberías y accesorios usando el método de Hazen-Williams.

Diámetro [in]	Caudal [GPM]	C_{HW}	$L_{tubería}$ [m]	$Hf_{tubería}$ [m]	$L_{equivalente}$ [m]	$Hf_{accesorios}$ [m]	Hf_{TOTAL} [m]
3	153,00	135,13	41,50	2,59	125,85	7,86	10,45
3	150,00	135,22	41,50	2,50	126,01	7,58	10,07
3	148,00	135,29	41,50	2,43	126,12	7,39	9,83
3	148,50	135,27	41,50	2,45	126,09	7,44	9,89
3	150,00	135,22	41,50	2,50	126,01	7,58	10,07
3	147,00	135,32	41,50	2,40	126,17	7,30	9,70
3	150,00	135,22	41,50	2,50	126,01	7,58	10,07
3	147,00	135,32	41,50	2,40	126,17	7,30	9,70
3	151,50	135,18	41,50	2,54	125,93	7,72	10,26
3	153,00	135,13	41,50	2,59	125,85	7,86	10,45
2,5	153,00	132,16	5,70	0,90	10,67	1,69	2,59
2,5	150,00	132,27	5,70	0,87	10,69	1,63	2,50
2,5	148,00	132,34	5,70	0,85	10,70	1,59	2,43
2,5	148,50	132,32	5,70	0,85	10,70	1,60	2,45
2,5	150,00	132,27	5,70	0,87	10,69	1,63	2,50
2,5	147,00	132,38	5,70	0,83	10,71	1,57	2,40
2,5	150,00	132,27	5,70	0,87	10,69	1,63	2,50
2,5	147,00	132,38	5,70	0,83	10,71	1,57	2,40
2,5	151,50	132,22	5,70	0,88	10,68	1,66	2,54

2,5	153,00	132,16	5,70	0,90	10,67	1,69	2,59
2	153,00	128,18	3,00	1,49	5,05	2,50	3,99
2	150,00	128,30	3,00	1,43	5,05	2,41	3,85
2	148,00	128,38	3,00	1,40	5,06	2,36	3,75
2	148,50	128,36	3,00	1,41	5,06	2,37	3,78
2	150,00	128,30	3,00	1,43	5,05	2,41	3,85
2	147,00	128,42	3,00	1,38	5,06	2,33	3,70
2	150,00	128,30	3,00	1,43	5,05	2,41	3,85
2	147,00	128,42	3,00	1,38	5,06	2,33	3,70
2	151,50	128,24	3,00	1,46	5,05	2,46	3,92
2	153,00	128,18	3,00	1,49	5,05	2,50	3,99
1,5	153,00	122,58	1,70	3,72	1,24	2,71	6,44
1,5	150,00	122,71	1,70	3,58	1,24	2,62	6,20
1,5	148,00	122,80	1,70	3,49	1,24	2,55	6,04
1,5	148,50	122,78	1,70	3,51	1,24	2,57	6,08
1,5	150,00	122,71	1,70	3,58	1,24	2,62	6,20
1,5	147,00	122,85	1,70	3,44	1,24	2,52	5,96
1,5	150,00	122,71	1,70	3,58	1,24	2,62	6,20
1,5	147,00	122,85	1,70	3,44	1,24	2,52	5,96
1,5	151,50	122,65	1,70	3,65	1,24	2,66	6,32
1,5	153,00	122,58	1,70	3,72	1,24	2,71	6,44

3.1.2. Cálculo de la pérdida de presión por fricción usando el método de Darcy – Weisbach.

A continuación, en la Tabla 3.7 se muestran los resultados obtenidos al calcular las pérdidas de presión por fricción en las tuberías y accesorios de la red hidráulica usando la ecuación (2.16), la cual define el método de Darcy-Weisbach. Así también se muestran los valores obtenidos para el factor de fricción f , el mismo que se obtuvo usando la ecuación (2.18) y un método de iteración.

Tabla 3.7. Pérdida de presión por fricción en tuberías y accesorios usando el método Darcy-Weisbach.

Diámetro [in]	Caudal [GPM]	Número Reynolds Re	Rugosidad ϵ [m]	Factor de fricción λ calculado	$L_{tubería}$ [m]	$Hf_{tubería}$ [m]	$L_{equivalente}$ [m]	$Hf_{accesorios}$ [m]	Hf_{TOTAL} [m]
3	153,00	1,234E+05	5,00E-05	0,02046	41,50	2,55	125,85	7,72	10,27
3	150,00	1,209E+05	5,00E-05	0,02050	41,50	2,45	126,01	7,45	9,90
3	148,00	1,193E+05	5,00E-05	0,02053	41,50	2,39	126,12	7,27	9,66
3	148,50	1,197E+05	5,00E-05	0,02053	41,50	2,41	126,09	7,31	9,72
3	150,00	1,209E+05	5,00E-05	0,02050	41,50	2,45	126,01	7,45	9,90
3	147,00	1,185E+05	5,00E-05	0,02055	41,50	2,36	126,17	7,18	9,54
3	150,00	1,209E+05	5,00E-05	0,02050	41,50	2,45	126,01	7,45	9,90
3	147,00	1,185E+05	5,00E-05	0,02055	41,50	2,36	126,17	7,18	9,54
3	151,50	1,222E+05	5,00E-05	0,02048	41,50	2,50	125,93	7,59	10,09
3	153,00	1,234E+05	5,00E-05	0,02046	41,50	2,55	125,85	7,72	10,27
2,5	153,00	1,480E+05	5,00E-05	0,02064	5,70	0,88	10,67	1,64	2,52
2,5	150,00	1,451E+05	5,00E-05	0,02067	5,70	0,85	10,69	1,59	2,43
2,5	148,00	1,432E+05	5,00E-05	0,02070	5,70	0,82	10,70	1,55	2,37
2,5	148,50	1,437E+05	5,00E-05	0,02069	5,70	0,83	10,70	1,56	2,39
2,5	150,00	1,451E+05	5,00E-05	0,02067	5,70	0,85	10,69	1,59	2,43
2,5	147,00	1,422E+05	5,00E-05	0,02071	5,70	0,81	10,71	1,53	2,34
2,5	150,00	1,451E+05	5,00E-05	0,02067	5,70	0,85	10,69	1,59	2,43
2,5	147,00	1,422E+05	5,00E-05	0,02071	5,70	0,81	10,71	1,53	2,34
2,5	151,50	1,466E+05	5,00E-05	0,02066	5,70	0,86	10,68	1,61	2,48
2,5	153,00	1,480E+05	5,00E-05	0,02064	5,70	0,88	10,67	1,64	2,52
2	153,00	1,850E+05	5,00E-05	0,02107	3,00	1,44	5,05	2,42	3,86

2	150,00	1,814E+05	5,00E-05	0,02110	3,00	1,39	5,05	2,33	3,72
2	148,00	1,790E+05	5,00E-05	0,02112	3,00	1,35	5,06	2,28	3,63
2	148,50	1,796E+05	5,00E-05	0,02111	3,00	1,36	5,06	2,29	3,65
2	150,00	1,814E+05	5,00E-05	0,02110	3,00	1,39	5,05	2,33	3,72
2	147,00	1,778E+05	5,00E-05	0,02113	3,00	1,33	5,06	2,25	3,58
2	150,00	1,814E+05	5,00E-05	0,02110	3,00	1,39	5,05	2,33	3,72
2	147,00	1,778E+05	5,00E-05	0,02113	3,00	1,33	5,06	2,25	3,58
2	151,50	1,832E+05	5,00E-05	0,02109	3,00	1,41	5,05	2,38	3,79
2	153,00	1,850E+05	5,00E-05	0,02107	3,00	1,44	5,05	2,42	3,86
1,5	153,00	2,467E+05	5,00E-05	0,02197	1,70	3,59	1,24	2,61	6,20
1,5	150,00	2,419E+05	5,00E-05	0,02199	1,70	3,45	1,24	2,52	5,97
1,5	148,00	2,387E+05	5,00E-05	0,02200	1,70	3,36	1,24	2,46	5,82
1,5	148,50	2,395E+05	5,00E-05	0,02200	1,70	3,38	1,24	2,47	5,85
1,5	150,00	2,419E+05	5,00E-05	0,02199	1,70	3,45	1,24	2,52	5,97
1,5	147,00	2,370E+05	5,00E-05	0,02201	1,70	3,32	1,24	2,43	5,74
1,5	150,00	2,419E+05	5,00E-05	0,02199	1,70	3,45	1,24	2,52	5,97
1,5	147,00	2,370E+05	5,00E-05	0,02201	1,70	3,32	1,24	2,43	5,74
1,5	151,50	2,443E+05	5,00E-05	0,02198	1,70	3,52	1,24	2,57	6,08
1,5	153,00	2,467E+05	5,00E-05	0,02197	1,70	3,59	1,24	2,61	6,20

3.1.3. Cálculo de la pérdida de presión por fricción usando el método experimental.

Con los datos que se muestran en la Tabla 3.3 de presión y caudal se determina la pérdida de presión por fricción en la red hidráulica. Con el uso de la ecuación (2.17) se obtienen los resultados que se aprecian en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Pérdida de presión en tuberías y accesorios H_f usando el método experimental.

Caudal [GPM]	Velocidad V2 [m/s]	Presión salida bomba TDH [m]	Presión salida gabinete P2 [Psi]	Altura Z2 [m]	Altura Z1 [m]	Densidad ρ [kg/m ³]	Gravedad g [m/s ²]	Hf TOTAL [m]
153,00	8,47	110	66	33,70	2,45	999,77	9,8	23,81
150,00	8,30	110	67	33,70	2,45	999,77	9,8	22,97
148,00	8,19	110	68	33,70	2,45	999,77	9,8	22,43
148,50	8,22	110	68	33,70	2,45	999,77	9,8	22,56
150,00	8,30	110	67	33,70	2,45	999,77	9,8	22,97
147,00	8,13	110	69	33,70	2,45	999,77	9,8	22,16
150,00	8,30	110	67	33,70	2,45	999,77	9,8	22,97
147,00	8,13	110	69	33,70	2,45	999,77	9,8	22,16
151,50	8,38	110	67	33,70	2,45	999,77	9,8	23,39
153,00	8,47	110	66	33,70	2,45	999,77	9,8	23,81

3.1.4. Comparación de las pérdidas de presión por fricción entre varios métodos.

A continuación, se muestra la Tabla 3.9 en la cual se han calculado los coeficientes de rugosidad de Hazen-Williams C_{HW} usando los métodos más populares como son, el de Diskin definido por la ecuación (2.3), el de Martínez y Fernández por la ecuación (2.4) y el método de León definido por la ecuación (2.5). Además, se muestran las pérdidas de presión H_f obtenidas al usar los coeficientes C_{HW} calculados por lo métodos ya mencionados.

La comparación entre estos métodos, se realiza para las pérdidas totales a lo largo de la red hidráulica, instalada en la edificación.

Tabla 3.9. Pérdidas de presión H_f totales usando varios métodos.

Caudal [GPM]	Caudal [m3/h]	MÉTODOS						
		$C_{HW} = f(Re, \varepsilon/D)$	Darcy-Wisbach	C=120	Experimental	Diskin (1960)	León (2004)	Martínez y Fernández (2005)
		Hf [m]	Hf [m]	Hf [m]	Hf [m]	Hf [m]	Hf [m]	Hf [m]
153,00	34,75	23,48	22,86	27,33	23,81	21,77	21,62	26,30
150,00	34,07	22,62	22,02	26,37	22,97	20,96	20,83	25,38
148,00	33,61	22,05	21,48	25,74	22,43	20,42	20,32	24,77
148,50	33,73	22,19	21,61	25,90	22,56	20,56	20,44	24,92
150,00	34,07	22,62	22,02	26,37	22,97	20,96	20,83	25,38
147,00	33,39	21,77	21,21	25,43	22,16	20,16	20,06	24,47
150,00	34,07	22,62	22,02	26,37	22,97	20,96	20,83	25,38
147,00	33,39	21,77	21,21	25,43	22,16	20,16	20,06	24,47
151,50	34,41	23,04	22,44	26,85	23,39	21,37	21,22	25,84
153,00	34,75	23,48	22,86	27,33	23,81	21,77	21,62	26,30

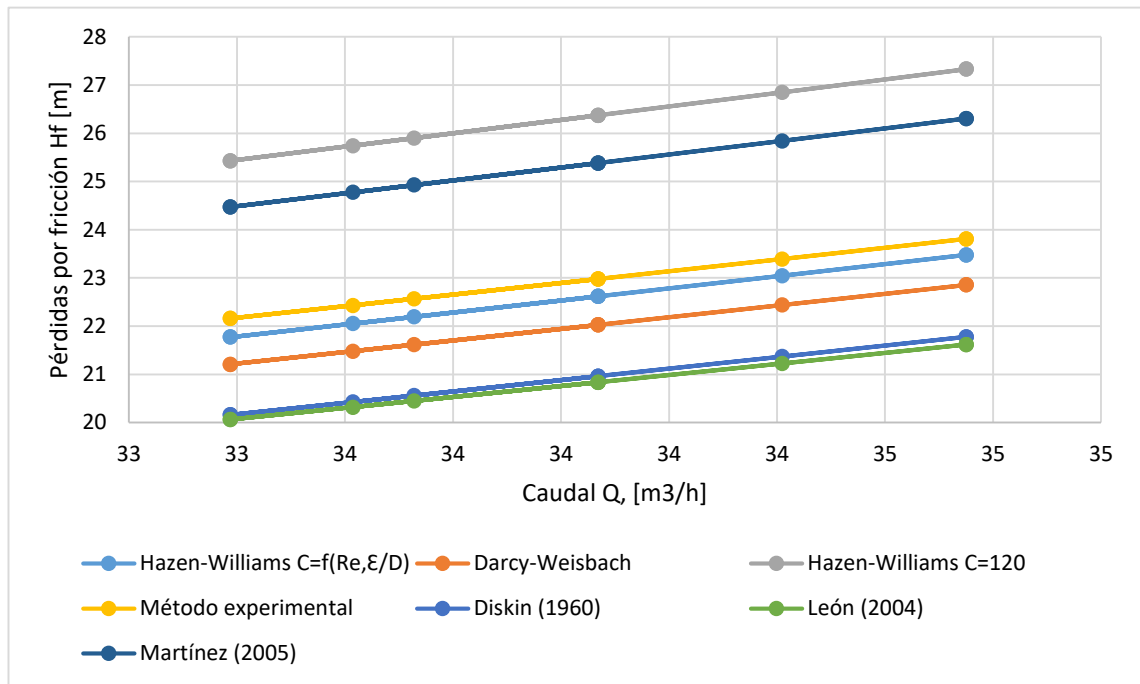


Figura 3.9. Pérdida de presión por fricción vs. Caudal.

En la Figura 3.9 se aprecia que las pérdidas de presión por fricción son directamente proporcionales al caudal, ya que conforme aumenta el caudal también aumentan las pérdidas. En la figura se observa la curva de las pérdidas H_f que más se aproximan al modelo experimental, aquella corresponde a la curva obtenida con el método de Hazen – Williams usando el coeficiente $C_{HW} = f(Re, \varepsilon/D)$. La curva de Darcy-

Weisbach, ha sido tomada como referencia para realizar la comparación con otros métodos de cálculo como son el método de Diskin, Martínez y Fernández, León, y Hazen-Williams. De los métodos mencionados se observa que la curva que se acerca más a la de Darcy es la que corresponde al método de Hazen-Williams la que se basa en el uso de un coeficiente de rugosidad $C_{HW} = f(Re, \varepsilon/D)$.

3.1.5. Comparación de las pérdidas de presión por fricción entre los métodos de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams.

En la Tabla 3.10 se muestra el error existente entre las pérdidas de presión por fricción determinadas usando el método de Hazen – Williams con los coeficientes de rugosidad ($C_{HW} = 120$), ($C_{HW} = f(Re, \varepsilon/D)$) y el método de Darcy – Weisbach.

Tabla 3.10. Comparación de las pérdidas usando el método de Hazen-Williams y Darcy.

Diámetro [in]	Caudal [GPM]	Hf_{TOTAL} [m]	Hf_{TOTAL} [m]	Hf_{TOTAL} [m]	%ERROR Darcy Weisbach y Hazen-Williams con $C_{HW} = f(Re, \varepsilon/D)$	%ERROR Darcy Weisbach y Hazen-Williams con $C_{HW} = 120$
		$C_{HW} = 120$	$C_{HW} = f(Re, \varepsilon/D)$	Darcy – Weisbach.		
3	153,00	13,03	10,45	10,27	1,77%	26,81%
3	150,00	12,57	10,07	9,90	1,73%	26,91%
3	148,00	12,27	9,83	9,66	1,70%	26,98%
3	148,50	12,34	9,89	9,72	1,71%	26,97%
3	150,00	12,57	10,07	9,90	1,73%	26,91%
3	147,00	12,12	9,70	9,54	1,68%	27,02%
3	150,00	12,57	10,07	9,90	1,73%	26,91%
3	147,00	12,12	9,70	9,54	1,68%	27,02%
3	151,50	12,80	10,26	10,09	1,75%	26,86%
3	153,00	13,03	10,45	10,27	1,77%	26,81%
2,5	153,00	3,10	2,59	2,52	2,69%	22,80%
2,5	150,00	2,99	2,50	2,43	2,67%	22,95%
2,5	148,00	2,92	2,43	2,37	2,65%	23,05%
2,5	148,50	2,94	2,45	2,39	2,65%	23,02%
2,5	150,00	2,99	2,50	2,43	2,67%	22,95%
2,5	147,00	2,88	2,40	2,34	2,64%	23,10%
2,5	150,00	2,99	2,50	2,43	2,67%	22,95%
2,5	147,00	2,88	2,40	2,34	2,64%	23,10%
2,5	151,50	3,04	2,54	2,48	2,68%	22,87%
2,5	153,00	3,10	2,59	2,52	2,69%	22,80%

2	153,00	4,51	3,99	3,86	3,42%	16,85%
2	150,00	4,36	3,85	3,72	3,41%	17,05%
2	148,00	4,25	3,75	3,63	3,40%	17,18%
2	148,50	4,28	3,78	3,65	3,41%	17,15%
2	150,00	4,36	3,85	3,72	3,41%	17,05%
2	147,00	4,20	3,70	3,58	3,40%	17,24%
2	150,00	4,36	3,85	3,72	3,41%	17,05%
2	147,00	4,20	3,70	3,58	3,40%	17,24%
2	151,50	4,43	3,92	3,79	3,41%	16,95%
2	153,00	4,51	3,99	3,86	3,42%	16,85%
1,5	153,00	6,69	6,44	6,20	3,83%	8,00%
1,5	150,00	6,46	6,20	5,97	3,84%	8,23%
1,5	148,00	6,30	6,04	5,82	3,85%	8,38%
1,5	148,50	6,34	6,08	5,85	3,85%	8,34%
1,5	150,00	6,46	6,20	5,97	3,84%	8,23%
1,5	147,00	6,23	5,96	5,74	3,85%	8,46%
1,5	150,00	6,46	6,20	5,97	3,84%	8,23%
1,5	147,00	6,23	5,96	5,74	3,85%	8,46%
1,5	151,50	6,58	6,32	6,08	3,83%	8,11%
1,5	153,00	6,69	6,44	6,20	3,83%	8,00%

A continuación, se muestra una comparación de los resultados obtenidos respecto a las pérdidas de presión por fricción H_f . Las comparaciones se realizan entre los métodos de Darcy – Weisbach con el de Hazen – Williams con coeficientes C_{HW} variables y constantes.

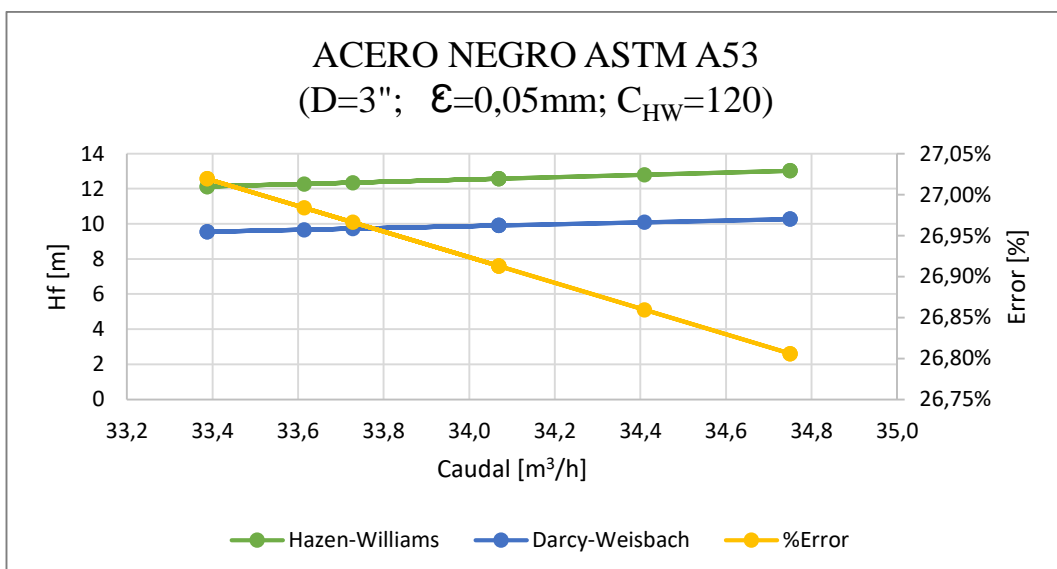


Figura 3.10. Comparación de las pérdidas de presión usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams para tuberías de 3" con factores de $C_{HW} = 120$.

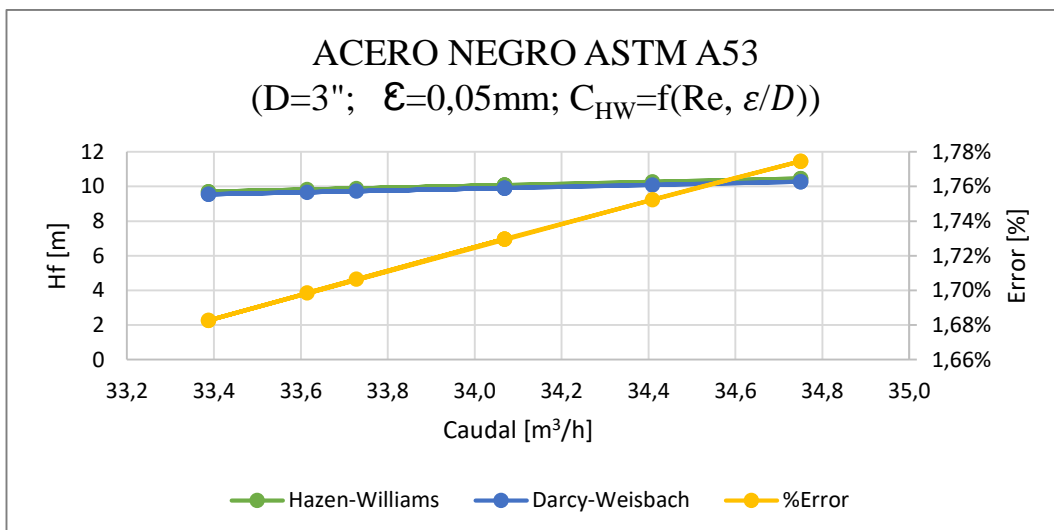


Figura 3.11. Comparación de las pérdidas de presión usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams para tuberías de 3" con factores de $C_{HW} = f(\text{Re}, \epsilon/D)$.

En la Figura 3.10 y Figura 3.11 se muestran las pérdidas de presión por fricción (H_f) para una tubería de acero ASTM A53 grado B de diámetro igual a 3", en las cuales se observa que para un coeficiente $C_{HW} = 120$ las pérdidas H_f obtenidas usando el método de Hazen – Williams son mayores que las obtenidas mediante el método de Darcy – Weisbach, dando como resultado un error aproximado del 27% entre estos dos. Por otra parte, se observa que para un coeficiente $C_{HW} = f(\text{Re}, \epsilon/D)$ dichas pérdidas H_f son menores al realizar la comparación entre estos dos métodos, teniendo como resultado en error estimado del 1,7%.

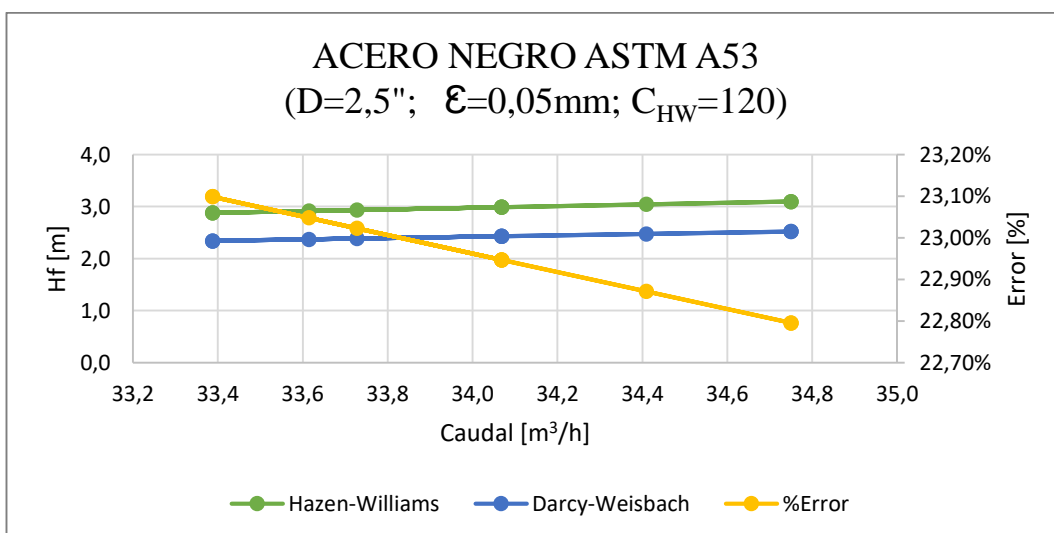


Figura 3.12. Comparación de las pérdidas de presión usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams para tuberías de 2,5" con factores de $C_{HW} = 120$.

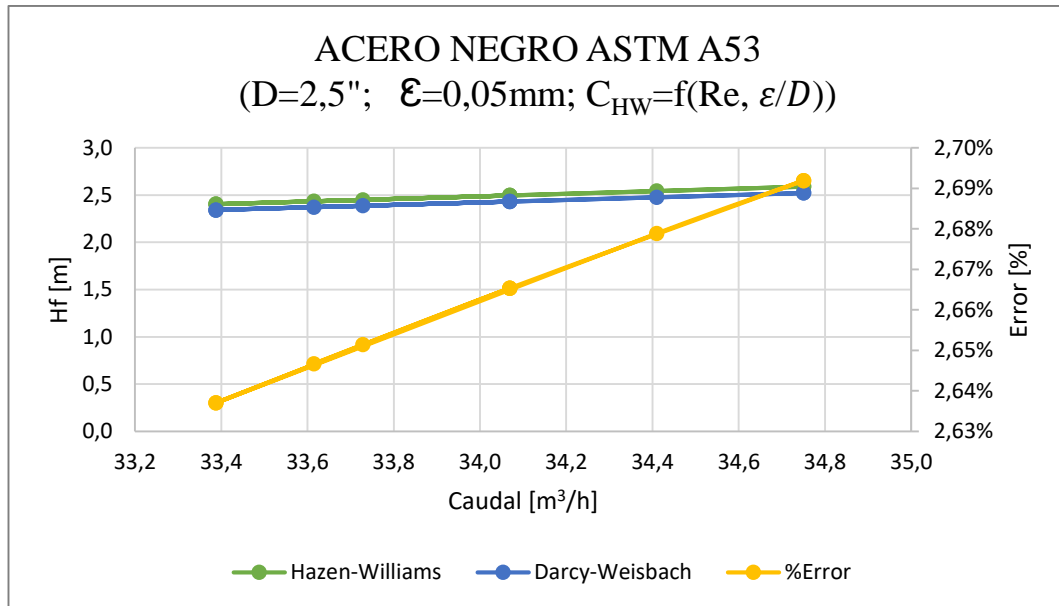


Figura 3.13. Comparación de las pérdidas de presión usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams para tuberías de 2,5" con factores de $C_{HW} = f(\text{Re}, \epsilon/D)$.

En la Figura 3.12 y Figura 3.13 se exponen las pérdidas de presión por fricción (H_f) para una tubería de acero ASTM A53 grado B de diámetro igual a 2,5", se observa que conforme aumenta el caudal en la tubería también aumentan las pérdidas por fricción. Además, al igual que en las anteriores figuras se aprecia que las pérdidas H_f para un coeficiente $C_{HW} = 120$ son mayores que las obtenidas mediante el método de Darcy – Weisbach, teniendo un error aproximado del 23% entre estos dos, en cambio para un coeficiente $C_{HW} = f(\text{Re}, \epsilon/D)$ las pérdidas H_f son menores que las obtenidas mediante el método de Darcy – Weisbach teniendo un error estimado del 2,7%.

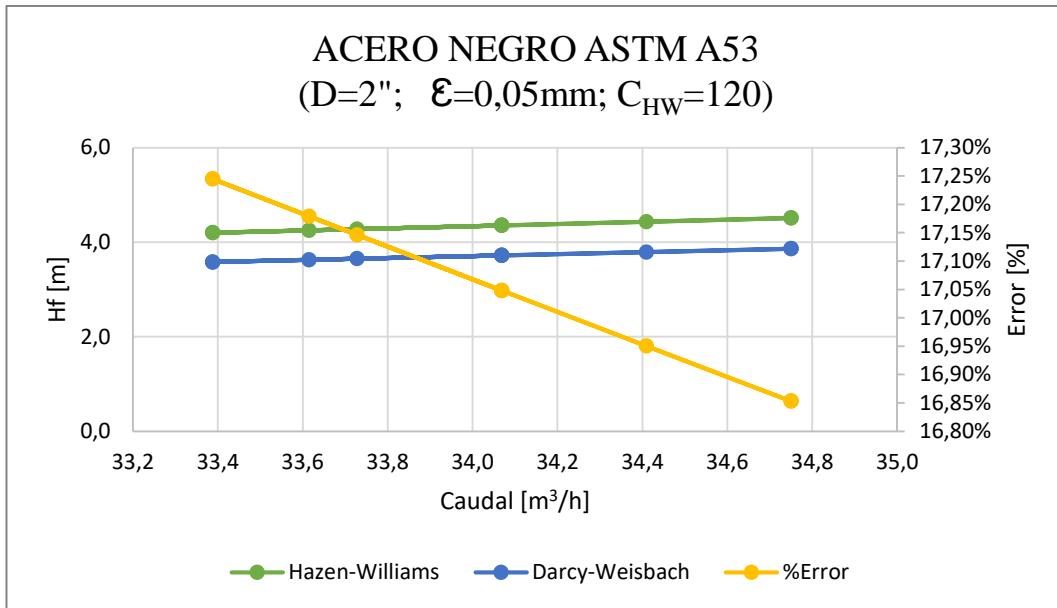


Figura 3.14. Comparación de las pérdidas de presión usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams para tuberías de 2" con factores de $C_{HW} = 120$.

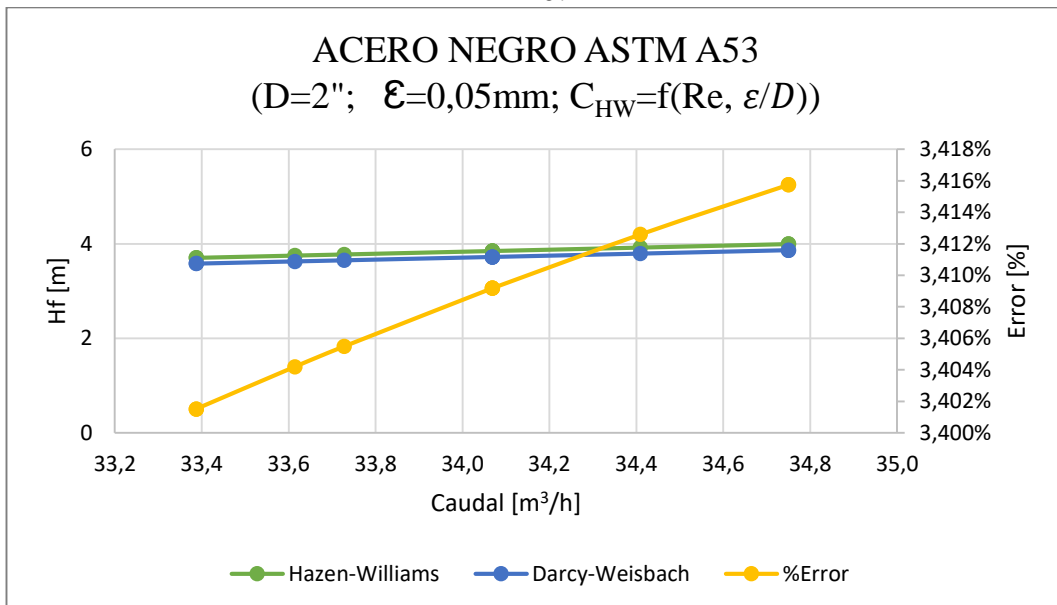


Figura 3.15. Comparación de las pérdidas de presión usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams para tuberías de 2" con factores de $C_{HW} = f(Re, \epsilon/D)$.

En la Figura 3.14 y Figura 3.15 se muestran las pérdidas de presión por fricción (H_f) para una tubería de acero ASTM A53 grado B de diámetro igual a 2", en las cuales se observa que para un coeficiente $C_{HW} = 120$ las pérdidas H_f obtenidas usando el método de Hazen – Williams son mayores que las obtenidas mediante el método de Darcy – Weisbach, dando como resultado un error aproximado del 17% entre estos dos. Por otra parte, se observa que para un coeficiente $C_{HW} = f(Re, \epsilon/D)$

dichas pérdidas H_f son menores al realizar la comparación entre estos dos métodos, teniendo como resultado en error estimado del 3,4%.

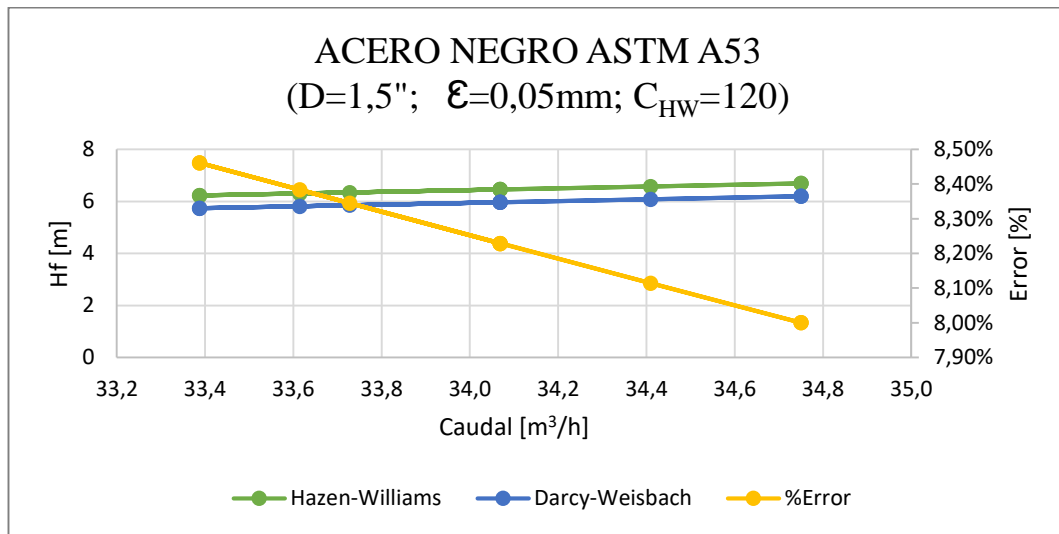


Figura 3.16. Comparación de las pérdidas de presión usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams para tuberías de 1,5" con factores de $C_{HW} = 120$.

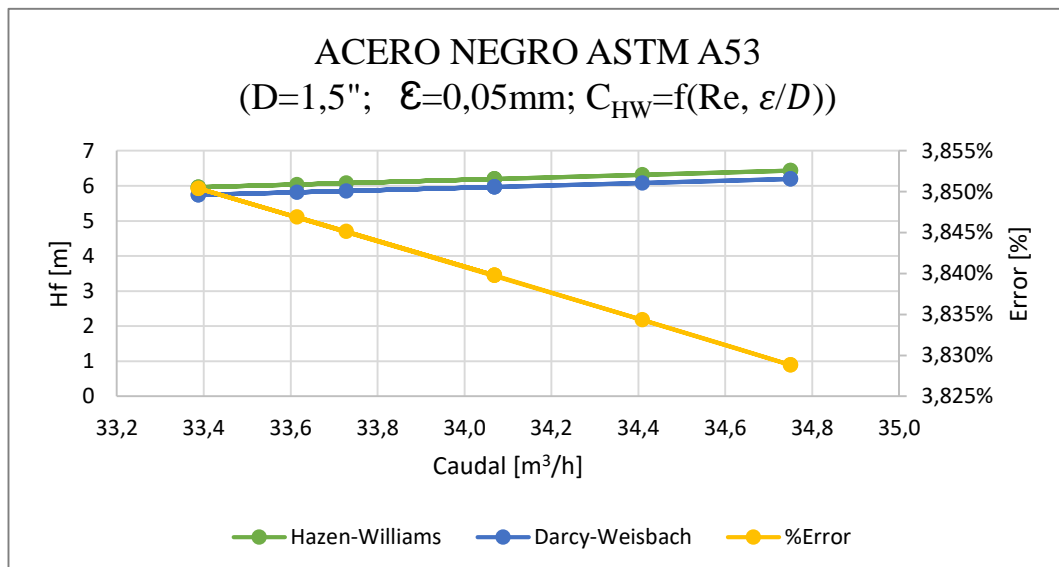


Figura 3.17. Comparación de las pérdidas de presión usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams para tuberías de 1,5" con factores de $C_{HW} = f(\text{Re}, \epsilon/D)$.

Se muestran en la Figura 3.16 y Figura 3.17 las pérdidas de presión por fricción (H_f) para una tubería de acero ASTM A53 grado B de diámetro igual a 1,5", se observa que conforme aumenta el caudal en la tubería también aumentan las pérdidas por fricción. Además, al igual que en las anteriores figuras se aprecia que las pérdidas H_f para un coeficiente $C_{HW} = 120$ son mayores que las obtenidas

mediante el método de Darcy – Weisbach, teniendo un error aproximado del 8,5% entre estos dos, en cambio para un coeficiente $C_{HW} = f(Re, \varepsilon/D)$ las pérdidas H_f son menores que las obtenidas mediante el método de Darcy – Weisbach teniendo un error estimado del 3,8%.

3.1.6. Cálculo de la carga dinámica total (TDH)

La Tabla 3.11 muestra los resultados obtenidos respecto a la pérdida de presión total (TDH) obtenido en todo el sistema hidráulico. Además, en la tabla se observa el error entre los métodos de Hazen – Williams y Darcy – Weisbach al determinar dichas pérdidas.

Tabla 3.11. Pérdida de presión total en la red contra incendios.

Caudal [GPM]	$Hf_{TOTAL RED}$ [m]	$Hf_{TOTAL RED}$ [m]	$Hf_{TOTAL RED}$ [m]	Velocidad V2 [m/s]	TDH [m]	TDH [m]	TDH [m]	%ERROR Darcy Weisbach y Hazen- Williams con C_{HW} $= f(Re, \varepsilon/D)$	%ERROR Darcy Weisbach y Hazen- Williams con $C_{HW} = 120$
	C_{HW} $= f(Re, \varepsilon/D)$	Darcy- Weisbach.	$C_{HW} = 120$		C_{HW} $= f(Re, \varepsilon/D)$	Darcy- Weisbach.	C_{HW} $= 120$		
153,00	23,48	22,86	27,33	8,47	109,02	108,40	112,88	0,57%	3,96%
150,00	22,62	22,02	26,37	8,30	108,02	107,43	111,78	0,55%	3,89%
148,00	22,05	21,48	25,74	8,19	107,36	106,79	111,05	0,53%	3,84%
148,50	22,19	21,61	25,90	8,22	107,53	106,95	111,23	0,54%	3,85%
150,00	22,62	22,02	26,37	8,30	108,02	107,43	111,78	0,55%	3,89%
147,00	21,77	21,21	25,43	8,13	107,04	106,47	110,69	0,53%	3,81%
150,00	22,62	22,02	26,37	8,30	108,02	107,43	111,78	0,55%	3,89%
147,00	21,77	21,21	25,43	8,13	107,04	106,47	110,69	0,53%	3,81%
151,50	23,04	22,44	26,85	8,38	108,52	107,91	112,33	0,56%	3,93%
153,00	23,48	22,86	27,33	8,47	109,02	108,40	112,88	0,57%	3,96%
149,80	22,56	21,97	26,31	8,29	107,96	107,37	111,71	0,55%	3,88%

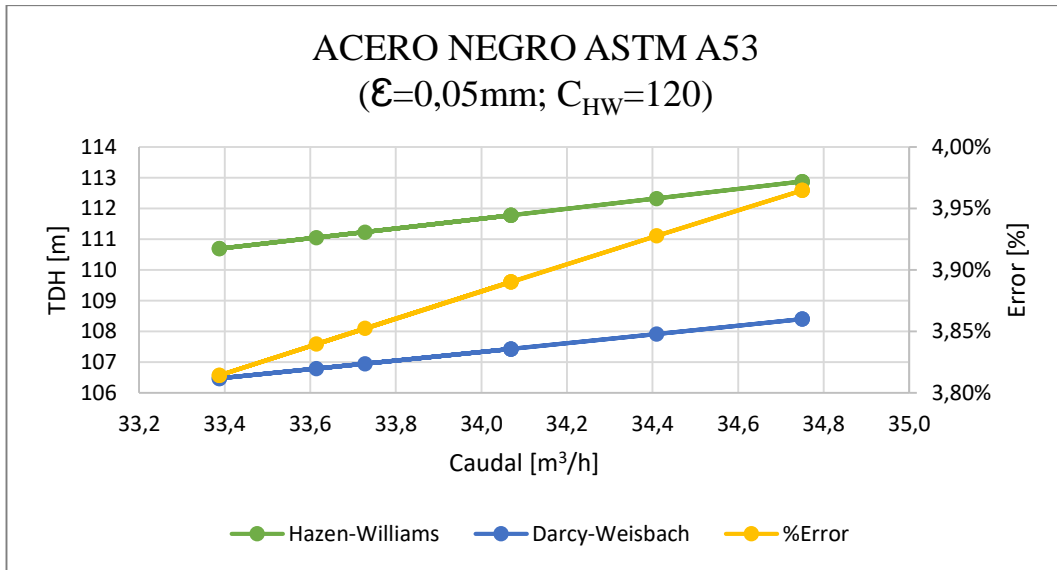


Figura 3.18. Comparación del TDH usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams con factores de $C_{HW} = 120$.

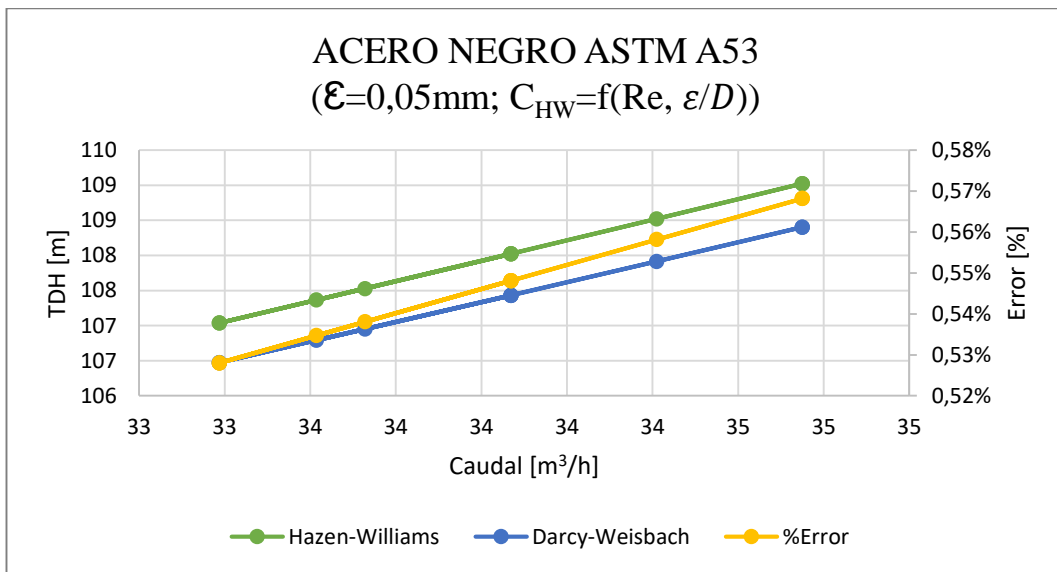


Figura 3.19. Comparación del TDH usando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams con factores de $C_{HW} = f(Re, \epsilon/D)$.

Se muestran en la Figura 3.18 y Figura 3.19 la pérdida de presión total en el sistema hidráulico, en donde se observa que conforme aumenta el caudal en la tubería también aumentan las pérdidas de presión. Además, se aprecia que las pérdidas totales para un coeficiente $C_{HW} = 120$ son mayores que las obtenidas mediante el método de Darcy – Weisbach, teniendo un error aproximado del 3,88% entre estos dos, en cambio para un coeficiente $C_{HW} = f(Re, \epsilon/D)$ las pérdidas son menores que

las obtenidas mediante el método de Darcy – Weisbach teniendo un error estimado del 0,55%.

Variación del coeficiente C_{HW} en función del tiempo.

La Figura 3.20 muestra de una manera aproximada como varía la rugosidad interna de las tuberías de acero negro en función de los años de uso.

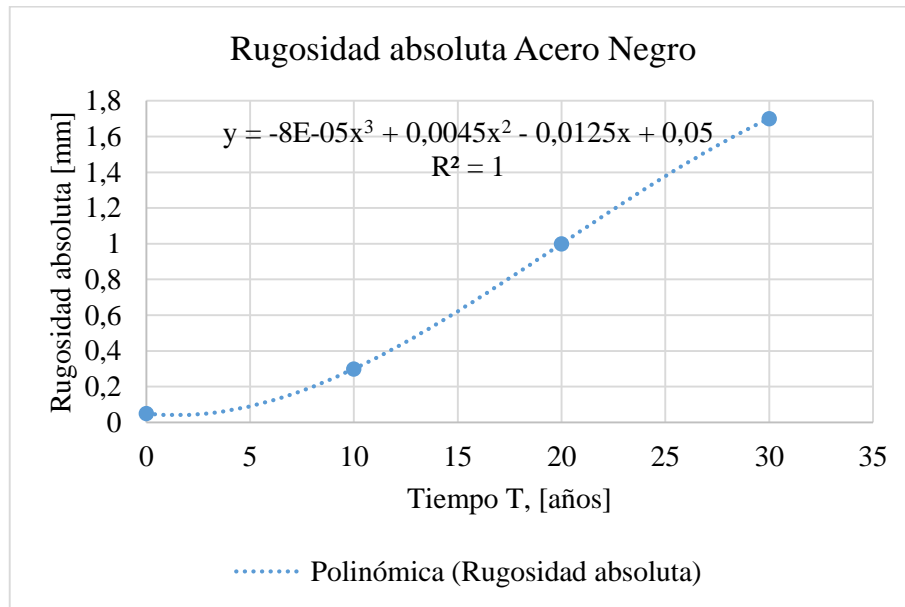


Figura 3.20. Regresión polinómica $\varepsilon = f(T)$.

$$\varepsilon = -8^{-5} \cdot T^3 + 0,0045 \cdot T^2 - 0,0125 \cdot T + 0,05 \quad (3.4)$$

Mediante la aplicación de una regresión polinómica se obtiene la ecuación (3.4) con la cual se puede predecir de manera aproximada la variación de la rugosidad interna para el acero negro en función del tiempo de uso.

La Tabla 3.12 muestra los resultados obtenidos de la predicción del coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams para el acero negro ASTM A53, después de cierto tiempo de haber estado en servicio.

Tabla 3.12. Variación del coeficiente C_{HW} en función del tiempo.

Tiempo [años]	Coeficiente C_{HW}			
	0 [años]	10 [años]	20 [años]	30 [años]
Tubería \varnothing 3"	135,23	111,78	92,57	83,62
Tubería \varnothing 2,5"	132,28	107,70	88,22	79,28
Tubería \varnothing 2"	128,31	102,59	82,96	74,11
Tubería \varnothing 1,5"	122,72	95,93	76,38	67,76

Se observa en la Figura 3.21 la forma en la que varía el coeficiente de rugosidad C_{HW} en función del tiempo. Se aprecia que conforme aumenta los años de servicio dicho coeficiente disminuye para todas las tuberías. Esta disminución del coeficiente de rugosidad afecta directamente a la pérdida de presión, ya que, mientras más disminuye el coeficiente C_{HW} mayor es la pérdida de presión por fricción.

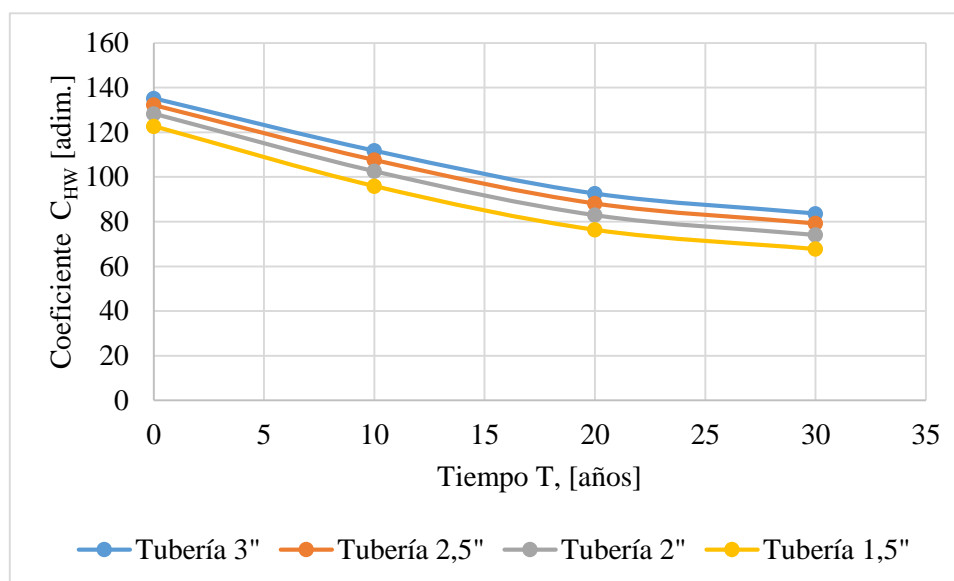


Figura 3.21. Variación del coeficiente C_{HW} vs. Tiempo.

Análisis de impacto

A continuación, se presenta un análisis de los impactos que genera la estimación del coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams (C_{HW}) para tuberías de acero ASTM A53.

3.1.7. Impacto tecnológico

El sector industrial tendrá en conocimiento nuevos modelos matemáticos para la estimación más precisa del coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams desarrollados en este trabajo investigativo.

Los resultados obtenidos mediante el uso del modelo experimental servirán como referente al momento de validar simulaciones relacionadas con la pérdida de presión en redes hidráulicas. A su vez la validación de los modelos matemáticos mencionados en esta investigación permitirá desarrollar softwares más precisos que sean útiles para determinar la pérdida de presión en dichas redes.

3.1.8. Impacto económico

En la industria hidráulica determinar la pérdida de presión en un sistema determinado se ha vuelto un reto importante para los profesionales, ya que calcular de una manera más precisa dicha pérdida permite tener sistemas hidráulicos más eficientes.

En este trabajo investigativo se ha demostrado que la correcta estimación de los coeficientes de Hazen – Williams (C_{HW}), permite calcular perdidas de presión más precisas.

Determinar la pérdida de presión en sistemas hidráulicos es una consideración financiera importante. Ya que mientras más baja sea la pérdida de presión total en un sistema, menos potencia requerirá el equipo de bombeo y con ello se necesitará menos combustible o energía para su funcionamiento, lo que le genera un ahorro de dinero.

Conclusiones del capítulo 3

El coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams C_{HW} no puede ser considerado como un valor constante, ya que las pérdidas de presión varían de acuerdo a las condiciones del flujo y la tubería como se ha demostrado en este capítulo.

Se ha demostrado con la Figura 3.9 que el método que se aproxima más al modelo experimental es el método de Hazen – Williams el cual usa un modelo matemático para la estimación del coeficiente C_{HW} en función de la rugosidad relativa y el número de Reynolds. La curva que genera este método se encuentra entre las curvas generadas con el método de Darcy – Weisbach y el experimental teniendo un error promedio del 1,60% y 4,8% respectivamente.

La ecuación (3.3) representa un modelo matemático obtenido mediante regresión polinomial, este modelo permite determinar el coeficiente de Hazen – Williams en función del diámetro y el caudal. La ecuación puede ser usada para sistemas que se encuentren operando bajo las mismas condiciones de flujo y material consideradas en este trabajo investigativo.

Conclusiones generales

El coeficiente de Hazen – Williams $C_{HW} = 120$ recomendado en la norma NFPA (Asociación Nacional de protección contra el fuego) y en otras literaturas, no es el apropiado para el acero ASTM A53 grado B, ya que este valor tiende a sobrestimar las pérdidas por fricción H_f , dado que dicho coeficiente es constante y no considera el régimen del flujo, el diámetro y la rugosidad del material.

Considerando los resultados obtenidos en la estimación de los coeficientes de Hazen – Williams C_{HW} para el acero ASTM A53, se concluye que se ha logrado tener en cuenta la variabilidad de estos y determinar de una manera más precisa las pérdidas de presión por fricción.

Se ha comprobado que el coeficiente de Hazen – Williams C_{HW} varía dependiendo las condiciones del flujo y del material, y al comparar el método de Darcy – Weisbach con el método de Hazen – Williams el cual usa un coeficiente $C_{HW} = f(\text{Re}, \varepsilon/D)$ se ha obtenido una diferencia mínimo en el cálculo de las pérdidas por fricción H_f a comparación de los métodos de Diskin, León y de Martínez y Fernández, por dicha razón se sugiere utilizar la ecuación (2.5) para la estimación del coeficiente C_{HW} .

La sobrestimación de las pérdidas de presión en el cálculo de la carga total dinámica, afecta directamente al dimensionamiento de los equipos de bombeo de la red hidráulica. En redes de sistemas contra incendios el sobredimensionamiento de los equipos de bombeo puede ocasionar daños en accesorios y principalmente rociadores por el hecho de que manejan presiones relativamente bajas.

Los coeficientes C_{HW} obtenidos en esta investigación resultaron ser mayores a 120 el cual pertenece al acero negro. Se obtuvo coeficientes que varían de un rango de 122 a 135, con lo que se obtuvieron pérdidas menores en comparación a las obtenidas con el coeficiente de 120. Con ello hemos demostrado una vez más la afectación que tiene usar coeficientes C_{HW} constantes para determinar pérdidas de presión.

Recomendaciones generales

En el cálculo de la pérdida de presión se recomienda no usar coeficientes de rugosidad de Hazen – Williams C_{HW} constantes, ya que como hemos demostrado estos dependen de las condiciones de flujo y tuberías.

Se recomienda usar la ecuación (2.6) para determinar el coeficiente de rugosidad C_{HW} , ya esta correlaciona variables importantes como son el número de Reynolds, la rugosidad y el diámetro de la tubería. Esto permite obtener resultados más confiables en el cálculo de la pérdida de presión y puede ser usada para diferentes condiciones de flujo y tuberías.

Se recomienda ampliar los estudios realizados en esta investigación, para otros tipos de tuberías como son las tuberías de concreto con revestimiento interno de acero ya que a futuro se convertirán en la mejor opción para la distribución de agua potable. De igual manera para ampliar los estudios para las tuberías de PVC, ya que son ampliamente usadas para el transporte del agua.

Referencias bibliográficas

- [1] N. Ávila, C. Becerra, J. Sanz y Y. Mustafá, «PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN EL TRANSPORTE HIDRÁULICO DE CAFÉ POR TUBERÍA PVC,» *Scientia et Technica*, nº 34, pp. 117-182, 2007.
- [2] E. Gómez, *Caracterización y mejora de la eficiencia energética del transporte de agua a presión*, Valencia, 2016.
- [3] Y. Matínez y E. Elegret, «Coeficiente de Hazen-Williams en función del numero de Reynolds y la rugosidad relativa,» *Scielo*, pp. 41-55, 2019.
- [4] NFPA 13, *Norma para la Instalación de Sistemas de Rociadores*, Chicago, 2010.
- [5] L. Castro y H. Valdéz, «DETECCIÓN DE PÉRDIDAS EN TUBERÍAS DE AGUA: PROPUESTA BASADA EN UN BANCO DE FILTROS,» *Scielo*, vol. 17, nº 3, pp. 375-385, 2009.
- [6] F. Martínez y J. Fernández, «Pérdidas de carga en tuberías. Coeficientes de rugosidad,» de *IV Jornada sobre Tuberías de Hormigón Armado y Postesado*, Madrid, 2005.
- [7] H. Diskin, «The limits of applicability of the Hazen-Williams formula,» *La Houille Blanche*, nº 6, pp. 720-726, 1960.
- [8] F. Hernandez y H. Laurencio , «Modelo para cálculo de pérdidas de presión en tuberías conductoras de petróleo pesado (11° API),» *Minería y Geología*, vol. 28, nº 3, pp. 70-86, 2012.
- [9] Y. Cengel y J. Cimbala, *Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones*, Segunda ed., México: McGRAW- Hill Interamericana, 2012.
- [10] ORDM 470, «Ordenanza metropolitana - Reglas técnicas en materia de prevención de incendios,» de *Ordenanza Metropolitana 470*, Quito, 2013.
- [11] G. Hernandez y H. Laurencio, «Modelado de la viscosidad aparente de un petróleo crudo de 11° API con comportamiento no newtoniano,» *Revista chilena de ingeniería*, vol. 24, nº 4, pp. 674-680, 2017.
- [12] F. Pérez, «Evolución histórica de las fórmulas para expresar las pérdidas de carga en tuberías,» *Ingeniería hidráulica y ambiental*, vol. XXII, nº 2, pp. 3-7, 2001.

- [13] D. Delgado y H. Laurencio, «Influencia de la temperatura en las propiedades reológicas de la emulsión de petróleo pesado,» *Minería y Geología*, vol. 24, n° 2, p. 12, 2008.
- [14] C. Liou, «Limitations and proper use of the Hazen-Williams equation,» *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. IX, n° 124, pp. 951-954, 1998.
- [15] B. Christensen, «Discussion of Limitations and proper use of the Hazen-Williams equation by C. P. Liou,» *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 126, n° 2, pp. 167-168, 2000.
- [16] R. Mott, *Mecánica de fluidos*, Sexta ed., México: PEARSON, 2006.
- [17] F. Bombardelli y M. García, «Diseño hidráulico de tuberías de gran diámetro,» *Revista de ingeniería hidráulica*, vol. 129, n° 11, pp. 839-846, 2003.
- [18] A. León, «Relaciones funcionales para el cálculo de las pérdidas de carga en conductos forzados,» *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. XXV, n° 2, pp. 44-49, 2004.
- [19] M. Montesinos, A. García y J. Ayuso, «Optimización de redes de distribución de agua utilizando un algoritmo genético,» *Ingeniería del Agua*, vol. IV, n° 1, pp. 71-77, 1996.
- [20] W. Calderón y M. Muñoz, «Análisis de sistemas de tuberías y tanques con el programa de elementos finitos ansys,» *Tecnura*, vol. XX, n° 19, pp. 65-77, 2006.
- [21] R. Pérez, S. Ailod y J. Martínez, «Diseño óptimo de redes de riego a turnos y caracterización de su flexibilidad,» *SciELO*, vol. XI, n° 1, pp. 266-314, 2020.
- [22] F. Jarabo y F. García, «Conservación de la energía en fluidos,» España, 2017.
- [23] F. Luna, «Incidencia de la presión sobre el coeficiente de rugosidad C de Hazen-Williams,» *Tecnología y ciencias del agua*, vol. 10, n° 5, pp. 214-225, 2019.
- [24] I. Santos, J. Bermudez y F. Estrada, «Estimación experimental de la rugosidad y del factor de fricción en una tubería,» *AMAC*, pp. 489-494, 2018.
- [25] F. Zapata, «Lifeder.com,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.lifeder.com/rugosidad-relativa-absoluta/>. [Último acceso: Viernes Abril 2020].

- [26] V. Chow, Hidráulica de canales abiertos, Primera ed., Bogotá: McGraw W-Hill Interamericana S.A, 1994.
- [27] J. Madrid, M. Candelas, V. Rodríguez y M. Ramírez, «Diseño y construcción de un prototipo de Osborne Reynolds,» Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología , vol. 1, n° 2, pp. 857-862, 2016.
- [28] D. Delgado y H. Laurencio, «Propiedades reológicas de emulsiones de petróleo pesado en agua,» Revista Chilena de Ingeniería, vol. 16, n° 1, pp. 244-249, 2008.
- [29] O. Vegas y F. Martínez, «Equivalencia de coeficientes de rugosidad de Hazen-Williams, Chezy-Manning, Darcy- Weisbach para modelos de redes a presión en Epanet,» 2018.
- [30] I. U. S. IUS, «Acerca del tubo de acero,» Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.united-steel.com/es/newsshow/442.html>. [Último acceso: 2020].
- [31] S. A. p. P. y. M. (ASTM), Especificación de estándar para tubo de acero, negro e inmerso en caliente, zincado, soldado y sin costuras (ASTM A53).
- [32] N. F. P. A. NFPA, NFPA 13, Norma para la instalación de rociadores, Chicago, 2010.
- [33] D. Nuevo, «Medidores de caudal en EDAR,» 2016. [En línea]. Available: <https://roadtosparepartsmanagerdtr.blogspot.com/2013/09/resumen-de-teoria-de-la-medicion-de.html>.
- [34] L. Ybirma, «Hidráulica básica para sistemas contra incendios - Medición de caudal,» Caracas, 2021.
- [35] J. Pazmiño, J. García y C. Cisneros , «Diseño y construcción de un prototipo de medidor de Venturi con fines didácticos y aplicación a la ingeniería agronómica,» Polo de conocimiento, vol. 2, n° 5, pp. 1033-1056, Mayo 2017.
- [36] S. Castaño, Medidores de presión, 2018.
- [37] Y. Cengel y J. Cimbala, Mecánica de fluidos, México: Mc Graw Hill, 2006.
- [38] C. Colebrook, «Flujo turbulento en tuberías, con particular referencia a la región de transición entre las leyes de tuberías lisas y rugosas,» Revista de la Institución de ingenieros civiles, n° 11, pp. 133-156, 1939.
- [39] D. P. Gualancañay y D. Jaguaco, Diseño de un sistema de bombeo para un almacenamiento de agua de riego en los sectores de Chanchico y Tiobamba

de la parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, Latacunga, 2017.

- [40] J. García, A. Reding y J. López, «Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica,» Scielo, vol. II, n° 8, pp. 52-57, 2013.
- [41] C. Luque, Redes de agua caliente con recirculación y equipos de calentamiento tipo caldera con tanque acumulador, Bogotá, 2016.
- [42] G. Martín, Manual para el diseño de una red hidráulica de climatización, Sevilla, 2012.
- [43] C. Liou, «Limitations and proper use of the Hazen-Williams equation,» Journal of Hydraulic Engineering, vol. 124, n° 9, pp. 951-954, 1998.

Anexo 1

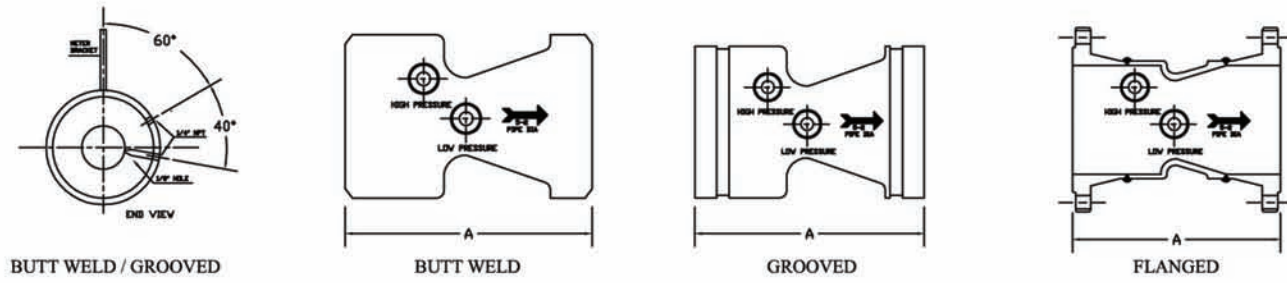
Especificaciones técnicas del medidor de flujo tipo Venturi.

DATOS DIMENSIONALES - MEDIDORS DE FLUJO

Machinado o hecho en molde

CONSTRUCCIÓN Y ESPECIFICACIONES		DATOS DE MEDIDOR:	
MATERIALES:	TRABAJADO A MÁQUINA 1018 o 1026	CONSTRUCCIÓN:	CUERPO DE ALUMINIO
VALVULAS:	¼" PELOTA DE LATÓN	OPERACIÓN:	DIAFRAGMA (BUNA CONVULUTED)
ACCESORIOS		EXACTITUD:	+ 2% ESCALA LLENA
DE LATÓN:	CA360	TEMPERATURA:	180°F / 80°C
FLANGE OPT:	150# ANSI B 16.5	PRESIÓN:	500 PSIG - 3450 KPA
ETIQUETA DE	300# ANSI B 16.5	PESO:	1.7 KGS (3.75 LBS)
IDENTIFICACIÓN:	POLYCARBONATE		DIAL ESTÁNDAR DE 4" - DIAL DE 6" DISPONIBLE

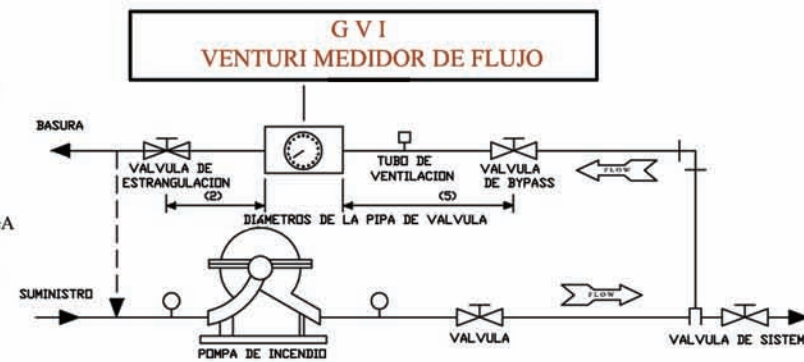
MATERIALES DISPONIBLE: ACERO INOXIDABLE, LATÓN, ALUMINIO, MONEL, VARIOS PLÁSTICOS, REVESTIDO CON EPOXI, Y MUCHOS OTROS, PÓNGASE EN CONTACTO CON LA FÁBRICA PARA PREGUNTAS



SIZE	BUTT WELD & GROOVED		150 # FLANGED		300# FLANGED	
	"A" DIM	APPROX. WEIGHT	"A" DIM	APPROX. WEIGHT	"A" DIM	APPROX. WEIGHT
1-1/4"	4.875	2 lbs.	---	---	---	---
2"	5.000	3.5 lbs.	---	---	---	---
2-1/2"	4.000	5 lbs.	9.250	21 lbs.	10.000	28 lbs.
3"	4.000	6 lbs.	9.375	30 lbs.	10.250	36 lbs.
3-1/2"	---	---	---	---	---	---
4"	5.375	10 lbs.	11.375	40 lbs.	12.125	60 lbs.
5"	6.000	20 lbs.	13.000	58 lbs.	13.750	84 lbs.
6"	7.000	22 lbs.	14.000	70 lbs.	14.750	106 lbs.
8"	7.250	31 lbs.	15.250	93 lbs.	16.000	181 lbs.
10"	8.000	45 lbs.	16.000	149 lbs.	17.250	227 lbs.
12"	12.000	78 lbs.	21.000	238 lbs.	22.250	358 lbs.
14"	14.000	85 lbs.	---	---	---	---
16"	28.000	166 lbs.	---	---	---	---

INSTRUCCIÓN DE MANEJO

1. CIERRA LA VÁLVULA DE SISTEMA
2. ABRA VÁLVULA BYPASS Y VÁLVULA DE ESTRANGULACION
3. PURGA EL MEDIDOR DEL VENTURI POR
 - ABRA LAS VÁLVULAS DE PARADA Y RESPIRADERO
 - CUANDO USTED VE UN CONSTANTE FLUJO DEL AGUA EN LA MANGUERA, EL MEDIDOR ES PURGADO
 - CIERRA LA VÁLVULA DE RESPIRADERO DESPUES DE PURGA
4. COMIENZA LA POMPA DE INCENDIO Y LEE EN GPM
5. REFIERA A LOS REQUISITOS DE GPM Y AJUSTE VÁLVULA DE ESTRANGULACION PARA LOGRAR EL REQUISITO
6. DESPUÉS DE LA PRUEBA ABRA LA VÁLVULA DE SISTEMA CIERRA LAS VÁLVULA DE BYPASS Y ESTRANGULACION

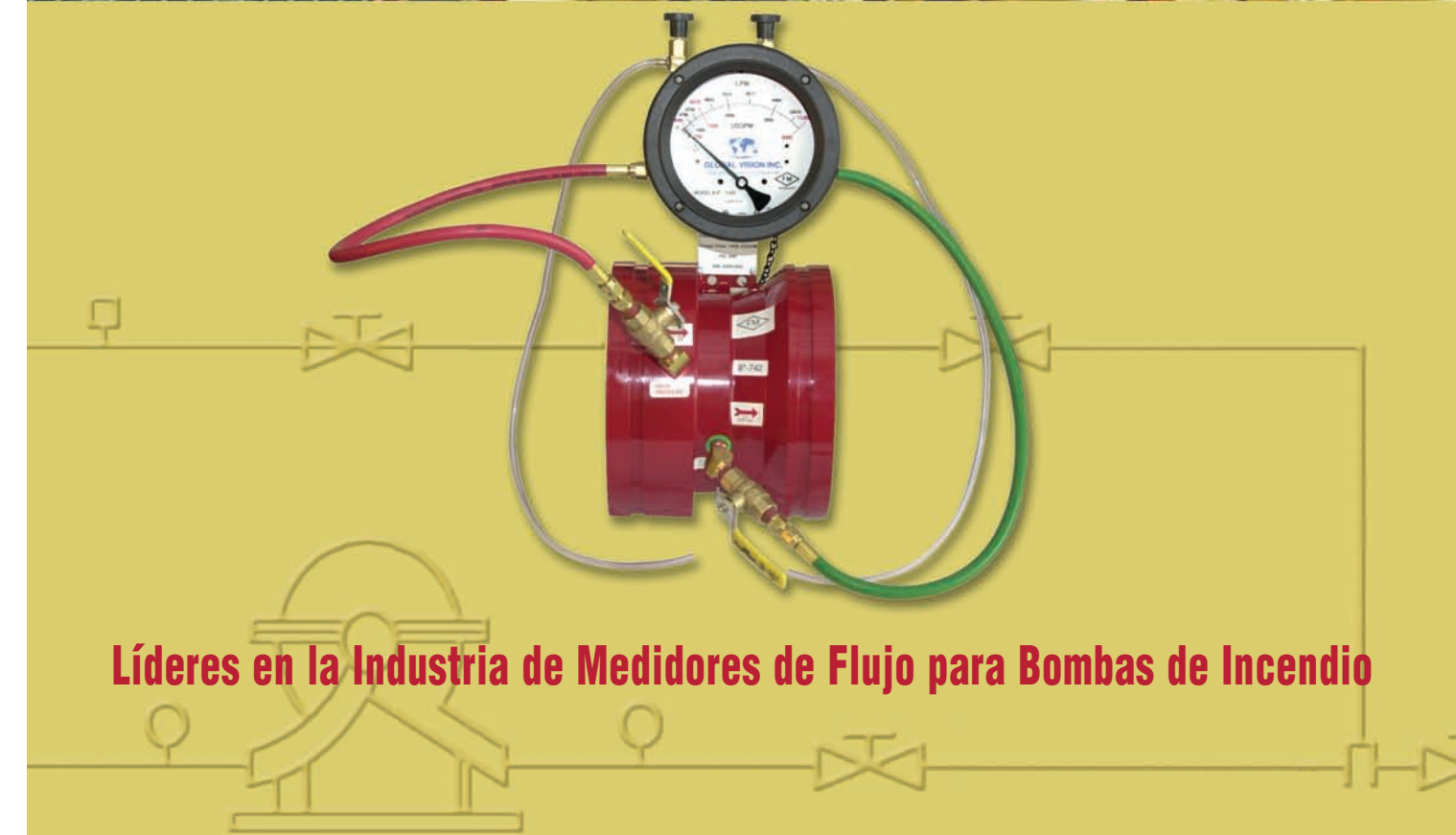


GLOBAL VISION INC.

www.gviflow.com

763-391-0990 • fax 763-391-7668

8800 Jefferson Highway - Osseo, MN 55369



Líderes en la Industria de Medidores de Flujo para Bombas de Incendio



GLOBAL VISION INC.

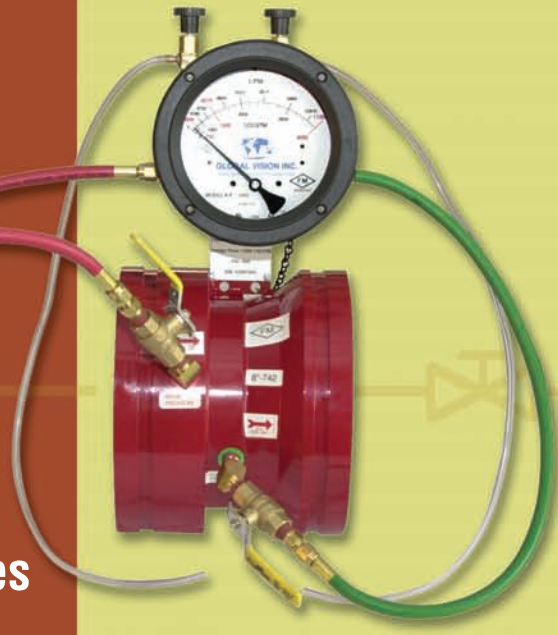
www.gviflow.com

8800 JEFFERSON HIGHWAY - OSSEO, MN 55369 USA
PHONE (763) 391-0990 FAX (763) 391-7668 EMAIL: info@gviflow.com

La Tecnología,
El Trabajo de Máquina
y La Fabricación de
Global Vision Medidores
de Flujo para Bombas
de Incendio son
de La Mejor Tecnología
con Calidad y Servicio



Con Nuestra Tecnología
No Tienen Que
Desperdiciar Agua Mas



Venturi Medidores de Flujo para Bombas de Incendio

VENTURI: 1018 o 1026

- Acero de Carbón [Trabajado a Maquiná]
- Tubo de Pared Gruesa de Acero de Carbón
- Certificación de Materiales de Disponibles
- Pintura "Rojo" o

Medidores: 4" Esfera de Instrumento de Aluminio,
1/4" NPT Uniones, 304SS Casco con
Anillo de Caucho,
Ventana de Vidrio, Sello [BUNA-N]

Valvulas: Latón [CA360]

Accesorios de Laton: Latón [CA360]

Manguera: "Goodyear" Manguera de Caucho
con Accesorios de Latón [CA360]
[Calculado: 750 Libras por Pulgada Cuadrada]

Garantía Limitada de (5) Año

Para más información sobre productos o especificaciones por favor póngase en



GLOBAL VISION INC.
www.gviflow.com

763-391-0990 • fax 763-391-7668
8800 Jefferson Highway - Osseo, MN 55369

VENTURI MEDIDORES DE FLUJO PARA BOMBAS DE INCENDIO

Line Size	Pump GPM	Meter Range Min. & Max. GPM	Meter Range Min. & Max. LPM	Model Number Grooved	Model Number Butt Weld	Model Number 150# Flanged	Model Number <Threaded> *300# FLANGED*
**1-1/4"	25	12.5 - 50	47 - 189	* 1.25"-25-G	1.25"-25-B	* 1.25"-25-F	1.25"-25-T
**2"	50	25 - 100	95 - 379	* 2"-50-G	2"-50-B	* 2"-50-F	2"-50-T
**2-1/2"	100	50 - 200	189 - 757	2.5"-100-G	2.5"-100-B	2.5"-100-F	*2.5"-100-F3
3"	150	75 - 300	284 - 1136	3"-150-G	3"-150-B	3"-150-F	*3"-150-F3
3"	200	100 - 400	379 - 1514	3"-200-G	3"-200-B	3"-200-F	*3"-150-F3
4"	250	125 - 500	473 - 1893	4"-250-G	4"-250-B	4"-250-F	*4"-250-F3
4"	300	150 - 600	568 - 2271	4"-300-G	4"-300-B	4"-300-F	*4"-300-F3
4"	400	200 - 800	757 - 3028	4"-400-G	4"-400-B	4"-400-F	*4"-400-F3
4"	450	225 - 900	852 - 3407	4"-450-G	4"-450-B	4"-450-F	*4"-450-F3
5"	450	225 - 900	852 - 3407	5"-450-G	5"-450-B	5"-450-F	*5"-450-F3
5"	500	250 - 1000	946 - 3785	5"-500-G	5"-500-B	5"-500-F	*5"-500-F3
5"	750	375 - 1500	1420 - 5678	5"-750-G	5"-750-B	5"-750-F	*5"-750-F3
6"	500	250 - 1000	946 - 3785	6"-500-G	6"-500-B	6"-500-F	6"-500-F3
6"	750	375 - 1500	1420 - 5678	6"-750-G	6"-750-B	6"-750-F	6"-750-F3
6"	1000	500 - 2000	1893 - 7570	6"-1000-G	6"-1000-B	6"-1000-F	6"-1000-F3
6"	1250	625 - 2500	2366 - 9462	6"-1250-G	6"-1250-B	6"-1250-F	6"-1250-F3

* Denotes Non-Stock Item, Please check with factory for availability
** Sizes 1-1/4", 2", & 14" are Not FM Approved per Factory Mutual**

VENTURI MEDIDORES DE FLUJO PARA BOMBAS DE INCENDIO

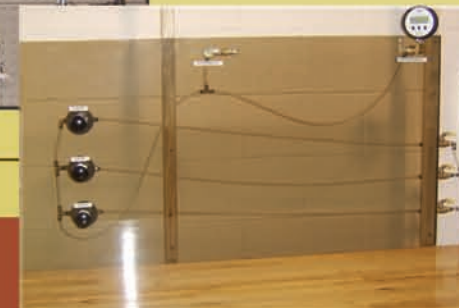
Line Size	Pump GPM	Meter Range Min. & Max. GPM	Meter Range Min. & Max. LPM	Model Number Grooved	Model Number Butt Weld	Model Number Flanged
8"	1000	500 - 2000	1893 - 7570	8"-1000-G	8"-1000-B	8"-1000-F
8"	1250	625 - 2500	2366 - 9462	8"-1250-G	8"-1250-B	8"-1250-F
8"	1500	750 - 3000	2839 - 11356	8"-1500-G	8"-1500-B	8"-1500-F
8"	2000	1000 - 4000	3785 - 15142	8"-2000-G	8"-2000-B	8"-2000-F
8"	2500	1250 - 5000	4731 - 18925	8"-2500-G	8"-2500-B	8"-2500-F
8"	3000	1500 - 6000	5678 - 22712	8"-3000-G	8"-3000-B	8"-3000-F
10"	1500	750 - 3000	2839 - 11356	10"-1500-G	10"-1500-B	10"-1500-F
10"	2000	1000 - 4000	3785 - 15142	10"-2000-G	10"-2000-B	10"-2000-F
10"	2500	1250 - 5000	4731 - 18925	10"-2500-G	10"-2500-B	10"-2500-F
10"	3000	1500 - 6000	5678 - 22712	10"-3000-G	10"-3000-B	10"-3000-F
10"	3500	1750 - 7000	6624 - 26495	10"-3500-G	10"-3500-B	10"-3500-F
10"	4000	2000 - 8000	7570 - 30283	10"-4000-G	10"-4000-B	10"-4000-F
10"	4500	2250 - 9000	8518 - 34068	10"-4500-G	10"-4500-B	10"-4500-F
12"	2500	1250 - 5000	4731 - 18925	* 12"-2500-G	* 12"-2500-B	* 12"-2500-F
12"	3000	1500 - 6000	5678 - 22712	* 12"-3000-G	* 12"-3000-B	* 12"-3000-F
12"	3500	1750 - 7000	6624 - 26495	* 12"-3500-G	* 12"-3500-B	* 12"-3500-F
12"	4000	2000 - 8000	7570 - 30283	* 12"-4000-G	* 12"-4000-B	* 12"-4000-F
12"	4500	2250 - 9000	8518 - 34068	* 12"-4500-G	* 12"-4500-B	* 12"-4500-F
12"	5000	2500 - 10000	9464 - 37854	12"-5000-G	12"-5000-B	12"-5000-F

* Denotes Non-Stock Item, Please check with factory for availability
** Sizes 1-1/4", 2", & 14" are Not FM Approved per Factory Mutual**

Global Vision Incorporated es el Líder en Fluido Tecnología. Nuestra Misión es para Mantener esta Reputación. Por Proveer la Más Alta Calidad y la Satisfacción de Nuestros Clientes. Estamos Aprobados Por "FM" y Nuestros Equipos son ISO 17025 Certificado



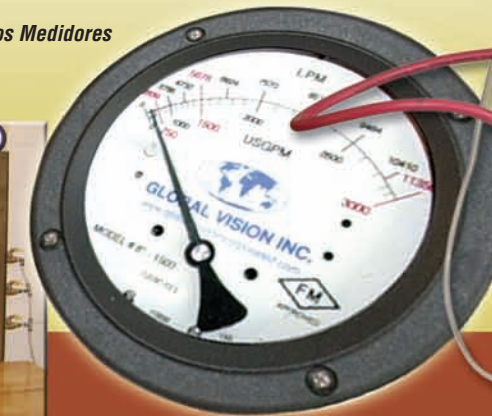
Control de Calidad



Pruebas de Medidores



Su Nombre en los Medidores



Venturi Pompas



Inventario Grande/Embarque Inmediato



Global Vision es su primera opción para todas sus necesidades de medidores de flujo:

- Productos excepcionales
- El mejor servicio de cliente
- Entragamos a Tiempo
- Precios excepcionales

Anexo 2

Propiedades del agua saturada.

TABLA A-3

Propiedades del agua saturada

Temp. T , °C	Presión de saturación P_{sat} , kPa	Densidad ρ , kg/m ³		Entalpía de vaporización h_{fg} , kJ/kg	Calor específico c_p , J/kg · K		Conductividad térmica k , W/m · K		Viscosidad dinámica μ , kg/m · s		Número de Prandtl Pr		Coeficiente de expansión volumétrica β , 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	1.792×10^{-3}	0.922×10^{-5}	13.5	1.00	-0.068×10^{-3}
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	1.519×10^{-3}	0.934×10^{-5}	11.2	1.00	0.015×10^{-3}
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	1.307×10^{-3}	0.946×10^{-5}	9.45	1.00	0.733×10^{-3}
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4186	1863	0.589	0.0179	1.138×10^{-3}	0.959×10^{-5}	8.09	1.00	0.138×10^{-3}
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	1.002×10^{-3}	0.973×10^{-5}	7.01	1.00	0.195×10^{-3}
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	0.891×10^{-3}	0.987×10^{-5}	6.14	1.00	0.247×10^{-3}
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	0.798×10^{-3}	1.001×10^{-5}	5.42	1.00	0.294×10^{-3}
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	0.720×10^{-3}	1.016×10^{-5}	4.83	1.00	0.337×10^{-3}
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	0.653×10^{-3}	1.031×10^{-5}	4.32	1.00	0.377×10^{-3}
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	0.596×10^{-3}	1.046×10^{-5}	3.91	1.00	0.415×10^{-3}
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	0.547×10^{-3}	1.062×10^{-5}	3.55	1.00	0.451×10^{-3}
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	0.504×10^{-3}	1.077×10^{-5}	3.25	1.00	0.484×10^{-3}
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	0.467×10^{-3}	1.093×10^{-5}	2.99	1.00	0.517×10^{-3}
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	0.433×10^{-3}	1.110×10^{-5}	2.75	1.00	0.548×10^{-3}
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	0.404×10^{-3}	1.126×10^{-5}	2.55	1.00	0.578×10^{-3}
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	0.378×10^{-3}	1.142×10^{-5}	2.38	1.00	0.607×10^{-3}
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	0.355×10^{-3}	1.159×10^{-5}	2.22	1.00	0.653×10^{-3}
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	0.333×10^{-3}	1.176×10^{-5}	2.08	1.00	0.670×10^{-3}
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	0.315×10^{-3}	1.193×10^{-5}	1.96	1.00	0.702×10^{-3}
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	0.297×10^{-3}	1.210×10^{-5}	1.85	1.00	0.716×10^{-3}
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	0.282×10^{-3}	1.227×10^{-5}	1.75	1.00	0.750×10^{-3}
110	143.27	950.6	0.8263	2230	4229	2071	0.682	0.0262	0.255×10^{-3}	1.261×10^{-5}	1.58	1.00	0.798×10^{-3}
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	0.232×10^{-3}	1.296×10^{-5}	1.44	1.00	0.858×10^{-3}
130	270.1	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	0.213×10^{-3}	1.330×10^{-5}	1.33	1.01	0.913×10^{-3}
140	361.3	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.683	0.0301	0.197×10^{-3}	1.365×10^{-5}	1.24	1.02	0.970×10^{-3}
150	475.8	916.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	0.183×10^{-3}	1.399×10^{-5}	1.16	1.02	1.025×10^{-3}
160	617.8	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	0.170×10^{-3}	1.434×10^{-5}	1.09	1.05	1.145×10^{-3}
170	791.7	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	0.160×10^{-3}	1.468×10^{-5}	1.03	1.05	1.178×10^{-3}
180	1,002.1	887.3	5.153	2015	4410	2590	0.673	0.0364	0.150×10^{-3}	1.502×10^{-5}	0.983	1.07	1.210×10^{-3}
190	1,254.4	876.4	6.388	1979	4460	2710	0.669	0.0382	0.142×10^{-3}	1.537×10^{-5}	0.947	1.09	1.280×10^{-3}
200	1,553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	0.134×10^{-3}	1.571×10^{-5}	0.910	1.11	1.350×10^{-3}
220	2,318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	0.122×10^{-3}	1.641×10^{-5}	0.865	1.15	1.520×10^{-3}
240	3,344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0487	0.111×10^{-3}	1.712×10^{-5}	0.836	1.24	1.720×10^{-3}
260	4,688	783.7	23.69	1663	4970	4070	0.609	0.0540	0.102×10^{-3}	1.788×10^{-5}	0.832	1.35	2.000×10^{-3}
280	6,412	750.8	33.15	1544	5280	4835	0.581	0.0605	0.094×10^{-3}	1.870×10^{-5}	0.854	1.49	2.380×10^{-3}
300	8,581	713.8	46.15	1405	5750	5980	0.548	0.0695	0.086×10^{-3}	1.965×10^{-5}	0.902	1.69	2.950×10^{-3}
320	11,274	667.1	64.57	1239	6540	7900	0.509	0.0836	0.078×10^{-3}	2.084×10^{-5}	1.00	1.97	—
340	14,586	610.5	92.62	1028	8240	11,870	0.469	0.110	0.070×10^{-3}	2.255×10^{-5}	1.23	2.43	—
360	18,651	528.3	144.0	720	14,690	25,800	0.427	0.178	0.060×10^{-3}	2.571×10^{-5}	2.06	3.73	—
374.14	22,090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043×10^{-3}	4.313×10^{-5}	—	—	—

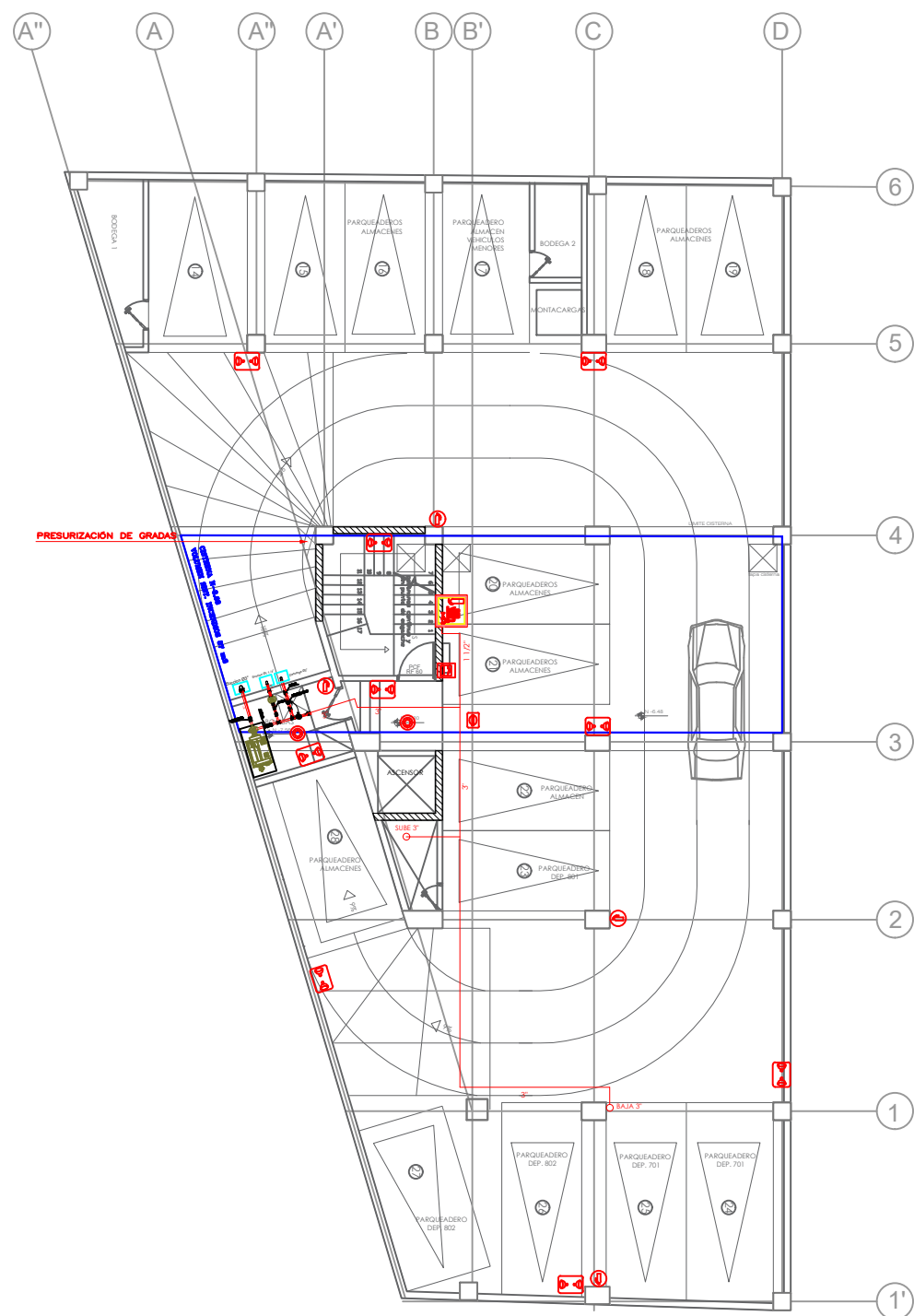
Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones: $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu/Pr$. Las temperaturas 0.01°C, 100°C y 374.14°C son las temperaturas del punto triple, de ebullición y crítico del agua, respectivamente. Las propiedades citadas anteriormente (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualquier presión con error despreciable, excepto a temperaturas cerca del valor de punto crítico.

Nota 2: La unidad kJ/kg · °C para calor específico es equivalente kJ/kg · K, y la unidad W/m · °C para conductividad térmica es equivalente a W/m · K.

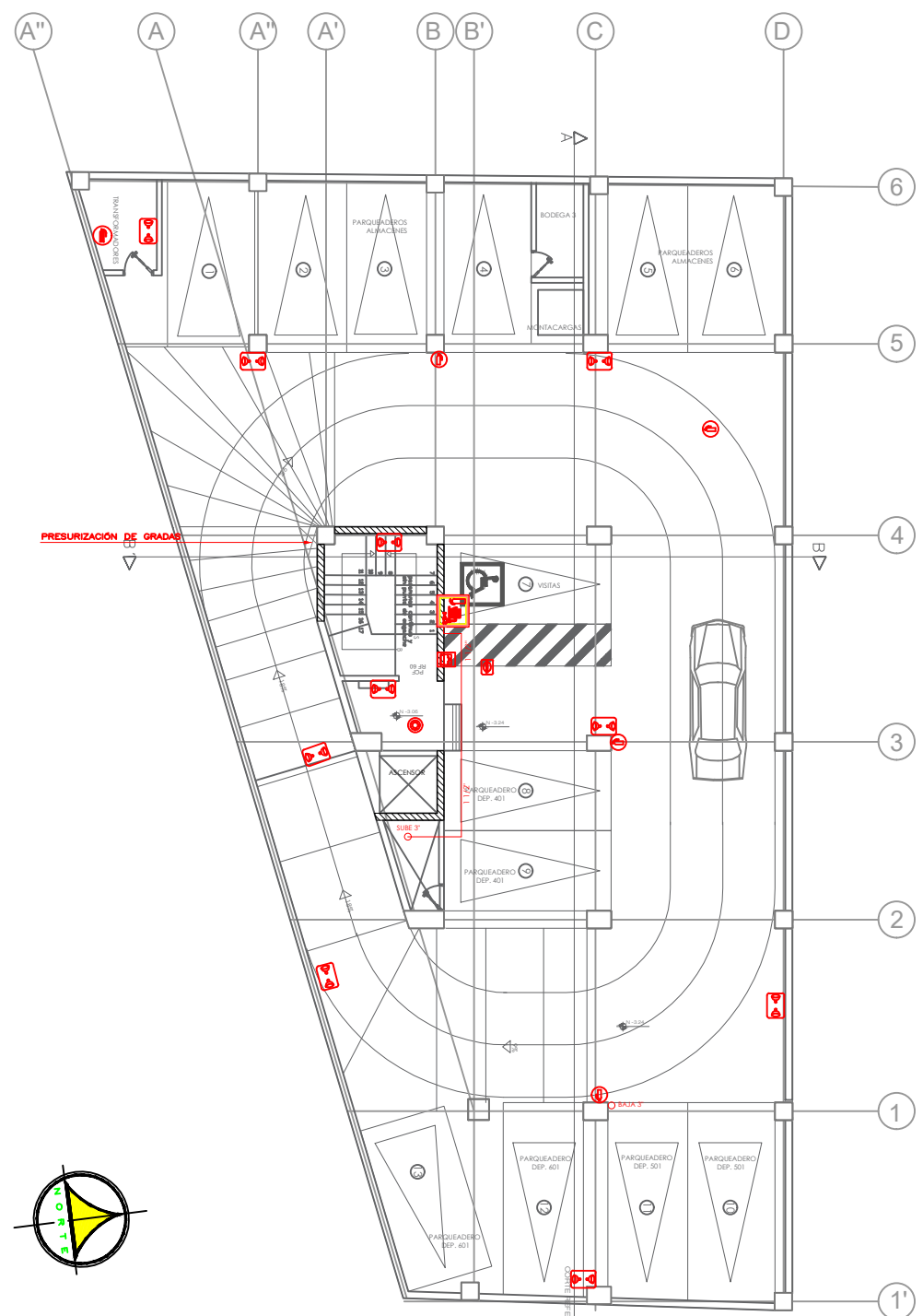
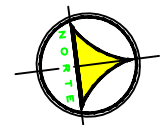
Fuente: Los datos de viscosidad y conductividad térmica están tomados de J. V. Sengers y J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), pp. 1291-1322. Otros datos se obtuvieron de diversas fuentes o se calcularon.

Anexo 3

Planos hidráulicos de la edificación.



SUBSUELO 2
ESC-----1:200



SUBSUELO 1
ESC-----1:200

SIMBOLOGIA SISTEMA CONTRA INCENDIOS	
	LAMPARA DE EMERGENCIA, TIEMPO DE AUTONOMIA 60MINUTOS
	SIRENA CON LUZ ESTROBOSCOPICA
	ESTACION DE ACTIVACION MANUAL DE ALARMA
	DETECTORES DE HUMO CENTRALIZADO
	PANEL DE CONTROL AUTOMATICO DIRECCIONABLE
	EXTINGUIDOR A BASE DE POLVO QUIMICO SECO TIPO ABC CAPACIDAD DE CARGA 10 LB.
	TOMA SIAMESA 4 X 2 1/2 X 2 1/2 CROAMDA CON TAPONES
	VÁLVULA CHECK - TOMA SIAMESA
	BOMBA PRINCIPAL DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS
	BOMBA AUXILIAR JOCKEY
	DETECTOR TÉRMICO
	EXTINGUIDOR A BASE DE CO2 CAPACIDAD DE CARGA 10 LB.
	GABINETE DE INCENDIO CLASE II MANGUERA DE 30 METROS
	TUBERÍA AÉREA RED DE INCENDIOS- ACERO NEGRO ASTM A 53
	PUERTA CORTA FUERGO RESISTENCIA 60 MINUTOS

ESTUDIOS ESPECIALES DE CONTRA INCENDIOS

PROYECTO:
EDIFICIO RODRIGUEZ

CLAVE CATASTRAL
11608 032 003

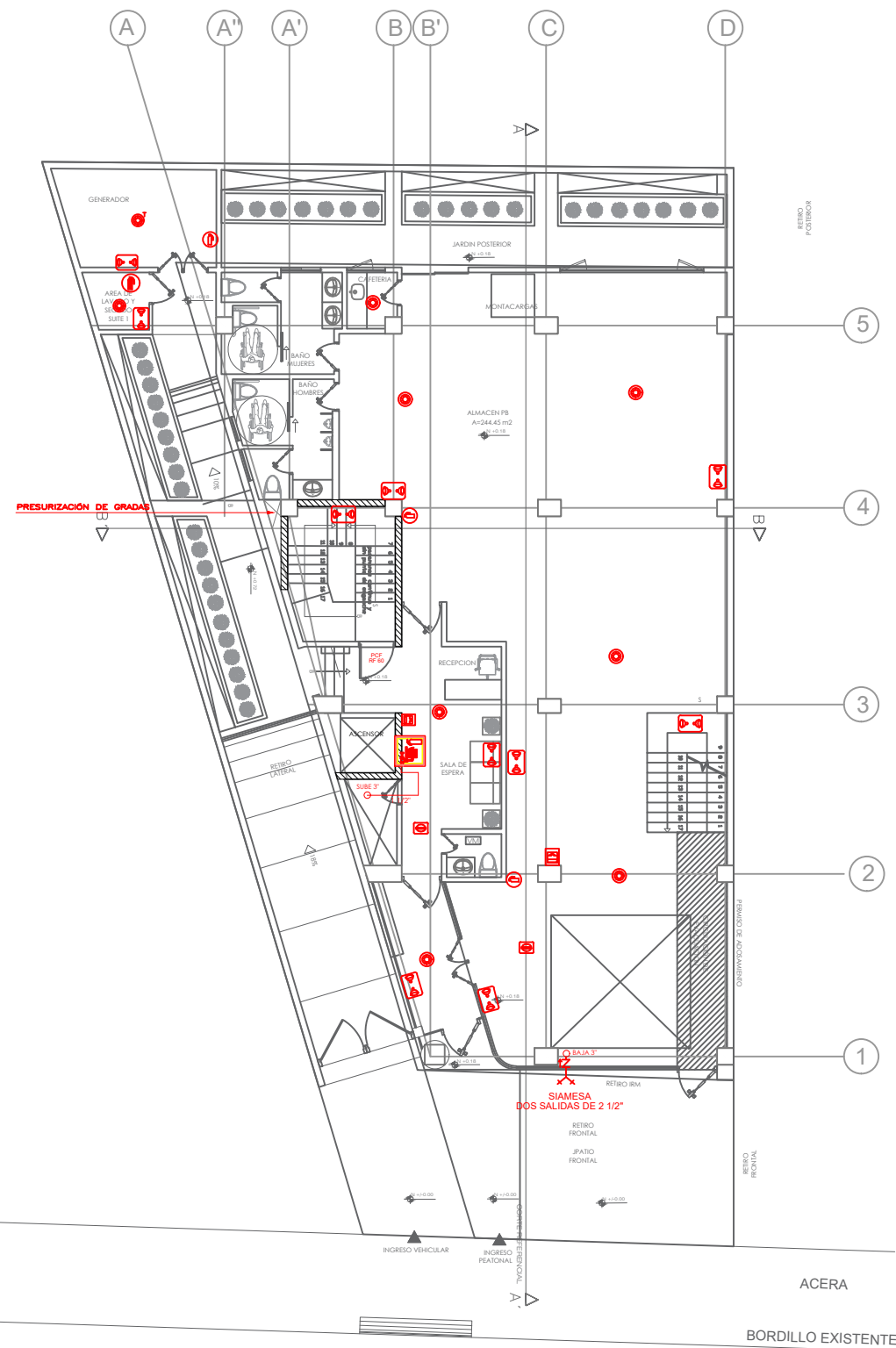
NÚMERO DE PREDIO
187826

UBICACION
JIPIJAPA - EL INCA
Av. Eloy Alfaro S/N De las Alondras



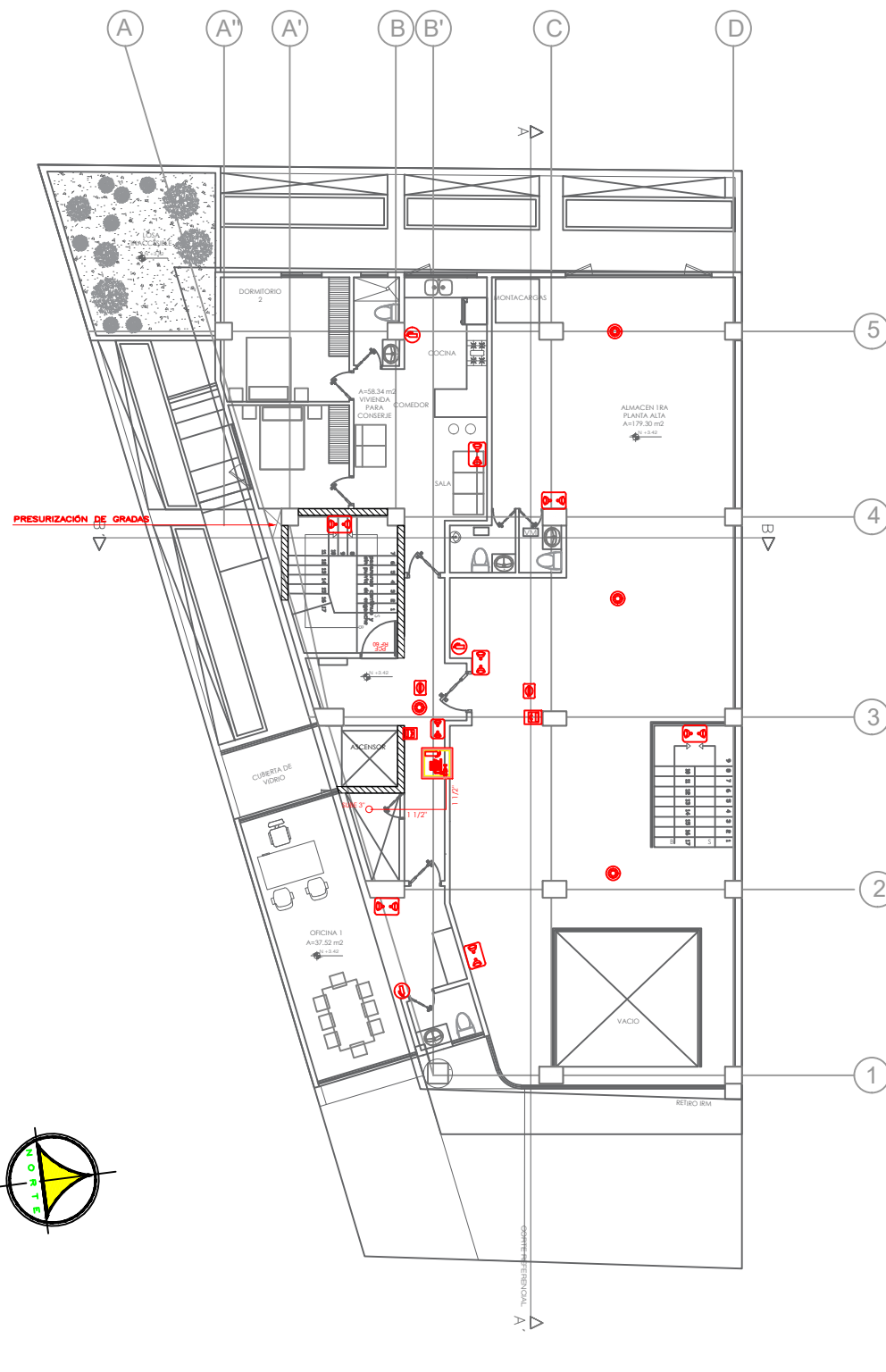
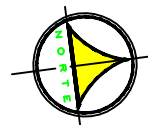
Contenido:	ENERO 2021
Red contra incendio	
- Subsuelo 1	
- Subsuelo 2	Lámina EE 01/04

OBSERVACIONES



PLANTA BAJA
ESC. 1:200

Av. ELOY ALFARO



PRIMERA PLANTA ALTA (MEZANINE)
ESC. 1:200

SIMBOLOGIA SISTEMA CONTRA INCENDIOS	
	LAMPARA DE EMERGENCIA, TIEMPO DE AUTONOMIA 60MINUTOS
	SIRENA CON LUZ ESTROBOSCOPICA
	ESTACION DE ACTIVACION MANUAL DE ALARMA
	DETECTORES DE HUMO CENTRALIZADO
	PANEL DE CONTROL AUTOMATICO DIRECCIONABLE
	EXTINGUIDOR A BASE DE POLVO QUIMICO SECO TIPO ABC CAPACIDAD DE CARGA 10 LB.
	TOMA SIAMESA 4 X 2 1/2 X 2 1/2 CROAMDA CON TAPONES
	VALVULA CHECK - TOMA SIAMESA
	BOMBA PRINCIPAL DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS
	BOMBA AUXILIAR JOCKEY
	DETECTOR TERMICO
	EXTINGUIDOR A BASE DE CO2 CAPACIDAD DE CARGA 10 LB.
	GABINETE DE INCENDIO CLASE II MANGUERA DE 30 METROS
	TUBERIA AEREA RED DE INCENDIOS- ACERO NEGRO ASTM A 53
	PUERTA CORTA FUERGO RESISTENCIA 60 MINUTOS

ESTUDIOS ESPECIALES DE CONTRA INCENDIOS

PROYECTO:

EDIFICIO RODRIGUEZ

CLAVE CATASTRAL 11608 032 003
NUMERO DE PREDIO 187826

UBICACION: JIPIJAPA - EL INCA
Av. Eloy Alfaro S/N De las Alondras



Contenido:
Red contra incendio
- Planta Baja
- Primera planta alta

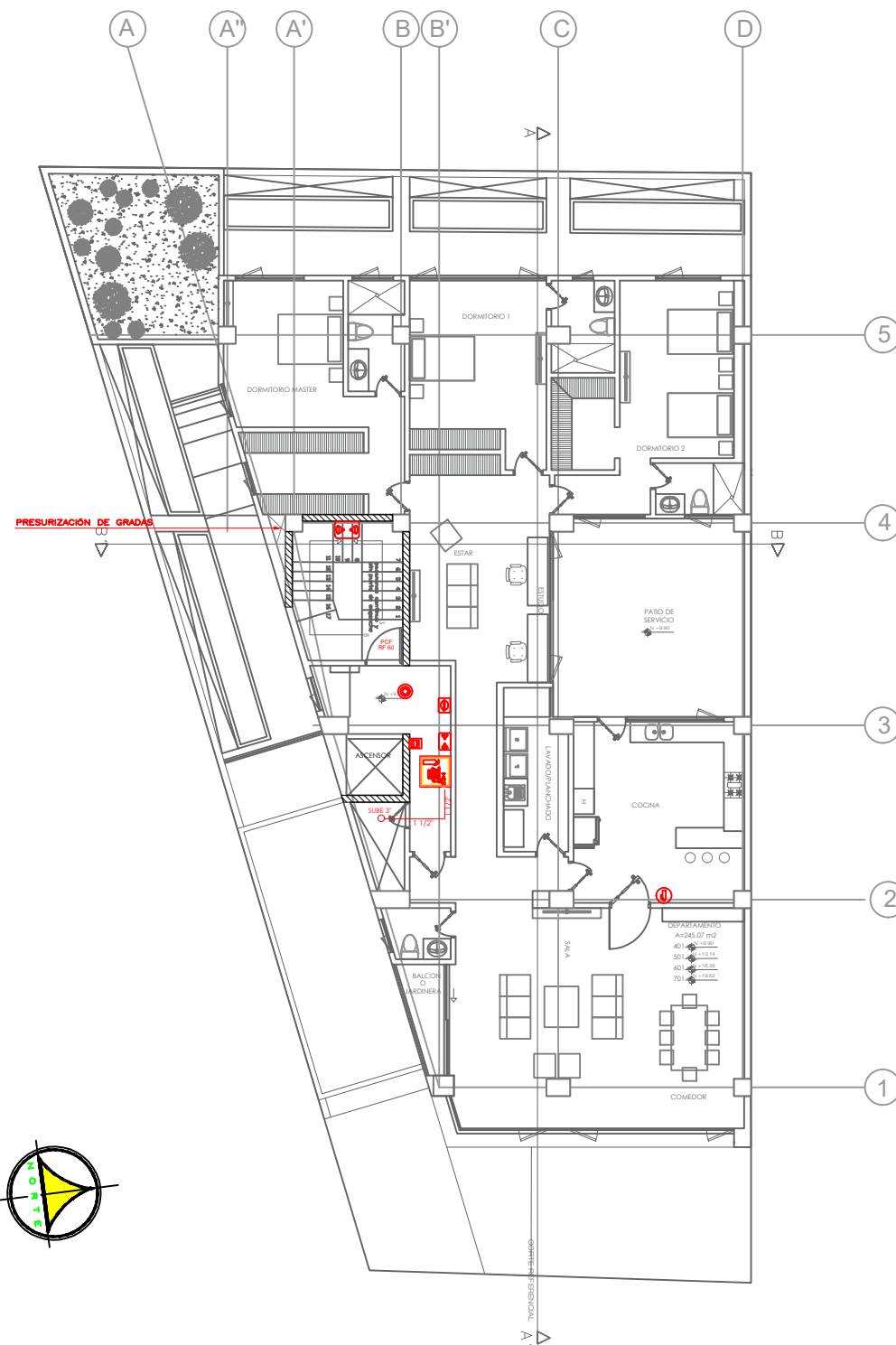
ENERO 2021

Lámina EE 02/04

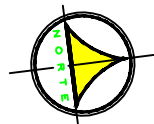
OBSERVACIONES



SEGUNDA PLANTA ALTA ALMACENES
ESC. 1:200



PLANTA TIPO (DEPARTAMENTOS 401,501,601,701)
ESC. 1:200



SIMBOLOGIA SISTEMA CONTRA INCENDIOS	
	LAMPARA DE EMERGENCIA, TIEMPO DE AUTONOMÍA 60MINUTOS
	SIRENA CON LUZ ESTROBOSCÓPICA
	ESTACION DE ACTIVACION MANUAL DE ALARMA
	DETECTORES DE HUMO CENTRALIZADO
	PANEL DE CONTROL AUTOMÁTICO DIRECCIONABLE
	EXTINGUIDOR A BASE DE POLVO QUIMICO SECO TIPO ABC CAPACIDAD DE CARGA 10 LB.
	TOMA SIAMESA 4 X 2 1/2 X 2 1/2" CROAMDA CON TAPONES
	VÁLVULA CHECK - TOMA SIAMESA
	BOMBA PRINCIPAL DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS
	BOMBA AUXILIAR JOCKEY
	DETECTOR TÉRMICO
	EXTINGUIDOR A BASE DE CO2 CAPACIDAD DE CARGA 10 LB.
	GABINETE DE INCENDIO CLASE II MANGUERA DE 30 METROS
	TUBERÍA AÉREA RED DE INCENDIOS- ACERO NEGRO ASTM A 53
	PUERTA CORTA FUERGO RESISTENCIA 60 MINUTOS

ESTUDIOS ESPECIALES DE CONTRA INCENDIOS
PROYECTO:
EDIFICIO RODRIGUEZ

CLAVE CATASTRAL 11608 032 003
NÚMERO DE PREDIO 187826
UBICACION: JIPIJAPA - EL INCA
Av. Eloy Alfaro S/N De las Alondras

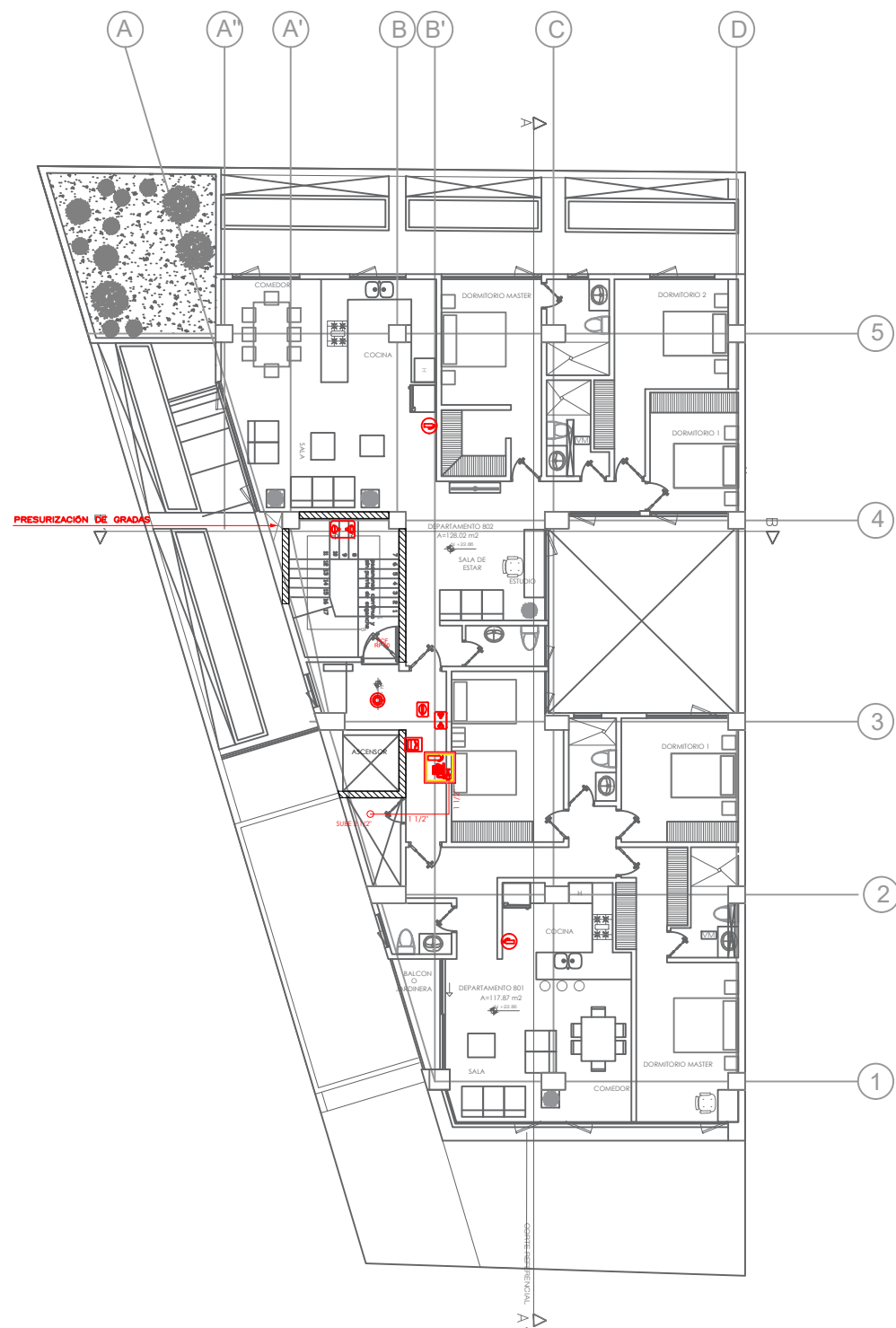


Contenido:
Red contra incendio
- Segunda planta alta
- Planta tipo

ENERO 2021

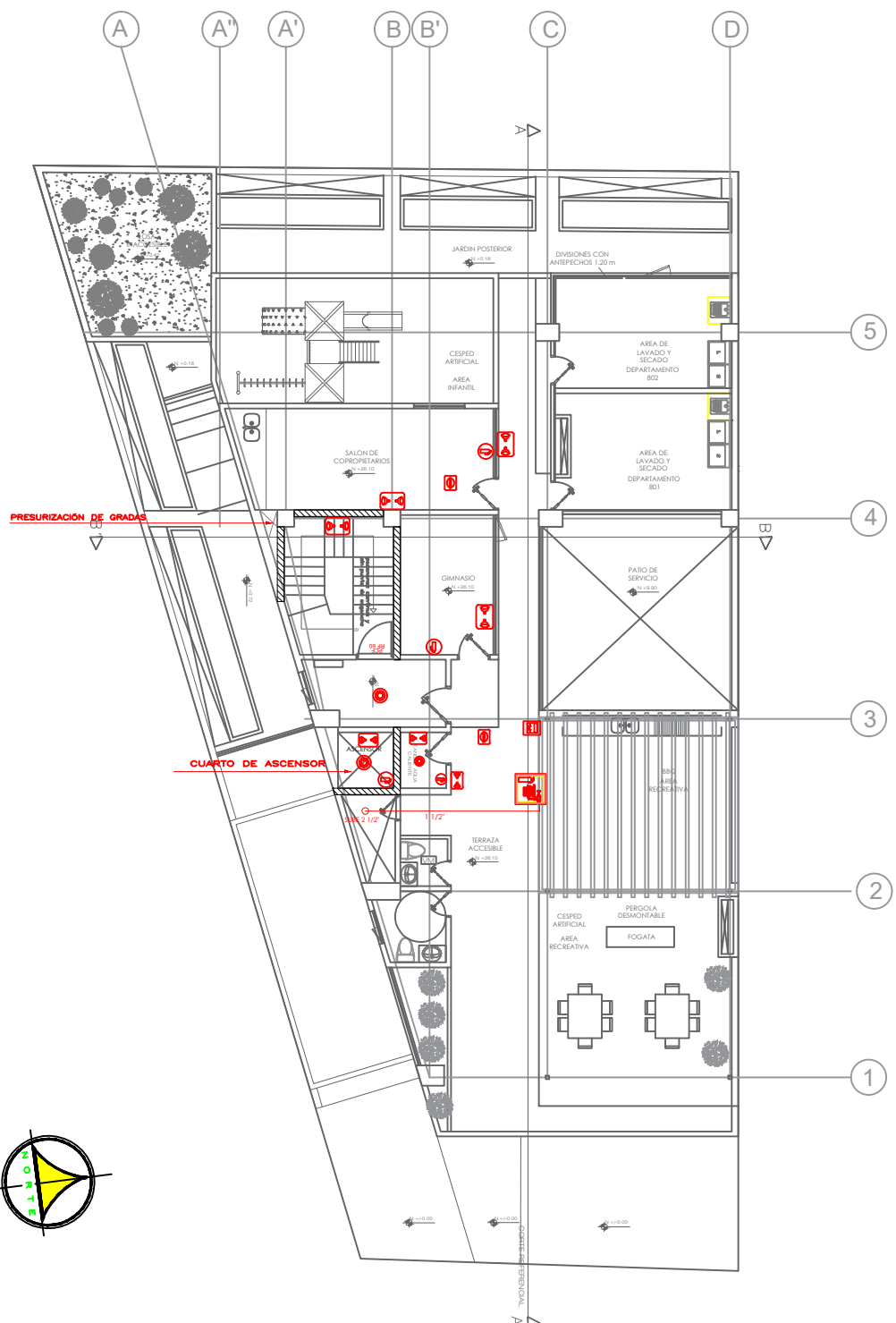
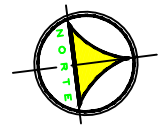
Lámina EE 03/04

OBSERVACIONES



SEPTIMA PLANTA ALTA (DEP. 801 -802)

ESC: 1:200



PLANTA TERRAZA COMUNAL

ESC: 1:200

LOSA PARQUEADAS Y
DUCIOS -1.05.00
LOSA TAPA ANDENADOR -1.05.00

SIMBOLOGIA SISTEMA CONTRA INCENDIOS	
	LAMPARA DE EMERGENCIA, TIEMPO DE AUTONOMÍA 60MINUTOS
	SIRENA CON LUZ ESTROBOSCÓPICA
	ESTACION DE ACTIVACION MANUAL DE ALARMA
	DETECTORES DE HUMO CENTRALIZADO
	PANEL DE CONTROL AUTOMÁTICO DIRECCIONABLE
	EXTINGUIDOR A BASE DE POLVO QUIMICO SECO TIPO ABC CAPACIDAD DE CARGA 10 LB.
	TOMA SIAMESA 4 X 2 1/2 X 2 1/2" CROAMDA CON TAPONES
	VÁLVULA CHECK - TOMA SIAMESA
	BOMBA PRINCIPAL DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS
	BOMBA AUXILIAR JOCKEY
	DETECTOR TÉRMICO
	EXTINGUIDOR A BASE DE CO2 CAPACIDAD DE CARGA 10 LB.
	GABINETE DE INCENDIO CLASE II MANGUERA DE 30 METROS
	TUBERÍA AÉREA RED DE INCENDIOS- ACERO NEGRO ASTM A 53
	PUERTA CORTA FUERGO RESISTENCIA 60 MINUTOS

ESTUDIOS ESPECIALES DE CONTRA INCENDIOS

PROYECTO: EDIFICIO RODRIGUEZ

CLAVE CATASTRAL 11608 032 003
NÚMERO DE PREDIO 187826



UBICACION: JIPIJAPA - EL INCA
Av. Eloy Alfaro S/N De las Alondras

Contenido:	ENERO 2021
Red contra incendio	
- Séptima planta alta	
- Planta terraza	Lámina EE 04/04

OBSERVACIONES