UNIVERSIDAD LATINA DE HEREDIA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Licenciatura en Ingeniería Civil

Proyecto de Graduación

PROPUESTA DE MEJORA DE LA TUBERÍA DE INFRAESTRUCTURA DE AGUA CALIENTE Y FRÍA DEL COMPLEJO HOTELERO PARADISUS PAPAGAYO BAY

Autora:

Daniela Castro Fernández

Heredia, setiembre del 2018

COMITÉ ASESOR

ING. DANIEL FIGUEROA ARIAS

TUTOR

ING. LEONARDO MOYA GONZÁLEZ

LECTOR

ING. SIRLEY ALVAREZ GONZÁLEZ

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: "PROPUESTA DE MEJORA DE LA TUBERÍA DE INFRAESTRUCTURA DE AGUA CALIENTE Y FRÍA DEL COMPLEJO HOTELERO PARADISUS PAPAGAYO BAY.", fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:

ING. DANIEL FIGUEROA ARIAS

TUTOR

ING. LEONARDO MOYA GONZÁLEZ

LECTOR

ING. SIRLEY ALVAREZ GONZÁLEZ

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®

INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD LATINA

CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD PROYECTO DE GRADUACIÓN

Heredia, 14 de septiembre, de 2018

Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Proyecto de Graduación bajo el título PROPUESTA DE MEJORA DE LA TUBERÍA DE INFRAESTRUCTURA DE AGUA CALIENTE Y FRÍA DEL COMPLEJO HOTELERO PARADISUS PAPAGAYO BAY por parte del estudiante: Daniela Castro Fernández, como requisito para que el citado estudiante puedan optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

Ing. Daniel Figueroa Arias

UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®

INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD LATINA

CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD PROYECTO DE GRADUACIÓN

Heredia, 14 de septiembre, de 2018

Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Proyecto de Graduación bajo el título "PROPUESTA DE MEJORA DE LA TUBERÍA DE INFRAESTRUCTURA DE AGUA CALIENTE Y FRÍA DEL COMPLEJO HOTELERO PARADISUS PAPAGAYO BAY" por parte del estudiante: Daniela Castro Fernández, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

Ing. Leonardo Moya González

San José, 22 de setiembre del 2018.

Universidad Latina de Costa Rica
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Escuela de Ingeniería Civil

Estimados señores:

La estudiante Daniela Castro Fernández, cédula 402000875, me ha presentado, en mi calidad de profesional graduada en filología, el proyecto de graduación denominado "Propuesta de mejora de la tubería de infraestructura de agua caliente y fría, del complejo Paradisus Papagayo Bay", el cual ha elaborado para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil.

He revisado el documento, de acuerdo con los lineamientos de corrección de estilo, los aspectos de estructura gramatical, acentuación, ortografía, puntuación y vicios de dicción que se trasladan al escrito, y he verificado que se han realizado todas las correcciones necesarias en él.

Por consiguiente, se encuentra listo para ser presentado oficialmente a la Universidad.

Atentamente,

Msc. Carmen Pinto Murillo

Carné Colypro: 3939

UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

"Carta Autorización del autor(es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación"

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016

Instrucción: *Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.*

Yo (Nosotros):
Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Daniela Castro Fernández

De la Carrera / Programa: Licenciatura en Ingeniería Civil
autor (es) del (de la) *(Indique tipo de trabajo):* Proyecto de Graduación
titulado:

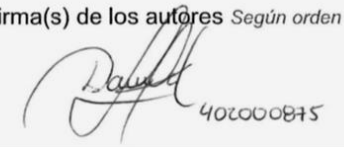
"PROPUESTA DE MEJORA DE LA TUBERÍA DE INFRAESTRUCTURA DE AGUA CALIENTE Y FRÍA DEL COMPLEJO HOTELERO PARADISUS PAPAGAYO BAY",

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página web institucional, así como medios electrónicos en general, internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos dentro o fuera de la Red Laureate, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de esta.

La presente autorización se extiende el día *(Día, fecha)* 26 del mes septiembre del año 2018 a las 14:00 . Asimismo declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: que soy el autor(a) del presente trabajo final de graduación, que el contenido de dicho trabajo es obra original del (la) suscrito(a) y de la veracidad de los datos incluidos en el documento. Eximo a la Universidad Latina; así como al Tutor y Lector que han revisado el presente, por las manifestaciones y/o apreciaciones personales incluidas en el mismo; de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores *Según orden de mención al inicio de ésta carta:*



RESUMEN

El objetivo de estudio de este proyecto es la hidráulica aplicada en tuberías de agua potable y bombeo para reducir las presiones, originadas por los cambios de nivel en la red principal, del complejo hotelero Paradisus Papagayo Bay, con el fin de obtener una mejora energética en los equipos utilizados.

Como objetivo principal se plantea desarrollar una propuesta de mejora de las principales tuberías de agua potable y caliente del complejo, y presentar los resultados para estudiar los impactos positivos logrados al utilizar un sistema de bombeo con tres estaciones y no con una sola estación, como se diseñó inicialmente el hotel.

El proyecto será desarrollado mediante una metodología de tipo cuantitativa, la cual da como resultado un ahorro energético significativo a nivel monetario, que será representado por las demandas de kwh que se mantienen a la fecha de creado dicho proyecto. El propósito radica en concluir el estudio con resultados positivos a nivel energético, al tener estaciones de bombeo en línea y colocadas simétricamente en la tubería de infraestructura de agua caliente.

Palabras Clave: hidráulica, bombeo, ahorro energético, infraestructura, agua potable, agua caliente, modelado de tuberías, presiones, método Hunter.

ABSTRACT

The objective of the study of this project is the hydraulics applied in cold water and pumping pipes to reduce the pressures, originated by the level changes in the main network pipes, of the hotel complex Paradisus Papagayo Bay to obtain an energy improvement in the equipment used.

In addition, the objective is to develop a proposal to improve the main cold and hot water pipes of the complex and present the results for the analysis of the positive results achieved by using a pumping system with three pumping stations and without a single pumping station as was designed the hotel in the mechanical drawings provided.

The project was developed by a quantitative methodology, the final objective is presented at the level of the demand of kWh that is maintained at the date of having this project completed, with the purpose of demonstrate the results in the energy saving by having pumping stations in line and placed symmetrically in the hot water infrastructure pipeline.

Keywords: hydraulic, pumping, energy saving, infrastructure, cold water, hot water, pipe modeling, pressures, Hunter method.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1
1.1 Antecedentes 1
1.2 Planteamiento del problema de investigación 2
1.3 Objetivos 3
1.3.1 Objetivo general: 3
1.3.2 Objetivos específicos: 3
1.4 Justificación: 3
1.5 Alcances y limitaciones: 3
1.6 Impacto 4
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO 5
1.7 Marco situacional 5
1.8 Ubicación espacial 6
1.9 Objeto de estudio 6
1.10 Flujo de los fluidos 7
1.11 Definición de caudal 9
1.12 Velocidades de flujo recomendadas en tuberías 9
1.13 Ecuación de Bernoulli: Ley de la conservación de la energía 12
1.14 Pérdidas y ganancia de energía 15
1.15 Número de Reynolds y pérdidas en tuberías 17
1.16 Ecuación de Darcy 18
1.17 Pérdidas de fricción en un flujo turbulento 19
1.18 Aplicación de bombas 20
CAPÍTULO 2. MARCO METODOLÓGICO 22
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS 24
3.1 Cálculo de pérdidas en las tuberías de los edificios 27
3.2 Modelado en EPANET 39
3.3 Modelado de la red de agua fría 42
3.4 Modelado de la red de agua caliente sin bombeo 52
3.5 Modelado de la red de agua caliente con bombeo 62
3.6 Ahorro energético 78

CONCLUSIONES 82
RECOMENDACIONES 83
BIBLIOGRAFÍA 84

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Vista aérea del proyecto. Fuente: Sunvesta, 2017. Recuperado de: http://www.sunvesta.com 1
Fig. 2 Pendiente del terreno actual 2
Fig. 3 Ubicación geográfica Paradisus Papagayo Bay. Fuente: Google Maps, Internet. 2018 6
Fig. 4 Montaje de tuberías en sitio 7
Fig. 5 Tasa de flujo de un fluido. Fuente: (Mott, Mecánica de Fluidos, 2015)..... 8
Fig. 6 Ayuda para seleccionar el tamaño de tuberías. Fuente: (Mott, Mecánica de Fluidos, 2015)..... 11
Fig. 7 Interpretación de la ecuación de Bernoulli..... 14
Fig. 8 Sistema de flujo de un fluido que ilustra la Ecuación General de la Energía. Fuente: (Mott, Mecánica de Fluidos, 2015) 17
Fig. 9 Rugosidad de una pared de tubería. Fuente: (Mott, Mecánica de Fluidos, 2015)..... 19
Fig. 10 Plano de ubicación de edificios del proyecto. Fuente: Propia 25
Fig. 11 Propuesta de rutas de infraestructura y ubicación de estaciones de bombeo. Fuente: Propia..... 27
Fig. 12. Esquema de la red. Fuente (Propia) 42
Fig. 13. Modelo esquemático de presiones de las tuberías de agua fría de Vista Mar..... 47
Fig. 14. Modelo esquemático de presiones de las tuberías de agua caliente de Vista Mar, sin bombeo. Fuente: Propia 57
Fig. 15. Diagrama de dirección de flujo y elementos en la red de bombeo de agua caliente (Escenario 1)..... 63
Fig. 16 Curva de operación de la bomba. Fuente: (Grundfos, 2018) 65
Fig. 17. Editor de curvas de comportamiento de la red en EPANET. Fuente: EPANET,2018..... 66
Fig. 18 Modelo esquemático de presiones de las tuberías de agua caliente de Vista Mar, con bombeo (Escenario 1). Fuente: Propia..... 67
Fig. 19 Diagrama de dirección de flujo y elementos en la red de bombeo de agua caliente (Escenario 2). Fuente: Propia 72
Fig. 20 Diagrama de dirección de flujo de las estaciones de bombeo. Fuente: Propia 73
Fig. 21 Modelo esquemático de presiones de las tuberías de agua caliente de Vista Mar, con bombeo (Escenario 2). Fuente: Propia..... 74
Fig. 22 Curva de operación de la bomba que distribuye a todo el complejo de Vista Mar. 79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Velocidades de flujo según diámetro de tubería 9
Tabla 2. Rangos recomendables de velocidad para sistemas de fluidos 11
Tabla 3 Valores de diseño de la rugosidad de tubos según material 20
Tabla 4. Caudal probable como función de las unidades accesorio 28
Tabla 5. Unidades accesorio de agua fría de los edificios HO 29
Tabla 6. Unidades accesorio de agua caliente de los edificios HO 29
Tabla 7. Calculo de pérdidas por fricción por tubería recta y accesorios edificio HO 29
Tabla 8. Unidades accesorio de agua fría de los edificios FC1 y FC2 30
Tabla 9. Unidades accesorio de agua caliente de los edificios FC1 y FC2 30
Tabla 10. Calculo de pérdidas por fricción por tubería recta y accesorios en edificios FC 31
Tabla 11. Unidades accesorio totales (u.a.) del edificio CC 31
Tabla 12. Dimensionamiento de tubería principal del edificio CC 32
Tabla 13. Total de pérdidas del edificio CC 32
Tabla 14. Resumen de unidades accesorio del edificio MB 33
Tabla 15 Total de pérdidas del edificio MB 34
Tabla 16. Resumen unidades accesorio por nivel en edificio SB 34
Tabla 17. Total de pérdidas del edificio SB 35
Tabla 18. Resumen unidades accesorio por nivel en edificio GC 36
Tabla 19. Total de pérdidas del edificio GC 36
Tabla 20. Resumen unidades accesorio por nivel en edificio WP 37
Tabla 21. Total de pérdidas del edificio WP 37
Tabla 22. Resumen unidades accesorio por nivel en edificio KA 38
Tabla 23. Total de pérdidas del edificio KA 38
Tabla 24. Resumen unidades accesorio por nivel en edificio TS 38
Tabla 25. Total de pérdidas del edificio TS 39
Tabla 26. Resumen de caudales de agua fría por edificio 44
Tabla 27. Caudal probable como función de las unidades accesorio 45
Tabla 28. Estados de los nodos de la red de agua fría 48
Tabla 29. Presión nominal de trabajo para tuberías PVC 52
Tabla 30. Resumen de caudales de agua caliente por edificio 54
Tabla 31. Caudal probable como función de las unidades accesorio 55
Tabla 32. Estados de los nodos de la red de agua caliente sin bombeo 58
Tabla 33 Estados de los nodos de la red de agua caliente con bombeo (Escenario 1) 68
Tabla 34. Estados de los nodos de la red de agua caliente con bombeo (Escenario 2) 74
Tabla 35. Resultado energético de estación de bombeo única 80
Tabla 36. Resultado energético por estación de bombeo del diseño propuesto 80
Tabla 37. Resultado energético total con tres estaciones de bombeo 80
Tabla 38. Resumen comparativo del consumo y emisión de CO^2 del sistema de bombeo único y el propuesto 81
Tabla 39. Resumen monetario comparativo de consumo de energía 81

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Paradisus Papagayo Bay es un complejo hotelero que se está construyendo y actualmente se encuentra en la etapa de movimiento de tierras, como se muestra en la siguiente imagen.

Fig. 1 Vista aérea del proyecto

Fuente: Sunvesta, 2017. Recuperado de: http://www.sunvesta.com

Durante la etapa de diseño se realizaron los cálculos con el perfil de terreno modelado y se realizó el cálculo de la bomba de recirculación de agua helada y las tuberías de agua caliente y fría para mantener el mejor diseño posible de un proyecto de estas magnitudes. Cualquier profesional sabe que existen muchos factores que pueden presentarse en sitio, de los cuales no se tiene noción durante la etapa de planos; los estudios previos tienden a bajar las probabilidades en un porcentaje alto, mas no en su totalidad.

En las excavaciones de infraestructura surgieron problemas que usualmente no se presentan durante la etapa de planos de diseño. Ya que la pendiente del terreno era todo un reto puesto que es muy pronunciada, como se aprecia en la figura 2, a la hora de colocar las tuberías que se plantearon en el diseño, no tenían sostenibilidad en el terreno y la misma pendiente que tiene el terreno estaba generando problemas de instalación de las tuberías.

Fig. 2 Pendiente del terreno actual

Fuente: Sunvesta, 2017. Recuperado de: http://www.sunvesta.com

La etapa de diseño de planos se tardó aproximadamente tres años en terminarse y aun así hay variaciones que se están trabajando, sobre todo por la legislación de este país y el problema existente en este tema debido al terreno. Es por esto que surge la idea de mejorar un diseño de esta envergadura, con el fin de optimizar los tiempos de diseño y el valor económico de estos sistemas, considerando factores que se han presentado en la realidad para así plasmar la mejora pertinente en los cálculos durante el diseño de planos, lo cual llevaría a un método simplificado de cómo realizar instalaciones de este tipo, a nivel de cálculos, para que se tenga en cuenta en proyectos futuros.

1.2 Planteamiento del problema de investigación

Se pretende desarrollar una propuesta de mejora en las rutas de tuberías, de manera que en la instalación fuera más sencillo mostrar rutas más óptimas o seleccionar equipos más eficientes que faciliten la instalación, debido a la pendiente tan pronunciada del terreno.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general:

Desarrollar una propuesta de mejora de las tuberías de agua caliente y fría de la infraestructura del complejo hotelero Paradisus Papagayo Bay.

1.3.2 Objetivos específicos:

1. Identificar los problemas que presentan actualmente las tuberías de agua caliente y fría, del proyecto Paradisus Papagayo Bay.
2. Proponer una mejora al diseño actual de las tuberías de agua caliente y fría y la bomba de recirculación.
3. Analizar los cambios positivos que se lograron con el rediseño.

1.4 Justificación:

1. Generar una optimización en diseños futuros que tengan similitudes en cuanto a pendientes de terreno y reconocer una forma simplificada para evitar incurrir en gastos por rediseños durante la instalación de tuberías.

1.5 Alcances y limitaciones:

1. Enfocar la propuesta de rediseño de las tuberías de infraestructura en la concesión Vista Bahía de un área de aproximadamente 57000 m^2.
2. Se trabajará con los planos de diseño del proyecto, brindados por la empresa Tecnoconsult S.A.
3. El material que se utilizará para las tuberías de agua caliente será CPVC Durmanrise SDR13.5.
4. La tubería que se utilizará para el sistema de agua fría será PVC SDR17.
5. No se tendrá en consideración una tubería de recirculación de agua caliente.

6. El cálculo de las presiones para la tubería de agua caliente se realiza en el punto de entrada de cada edificio, ya que las presiones en la red son mayores a las existentes dentro del edificio.
7. No se contemplará el diseño de agua caliente y fría dentro de cada edificio.
8. No se considerarán los costos constructivos que tendrá el nuevo diseño propuesto.
9. Se utilizará el software EPANET para el diseño de red de distribución de agua potable.
10. Se utilizará bombas de recirculación para agua caliente, de la marca Bell & Gossett.

1.6 Impacto

Los resultados del proyecto podrán tener incidencia en la mejora al optimizar la forma de diseñar proyectos con similitudes como este en la empresa Tecnoconsult S.A, quienes fueron los encargados de la parte de diseño de las tuberías. Además, sería un nuevo aporte utilizar el programa EPANET, si este logra minimizar el tiempo de diseño de redes de distribución de sistemas de agua potable, ya que actualmente no utilizan este programa.

Se logrará mejorar de manera económica la selección de equipos que sean más eficientes, con el fin de lograr una ingeniería económica que pueda ahorrar en el presupuesto que se prevé en el proyecto actualmente, así como los tramos de tuberías, esperando sean menores y con tuberías que logren un ahorro al utilizar un solo tipo de tubería en cada sistema.

Al mejorar el sistema, se logrará generar una mejor distribución de los sistemas principales de tuberías de infraestructura, de manera que cuando el proyecto se logre terminar los clientes perciban un mejor confort en los sistemas de aire acondicionado al mejorar la red de agua helada y recibir el calor necesario debido a la mejora en la red de tuberías de agua caliente. Además, las redes de distribución de agua potable serán más eficientes, evitando que haya sobrepresiones o que las presiones no sean las necesarias para el complejo.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.7 Marco situacional

El recurso hídrico es indispensable en los procesos constructivos, es utilizado durante la construcción de la estructura y las actividades que se desarrollarán, una vez que el proyecto esté en funcionamiento. Cuando se trata de un complejo hotelero de la magnitud del proyecto a evaluar, es necesario un amplio estudio y desarrollo de diseños óptimos en las tuberías de agua fría y caliente, con el fin de no sufrir desperdicios o lograr un ahorro energético ideal para que el proyecto no sufra pérdidas.

El proyecto se plantea con el fin de cubrir las necesidades del hotel de una manera óptima, que no incurra en pérdidas significativas para que el proyecto sea viable y se logre una ingeniería de valor razonable.

Paradisus Papagayo Bay es un proyecto hotelero de aproximadamente 362 habitaciones y veinte villas, desarrollado en una propiedad de 21 hectáreas en la Península de Papagayo, Guanacaste. La infraestructura está dividida en dos concesiones nombradas Vista Mar y Vista Bahía; la primera concesión cuenta con ocho edificios de hotel de tres niveles cada uno, seis de concierge con tres niveles cada uno, un funicular que permite el acceso de todos los edificios de hotel hacia la playa, un edificio principal, edificio de servicio y spa, un centro polivalente con una capacidad para 600 personas, además de siete edificios de menor escala destinados a recreación. Será de la concesión anteriormente mencionada que se desarrolle la propuesta de diseño para las tuberías de infraestructura.

La infraestructura de este complejo está comprendida por tuberías subterráneas que abastecen todo el hotel y su cuarto de máquinas está ubicado en el edificio de servicio o “Service Building”, donde estarán ubicadas las bombas para la recirculación del agua caliente. El agua potable será llevada por medio de gravedad desde la zona más alta de la propiedad hasta el cuarto de máquinas antes mencionado.

1.8 Ubicación espacial

La ubicación geográfica del proyecto se refiere a la provincia de Guanacaste, en la Península de Papagayo, Playa Hermosa.

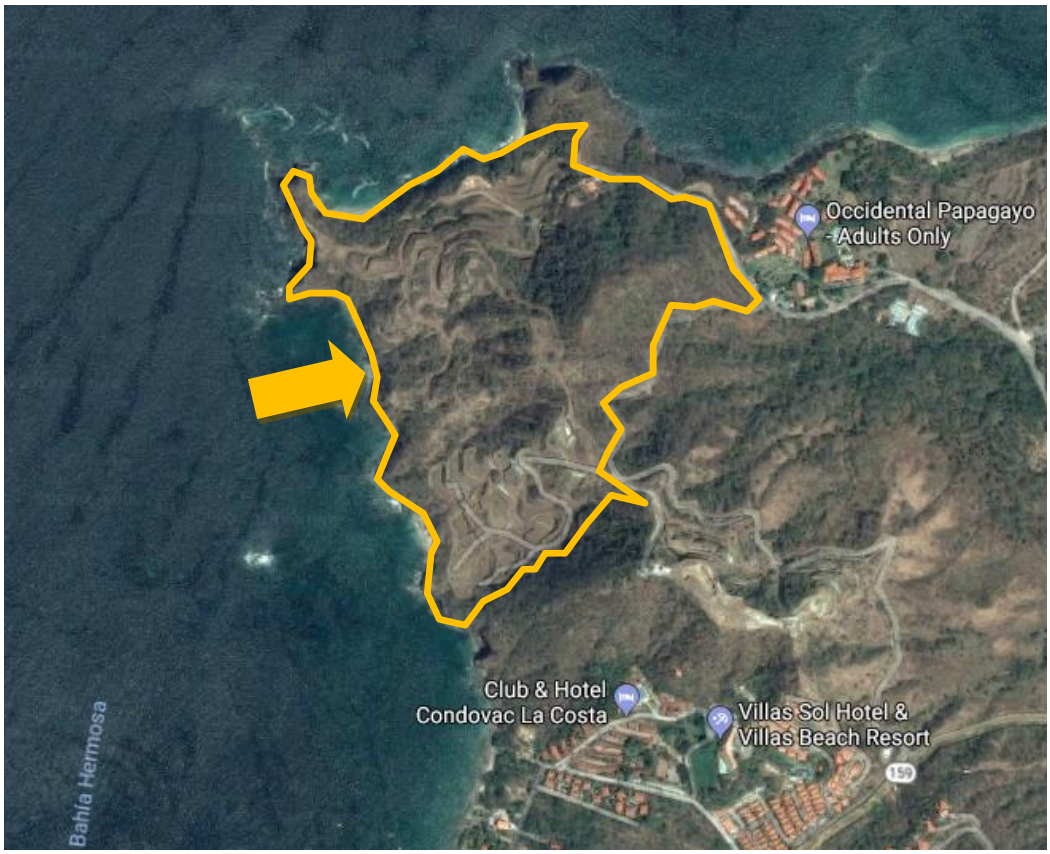


Fig. 3 Ubicación geográfica Paradisus Papagayo Bay

Fuente: Google Maps, Internet. 2018

1.9 Objeto de estudio

Es importante conocer la teoría fundamental acerca de cualquier estudio que se quiera llevar a cabo. El caso que concierne es el de los fluidos, al plantear un diseño de tuberías de agua caliente y fría, ya que es necesario el conocimiento de los caudales adecuados y las presiones necesarias para un adecuado suministro.

En este proyecto se pretende proponer un rediseño para la tubería de agua potable que suministra la concesión de Vista Mar, planteando nuevas rutas con tramos más cortos y en menor pendiente en el caso de la tubería de recirculación de agua caliente para mejorar la capacidad de la bomba.

Fig. 4 Montaje de tuberías en sitio

Fuente: propia

1.10 Flujo de los fluidos

Cuando se estudia un sistema de ductos cerrados, se depende del método de velocidad de flujo que va de la mano con el principio de continuidad. Si se tiene un tubo con dos puntos, uno inicial (P1) y uno final (P2), donde circula un fluido con un flujo volumétrico constante en cierta cantidad de tiempo, se dice que es un flujo estable y, por lo tanto, el fluido que

circula por P1 en cierta cantidad de tiempo deberá ser muy similar al que circulará por P2. A este principio matemático se le llama *Ecuación de Continuidad.*

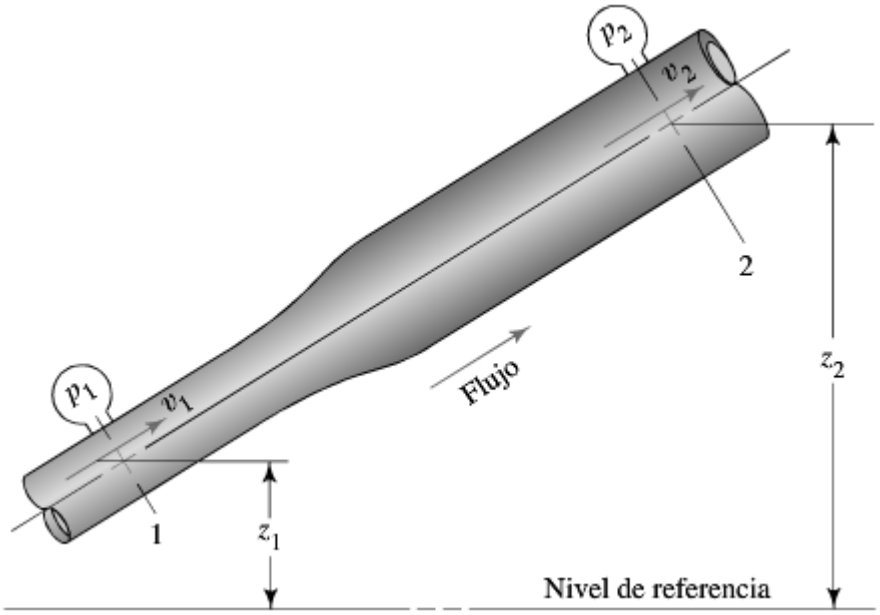


Fig. 5 Tasa de flujo de un fluido.
Fuente: (Mott, Mecánica de Fluidos, 2015)

La ecuación de la continuidad indica que para un flujo estable el flujo volumétrico será el mismo en cualquiera de las secciones, por lo tanto, se tiene:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (1)$$

Donde:

A_1 es el área de la sección en el punto 1.

v_1 es la velocidad promedio del flujo en el punto 1.

A_2 es el área de la sección en el punto 2 de la tubería.

v_2 pertenece a la velocidad promedio del flujo en el punto 2.

1.11 Definición de caudal

El caudal o "Q" es el volumen de fluido por unidad de tiempo que pasa a través de una sección transversal a la corriente y el mismo está dado por Q=Av con unidades en m^3/s en el Sistema Internacional (SI) o en pie^3/s en el Sistema Inglés. Donde la "A" corresponde al área de la sección y la "*v*" a la velocidad promedio del flujo.

1.12 Velocidades de flujo recomendadas en tuberías

En fluidos se pueden encontrar algunos factores que influirán en la tubería para lograr una velocidad óptima en el flujo, como el tipo de fluido o el tipo de tubería, la longitud del sistema, caídas de presión tolerables, el tipo de accesorio o dispositivos que se conectarán en la tubería.

La velocidad de flujo se verá incrementada al disminuirse el área donde viajará el fluido, es por esto que puede deducirse que las tuberías que posean dimensiones pequeñas generarán velocidades altas, mientras que los tubos con un diámetro mayor provocarán velocidades menores. Es por esto que debe escogerse límites necesarios a la hora de hacer un diseño, puesto que se buscan velocidades menores pero las tuberías con mayor diámetro son más caras.

Las velocidades de flujo resultantes de los tamaños de las tuberías que se recomiendan generalmente son bajas para las tuberías que poseen diámetros menores que para aquellas con diámetros más grandes, como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 1. Velocidades de flujo según diámetro de tubería

		Línea de succión			**Línea de descarga**		
Flujo volumétrico		Tamaño de Tubería (plg)	Velocidad		Tamaño de Tubería (plg)	Velocidad	
gal/min	m3/h		pie/s	m/s		pie/s	m/s
10	2,3	1	3,7	1,1	374	6	1,8
100	22,7	2 ½	6,7	2	2	9,6	2,9
500	114	5	8	2,4	3 1/2	16,2	4,9

2000	454	8	12,8	3,9	6	22,2	6,8

Existe una guía para especificar el tamaño de la tubería en función del flujo volumétrico para sistemas de distribución de fluidos por medio de bombas. En general, un sistema con una velocidad baja ayudará a limitar las pérdidas de energía en la tubería de succión, manteniendo elevada la presión en la entrada de la bomba y permitiendo así que el líquido puro ingrese a la misma. Se deben evitar las presiones bajas debido a la *cavitación,* ya que esta degrada el rendimiento y acelera la erosión de la bomba, pudiendo terminar en un daño mayor.

Cuando se realiza un diseño de un sistema de tuberías es importante que se especifiquen los tamaños finales que debe tener cada tramo con el cual se pretende alcanzar un rendimiento altamente bueno, tomando en cuenta las pérdidas por energía, la presiones que tendrá en los puntos críticos del sistema, la energía que requerirá la bomba y por supuesto el costo del ciclo de vida que tendrá.

En la siguiente figura se podrá visualizar una ayuda para la selección de tamaños de tuberías aplicables en sistemas generales de distribución de fluidos. Es recomendable que, si se va hacer uso de prácticas industriales, se busquen otras fuentes con otros diseños en el sistema de flujo.

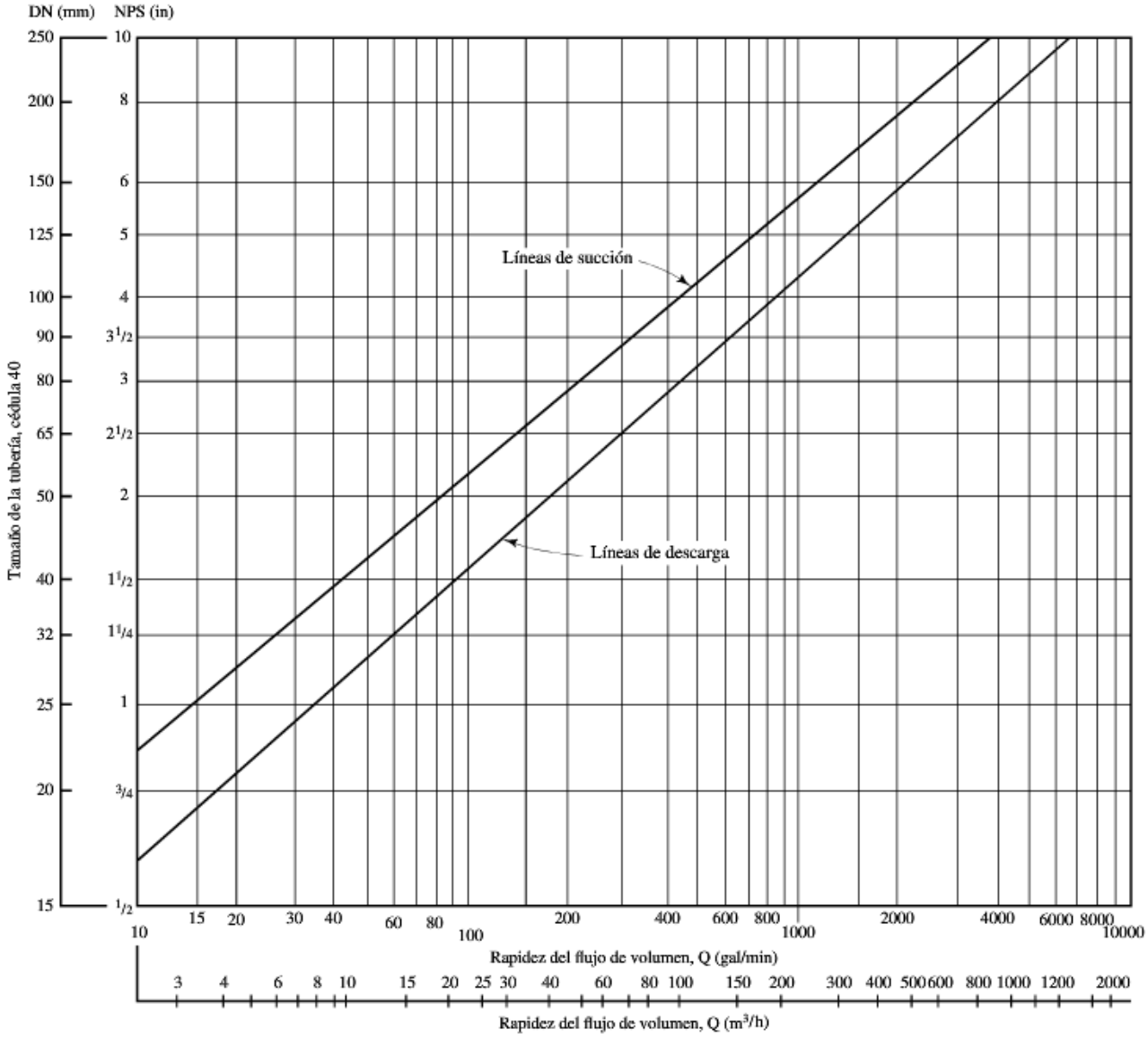


Fig. 6 Ayuda para seleccionar el tamaño de tuberías
Fuente: (Mott, Mecánica de Fluidos, 2015)

Existen rangos de velocidades de flujos recomendables para sistemas de fluidos de potencia según Mott, los cuales son los siguientes:

Tabla 2. Rangos recomendables de velocidad para sistemas de fluidos

	Rango recomendado de velocidad	
Tipo de servicio	**pie/s**	**m/s**

Líneas de Succión	2-4	0.6-1.2
Líneas de Retorno	4-13	1.5-4
Líneas de Descarga	7-18	2-5.5

Según el Manual de U.S Army Corps of Engineers, titulado Liquid Process Piping (Engineers, 1999), se recomienda que en las aplicaciones de sistemas normales de abastecimiento de líquidos la velocidad de flujo esté dentro de los rangos de 1.2 m/s a 3.0 m/s (de 4 pies/s a 10 pies/s).

1.13 Ecuación de Bernoulli: Ley de la conservación de la energía

Cuando se analiza un sistema de fluidos se debe tomar en cuenta la energía que dé el sistema, la cual se puede presentar de tres formas:

1) Energía potencial: se da debido a la elevación del sistema, la energía potencial del elemento en relación con algún nivel de referencia.

$$EP = wz \tag{2}$$

Donde:
EP: energía potencial
w: peso del elemento
z: elevación

2) Energía cinética: se da debido a la velocidad.

$$Ec = wv^2/2g \tag{3}$$

Donde:
EC: energía cinética
w: peso del elemento
v: velocidad
g: gravedad

3) Energía de flujo: también llamada energía de presión de flujo o trabajo de flujo, la misma representa la cantidad de trabajo que se necesita para mover un elemento de fluido a través de una sección contra la presión (ρ).

$$EF=w\rho/\Upsilon \quad (4)$$

Donde:

w: peso del elemento

ρ: presión

ϒ: peso específico del fluido

Sumando estas tres energías se puede obtener la cantidad total de energía que posee un fluido, por lo tanto:

$$E = EF + EC + EP \quad (5)$$

Tomando en cuenta lo investigado anteriormente, en un tramo de tubería se tendrá una conservación de la energía, en dos puntos de la tubería se tendrán diferentes elevaciones, velocidades y presiones. Como se observó en la figura 2, como la energía es igual, $E_1=E_2$, se elimina el peso al ser el mismo valor en todos los términos y se convierte la ecuación de la siguiente manera:

$$E = \frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v^2{}_2}{2g} \quad (6)$$

Las variables de la ecuación son las mismas que se vienen estudiando anteriormente, en la siguiente figura se representa de una manera más gráfica el elemento de fluido utilizado en la ecuación de Bernoulli, con el fin de que sea de más clara comprensión la utilización de esta ecuación:

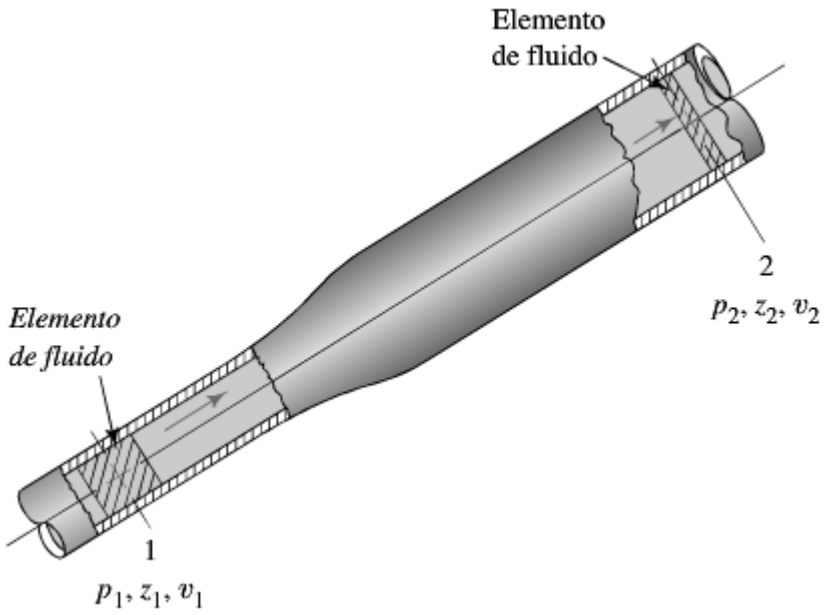


Fig. 7 Interpretación de la ecuación de Bernoulli

Fuente: (Mott, Mecánica de Fluidos, 2015)

A esta ecuación se le conoce como la ecuación de Bernoulli, donde cada término de la ecuación es una forma de energía que posee un fluido por unidad de peso que se mueve a través del sistema. Sus unidades vienen dadas en N*m/N según el Sistema Internacional (SI), lb*pie/lb según el Sistema Inglés.

Es importante cerciorarse de que al utilizar la ecuación de Bernoulli las presiones en los puntos de referencia se presenten como presiones absolutas, es decir, que ambas tengan la misma presión de referencia. La forma de medir estas presiones cuando en algún punto del sistema la presión llega a cero es por medio de la medición manométrica y se saca con respecto a la presión atmosférica local.

Existen limitantes en la utilización de la ecuación de Bernoulli, las cuales deben conocerse:

1) Es utilizable solamente en fluidos incompresibles, debido a que se supone que el peso específico del fluido es igual en ambas secciones de interés.

2) Entre los puntos de estudio no deben existir dispositivos mecánicos que agreguen o disminuyan energía al sistema, ya que la ecuación toma la energía en un fluido constante.
3) No debe existir transferencia de calor dentro del sistema o fuera de este.
4) No puede haber pérdidas de energía por medio de fricción o turbulencias, estas pueden darse con el uso de válvulas y accesorios en el sistema.

Existe un procedimiento básico para llevar a cabo la aplicación de dicha ecuación, la cual se enumera a continuación para un mejor entendimiento de la misma:

1) Se debe decidir cuáles son los términos que se conocen y cuáles son aquellos que deben encontrarse por medio del cálculo.
2) Determinar las secciones del sistema donde se utilizará la ecuación de Bernoulli.
3) Es necesario escribir la ecuación en ambas secciones donde se utilizará; la ecuación debe ser escrita con respecto a la dirección del flujo.
4) Se debe ser muy específico en la denominación de los subíndices de los términos de la carga de presión, elevación y velocidad.
5) Cancelar los términos que valgan cero o sean iguales en ambos lados de la ecuación a manera de simplificarla al máximo de ser posible.
6) Por el método algebraico se despejará la fórmula.
7) Se sustituyen las cantidades conocidas y se calcula el resultado.

1.14 Pérdidas y ganancia de energía

En un sistema se contabilizan las pérdidas y las ganancias de energía en términos por unidad de peso del fluido que circula por él, lo cual también puede llamarse carga (h). También, se tienen términos para las pérdidas y ganancias que se deben conocer para futuras referencias en las ecuaciones que involucren estos términos, las mismas se nombran a continuación:

Energía que se agrega (h_A): se agrega al fluido con un dispositivo mecánico, como una bomba. También es llamada Carga Total sobre la bomba.

Energía que se remueve (h_R): aquella energía que se remueve del fluido por medio de un dispositivo mecánico, como un motor de fluido.

Pérdidas de energía (h_L): pérdidas de energía del sistema debido a la fricción en las tuberías, también debido a pérdidas menores por medio de válvulas u otros accesorios.

La ecuación general de la energía es una extensión de la ecuación de Bernoulli que se vio anteriormente, lo cual posibilita el análisis de los sistemas de fluido donde estén presentes pérdidas y ganancias de energía, por lo tanto, la ecuación general será dada por "$E_1 + h_A – h_R - h_L = E_2$", donde anteriormente se definió que el término "E" corresponde a la energía que posee el fluido por unidad de tiempo, por lo tanto, la fórmula será dada de la siguiente forma:

$$E = \frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v^2{}_1}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v^2{}_2}{2g} \tag{7}$$

Esta fórmula es una de las más empleadas a la hora de calcular un sistema de flujo de tuberías, sus unidades son N*m/N según el Sistema Internacional (SI) y en lb*pie/lb según el Sistema Inglés. En la siguiente figura puede observarse una representación clara de la ecuación de la energía, la misma representa un sistema de flujo.

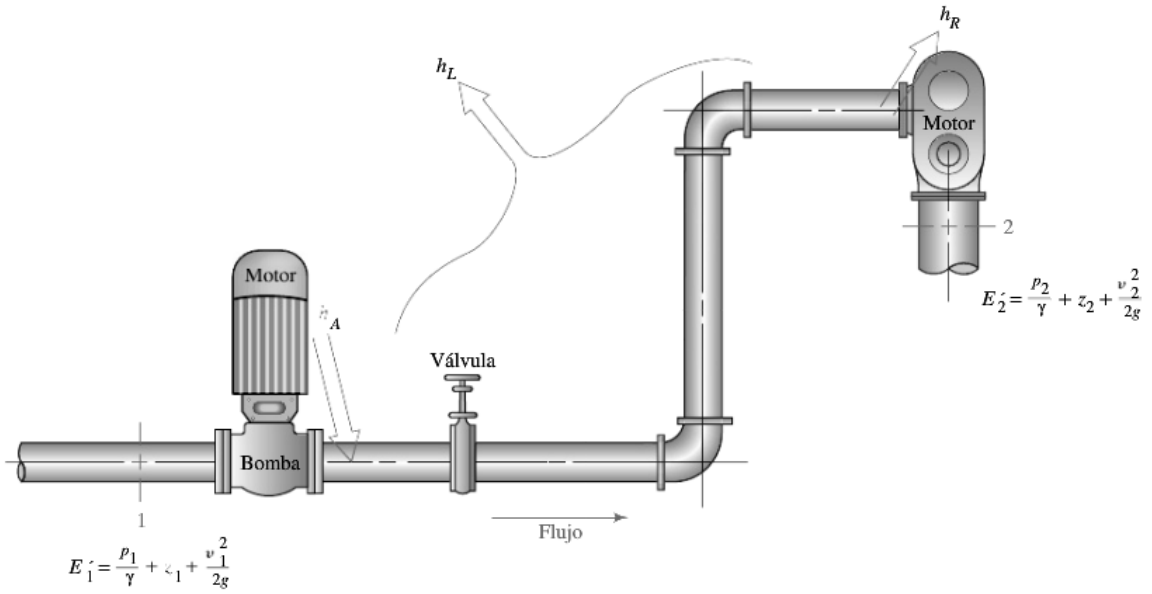


Fig. 8 Sistema de flujo de un fluido que ilustra la Ecuación General de la Energía
Fuente: (Mott, Mecánica de Fluidos, 2015)

1.15 Número de Reynolds y pérdidas en tuberías

Cuando se habla del número de Reynolds, se refiere a una propiedad de los fluidos relativa a la pérdida de la energía, dependiendo de si este es laminar o turbulento. Debido a que no siempre es posible la observación directa de un fluido, debido a que la mayoría de tuberías en las que viajan es de colores opacos que imposibilitan observarlos, se deben verificar de manera analítica con las siguientes variables:

1) Densidad del fluido (ρ)
2) Viscosidad (η)
3) Diámetro del tubo (D)
4) Velocidad promedio del flujo ($\boldsymbol{v}$)

El ingeniero y físico irlandés Osborne Reynolds fue el primero en señalar que es posible demostrar si un fluido es turbulento o laminar, conociendo la magnitud adimensional y, por esto es llamado el número de Reynolds (N_R). La fórmula de Reynolds está dada por:

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta} = \frac{vD}{v} \tag{8}$$

Donde:

v: velocidad promedio del flujo

ɳ: viscosidad del fluido

D: diámetro de la tubería

ρ: densidad del fluido

El número de Reynolds es un valor adimensional, por lo que es de suma importancia tener un adecuado manejo de las unidades para evitar errores numéricos en el cálculo del mismo, para la velocidad en m/s o pie/s; el diámetro se trabajará en metros o pies; la densidad en kg/m^3 y N·s^2/m^4 o slugs/pie^3 y lb·s^2/pie^4; viscosidad dinámica N·s/m^2, Pa·s, kg/m·s o lb·s/pie^2, slugs/pie·s; viscosidad cinemática m^2/s o pie^2/s.

Existen números críticos de Reynolds que se utilizan para aplicaciones prácticas del flujo de tuberías. Un flujo será *laminar* si el número de Reynolds para el flujo es menor a 2000 pero si éste es mayor a 4000 el flujo será *turbulento*. Para el rango existente entre 2000 y 4000 es imposible predecir qué tipo de flujo existe, por lo tanto, a este rango se le denomina región crítica. Cuando se encuentra un flujo en la región crítica es ideal cambiar el diámetro del tubo o la tasa de flujo del mismo para hacer que el tubo entre dentro de los rangos de laminar o turbulento y así poder realizar análisis más precisos.

1.16 Ecuación de Darcy

Anteriormente se definió la ecuación general de la energía, donde la pérdida de la energía del sistema estaba dada por termino h_L. La fricción es un componente de la pérdida de energía, la cual es proporcional a la carga de velocidad del flujo y a la relación de la longitud con el diámetro de la corriente. Matemáticamente, puede expresarse la ecuación de Darcy de la siguiente manera:

$$h_L = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \tag{9}$$

Donde:

h_L: pérdida de energía debido a la fricción (N*m/N, m, lb-ft/lb, ft)

L: longitud de la corriente de flujo (m o ft)

D: diámetro de la tubería (m o ft)

v: velocidad de flujo promedio (m/s o ft/s)

f: factor de fricción (adimensional)

Las variables de esta fórmula están determinadas por la pérdida de la energía debido a la fricción (h_L), que está dada en N·m/N, m, lb·pie/lb o pie; la longitud de la corriente del flujo (*L*) dada en metros o pies; diámetro de la tubería (*D*) dados en metros o pies; velocidad promedio del flujo (*v*) en m/s o pies/s y factor de fricción (*f*), el cual es un valor adimensional.

1.17 Pérdidas de fricción en un flujo turbulento

Cuando se trabaja con un flujo turbulento se recomienda utilizar la ecuación anterior de Darcy para el cálculo de la pérdida de energía por fricción. Lo anterior, debido a que el flujo turbulento tiende a variar de manera constante; es por esto que para el cálculo de *f* se debe recurrir a datos experimentales. Este número *f* depende del número de Reynolds y la rugosidad relativa en la tubería, esta rugosidad viene de la relación del diámetro (D) con la rugosidad promedio de su pared (ϵ). En la siguiente imagen se ilustra de forma exagerada la rugosidad de las paredes de una tubería:

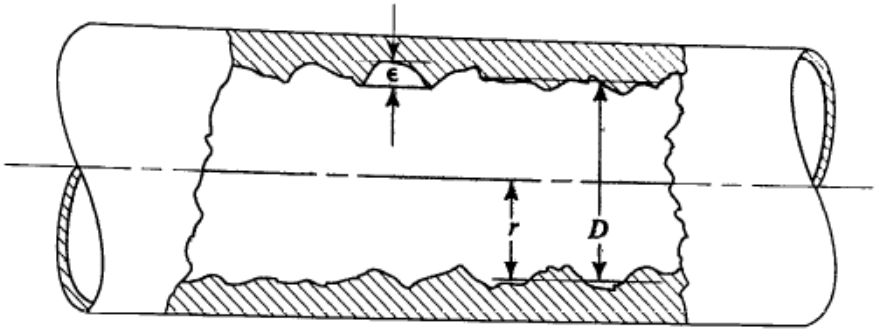


Fig. 9 Rugosidad de una pared de tubería
Fuente: (Mott, Mecánica de Fluidos, 2015)

Comercialmente se ha determinado un valor de rugosidad promedio para distintos materiales en los que puedan estar fabricadas las tuberías, dicho valor se refiere a tuberías limpias y nuevas, por esto puede esperarse que una tubería sufra cierta variación durante el tiempo de uso, pues la rugosidad cambia por la corrosión y la formación de depósitos en la pared. Cada material varía su valor de rugosidad como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3 Valores de diseño de la rugosidad de tubos según material

Material	**Rugosidad ϵ (m)**	**Rugosidad ϵ (pies)**
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0 X 10^-7	1.0 X 10^-6
Tubo extruido (cobre, latón y acero)	1.5 X 10^-6	5.0 X 10^-6
Acero (comercial o soldado)	4.6 X 10^-5	1.5 X 10^-4
Hierro galvanizado	1.5 X 10^-4	5.0 X 10^-4
Hierro dúctil, recubierto	1.2 X 10^-4	4.0 X 10^-4
Hierro dúctil, no recubierto	2.4 X 10^-4	8.0 X 10^-4
Concreto, bien fabricado	1.2 X 10^-4	4.0 X 10^-4
Acero remachado	1.8 X 10^-3	6.0 X 10^-3

1.18 Aplicación de bombas

Se utilizan bombas cuando es necesario impulsar líquidos en un sistema de tubería, anteriormente se hizo referencia a h_A cuando se agrega un elemento mecánico en la ecuación general de la energía. Si se despeja la fórmula para obtener el h_A se llegaría a esta ecuación:

$$h_A = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\gamma} + z_2 - z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_L \tag{10}$$

Donde:

ρ/γ: es la carga de presión, ya sea en el punto 1 o el punto 2 del sistema de tubería.

z: es la carga de elevación.

$v^2/2g$: es la carga de velocidad

h_L: son pérdidas de energía debido a la fricción.

Entonces, puede decirse que el h_A es la carga total de la bomba, pero algunos fabricantes se refieren a la carga total como el TDH o la carga dinámica total.

Es necesario aplicar esta ecuación como una expresión de un conjunto total de tareas que va a realizar la bomba en el sistema asignado; en resumen:

1. Se debe elevar la presión del fluido, la que se tiene en P_1 hasta la que se tendrá en el destino que se mencionó como P_2.
2. El fluido deberá subir desde el nivel de la fuente z_1 hasta el nivel de destino z_2.
3. Debe incrementar la carga de velocidad que se tiene en el punto 1 a la del punto 2.
4. Es necesario que la bomba compense cualquier pérdida de energía en el sistema debido a la fricción o a cualquier elemento presente en la tubería (válvulas, acoplamientos, codos, cambios de áreas, entre otros).

Las pérdidas de energía en la bomba debido a la fricción mecánica o turbulencia son inevitables pues se crean cuando el fluido está pasando a través de ella, por esto es necesario potenciar la bomba para la cantidad de fluido que pasa a través de ella y calcular la eficiencia de la bomba:

$$e_M = P_A / P_1 \tag{11}$$

Donde:

e_M: es la eficiencia de la bomba.

P_A: potencia de la bomba que transmite al fluido.

P_1: potencia de entrada de la bomba.

Entonces, si se despeja la anterior ecuación, se obtendría el cálculo de potencia de entrada de la bomba si se conocen los otros valores:

$$P_1 = P_A / e_M \tag{12}$$

CAPÍTULO 2. MARCO METODOLÓGICO

a) Paradigma

El presente proyecto presenta una investigación de tipo cuantitativa, con el fin de dar datos reales al problema presentado de las tuberías de agua caliente y potable.

En la obra se presentan tuberías de agua potable que al inicio del diseño en planos no se contemplaron, cambios de dirección que se debían hacer debido al terreno. El presente proyecto planteará nuevos cálculos a nuevas rutas que se propondrán con el fin de lograr un mejor diseño, demostrado con memorias de cálculo para respaldar la propuesta a realizar.

b) Categorías de análisis de investigación

Terreno: la pendiente del terreno es una variable a considerar, ya que influenciará las rutas de las tuberías que se deban tomar para mejorar el diseño ya existente.

Presiones: es importante cumplir con las presiones mínimas para que el suministro de agua potable sea estable en el complejo hotelero, es por esto que se deben mostrar los cálculos de las presiones obtenidas en el nuevo rediseño que se vaya a plantear, los mismos se verán reflejados en memorias de cálculo a presentar en el análisis de resultados.

Tramos de tuberías: los tramos de tuberías que se consideraron inicialmente pueden llegar a variar para mejorar el desempeño del sistema y lograr las presiones propuestas, además de mejorar los recubrimientos entre el tubo y el nivel de terreno. Por esto es muy posible que los tramos lleguen a ser más cortos para cumplir lo antes escrito.

c) Población y muestra

El objeto de estudio del presente proyecto son las tuberías de agua caliente y potable, el mismo estudio será en una muestra de 57000m2, que abarca la concesión de Vista Mar en el Hotel Paradisus Papagayo Bay y comprende los edificios de hotel, centro de convenciones, edificio principal, edificio de servicio y el spa.

d) Técnicas e instrumentos para el procesamiento y análisis de los datos

Las herramientas a utilizar para la realización y mejora del proyecto serán enumeradas a continuación:

1) AutoCAD: la herramienta de Autodesk será utilizada para la elaboración de planos y detalles necesarios para la interpretación de rutas de tuberías, niveles de terreno y perfiles de terreno que es importante detallar en una propuesta.
2) EPANET: con este programa se creará un modelo matemático del sistema de distribución de agua potable que se planteará nuevamente; por medio de este modelo se evaluará el comportamiento del flujo del agua en los nuevos tramos de tuberías, las presiones obtenidas en los puntos más críticos de la red, también conocer las condiciones operativas de la red con las válvulas y bombeo del sistema.
3) Excel: se realizará una revisión de las memorias de cálculo existentes y conforme a los puntos vistos anteriormente que pueden mejorarse se debe rehacer la memoria de cálculo de las tuberías de agua potable, para revisar las presiones en los tramos por los cambios de pendiente y accesorios que se tengan. Este programa es básico y útil para la realización de cálculos, es por esto que las memorias de cálculo serán realizadas en este programa para agilizar la obtención de resultados y lograr generar una memoria de cálculo para demostrar cómo se llegó a los resultados obtenidos en el presente proyecto, así como también que sea una memoria de cálculo útil para aquella persona que necesite generar los mismos procedimientos que se siguieron en este proceso de elaboración del proyecto.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para iniciar la propuesta de mejora a las tuberías de agua potable del proyecto Paradisus Papagayo Bay se deben tener en consideración temas importantes que pueden hacer rebotar las ideas de modificación que se tengan en mente. En un inicio se pensó colocar paneles solares en las losas de techos de los edificios, para tener subsistemas de calentado de agua por edificio; esta es una idea que debe ser rechazada debido a que las unidades accesorio de un edificio de habitaciones, por ejemplo, el edificio H1 tiene una cantidad de unidades accesorio de 200u.a. Esto quiere decir que, el área de paneles solares o colectores abarcará gran parte de la losa de techo; pero todos los edificios de este proyecto tienen losas verdes como cubiertas para reducir el impacto ambiental del proyecto, debido a que se encuentra en la zona de Papagayo, en Guanacaste, y así lo solicita el plan regulador de la zona.

Una de las medidas ambientales de la desarrolladora del hotel para reducir el impacto ambiental generado por el proyecto planteó definir las losas de techos como zonas destinadas a la reforestación con especies de flora nativa y otras atractivas para la fauna del sitio.

La ubicación de calentadores de agua en los edificios se dificulta ya que en la arquitectura no hay sitios donde puedan colocarse equipos de gran dimensionamiento, además, el hotel solicita que los equipos estén centralizados para facilitar el mantenimiento de estos, ya que cada equipo seleccionado estará repetido, de modo que se mantenga un respaldo por si llegara a fallar, así el segundo podría activarse y mantener los sistemas funcionando de la mejor manera. Además, esto facilitaría la labor de las personas de mantenimiento puesto que no tendrían que estar viajando a cada edificio para realizar labores o transportar a través del hotel herramientas o maquinaria necesaria para la realización de sus labores.

Presentando estos panoramas se propone acortar las tuberías de abastecimiento de agua potable, de modo que se reduzcan los costos y se mejore la eficiencia del sistema.

Antes que nada, es necesario conocer la distribución de edificios del Hotel Paradisus Papagayo Bay, con el fin de tener un mejor entendimiento del ordenamiento del proyecto. El mismo se muestra a continuación en este plano clave que indica la ubicación de todos los edificios que conforman la concesión de Vista Bahía.

Fig. 10 Plano de ubicación de edificios del proyecto
Fuente: propia

Cada edificio, como se muestra en la figura anterior, es nombrado con una abreviación para acortar los nombres y que sea más sencillo referirse a ellos. Para estar enterados de los edificios a los que se puede referir este proyecto, se enlistan a continuación:

1. HO: edificio de hotel y habitaciones, son ocho edificios de tres pisos de habitaciones cada uno.
2. FC: por su nombre en inglés, los Family Concierge también son edificios de habitaciones que cuentan con tres pisos de habitaciones modelo.
3. MB: edificio principal.

4. CC: Centro de Convenciones.
5. SB: edificio de servicio donde también se encuentra el edificio de spa.
6. GC: discoteca del hotel.
7. WP: pabellón para bodas.
8. WB: bar de piscina.
9. TS: estación de toallas para piscina.
10. KA: área de niños.

El proyecto ya cuenta con el diseño de una red de tuberías de agua caliente y potable, por lo que se debió plantear una nueva ruta para acortar tramos y no generar tantas pérdidas cuando se realice el cálculo de las rutas en todo el trayecto de la tubería de infraestructura. Además, se hace una propuesta de la ubicación de estaciones de bombeo en puntos clave de la tubería de infraestructura con el fin de mejorar la eficiencia del sistema y, por ende, tener un ahorro energético en el proyecto.

En la figura 11 se presentará una propuesta de los tramos en la tubería de infraestructura, se acortan los tramos en las secciones en las que es posible, tratando de no atravesar los muros de retención y, en la medida de lo posible, mantener las tuberías en las calles propuestas por arquitectura, esto por si en un futuro las tuberías llegaran a necesitar mantenimiento, que tengan un fácil acceso y sea más sencillo encontrarlas sin tener que hacer movimientos grandes de terreno o intervenir jardines. En esa misma figura se pueden visualizar en color azul las propuestas de cuartos de bombeo; las mismas fueron colocadas en lugares donde no vayan a intervenir en la armonía del diseño arquitectónico y en zonas donde sean subterráneas, con el fin de que no sean tan visibles para el público en general. A nivel técnico, la ubicación de estos cuartos de bombeo está pensada de forma simétrica a través del sistema para lograr realizar la circulación en todo del anillo y así generar un análisis con respecto a la energía y eficiencia de la bomba; es importante destacar que las bombas en serie trabajan a mayor presión, con esto se buscará lograr mayor presión con bombas mucho más pequeñas que la especificada al inicio del proyecto. Para un mejor entendimiento a futuro del proyecto, se enumeró cada estación de bombeo, esta numeración no implica ningún orden de importancia entre ellas.

Fig. 11 Propuesta de rutas de infraestructura y ubicación de estaciones de bombeo
Fuente: propia

3.1 Cálculo de pérdidas en las tuberías de los edificios

Se procedió a sacar las pérdidas en las tuberías de cada edificio, para esto es necesario destacar que se tomó en cuenta la ruta crítica de cada edificio, que consta desde que inicia la entrada de la tubería en el nivel de sótano (el cual es un cuarto mecánico) hasta la tubería que abastece las llaves de chorro en las losas verdes del último nivel de cada edificio (en el caso de los edificios HO y FC). Se tabuló una memoria de cálculo en el programa Excel con el fin de facilitar los cálculos de las pérdidas en las tuberías y hacer más sencillo cada uno de los cálculos, ya que son un total de 21 edificios a los que se les deben sacar estos cálculos de pérdidas.

Primeramente, se realizó un conteo de unidades accesorio de cada edificio, según la tabla 6.5 del código de instalaciones hidráulicas y sanitarias que tabula los litros por segundo según las unidades accesorio que se tengan en el sistema o el edificio.

Tabla 4. Caudal probable como función de las unidades accesorio

u.a	Sistemas con tanques de lavado (L/s)	Sistemas con fuxómetros (L/s)	u.a	Sistemas con tanques de lavado (L/s)	Sistemas con fuxómetros (L/s)
6	0,43	1,4	225	4,51	6,01
8	0,52	1,56	250	4,84	6,29
10	0,61	1,71	275	5,16	6,56
12	0,69	1,84	300	5,49	6,84
14	0,76	1,95	350	6,12	7,38
16	0,83	2,06	400	6,74	7,91
18	0,9	2,16	450	7,34	8,42
20	0,96	2,25	500	7,93	8,93
25	1,12	2,46	700	10,15	10,86
30	1,26	2,65	900	12,15	12,61
35	1,4	2,82	1000	13,06	13,42
40	1,53	2,97	1200	14,71	14,91
45	1,66	3,12	1500	17,1	
50	1,78	3,25	1750	18,98	
60	2,02	3,5	2000	20,78	
70	2,23	3,72	2500	24,17	
80	2,44	3,92	3000	27,34	
90	2,64	4,11	4000	33,22	
100	2,81	4,29	5000	38,64	
120	3,09	4,62	6000	43,71	
140	3,36	4,91	7000	48,52	
160	3,64	5,27	8000	53,11	
180	3,91	5,5	9000	57,52	
200	4,18	5,72	10000	61,77	

Fuente: Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones, 2017

A continuación, se muestra un ejemplo de los resultados de la cantidad de unidades accesorio de los pares de edificios de habitaciones nombrados como HO. En este caso, los edificios HO se tomaron como pares porque la tubería principal llega a estos edificios y reparte entrando desde el edificio con número par y de ahí reparte al siguiente edificio con número impar, por ejemplo, en el par de edificios H1 y H2 la tubería principal llega al

edificio H2 y se bifurca por medio de un pasillo en el nivel 1 hacia el edificio H1, es por esto que se toman como pares de edificios. El mismo caso sucede con los pares de edificios del FC1-FC2 y FC4-FC5.

Tabla 5. Unidades accesorio de agua fría de los edificios HO

	H1	H2	Sumatoria
N0	66,5	67	133,5
N1	66	73,5	139,5
N2	66	66,5	132,5
NLOSAS	1	1	2
TOTAL	199,5	208	407,5

Fuente: propia

Tabla 6. Unidades accesorio de agua caliente de los edificios HO

	H1	H2	Sumatoria
N0	30,5	31	61,5
N1	30	31,5	61,5
N2	30	30,5	60,5
NLOSAS	1	1	2
TOTAL	91,5	94	154,5

Fuente: propia

Se midió la distancia de cada tramo de tubería dentro del edificio dependiendo del diámetro que estuviera, dependiendo del diámetro que correspondiera se dividió la tubería en tramos. Esto con la ruta crítica que va desde el nivel donde se ubica el cuarto mecánico, donde entran tanto la tubería de agua caliente como la de agua fría, hasta el nivel de losas donde están las llaves de chorro y, por lo tanto, es el ramal más largo del sistema de estos edificios.

Tabla 7. Calculo de pérdidas por fricción por tubería recta y accesorios edificio HO

Diám.(Ø)	Tramo	Longitud TR Tramo (m)	Perdidas m/30.48m	Long eq acc	perdidas m /tramo
19mm	5	4,54	0,43	0,3	0,07
	6	33,31	0,43	3,168	0,51
38mm					
38mm	3	3	3,36	2,268	0,58
	4	36	3,36	17,076	5,85

50mm	2	3	4,18	3,03	0,83
				0	0,00
63mm	1	10,4	1,5252	4	0,72
				0	0,00
				Total de pérdidas	8,56

Fuente: propia

Para los edificios FC se hizo el mismo cálculo de unidades accesorio, el mismo se muestra en la tabla siguiente, así como la sumatoria de unidades totales para calcular la tubería principal que entra desde el edificio FC2 y reparte hasta el FC1.

Tabla 8. Unidades accesorio de agua fría de los edificios FC1 y FC2

	FC1	FC2	Sumatoria
N0	66,5	67	133,5
N1	66	73,5	139,5
N2	66	66,5	132,5
NLOSAS	1	1	2
TOTAL	199,5	208	407,5

Fuente: propia

Tabla 9. Unidades accesorio de agua caliente de los edificios FC1 y FC2

	FC1	FC2	Sumatoria
N0	30,5	31	61,5
N1	30	31,5	61,5
N2	30	30,5	60,5
NLOSAS	1	1	2
TOTAL	91,5	94	185,5

Fuente: propia

Se enumeró cada tramo de tubería con respecto al diámetro y se midieron las distancias de cada tramo para sacar las pérdidas por fricción del tramo, como se resume en la tabla 10. Para esto se siguió el mismo procedimiento que con los edificios HO, ya que la alimentación de agua potable y caliente llega desde el cuarto mecánico y la ruta crítica iría desde esa alimentación hasta el nivel de losas.

Tabla 10. Calculo de pérdidas por fricción por tubería recta y accesorios en edificios FC

Diám.(Ø)	Tramo	Longitud TR Tramo (m)	Pérdidas m/30.48m	Long eq acc	Pérdidas m /tramo
19mm	5	4,54	0,43	0,3	0,07
	6	33,31	0,43	3,168	0,51
38mm	3	3	3,36	2,268	0,58
	4	36	3,36	17,076	5,85
50mm	2	3	4,18	3,03	0,83
63mm	1	10,4	1,5252	4	0,72
				Total del pérdidas	8,56

Fuente: propia

Para el edificio del centro de convenciones, o también llamado CC para efectos de este proyecto, se le realizó un conteo de las unidades accesorio totales, dependiendo de la cantidad de salidas de agua que estuviera necesitando, así como también las llaves de chorro existentes en sus alrededores y losas que estuvieran conectadas al sistema de tuberías de este edificio. Estos valores fueron tabulados de la siguiente manera:

Tabla 11. Unidades accesorio totales (u.a.) del edificio CC

Cant.	Accesorio	Tipo	Valores de carga en unidades de suministro de agua			Total A.F.	Total A.C.	Total
4	Fregadero en cocina	Hotel Restaurante	3	3	4	12	12	16
15	Lavatorios	Público	1,5	1,5	2	22,5	22,5	30
5	Urinal	Público	10		10	50	0	50
12	Inodoro Fluxómetro	Público	10		10	120	0	120
17	Llave de Chorro	-	0,5		0,7	8,5	0	11,9
					Unidades Totales	213	34,5	227,9

Fuente: propia

Según la tabla 6.5 del código de instalaciones hidráulicas y sanitarias, el caudal probable en función de las unidades accesorio para un total de 225 unidades accesorio es de un total de 4,51 L/s, por lo que si se utiliza el método Hunter para dimensionar la

tubería en PVC se obtendrá un diámetro interno de 50mm y en el diseño anterior estaba con un diámetro nominal de 63mm con el mismo tipo de tubería.

Tabla 12. Dimensionamiento de tubería principal del edificio CC

Dimensionamiento de Tuberías Ramales y Principales		
TUBERÍA PVC		
Caudal (L/s - GPM)	4,51	71,48
Tipo tubería	PVC / Polietileno > 38mm	
Coef. Hazen Williams "C"	150	
Ø Nominal (mm - in)	**50**	2
Ø Interno (mm - in)	53,21	2,09
Área Int. Trans. (m2 - ft2)	0,0022226	0,0239149
Velocidad (m/s - ft/s)	2,03	6,66
Pérdida por fricción en tubería por cada 30.48m (100ft)	(m)	(psi)
	2,2039	3,1295

Fuente: propia

En esta propuesta de tubería se mantiene una velocidad en rangos aceptables ya que da una velocidad de 2,03 y se encuentra muy cerca de los rangos de 1m/s y 2m/s. En cuanto a las pérdidas por fricción en la tubería por cada 30,48 metros de columna de agua, están en rangos aceptables ya que son menores a 4,5, como se muestra en la tabla.

El cálculo de pérdidas de este edificio era más sencillo ya que solo contaba con cuatro distintos tramos de tuberías y no posee tantas unidades accesorio como los edificios de habitaciones. Esto se debe a que a pesar de ser uno de los edificios con más metros cuadrados en esta concesión del hotel, no posee tantos equipos que necesiten abastecimiento de agua; por ejemplo, cuenta solamente con una cocina pequeña, la cual posee muy pocos fregaderos pero además de esa cocina solo posee las baterías de baño necesarias en cualquier aposento de reunión. Estas pérdidas se tabularon como los edificios mostrados anteriormente:

Tabla 13. Total de pérdidas del edificio CC

Diám.(Ø)	Tramo	Longitud TR Tramo (m)	Pérdidas m/30.48m	Long eq acc	Pérdidas m /tramo
19mm	3	4,57	0,43	0,6	0,07
	4	65,42	0,43	4,302	0,98

50mm	1	20,78	1,69	5,46	1,45
	2	35,38	1,69	14,55	2,77
				Total de pérdidas	5,28

Fuente: propia

En el edificio principal, que también se llamó edificio MB como se indicó anteriormente, se sacó primeramente las unidades accesorio del proyecto por nivel. El mismo posee tres niveles, el nivel -1 cuenta con una cocina principal que es la más grande del complejo, por lo que es necesario abastecer con agua potable todos los accesorios como fregaderos y otros aparatos de cocina que necesitan una entrada de agua potable. El diámetro de estas entradas de agua son dadas por medio de fichas técnicas de cada aparato. En los siguientes niveles (N0 y N1) están los restaurantes temáticos del hotel, estos tienen barras o estaciones de cocina que son más específicos y al igual que el nivel más bajo es necesario revisar las unidades en cada mobiliario de cocina, además de que están las baterías de baños. El edificio posee también un espejo de agua en el medio de los restaurantes en el nivel de entrada, el cual fue calculado con el volumen necesario para llenar el mismo. Las losas de este edificio no cuentan con una cubierta verde como los edificios de habitaciones, por lo que el diseño no contempló llaves de chorro en este nivel, lo que simplificó la ruta crítica a calcular.

Tabla 14. Resumen de unidades accesorio del edificio MB

	U.A. Agua Fría	**U.A. Agua Caliente**
Nivel -1	263	105
N0	220,5	76,5
N1	329,5	82,5
Totales	813	264

Fuente: propia

Como se puede observar, este es el edificio que posee más unidades accesorio a las cuales se les llevará agua potable en todo el sistema, pero mantiene una ruta crítica más sencilla que la de edificios como el SB, ya que contiene tres tipos de tramos diferentes a lo largo de la tubería principal que abastece a todo el edificio, como se especifica en la tabla a continuación, comenzando por un tramo de 75mm y llegando al final de la ruta crítica en 19mm.

Tabla 15 Total de pérdidas del edificio MB

Diám. (Ø)	Tramo	Longitud TR Tramo (m)	Perdidas m/30.48m	Long eq acc	perdidas m /tramo
19mm	3	18	0,43	1,2	0,27
63mm	2	16	0,54	19,126	0,62
75mm	1	70	0,4	43,24	1,49
				Total pérdidas	2,38

Fuente: propia

Para el edificio de servicio o SB, como se nombró anteriormente, se realizó el conteo de unidades accesorio con la tabla 4 del caudal probable como función de unidades accesorio del Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones. Este edificio tiene una importante cantidad de accesorios que se deben conectar a la red de agua potable, debido a que en el nivel más bajo, en este caso nombrado N-1 debido a que es más bajo del N0 o nivel de entrada, se encuentra la lavandería que abastece todo el complejo hotelero, la cual posee una cantidad importante de lavadoras industriales y equipos que necesitan el abastecimiento. En el nivel de entrada al edificio o nivel 0 se encuentra también la zona del spa, el cual posee cierta cantidad de duchas, piscinas y saunas que también deben considerarse en el abastecimiento de la red potable. Todos estos accesorios han sido resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 16. Resumen unidades accesorio por nivel en edificio SB

	U.A. Agua Fría	**U.A Agua Caliente**
N-1	484	24
N0	154,5	94,5
N1	23	3
Totales	661,5	121,5

Fuente: propia

El cálculo de las pérdidas de este edificio se hizo por medio de la medida de los tramos que van desde el N-1, que es el nivel más bajo hasta el accesorio sanitario que se

encuentra al final del ramal de agua potable en el nivel más alto, que en este caso sería el nivel 1. Al hacer el cálculo de pérdidas en el último nivel se hizo un arreglo con la tubería que llega abastecer el Nivel 1, puesto que la tubería que entra a este nivel dice que lo hace en un diámetro de 38mm pero al hacer el cálculo con las unidades accesorio existentes en este nivel la tubería no amerita más que un diámetro de 25mm, es por esto que en el tramo 5 de la tabla siguiente se utilizó el diámetro de 25mm y no 38mm, como lo indica el plano. A continuación, se muestra la totalidad de tramos para el cálculo de pérdidas del edificio de servicio y el spa.

Tabla 17. Total de pérdidas del edificio SB

Diám.(Ø)	Tramo	Longitud TR Tramo (m)	Pérdidas m/30.48m	Long eq acc	Pérdidas m /tramo
19mm	6	8,25	1,5	0,97	0,45
25mm	5	25,9	2,96	2,718	2,78
63mm	3	25,4	0,36	5,768	0,37
	4	3	0,36	3,768	0,08
100mm	1	15,4	0,95	6,05	0,67
	2	19	0,04	6,05	0,03
				Total de pérdidas	3,68

Fuente: propia

Para el resto de los edificios se hace más sencillo calcular las pérdidas ya que son edificios de menor tamaño y, por ende, son los que tienen menos unidades accesorio del complejo; pero la particularidad de estos edificios más pequeños es que se encuentran en la parte más baja del conjunto de la concesión, como se mostró en el plano de ubicación de los edificios al inicio. Por esto es de suma importancia hacer los cálculos de las pérdidas porque al estar en la parte más baja es necesario que las presiones lleguen a cada uno de ellos de manera que no haya sobrepresiones o que simplemente no cumplan con esto y no llegue el agua a cada uno.

En primera instancia, se calcularon las unidades accesorio del edificio con la discoteca, o para efectos prácticos el edificio GC (por su nombre en inglés, Gabi Club), el cual posee solo dos niveles y su mayor demanda es una cocina que se encuentra en la parte

de atrás del edificio, la cual posee fregaderos y aparatos de cocina que necesitan una entrada de agua potable, así como una batería de baños pequeña. Para esto da un total de 276 unidades accesorio en todo el edificio, las mismas fueron sacadas sumando cada accesorio que necesitaba una entrada de agua; la cantidad por nivel se resume en la siguiente tabla, en el nivel de losas solo se tiene una llave de chorro.

Tabla 18. Resumen unidades accesorio por nivel en edificio GC

	U.A. Agua Fría	U.A Agua Caliente
N0	142,75	66,95
N1	103,5	13,5
N Losas	0,5	
Totales	246,75	80,45

Fuente: propia

En el caso del GC, la ruta crítica del mismo no es hasta llegar a la llave de chorro que se encuentra en el nivel de losas puesto que hay accesorios a lo largo del edificio que salen de los sistemas ramales que se encuentran en la zona de restaurante y baños. A pesar de sumar las distancias hacia el nivel de losas, es mucho mayor la distancia que tienen estos accesorios en el nivel 1, así como codos que generarán mayores pérdidas por fricción en las tuberías, por lo que se eligió ese tramo para ser estudiado como ruta crítica en este caso.

Tabla 19. Total de pérdidas del edificio GC

Diám. (Ø)	Tramo	Longitud TR Tramo (m)	Perdidas m/30.48m	Long eq acc	perdidas m /tramo
19mm	3	11,66	2,88	2,03	1,29
	4	36,00	1,50	3,17	1,93
32mm	2	6,20	2,85	2,88	0,85
50mm	1	9,00	2,51	12,53	1,77
				Total de pérdidas	5,84

El edificio WP es para celebraciones de bodas, su nombre en español sería “corredor de bodas”, es un edificio bastante sencillo si se habla de sistemas de agua potable puesto que no lleva más que una batería de baños. Si se revisa el plano, este edificio posee un espejo de

agua que necesita suministro de agua potable, pero este no va a ser considerado en el cálculo de este proyecto puesto que este espejo de agua tiene su propia bomba para llevar los chorros de agua al espejo; es por esto que no es necesario considerarlo dentro de la red que ya con el cálculo de la bomba está cubierto mantener los chorros necesarios con las pérdidas necesarias para esta bomba. A diferencia de los edificios estudiados, este posee un solo nivel y no tiene losas verdes debido a que los techos están hechos con unas lonas.

Tabla 20. Resumen unidades accesorio por nivel en edificio WP

	U.A. Agua Fría	U.A Agua Caliente
N0	26	6

Fuente: propia

Como se indicó anteriormente, la ruta crítica se tomó hasta uno de los ramales más largos sin contar los que van hacia el espejo de agua por las razones antes especificadas, es por esto que los tramos son solamente dos, con dos distintos diámetros de tubería como se resume en la tabla siguiente:

Tabla 21. Total de pérdidas del edificio WP

Diám. (Ø)	Tramo	Longitud TR Tramo (m)	Perdidas m/30.48m	Long eq acc	perdidas m /tramo
19mm	2	42,56	1,50	1,20	2,150
25mm	1	1,74	2,96	2,32	0,39
				Total de pérdidas	2,55

Fuente: propia

El edificio KA está destinado a ser una zona para niños de corta edad, por lo tanto, posee zona de juegos, salas de estar e incluso una zona buffet donde los niños pueden tener meriendas. Este edificio cuenta con tres baterías de baños en el nivel 0 del edificio y cubren las necesidades requeridas para ser utilizados por niños pequeños y de mediana edad, además de eso cuenta con llaves de chorro en la azotea, debido a que este edificio cuenta con losas verdes. También cuenta con una zona amplia exterior para juegos al aire libre, los mismos no necesitan salidas de agua potable o agua caliente, por lo que la ruta crítica será calculada con las tuberías que se encuentran en el nivel de losas.

Tabla 22. Resumen unidades accesorio por nivel en edificio KA

	U.A. Agua Fría	U.A Agua Caliente
N0	90,5	19,5
N losas	2,0	
Total	92,5	19,5

Fuente: propia

Al revisar las pérdidas en este edificio según la cantidad de accesorios que hay en el mismo (las cuales se tomaron mediante las sumatoria de los aparatos sanitarios y accesorios que necesitaran una entrada de agua potable o agua caliente, como se mostró en la tabla anterior), la tubería de agua fría debería entrar en 38mm de diámetro pero está indicada como 32mm de diámetro; este tema debe ser revisado ya que es importante que la tubería tenga el diámetro necesario para abastecer el caudal requerido por este edificio, es por esto que el tramo 1 se tomó como 38mm de diámetro para cumplir con lo que solicitan los cálculos.

Tabla 23. Total de pérdidas del edificio KA

Diám. (Ø)	Tramo	Longitud TR Tramo (m)	Perdidas m/30.48m	Long eq acc	perdidas m /tramo
19mm	2	5,01	1,51	1,734	0,33
	3	22,04	1,51	0,3	1,11
38mm	1	7,14	2,71	7,404	1,29
				Total de pérdidas	2,73

Fuente: propia

Cerca del área de piscinas se encuentra el edificio TS, que está destinado a ser un edificio con baño para las personas que utilicen la piscina, así como la zona donde se entreguen los paños de hotel que utilicen los huéspedes. Este es un edificio pequeño que cubre con las necesidades antes mencionadas y no posee más de 57m3 construidos. La demanda de agua potable que se ve reflejada en la siguiente tabla es debido a la batería de baños que se encuentra en este edificio.

Tabla 24. Resumen unidades accesorio por nivel en edificio TS

	U.A. Agua Fría	U.A Agua Caliente
N0	32,5	7,5

Fuente: propia

Para el cálculo de pérdidas de este edificio se tomó la ruta crítica, la cual era bastante corta en comparación al resto de edificios.

Tabla 25. Total de pérdidas del edificio TS

Diám. (Ø)	Tramo	Longitud TR Tramo (m)	Perdidas m/30.48m	Long eq acc	perdidas m /tramo
19mm	3	4,66	3,62	0	0,55
25mm	2	2,43	1,44	3,036	0,26
32mm	1	4,32	1,44	8,536	0,61
				Total de pérdidas	1,42

Fuente: propia

3.2 Modelado en EPANET

Con este último edificio se darían por concluidos los cálculos de pérdidas de los edificios de la concesión de Vista Mar. El procedimiento siguiente es el modelado de la red principal del proyecto en el programa de modelado de tuberías llamado EPANET, por sus siglas en inglés.

EPANET es un programa creado para realizar análisis del comportamiento de los sistemas de distribución de agua, conjugando algoritmos avanzados de cálculo, así como una modelación bastante gráfica y sencilla de utilizar. (Rossman, 2001)

Por esto se decidió utilizar dicho programa para la simulación de la red del proyecto, a que es un programa con una interfaz bastante amigable con el usuario, la cual posee los elementos necesarios para simular la red hidráulica del proyecto, que cuenta con bombas, nodos, válvulas y toda la red de tuberías.

El modelado de esta red se realizó exportando la tubería principal, que fue realizada en el programa AutoCAD y exportada al programa EPANET, para visualizar la red completa con sus respectivos nodos y tuberías. Al exportar una tubería normal que está trabajada en polilíneas o líneas en AutoCAD, el programa de simulación de redes (EPANET) se encargará de, después de darle una tolerancia, colocar los nodos donde crea conveniente y donde haya cambios de dirección e intersección de tuberías, lo que le da mucha practicidad ya que se tiene la tubería con sus nodos respectivos con solo exportarla de un programa a otro.

Es necesario cerciorarse antes de exportar el archivo de trabajo, que el archivo con la extensión ".dwg" esté lo más depurado posible para que no se exporten errores o más elementos de los necesarios de un programa a otro, por esto la tubería se trabajó revisando que estuvieran zonas cerradas entre polilíneas, sin más capas de la cuenta para que no hubiera elementos que estuvieran unos encima de otros. Es recomendable que el archivo de AutoCAD tenga muy bien definidos los elementos que se trazaron en cada capa porque la exportación de elementos se hace por medio de capas y entre más capas se tienen es más probable que incurra en errores, al igual que elementos que posean coordenadas distintas en el plano 0,0,0 de AutoCAD, puesto que, si las tuberías tienen distintas coordenadas y no se está trabajando en el plano antes especificado, el EPANET puede generar nodos que no se conectan a ningún elemento y en el momento de generar el análisis dará errores.

Una vez que la red está completamente terminada, debe cerciorarse que todos sus elementos se encuentran en la misma capa de diseño para separar la red del resto de elementos del diseño, tales como: plantas arquitectónicas de los edificios, curvas de nivel, vegetación, cotas y otros elementos que son importantes para el entendimiento del diseño, pero no aportan mucho al diseño como tal de la red de agua potable para el modelado. Se procede a utilizar el programa EPACAD para convertir el archivo ".dwg" (que es la extensión en que AutoCAD guarda sus archivos) a una extensión ".net" que es la que solicita el programa EPANET.

En el programa de EPACAD, como se mencionó anteriormente, es posible darle una tolerancia al archivo para definir la cantidad de nodos que se vayan a requerir en el sistema, para que haya una proporción tomada en cuenta con la tolerancia que se le da al archivo, en este caso la tolerancia que se manejó para que tomara como referencia el programa fue de 6. Con esta tolerancia, la red de este proyecto terminó con un total de 148 nodos, los mismos son suficientes para estudiar completamente la red, así como para revisar los valores que vaya a generar el programa cuando se disponga a correr el modelado de las tuberías.

La tubería que se utilizó es la del diseño final de este proyecto, en la misma se generaron tramos más cortos de los que existían anteriormente y se buscaron rutas más cortas donde fuera posible acortarlos. En el EPANET se revisó que todos los nodos quedaran conectados a la red, de manera que a futuro no vaya a generar errores en los cálculos debido

a que una tubería quedara por fuera del sistema; esto se realiza revisando tramo a tramo que cada nodo esté debidamente conectado y se colocarán nodos de ser necesario donde una tubería no esté conectada debidamente. También es recomendable revisar que cada tubería vaya de nodo a nodo para que el programa entienda que los nodos están conectados entre sí.

La red de la concesión Vista Mar contempla todas las entradas de agua potable a cada edificio del complejo. Es importante destacar que este modelado completa a la entrada de cada edificio, ya que los cálculos obtenidos anteriormente para cada edificio se realizaron contemplando la entrada de agua caliente y potable hasta las rutas importantes dentro del edificio, así que este modelado en el programa contemplará las tuberías meramente de infraestructura que salen de la toma de agua inicial, la cual sale del edificio SB y continúa para abastecer cada uno de los edificios del complejo.

En la siguiente figura se visualiza del sistema de distribución de agua obtenido al exportar el diseño de AutoCAD, al que, como se mencionó anteriormente, se le hicieron las modificaciones en tramos y fue exportado al programa EPANET con la tolerancia asumida anteriormente. Esta red aplicaría para los sistemas de agua fría y caliente ya que viajan por la misma ruta, aunque no se comportan igual, es por esto que el comportamiento de cada una de las redes se hará de manera individual mediante modelos distintos que más adelante se explicarán con más detalle.

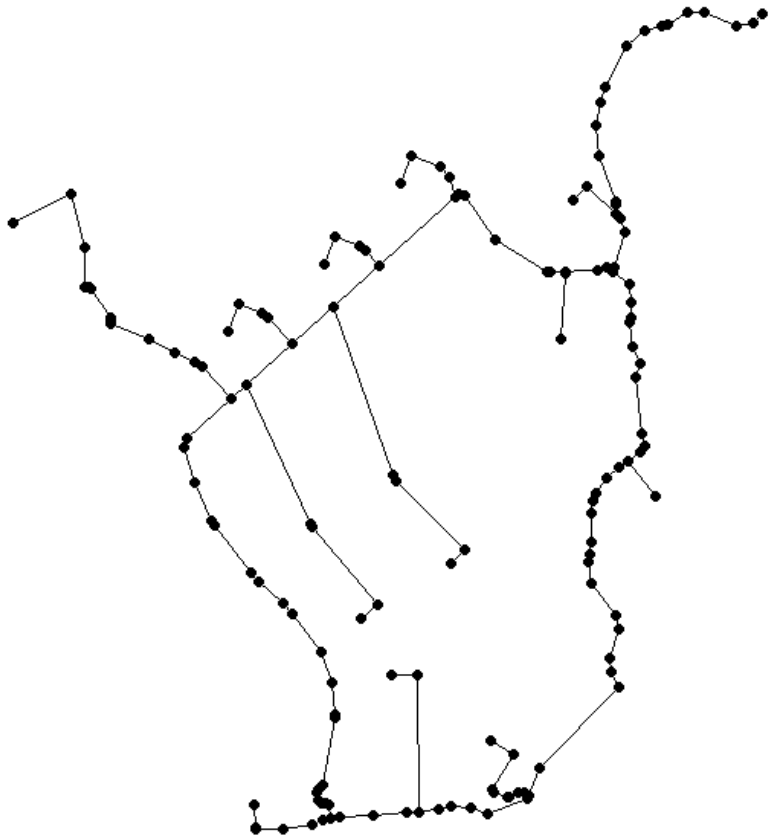


Fig. 12. Esquema de la red
Fuente: propia

A cada uno de los nodos se le debe colocar la altura que posee en el plano, esto se realizó utilizando las curvas de nivel del conjunto proporcionadas por el ingeniero topógrafo y las cuales se tienen proyectadas en los planos brindados para la realización de este proyecto. A cada nodo se le debió asignar individualmente el valor de la altura en la que se encontraba, teniendo el punto más alto en la entrada de la tubería que se ubica en el SB, ya que se plantea un tanque de reserva de agua potable en ese edificio. La cota que se tendía en el SB es de 122m y el punto más bajo tiene la cota de 15m, este punto está ubicado en el edificio GC, el más próximo a la playa en este caso. Esto quiere decir que existe una diferencia de altura de 107 metros entre el edificio más alto y el más bajo.

3.3 Modelado de la red de agua fría

En el caso de la red de agua potable, el modelado será más sencillo ya que la misma trabajará por gravedad, bajando del tanque de reserva de agua potable ubicado en el edificio

SB, a manera de propuesta por fines prácticos, hasta el resto de los edificios del complejo hotelero de la concesión Vista Mar.

En el modelado dentro del programa es necesario especificar los caudales en cada nodo de entrada de cada edificio, esto se hace con las unidades accesorio que se calcularon anteriormente en cada edificio, utilizando las de agua fría para este escenario y utilizando la fórmula de Hazen-Williams para encontrar los diámetros de tuberías. El caudal que se colocó en los nodos de entrada fue obtenido mediante la tabla del Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones, numerada como tabla 4 en este proyecto.

Dependiendo de la cantidad de unidades accesorio que posea el edificio, esto viene siendo una suma de unidades por aparato mecánico que haya en el edificio, como fregaderos, lavatorios, inodoros, lavadoras, etc. Cada unidad de estas tiene un valor asignado por la entrada de abastecimiento de agua potable que necesita, por ejemplo: un lavatorio posee 1,5 unidades accesorio para agua caliente y 1,5 unidades accesorio para agua fría en caso de uso privado (el uso de público o privado hace que este valor cambie); así es como se fue sumando cada aparato sanitario por edificio para cada sistema, agua caliente y fría, siempre respetando los valores dados por aparato en el Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones.

A continuación, se tabulará los caudales obtenidos por la cantidad de accesorios que posee cada edificio. Los edificios HO se encuentran en pares, así que la entrada de agua potable que subastará a estos edificios será mediante un caudal que podrá abastecer dos edificios, esto mismo sucede con los edificios FC ya que cuatro de ellos se encuentran en pareja, pero el edificio FC3 y FC6 están por separado, es por esto que en la tabla se encuentran estos dos edificios por separado.

El resto de los edificios se mantiene con los caudales necesarios para abastecer cada uno de los aparatos sanitarios que posean, en el caso del MB, CC y SB poseen espacios de cocina que dependiendo de la demanda del equipo se calcularon las unidades accesorio necesarias para abastecer la demanda del aparato especificado en las fichas técnicas del mobiliario.

Tabla 26. Resumen de caudales de agua fría por edificio

Edificio	Caudal (L/s)
HO	8,69
FC	8,48
FC3-FC6	4,3
CC	3,91
MB	5,16
SB-SPA	6,56
KA	0,96
GC	1,12
WP	1,12
TS	0,96

Fuente: propia

Las unidades de la tabla están dadas en litros por segundo, es necesario revisar esto ya que deben coincidir con las unidades que se especifiquen en el programa EPANET para que no haya errores de unidades y no sean un detonante de una mala lectura en los datos que proporcione el programa.

Es importante recalcar que los caudales, en función de las unidades accesorio que proporciona el Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones de Costa Rica, son caudales más probabilísticos que nada, así que la sumatoria de los caudales no sería el caudal real que debe colocarse al inicio de la tubería en el modelo puesto que daría un caudal mucho mayor y, por lo tanto, erróneo, provocando problemas en la revisión de las presiones dentro de la red.

La forma de sacar el caudal total de la red es con la sumatoria de todas las unidades accesorio de cada edificio y al obtener este valor se debe buscar en la Tabla 4 para obtener el caudal total del sistema de agua potable del proyecto. Por lo tanto, la sumatoria de todas esas unidades accesorio sería la siguiente:

$$\sum UA = 8(U.A)HO + 6(U.A)FC + (U.A)CC + (U.A)MB + (U.A)SB + (U.A)GC + (U.A)KA + (U.A)WP + (U.A)TS \quad (13)$$

$$\sum UA = 1630 + 815 + 416 + 183 + 503 + 276 + 19{,}5 + 26 + 26$$

$$\sum UA = 3894{,}5$$

La cantidad total de unidades accesorio para agua fría de la concesión Vista Mar es de 3894,5. Considerando este valor, se procede a revisar la tabla de caudales en función de las unidades accesorio:

Tabla 27. Caudal probable como función de las unidades accesorio

u.a	Sistemas con tanques de lavado (L/s)	Sistemas con fuxómetros (L/s)	u.a	Sistemas con tanques de lavado (L/s)	Sistemas con fuxómetros (L/s)
6	0,43	1,4	225	4,51	6,01
8	0,52	1,56	250	4,84	6,29
10	0,61	1,71	275	5,16	6,56
12	0,69	1,84	300	5,49	6,84
14	0,76	1,95	350	6,12	7,38
16	0,83	2,06	400	6,74	7,91
18	0,9	2,16	450	7,34	8,42
20	0,96	2,25	500	7,93	8,93
25	1,12	2,46	700	10,15	10,86
30	1,26	2,65	900	12,15	12,61
35	1,4	2,82	1000	13,06	13,42
40	1,53	2,97	1200	14,71	14,91
45	1,66	3,12	1500	17,1	
50	1,78	3,25	1750	18,98	
60	2,02	3,5	2000	20,78	
70	2,23	3,72	2500	24,17	
80	2,44	3,92	3000	27,34	
90	2,64	4,11	4000	33,22	
100	2,81	4,29	5000	38,64	
120	3,09	4,62	6000	43,71	
140	3,36	4,91	7000	48,52	
160	3,64	5,27	8000	53,11	
180	3,91	5,5	9000	57,52	
200	4,18	5,72	10000	61,77	

Fuente: Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones, 2017

Resaltado en rojo se encuentran las dos opciones más cercanas al valor obtenido en la sumatoria de todas las unidades accesorio (UA) anteriormente listadas. Si se escoge el valor de 3000 unidades, dará un valor en el caudal que estará muy poco aproximado a la

realidad ya que estarían faltando 884,5 unidades accesorio en el cálculo; por otro lado, si se elige el valor de 4000 unidades accesorio, el caudal que se obtendrá será mayor y habría afectación en la escogencia del diámetro de las tuberías y, por ende, en la obtención de un panorama más real en las presiones del sistema.

Para obtener el caudal real se realizó una interpolación utilizando los datos obtenidos con la sumatoria de unidades accesorio y los datos que proporciona la tabla de caudales en función a las unidades accesorio.

$$y = y_a + (x - x_a) * \frac{(y_b - y_a)}{(x_b - x_a)} \tag{14}$$

En resumen, tenemos los siguientes datos a interpolar:

xa = 3000 u.a.

ya = 27,34 L/s

xb = 4000 u.a.

yb = 33,22 L/s

x = 3894,5 u.a.

$$y = 27{,}34 + (3894{,}5 - 3000) * \frac{(33{,}22 - 27{,}34)}{(4000 - 3000)}$$

$$y = 32{,}59\ L/s$$

El caudal total de la red de agua fría será de 32,59 L/s y sería este el valor que se le colocó al inicio de la red en el programa de modelado junto con las cotas de elevación. Este sería el último de los caudales que se colocó en el programa antes de hacer los cálculos del sistema. Una vez obtenidos estos resultados, el programa genera un esquema a base de colores para revisar las presiones en el sistema, como se observa en la siguiente figura. Los datos están dados en litros por segundo, como se muestra a continuación.

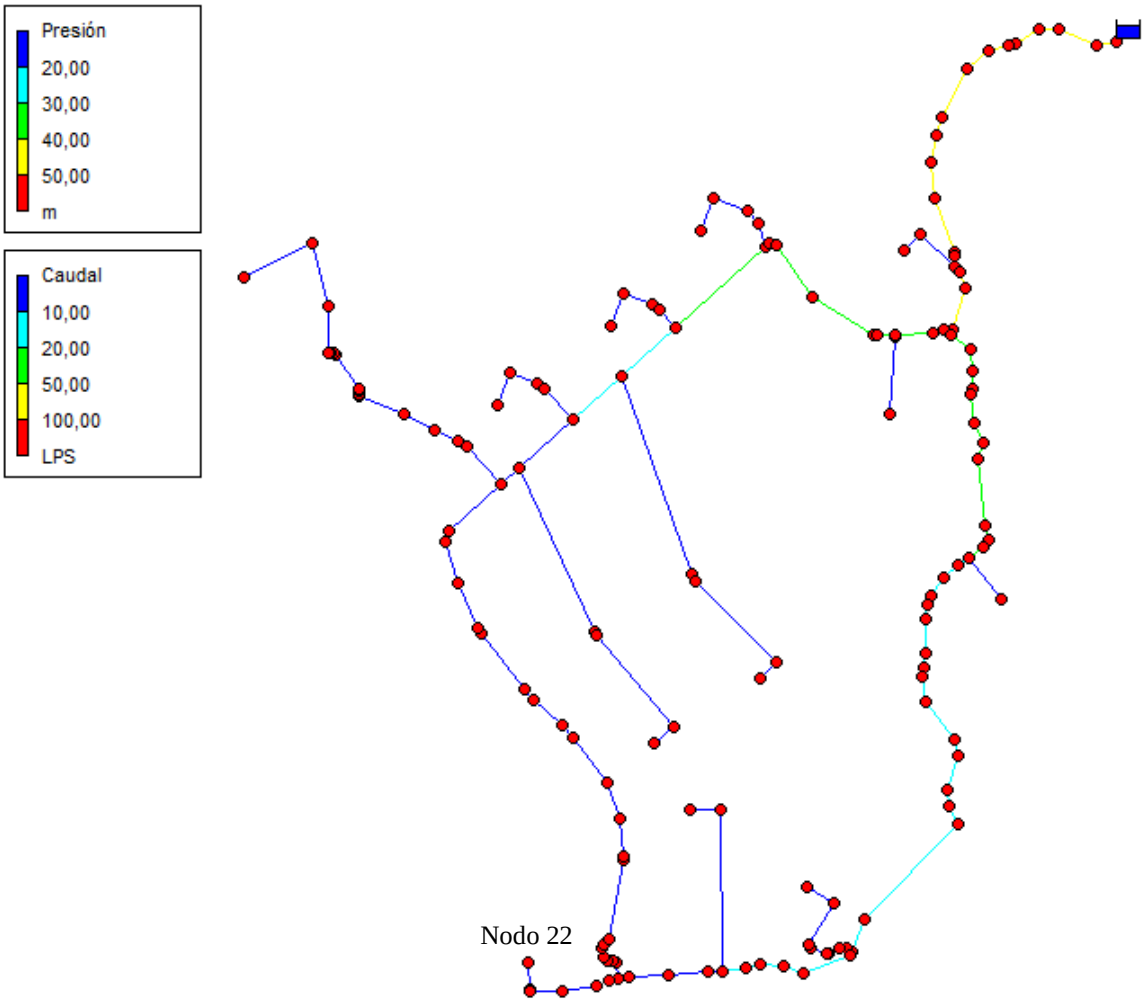


Fig. 13. Modelo esquemático de presiones de las tuberías de agua fría de Vista Mar

Fuente: propia

Según el código de colores, hay presiones por arriba de los 100 L/s en el sistema, esto es normal ya que se da un cambio de altura muy importante entre el embalse que se modela en el programa hasta el edificio más bajo. Pero también hay presiones más bajas que van del 0 a 10 L/s, tramos de tubería que van hacia los edificios, como se puede ver claramente en la figura anterior.

Para un mayor entendimiento de los resultados es posible ver los datos tabulados que EPANET genera para revisar las presiones máximas o más bajas en el sistema, estos datos son dados por cada nodo; en este escenario de la tubería de agua fría los datos serían dados en la tabla siguiente.

Tabla 28. Estados de los nodos de la red de agua fría

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Nudo n1	199,79	77,79
Nudo n2	197,43	75,43
Nudo n3	197,3	76,3
Nudo n4	197,02	83,02
Nudo n5	196,88	87,88
Nudo n6	196,7	92,7
Nudo n7	196,65	93,65
Nudo n8	196,51	98,51
Nudo n9	196,32	102,32
Nudo n10	195,95	106,95
Nudo n11	193,59	105,59
Nudo n12	193,41	106,41
Nudo n13	193,16	107,16
Nudo n14	192,77	118,77
Nudo n15	192,74	119,74
Nudo n16	192,67	121,67
Nudo n17	188,93	130,93
Nudo n18	190,76	124,76
Nudo n19	190,84	121,84
Nudo n20	192,63	120,23
Nudo n21	192,63	123,23
Nudo n22	173,3	158,3
Nudo n23	173,3	156,3
Nudo n24	171,57	143,57
Nudo n25	171,57	144,57
Nudo n26	171,57	144,57
Nudo n27	171,56	142,56
Nudo n28	171,56	142,56
Nudo n29	171,56	142,56
Nudo n30	171,56	142,56
Nudo n31	171,56	142,56
Nudo n32	171,56	142,56
Nudo n33	171,56	141,56
Nudo n34	171,56	141,56
Nudo n35	171,56	141,56
Nudo n36	171,56	141,56
Nudo n37	171,56	140,56

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Nudo n38	171,56	144,56
Nudo n39	171,56	144,56
Nudo n40	182,69	132,69
Nudo n41	182,7	122,7
Nudo n42	174,75	131,75
Nudo n43	174,75	133,75
Nudo n44	174,75	134,75
Nudo n45	174,75	133,75
Nudo n46	174,75	133,75
Nudo n47	174,75	138,75
Nudo n48	174,75	139,75
Nudo n49	174,75	140,25
Nudo n50	174,75	143,25
Nudo n51	173,59	153,09
Nudo n52	173,6	150,1
Nudo n53	173,61	146,61
Nudo n54	171,54	142,54
Nudo n55	171,52	148,02
Nudo n56	171,51	148,01
Nudo n57	171,5	148
Nudo n58	171,5	151
Nudo n59	171,6	134,6
Nudo n60	171,57	137,07
Nudo n61	171,57	137,07
Nudo n62	171,56	137,06
Nudo n63	171,56	140,06
Nudo n64	171,52	148,52
Nudo n65	171,53	145,53
Nudo n66	171,53	145,53
Nudo n67	171,53	145,53
Nudo n68	171,54	136,54
Nudo n69	171,77	137,77
Nudo n70	171,77	134,77
Nudo n71	171,78	134,78
Nudo n72	171,78	134,78
Nudo n73	171,78	130,78
Nudo n74	172,14	125,14
Nudo n75	172,14	122,14

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Nudo n76	172,15	122,15
Nudo n77	172,15	122,15
Nudo n78	172,15	112,15
Nudo n79	181,48	134,98
Nudo n80	181,48	126,48
Nudo n81	173,3	154,3
Nudo n82	173,25	154,25
Nudo n83	173,24	154,24
Nudo n84	173,22	154,22
Nudo n85	173,21	154,21
Nudo n86	173,18	155,18
Nudo n87	173,16	154,16
Nudo n88	173,14	155,14
Nudo n89	173,13	155,13
Nudo n90	172,87	150,87
Nudo n91	172,86	150,86
Nudo n92	172,73	148,73
Nudo n93	172,61	145,61
Nudo n94	172,42	145,42
Nudo n95	172,37	145,37
Nudo n96	172,24	146,24
Nudo n97	172,2	146,2
Nudo n98	171,96	147,96
Nudo n99	171,94	147,94
Nudo n100	171,78	145,78
Nudo n101	171,64	144,64
Nudo n102	171,6	144,6
Nudo n103	172,78	111,78
Nudo n104	173,28	111,28
Nudo n105	177,28	114,28
Nudo n106	181,87	118,87
Nudo n107	182,08	120,08
Nudo n108	183,53	125,53
Nudo n109	184,31	126,31
Nudo n110	186,86	129,86
Nudo n111	186,38	129,38
Nudo n112	185,97	128,97
Nudo n113	185,84	128,84

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Nudo n114	185,15	128,15
Nudo n115	184,66	127,66
Nudo n116	184,27	128,27
Nudo n117	182,76	127,76
Nudo n118	182,39	127,39
Nudo n119	182,2	127,2
Nudo n120	181,32	127,32
Nudo n121	181,02	130,02
Nudo n122	180,67	132,67
Nudo n123	180,53	133,53
Nudo n124	180,37	135,37
Nudo n125	179,85	139,85
Nudo n126	179,62	139,62
Nudo n127	179,48	139,48
Nudo n128	179,08	139,08
Nudo n129	178,36	139,36
Nudo n130	178,09	141,09
Nudo n131	177,53	137,53
Nudo n132	177,28	136,28
Nudo n133	176,98	133,98
Nudo n134	174,91	129,91
Nudo n135	174,66	131,66
Nudo n136	174,2	137,2
Nudo n137	174,01	140,01
Nudo n138	173,8	141,8
Nudo n139	173,71	145,71
Nudo n140	173,56	147,56
Nudo n141	173,52	150,52
Nudo n142	173,35	154,35
Nudo n144	173,3	154,3
Nudo n145	173,3	155,3
Nudo n146	173,3	156,3
Nudo n148	187,09	130,09

Fuente: propia

La tabla anterior resume todos los nodos de la red de agua fría que posee el sistema, en la misma puede aclararse que el nodo con la presión mayor es el nodo 22, que es el nodo que se encuentra más bajo en toda la red, el mismo tiene una presión de 158,3mca.

Si se convierte el dato de 158,3mca a psi se obtiene un total de 224,7psi. Con este dato puede hacerse la selección de la tubería que abastecerá el proyecto, se debe buscar entre los oferentes una tubería que soporte la presión de 224,7psi, que es la presión mayor del proyecto, y así asegurar que toda la red podrá soportar las presiones que se generarán en el sistema. También es importante destacar que todas las tuberías que van hacia los accesorios sanitarios dentro del edificio deberán llevar la tubería que se especifique.

Teniendo en cuenta la presión obtenida, la tubería deberá ser SDR17, que soporta hasta 250psi a una temperatura de 23°. Esto quiere decir que la tubería es menor a la que se había especificado anteriormente en el diseño del proyecto, la cual era tipo SDR13,5.

Tabla 29. Presión nominal de trabajo para tuberías PVC

	SDR 41	SDR 32,5	SDR 26	SDR 21	SDR17	SDR 13,5
psi	100	125	160	200	250	315
Kg/cm2	7,03	8,93	11,25	14,06	17,58	22,15
kPa	690	862	1103	1379	1724	2172

Fuente: (Durman, Tuberías SDR)

3.4 Modelado de la red de agua caliente sin bombeo

Para la tubería de agua caliente se tomaron las mismas rutas del modelo de EPANET que se trabajó para el diseño de agua potable, ya que se tomarán las mismas rutas, al igual que la entrada de cada edificio que viene siendo la misma. Los cálculos serán distintos ya que los caudales para el agua caliente son muy diferentes a los del agua fría, esto quiere decir que en cada nodo del EPANET se dejaron igual las alturas de este, pero los caudales se variaron dependiendo de la cantidad de unidades accesorio en agua caliente que tenga cada edificio.

Como se sabe, el agua caliente viaja por los mismos tramos en todo el terreno, esto quiere decir que las alturas van a mantenerse a lo largo de la ruta, además de que será más sencillo crear una excavación por donde pasen ambas tuberías ya que se aprovecharía el trabajo colocando ambos sistemas juntos; además, si en un futuro la red llegara a fallar o si se necesitara realizar un arreglo es más sencillo encontrar y reparar excavaciones para darle el mantenimiento adecuado de la red.

Esto quiere decir que la altura máxima en la red de agua potable continúa siendo el nudo que se encuentra en el edificio SB, con una cota de 122m por encima del nivel del mar, y la cota de mayor nivel será la ubicada en el edificio GC que está dada a 15m sobre el nivel del mar. Con esto se puede definir que la diferencia de altura seguirá siendo la de 107m, una diferencia de altura que no es nada despreciable, sobre todo tratándose de agua caliente ya que la misma debe ser recirculada. Es por esto que el sistema de agua caliente necesitará el cálculo de bombeo para poder recircular el agua a través del anillo del sistema.

Ante esto, es necesario modelar 3 escenarios posibles para revisar las presiones del proyecto, el primero sería sin colocar el bombeo para saber las presiones que existen en la red, el segundo con las bombas funcionando a favor de las manecillas del reloj y el tercero, pero no menos importante, se debe modelar como si la tubería con bombeo fluyera al contrario de las manecillas del reloj.

Primero, se realizó el cálculo de agua fría y se tabularon los caudales obtenidos por la cantidad de accesorios que posee cada edificio, pero tomando en cuenta solamente los accesorios sanitarios que necesitan agua caliente, por ejemplo: lavatorios, duchas, tinas, lavaplatos y cualquier otro elemento que deba llevar una alimentación de agua caliente, dependiendo de los requerimientos de los equipos en cocinas o el spa.

Como se mencionó anteriormente, los edificios HO se encuentran en pares, así que la entrada de agua potable que subastará a estos edificios será mediante un caudal que podrá abastecer ambos edificios, entre los cuales están H1-H2, H3-H4, H5-H6 y H7-H8, así también con los edificios de habitaciones FC, entre los que están el FC1-FC2, en pares, así como el FC4-FC5, a diferencia del FC3 y FC6 que se encuentran por separado. Los que están en pares comparten una sola entrada de agua caliente que se distribuirá a ambos edificios, la misma entrada de distribución de agua contemplará los caudales necesarios para el par de edificios, por esto sería menor que en los edificios FC que se encuentran separados (FC3 y FC6).

Los caudales, al igual que en agua fría, fueron tomados de la cantidad de unidades accesorio tomadas en cada edificio, los mismos fueron calculados anteriormente y tabulados junto a las unidades de agua fría. Con esto se hace una comparación en la tabla de caudales

en función a las unidades accesorio del código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones, y los resultados son resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 30. Resumen de caudales de agua caliente por edificio

Edificio	Caudal (L/s)
HO	5,31
FC	5,35
FC3-FC6	2,71
CC	1,4
MB	5,02
SB-SPA	3,09
KA	0,96
GC	2,44
WP	0,43
TS	0,52

Fuente: propia

Los caudales, como se muestra, son mucho menores a los que se tenían con el agua potable, estos caudales deben ser colocados en cada nodo para modelar adecuadamente este escenario, los mismos fueron colocados en unidades de litros por segundo para no tener conflicto con la generación de los resultados del programa.

Para la entrada principal de agua caliente que está colocada desde el tanque de agua caliente, ubicada en el edificio SB en la zona destinada a los equipos mecánicos, es necesario hacer una sumatoria de todas las unidades accesorio de agua caliente del proyecto para encontrar el caudal principal de la concesión, esto debido a que si se suman todos los caudales de los edificios se incurriría en un error. Las unidades accesorio son probabilísticas y si se suman los caudales dará un resultado mucho mayor al que realmente es, es por esto que se realiza la sumatoria de las unidades accesorio de agua caliente como se determinó anteriormente con las unidades de agua fría.

$$\sum UA = 8(U.A)HO + 6(U.A)FC + (U.A)CC + (U.A)MB + (U.A)SB + (U.A)GC + (U.A)KA + (U.A)WP + (U.A)TS \quad (15)$$

$$\sum UA = 467{,}5 + 371 + 188 + 264 + 34{,}5 + 121{,}5 + 80{,}45 + 19{,}5 + 6 + 7{,}5$$

$$\sum UA = 1559{,}95$$

Al encontrar este valor es necesario revisar la tabla de caudal probable para esta cantidad total de unidades accesorio. Como se muestra remarcado en rojo en la siguiente tabla, no hay un caudal exacto para el valor obtenido con la sumatoria.

Tabla 31. Caudal probable como función de las unidades accesorio

u.a	Sistemas con tanques de lavado (L/s)	Sistemas con fuxómetros (L/s)	u.a	Sistemas con tanques de lavado (L/s)	Sistemas con fuxómetros (L/s)
6	0,43	1,4	225	4,51	6,01
8	0,52	1,56	250	4,84	6,29
10	0,61	1,71	275	5,16	6,56
12	0,69	1,84	300	5,49	6,84
14	0,76	1,95	350	6,12	7,38
16	0,83	2,06	400	6,74	7,91
18	0,9	2,16	450	7,34	8,42
20	0,96	2,25	500	7,93	8,93
25	1,12	2,46	700	10,15	10,86
30	1,26	2,65	900	12,15	12,61
35	1,4	2,82	1000	13,06	13,42
40	1,53	2,97	1200	14,71	14,91
45	1,66	3,12	1500	17,1	
50	1,78	3,25	1750	18,98	
60	2,02	3,5	2000	20,78	
70	2,23	3,72	2500	24,17	
80	2,44	3,92	3000	27,34	
90	2,64	4,11	4000	33,22	
100	2,81	4,29	5000	38,64	
120	3,09	4,62	6000	43,71	
140	3,36	4,91	7000	48,52	
160	3,64	5,27	8000	53,11	
180	3,91	5,5	9000	57,52	
200	4,18	5,72	10000	61,77	

Fuente: Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones, 2017

Al no encontrarse el valor exacto se debe realizar una interpolación para encontrar el caudal real en función de las unidades accesorio obtenidas; se utilizará la fórmula de interpolación y con el mismo procedimiento anteriormente visto.

$$y = y_a + (x - x_a) * \frac{(y_b - y_a)}{(x_b - x_a)} \quad (16)$$

En resumen, se tienen los siguientes datos a interpolar:

xa = 1500 u.a.

ya = 17,1 L/s

xb = 1750 u.a.

yb = 18,98 L/s

x = 1559,95 u.a.

$$y = 17{,}1 + (1559{,}95 - 1500) * \frac{(18{,}98 - 17{,}1)}{(1750 - 1500)}$$

$$y = 17{,}55\ L/s$$

El caudal total de la red de agua caliente será de 17,55 L/s, por lo tanto, este valor se colocará en el nodo inicial que representa la ubicación del edificio SB y que se coloca justo al lado del embalse que simulará la entrada de la red de agua caliente.

Una vez obtenidos todos los datos y que se hayan revisado todas las cotas de elevación del sistema, se puede activar la opción de calcular al programa EPANET para que mediante un código de colores se puedan ver las presiones que se están dando a través del sistema de agua caliente. Se recalca que este primer modelado es la red de agua caliente sin especificar las bombas, es solamente la red completamente abierta como si funcionara por gravedad y sin contemplar la recirculación de agua caliente. Esto es simplemente para revisar la presión máxima y en cuál nodo está la misma, con el fin de estudiar la tubería que se adecúe mejor al tipo de red que se tiene y en un futuro no vaya a reventarse debido a las presiones del sistema.

Al poner a correr el sistema en el programa EPANET se puede visualizar que se mantienen presiones de entre 0 y 20mca en la entrada de los edificios, pero hay un cambio significativo en la parte superior del sistema ya que las presiones se observan entre 30 y

40mca y en el modelado de agua fría estaban entre 40 y 50mca; pero, a pesar de esto las presiones siguen siendo mayores en este escenario.

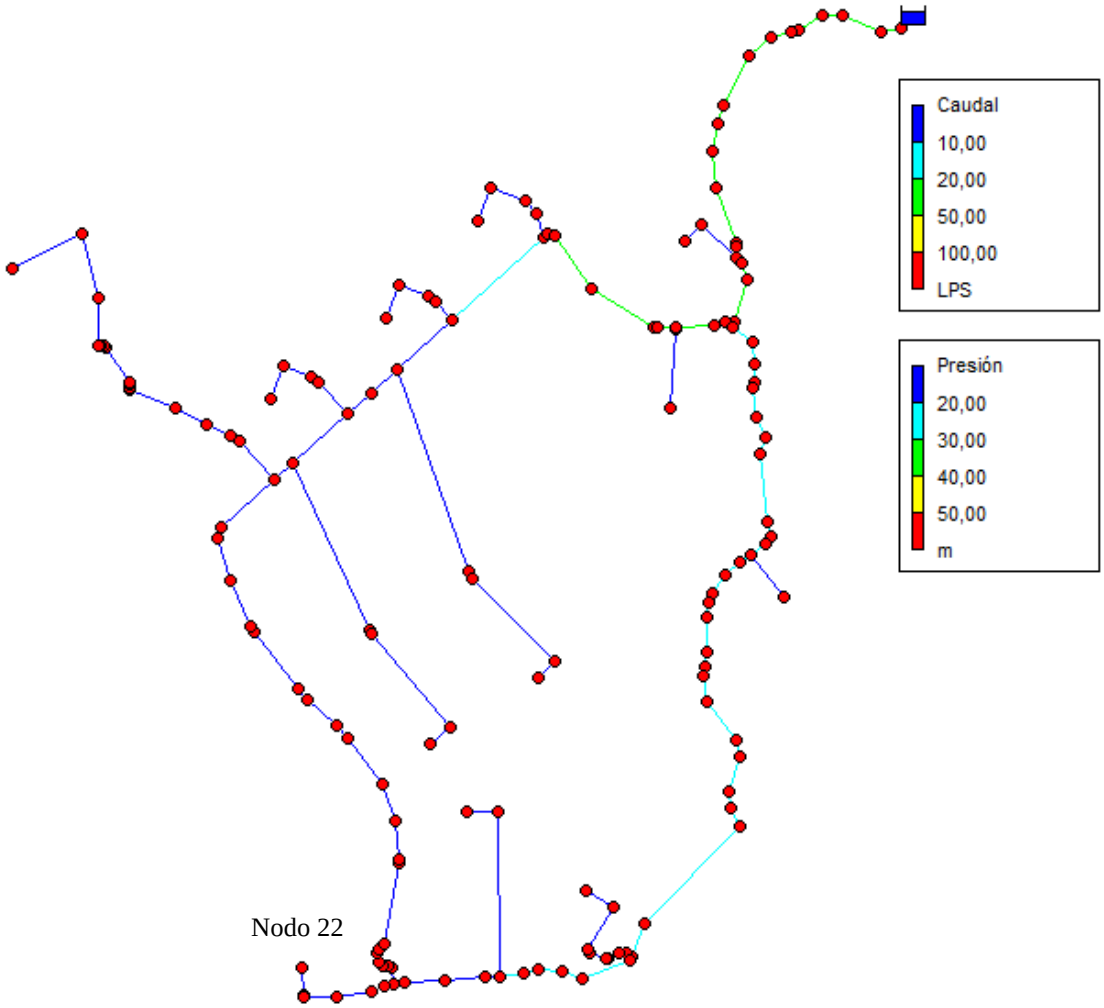


Fig. 14. Modelo esquemático de presiones de las tuberías de agua caliente de Vista Mar, sin bombeo
Fuente: propia

La mayor presión en este caso continúa estando en la entrada del edificio GC, esto debido a que es el edificio que se ubica más bajo en el sistema, su presión, según el modelado de EPANET es de 177,9mca. Este dato está muy por encima de los 158mca del agua fría. Se debe recordar que el agua caliente al tener una temperatura mayor puede viajar a mayor presión, además, las tuberías de agua caliente tienen diámetros menores.

Las presiones en todos los nodos son tabuladas mediante el programa y se muestran a continuación para un mayor entendimiento de todas las presiones que se tienen a través del sistema de agua potable.

Tabla 32. Estados de los nodos de la red de agua caliente sin bombeo

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Nudo n1	199,92	77,92
Nudo n2	198,86	76,86
Nudo n3	198,8	77,8
Nudo n4	198,68	84,68
Nudo n5	198,61	89,61
Nudo n6	198,54	94,54
Nudo n7	198,51	95,51
Nudo n8	198,45	100,45
Nudo n9	198,37	104,37
Nudo n10	198,2	109,2
Nudo n11	197,15	109,15
Nudo n12	197,06	110,06
Nudo n13	196,95	110,95
Nudo n14	196,78	122,78
Nudo n15	196,77	123,77
Nudo n16	196,73	125,73
Nudo n17	195,02	137,02
Nudo n18	195,86	129,86
Nudo n19	195,9	126,9
Nudo n20	196,72	124,32
Nudo n21	196,71	127,31
Nudo n22	192,9	177,9
Nudo n23	192,9	175,9
Nudo n24	192,8	164,8
Nudo n25	192,8	165,8
Nudo n26	192,8	165,8
Nudo n27	192,8	163,8
Nudo n28	192,8	163,8
Nudo n29	192,8	163,8
Nudo n30	192,8	163,8
Nudo n31	192,8	163,8

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Nudo n32	192,8	163,8
Nudo n33	192,8	162,8
Nudo n34	192,8	162,8
Nudo n35	192,8	162,8
Nudo n36	192,8	162,8
Nudo n37	192,8	161,8
Nudo n38	192,8	165,8
Nudo n39	192,8	165,8
Nudo n40	193,48	143,48
Nudo n41	193,49	133,49
Nudo n42	193,34	150,34
Nudo n43	193,34	152,34
Nudo n44	193,34	153,34
Nudo n45	193,34	152,34
Nudo n46	193,34	152,34
Nudo n47	193,34	157,34
Nudo n48	193,34	158,34
Nudo n49	193,34	158,84
Nudo n50	193,33	161,83
Nudo n51	193,06	172,56
Nudo n52	193,06	169,56
Nudo n53	193,07	166,07
Nudo n54	192,78	163,78
Nudo n55	192,77	169,27
Nudo n56	192,77	169,27
Nudo n57	192,76	169,26
Nudo n58	192,76	172,26
Nudo n59	192,81	155,81
Nudo n60	192,79	158,29
Nudo n61	192,79	158,29
Nudo n62	192,79	158,29
Nudo n63	192,79	161,29
Nudo n64	192,77	169,77
Nudo n65	192,77	166,77
Nudo n66	192,78	166,78
Nudo n67	192,78	166,78
Nudo n68	192,78	157,78

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Nudo n69	192,85	158,85
Nudo n70	192,86	155,86
Nudo n71	192,86	155,86
Nudo n72	192,86	155,86
Nudo n73	192,86	151,86
Nudo n74	192,98	145,98
Nudo n75	192,98	142,98
Nudo n76	192,98	142,98
Nudo n77	192,98	142,98
Nudo n78	192,98	132,98
Nudo n79	193,95	147,45
Nudo n80	193,95	138,95
Nudo n81	192,91	173,91
Nudo n82	192,91	173,91
Nudo n83	192,9	173,9
Nudo n84	192,9	173,9
Nudo n85	192,9	173,9
Nudo n86	192,9	174,9
Nudo n87	192,9	173,9
Nudo n88	192,9	174,9
Nudo n89	192,9	174,9
Nudo n90	192,9	170,9
Nudo n91	192,89	170,89
Nudo n92	192,89	168,89
Nudo n93	192,89	165,89
Nudo n94	192,88	165,88
Nudo n95	192,88	165,88
Nudo n96	192,88	166,88
Nudo n97	192,85	166,85
Nudo n98	192,84	168,84
Nudo n99	192,84	168,84
Nudo n100	192,84	166,84
Nudo n101	192,83	165,83
Nudo n102	192,83	165,83
Nudo n103	193,2	132,2
Nudo n104	193,2	131,2
Nudo n105	193,24	130,24
Nudo n106	193,29	130,29

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Nudo n107	193,29	131,29
Nudo n108	193,83	135,83
Nudo n109	194,15	136,15
Nudo n110	194,04	137,04
Nudo n111	194,03	137,03
Nudo n112	194,03	137,03
Nudo n113	194,02	137,02
Nudo n114	194,01	137,01
Nudo n115	194,00	137,00
Nudo n116	194,00	138,00
Nudo n117	193,97	138,97
Nudo n118	193,96	138,96
Nudo n119	193,96	138,96
Nudo n120	193,83	139,83
Nudo n121	193,82	142,82
Nudo n122	193,81	145,81
Nudo n123	193,81	146,81
Nudo n124	193,69	148,69
Nudo n125	193,68	153,68
Nudo n126	193,56	153,56
Nudo n127	193,56	153,56
Nudo n128	193,55	153,55
Nudo n129	193,53	154,53
Nudo n130	193,53	156,53
Nudo n131	193,51	153,51
Nudo n132	193,51	152,51
Nudo n133	193,50	150,50
Nudo n134	193,46	148,46
Nudo n135	193,25	150,25
Nudo n136	193,24	156,24
Nudo n137	193,24	159,24
Nudo n138	193,23	161,23
Nudo n139	193,15	165,15
Nudo n140	193,02	167,02
Nudo n141	192,96	169,96
Nudo n142	192,96	173,96
Nudo n144	192,90	173,90
Nudo n145	192,90	174,90

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Nudo n146	192,90	175,90
Nudo n148	194,18	137,18

Fuente: propia

Como el nodo 22 posee la mayor presión, esta sería el valor de diseño que se tomaría para la escogencia del tipo de tubería que se quiere colocar en el proyecto, ya que es necesario una tubería que soporte las presiones máximas que pueda generar el sistema en total. Para hacer la selección de la tubería en este caso se debe contemplar un tubo que pueda llevar líquidos calientes para que no cedan con la temperatura; lo más óptimo sería especificar una tubería CPVC que cumpla con la norma ASTM D2846, que norma los sistemas de distribución de agua caliente.

Si se convierten las unidades de 177,9mca que da de resultado la presión máxima en el nodo 22 a la unidad de libra por pulgada cuadrada (psi) dará como resultado un total de 252psi. Por lo tanto, la tubería que se ajusta a este escenario será la SDR 13.5 ya que tiene una presión máxima de trabajo de 320psi.

3.5 Modelado de la red de agua caliente con bombeo

Para el modelado de la red de agua caliente con bombeo es necesario realizar dos escenarios posibles, uno con el flujo viajando a favor de las manecillas del reloj y otra contrarreloj. Esto debido a que la red es un sistema de anillo cerrado, su función principal es abastecer de agua potable o caliente cualquier edificio sin importar si se tiene que cerrar un tramo de esta por mantenimiento, entonces si la tubería no puede viajar en una dirección, el sistema debe ser capaz de viajar en la dirección contraria para que el abastecimiento de agua nunca se vea interrumpido.

Los caudales para ambos escenarios de bombeo serán los mismos que para el agua caliente, así que los valores en nodos y las elevaciones que se puede configurar en el programa EPANET deben ser iguales porque las unidades accesorio y, por consiguiente, los caudales no cambiarán ya que se consideran los mismos equipos y accesorios sanitarios en cada uno de los edificios, así como la misma ruta de infraestructura que se contempló desde el inicio del proyecto.

Para el modelado con bombeo como si el fluido fuera a favor de las manecillas del reloj se le agregó las bombas en las estaciones que se plantearon en un inicio, que en este caso serían 3. Para darle la dirección al fluido, se colocó una válvula cerrada en uno de los tramos de la red para que la tubería vaya de derecha a izquierda como se muestra en la figura. La misma tiene dibujada a manera de detalle la ubicación de la válvula y el detalle de las bombas, ya que en el esquema generado por el programa EPANET no se notan los elementos detalladamente, por esto se resaltan a manera de detalle en la figura siguiente.

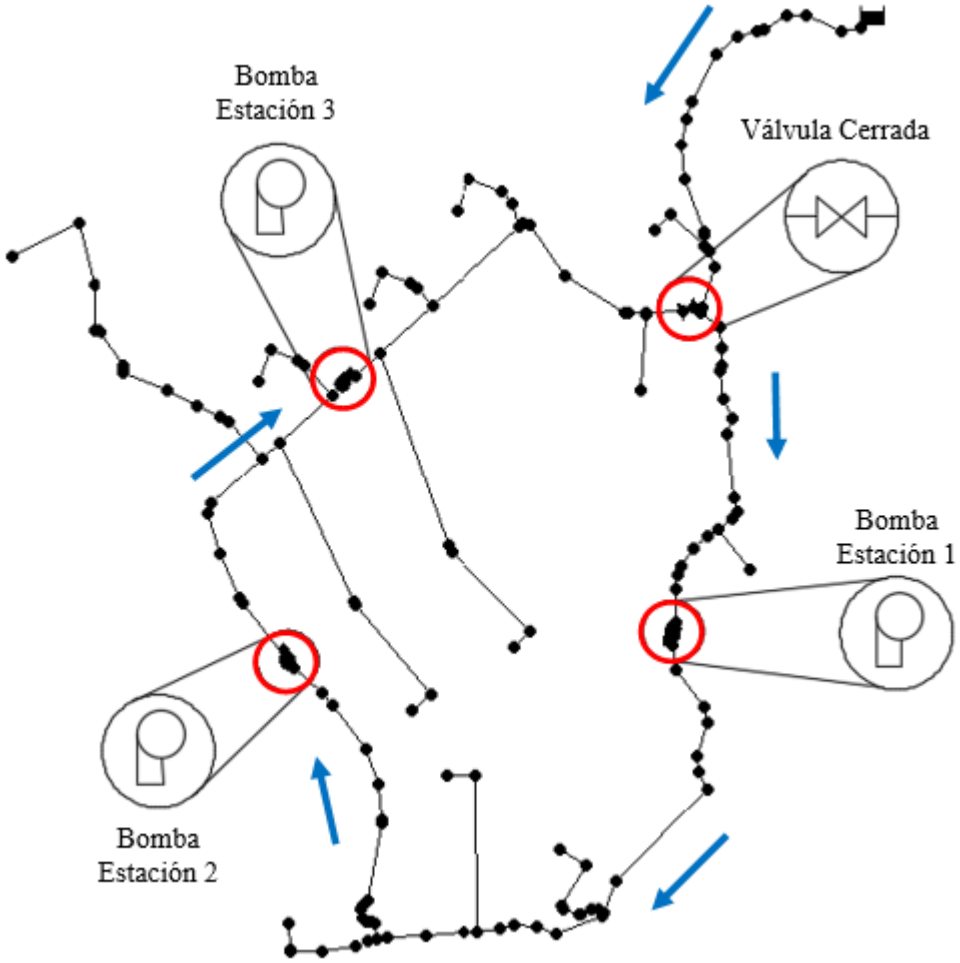


Fig. 15. Diagrama de dirección de flujo y elementos en la red de bombeo de agua caliente (Escenario 1)

Fuente: propia

Se mantiene el caudal total para la entrada de la red, ya que las unidades accesorio totales del complejo se mantienen iguales a la red de agua caliente, las cuales se calcularon anteriormente para un caudal de 17,55L.

El programa EPANET solicita la curva de la bomba antes de modelar los cálculos de la red, por lo que es necesario hacer escogencia de la bomba para revisar las presiones que se tiene en el sistema. Al haberse obtenido en los cálculos anteriores la mayor presión en el sistema que daba un total de 177,9mca y con el cálculo del caudal, es posible buscar entre los proveedores una bomba que sea adecuada a este sistema, para obtener el punto de operación de la bomba que se utilizará en el programa. Es importante recalcar que se deben buscar bombas más eficientes que cumplan con los parámetros antes mencionados, ya que una bomba más eficiente hará el trabajo necesario con el menor gasto energético posible.

El modelo encontrado para estos parámetros fue el modelo CR64-2-1A-G-A-E-HQQE de Grundfos, la cual es una bomba centrífuga. En cada estación de bombeo habrá 2 bombas de este mismo modelo, una de las bombas estará funcionando en caso de que la bomba principal presente fallas a manera de respaldo para que el sistema de bombeo no se vea interrumpido por cualquier falla que pueda ocurrir en el equipo. Esto para mantener la idea principal de siempre llevar el suministro de agua caliente independientemente de si se deban hacer arreglos en el sistema.

A continuación, se muestra la curva de operación de la bomba, la cual tiene 60m de presión y un caudal de 17,55L/s. La presión total del sistema, como se mencionó anteriormente, es de 177,8mca. Como en el sistema se tienen tres estaciones de bombeo, la presión total del sistema debe dividirse entre 3, lo cual da un valor de 59,3mca, este es el valor que cada estación de bombeo debe tener para cumplir con las presiones del sistema. Es por esto que la bomba se escogió con un punto de operación de 60m, como se muestra en la figura 16; el total de presión que generarán las tres estaciones de bombeo será de 180mca, lo cual cubre por completo la presión demandada en el sistema de agua caliente del complejo. El caudal, como se muestra en la figura 16, se mantiene igual, ya que este no varía en la escogencia de la bomba puesto que será siempre el mismo caudal que pase por todo el anillo del sistema.

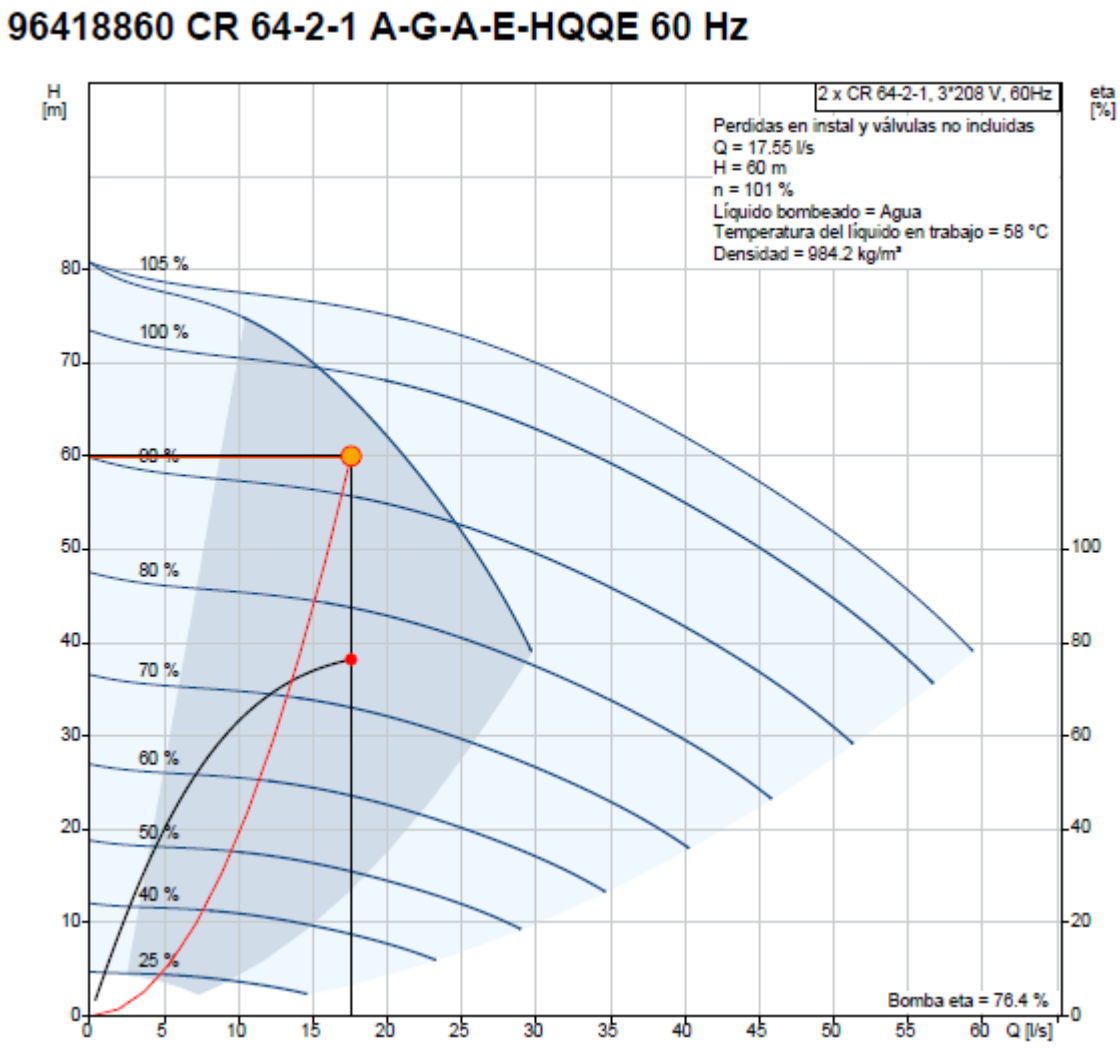


Fig. 16 Curva de operación de la bomba
Fuente: (Grundfos, 2018)

Una vez obtenido este dato, se pasan los mismos valores al programa EPANET para tener los datos completos en el modelo del programa, el mismo solicita los datos obtenidos en la curva de operación. Los datos se colocaron de la misma forma que en la figura 16. Una vez especificado dentro del programa, se edita dentro de las curvas de comportamiento colocando el caudal y la altura que se tienen; el mismo programa genera la ecuación para el funcionamiento correcto de la bomba, se especifica el nombre completo de la bomba en el ID de la curva de comportamiento para tener más claras las etiquetas del programa y no confundirse, en caso de que se deba agregar otro modelo para un futuro estudio de comportamiento de la red.

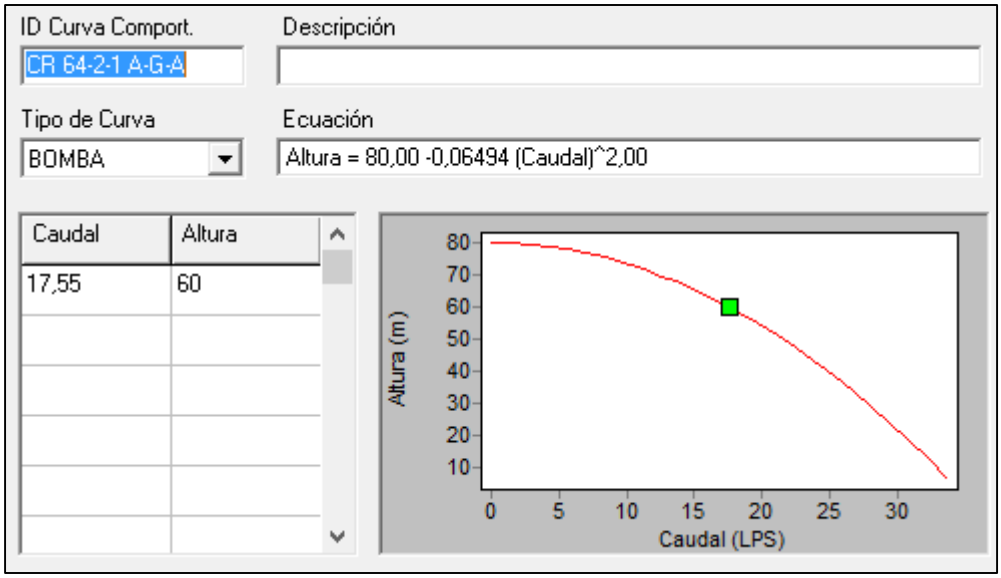


Fig. 17. Editor de curvas de comportamiento de la red en EPANET
Fuente: EPANET, 2018

Una vez colocados todos los datos para este escenario se procede a calcular el sistema en el programa y a obtener las nuevas presiones del sistema para revisar si la tubería CPV SDR13.5 sigue siendo apta para llevar las presiones de la red. De no ser apta porque no cumple con los valores, será necesario volver a seleccionar otra tubería y en este caso la que se mantendría sería la que da con este ejercicio de bombeo, ya que será un escenario real en la propuesta.

El sistema con bombeo está dando presiones mucho mayores, lo cual era de esperarse porque las bombas en línea aumentan las presiones. En el código de colores que se obtiene cuando en el programa se calcula el modelo, se puede ver claramente que las presiones en azul, que son los tramos que entran a los edificios, continúan manteniéndose en presiones de 0mca a 20mca y casi toda la red en anillo donde se encuentran las bombas está en color verde, lo que indica que está en los rangos de 30mca a 40mca. La válvula que se colocó se especificó como cerrada para que el flujo de agua que llega desde el edificio SB continuara hacia la derecha y se cumpliera el escenario del flujo corriendo a favor de las manecillas del reloj.

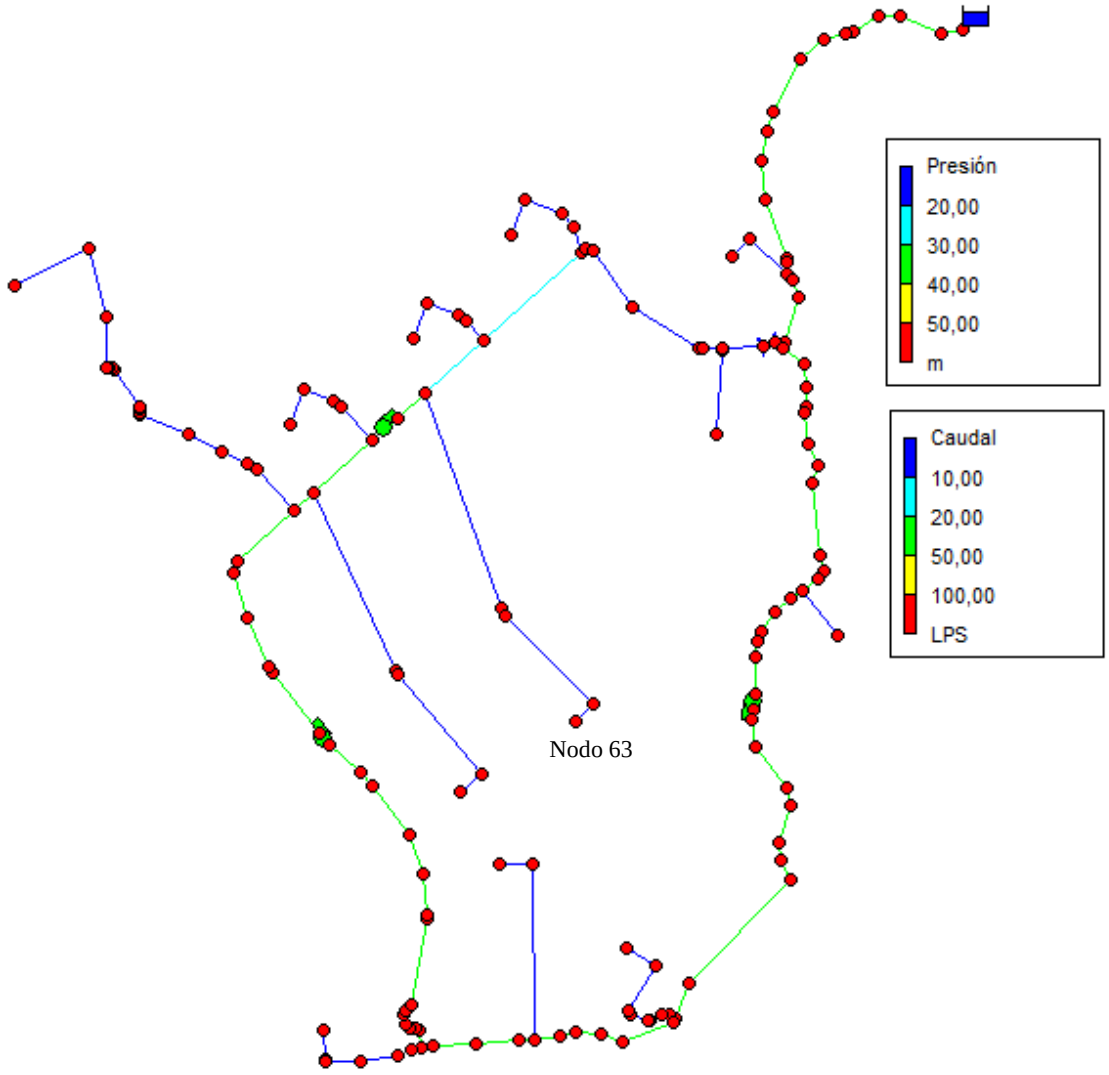


Fig. 18 Modelo esquemático de presiones de las tuberías de agua caliente de Vista Mar, con bombeo (Escenario 1)
Fuente: propia

Para un mejor entendimiento de las presiones en cada nodo del sistema, se tabulan los resultados como se realizó anteriormente. La presión máxima en este escenario está en el nodo 63 con un valor de 187,59mca, este nodo está ubicado en la entrada de los edificios FC1-FC2, lo cual es razonable puesto que este tramo de tubería está ubicado justo después de la estación de bombeo número 3. En este caso el diseño deberá contemplar la regulación de estas presiones en la configuración de los reguladores de presión en estos edificios, lo cual no está dentro del alcance de este proyecto. El resto de las presiones serán tabuladas a continuación.

Tabla 33 Estados de los nodos de la red de agua caliente con bombeo (Escenario 1)

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Nudo n1	199,92	77,92
Nudo n2	198,86	76,86
Nudo n3	198,80	77,80
Nudo n4	198,68	84,68
Nudo n5	198,61	89,61
Nudo n6	198,54	94,54
Nudo n7	198,51	95,51
Nudo n8	198,45	100,45
Nudo n9	198,37	104,37
Nudo n10	198,20	109,20
Nudo n11	197,15	109,15
Nudo n12	197,06	110,06
Nudo n13	196,95	110,95
Nudo n14	196,78	122,78
Nudo n15	196,77	123,77
Nudo n16	196,73	125,73
Nudo n17	195,02	137,02
Nudo n18	195,86	129,86
Nudo n19	195,90	126,90
Nudo n20	196,72	124,32
Nudo n21	196,71	127,31
Nudo n22	159,08	144,08
Nudo n23	159,08	142,08
Nudo n24	168,77	140,77
Nudo n25	168,77	141,77
Nudo n26	168,77	141,77
Nudo n27	168,77	139,77
Nudo n28	168,77	139,77
Nudo n29	168,77	139,77
Nudo n30	168,77	139,77
Nudo n31	168,77	139,77
Nudo n32	168,77	139,77
Nudo n33	168,77	138,77
Nudo n34	168,77	138,77
Nudo n35	168,77	138,77
Nudo n36	168,77	138,77
Nudo n37	168,77	137,77

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Nudo n38	168,77	141,77
Nudo n39	168,77	141,77
Nudo n40	218,86	168,86
Nudo n41	218,86	158,86
Nudo n42	163,20	120,20
Nudo n43	163,20	122,20
Nudo n44	163,20	123,20
Nudo n45	163,20	122,20
Nudo n46	163,20	122,20
Nudo n47	163,20	127,20
Nudo n48	163,20	128,20
Nudo n49	163,20	128,70
Nudo n50	163,20	131,70
Nudo n51	160,94	140,44
Nudo n52	160,94	137,44
Nudo n53	160,95	133,95
Nudo n54	168,28	139,28
Nudo n55	168,27	144,77
Nudo n56	168,27	144,77
Nudo n57	168,27	144,77
Nudo n58	168,26	147,76
Nudo n59	219,10	182,10
Nudo n60	219,09	184,59
Nudo n61	219,09	184,59
Nudo n62	219,09	184,59
Nudo n63	219,09	187,59
Nudo n64	167,93	144,93
Nudo n65	167,93	141,93
Nudo n66	167,93	141,93
Nudo n67	167,94	141,94
Nudo n68	167,94	132,94
Nudo n69	218,97	184,97
Nudo n70	218,97	181,97
Nudo n71	218,97	181,97
Nudo n72	218,97	181,97
Nudo n73	218,97	177,97
Nudo n74	218,91	171,91
Nudo n75	218,91	168,91

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Nudo n76	218,91	168,91
Nudo n77	218,91	168,91
Nudo n78	218,91	158,91
Nudo n79	192,78	146,28
Nudo n80	192,78	137,78
Nudo n81	159,09	140,09
Nudo n82	159,07	140,07
Nudo n83	159,07	140,07
Nudo n84	159,06	140,06
Nudo n85	159,05	140,05
Nudo n86	159,04	141,04
Nudo n87	159,03	140,03
Nudo n88	159,02	141,02
Nudo n89	159,02	141,02
Nudo n90	158,90	136,90
Nudo n91	158,89	136,89
Nudo n92	158,83	134,83
Nudo n93	158,78	131,78
Nudo n94	158,69	131,69
Nudo n95	158,67	131,67
Nudo n96	158,61	132,61
Nudo n97	169,56	143,56
Nudo n98	169,45	145,45
Nudo n99	169,44	145,44
Nudo n100	169,37	143,37
Nudo n101	169,31	142,31
Nudo n102	169,29	142,29
Nudo n103	218,90	157,90
Nudo n104	218,90	156,90
Nudo n105	218,90	155,90
Nudo n106	218,89	155,89
Nudo n107	218,89	156,89
Nudo n108	218,88	160,88
Nudo n109	194,18	136,18
Nudo n110	193,34	136,34
Nudo n111	193,29	136,29
Nudo n112	193,25	136,25
Nudo n113	193,24	136,24

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Nudo n114	193,17	136,17
Nudo n115	193,11	136,11
Nudo n116	193,07	137,07
Nudo n117	192,91	137,91
Nudo n118	192,88	137,88
Nudo n119	192,85	137,85
Nudo n120	191,99	137,99
Nudo n121	191,95	140,95
Nudo n122	191,90	143,90
Nudo n123	191,88	144,88
Nudo n124	191,09	146,09
Nudo n125	191,02	151,02
Nudo n126	164,67	124,67
Nudo n127	164,65	124,65
Nudo n128	164,59	124,59
Nudo n129	164,48	125,48
Nudo n130	164,45	127,45
Nudo n131	164,36	124,36
Nudo n132	164,33	123,33
Nudo n133	164,28	121,28
Nudo n134	163,98	118,98
Nudo n135	162,51	119,51
Nudo n136	162,41	125,41
Nudo n137	162,37	128,37
Nudo n138	162,32	130,32
Nudo n139	161,64	133,64
Nudo n140	160,35	134,35
Nudo n141	159,76	136,76
Nudo n142	159,69	140,69
Nudo n144	159,09	140,09
Nudo n145	159,09	141,09
Nudo n146	159,09	142,09
Nudo n148	194,18	137,18

Fuente: propia

Aún estaría cumpliendo la tubería CPVC SDR13.5 para este escenario del sistema, entonces se mantiene el tipo de tubería para el sistema de agua caliente ya que logra llevar presiones de hasta 320psi y en este caso se tienen presiones de 266psi.

Para el segundo escenario de la red de bombeo se debe prever como si el flujo fuera de izquierda a derecha. Si se expone el caso hipotético de que la red llegara a fallar en algún punto, el flujo debe poder ir en la otra dirección, de manera que el abastecimiento de agua caliente no se vea alterado y los huéspedes del complejo puedan disfrutar de todas las comodidades que brinda el hotel. El siguiente escenario por modelar deberá tener la válvula al otro lado de la red, como se muestra a continuación en la figura 19.

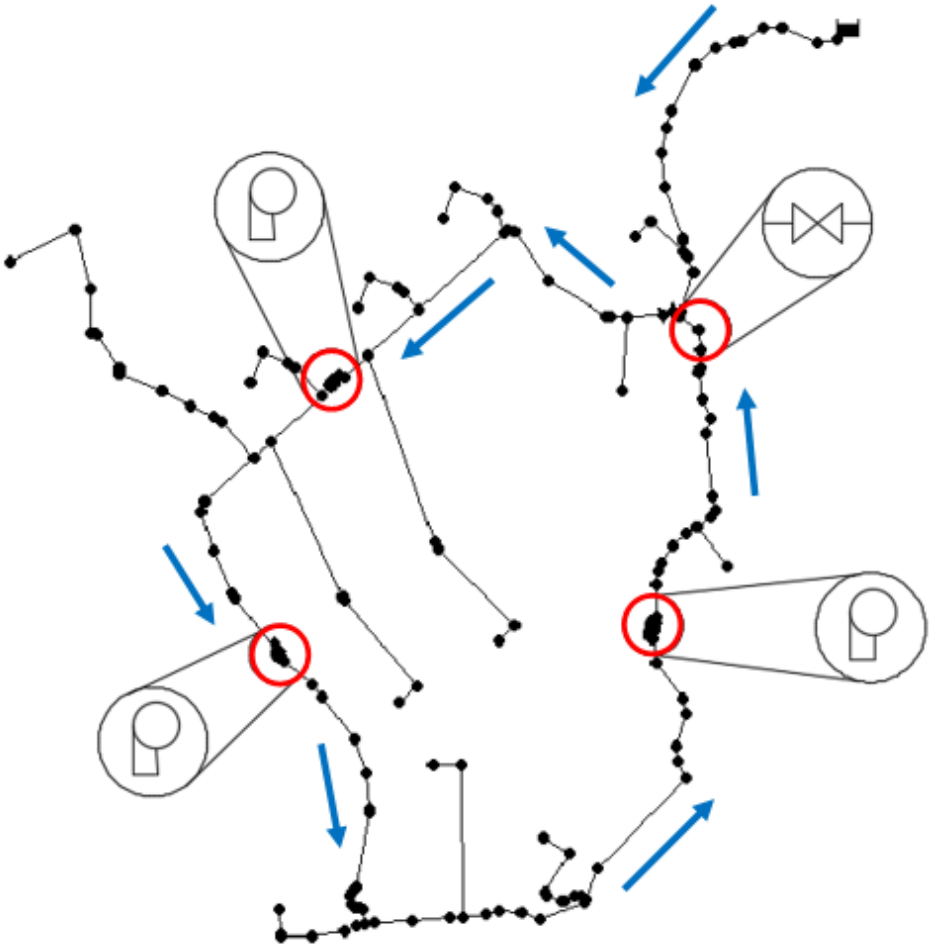


Fig. 19 Diagrama de dirección de flujo y elementos en la red de bombeo de agua caliente (Escenario 2)
Fuente: propia

Las bombas en línea se mantienen conectadas a la red de la misma manera siempre, es por esto que el flujo siempre irá en una dirección. Deberá hacerse un arreglo de tuberías en cada estación de manera que si este escenario llegara a darse, el sistema funcione en perfectas condiciones. El arreglo de estas estaciones se propone utilizando válvulas de tres

vías que puedan abrir o cerrar dependiendo de lo que se quiera lograr en el sistema; las mismas serían controladas por medio de un sistema remoto que pueda variarse desde la casa de máquinas del complejo. También se debe poseer válvulas reguladoras de presión y las tuberías necesarias para lograr que la dirección del flujo que pasa por las bombas siempre sea la misma.

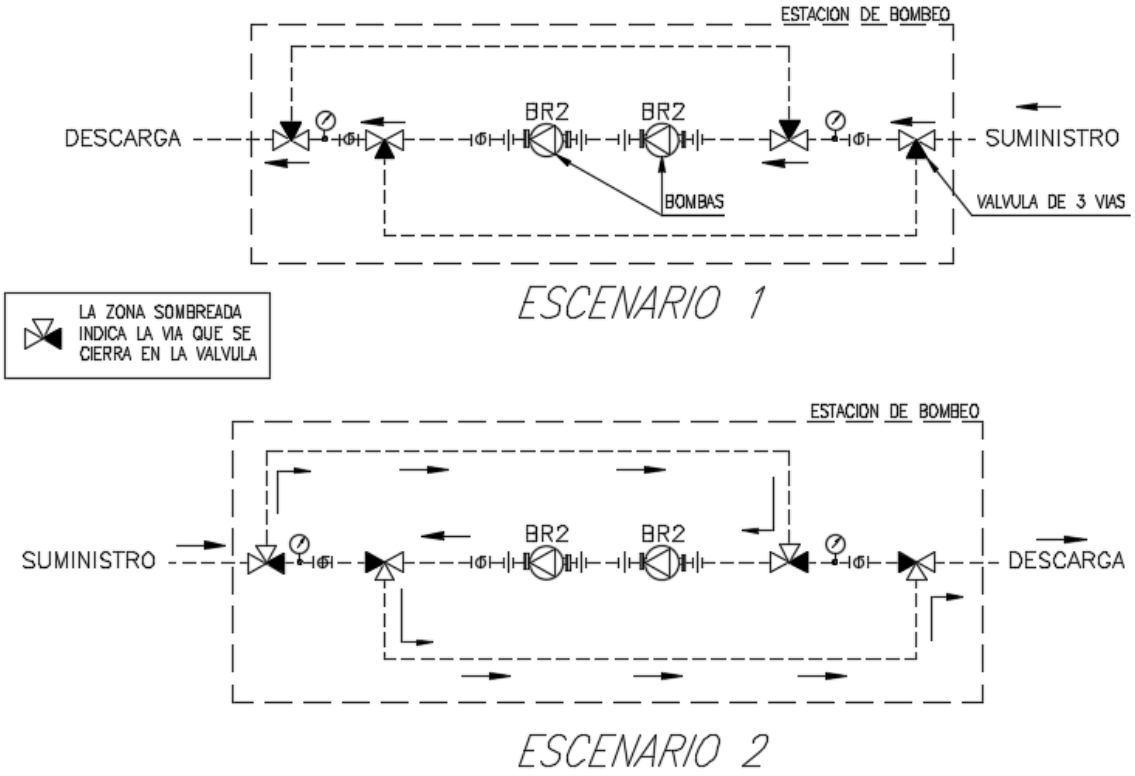


Fig. 20 Diagrama de dirección de flujo de las estaciones de bombeo
Fuente: propia

En este caso, la presión máxima en el sistema no es menor en comparación al escenario 1, siendo esta de 162,98,6mca, por lo que la tubería del diseño actual se mantiene en CPVC SDR13.5 para soportar las presiones que se están teniendo en el sistema, con esto puede decirse que esta tubería será la que se proponga en el diseño del sistema de agua caliente ya que puede soportar las presiones en los tres diferentes modelados que se realizaron del sistema de red de agua caliente.

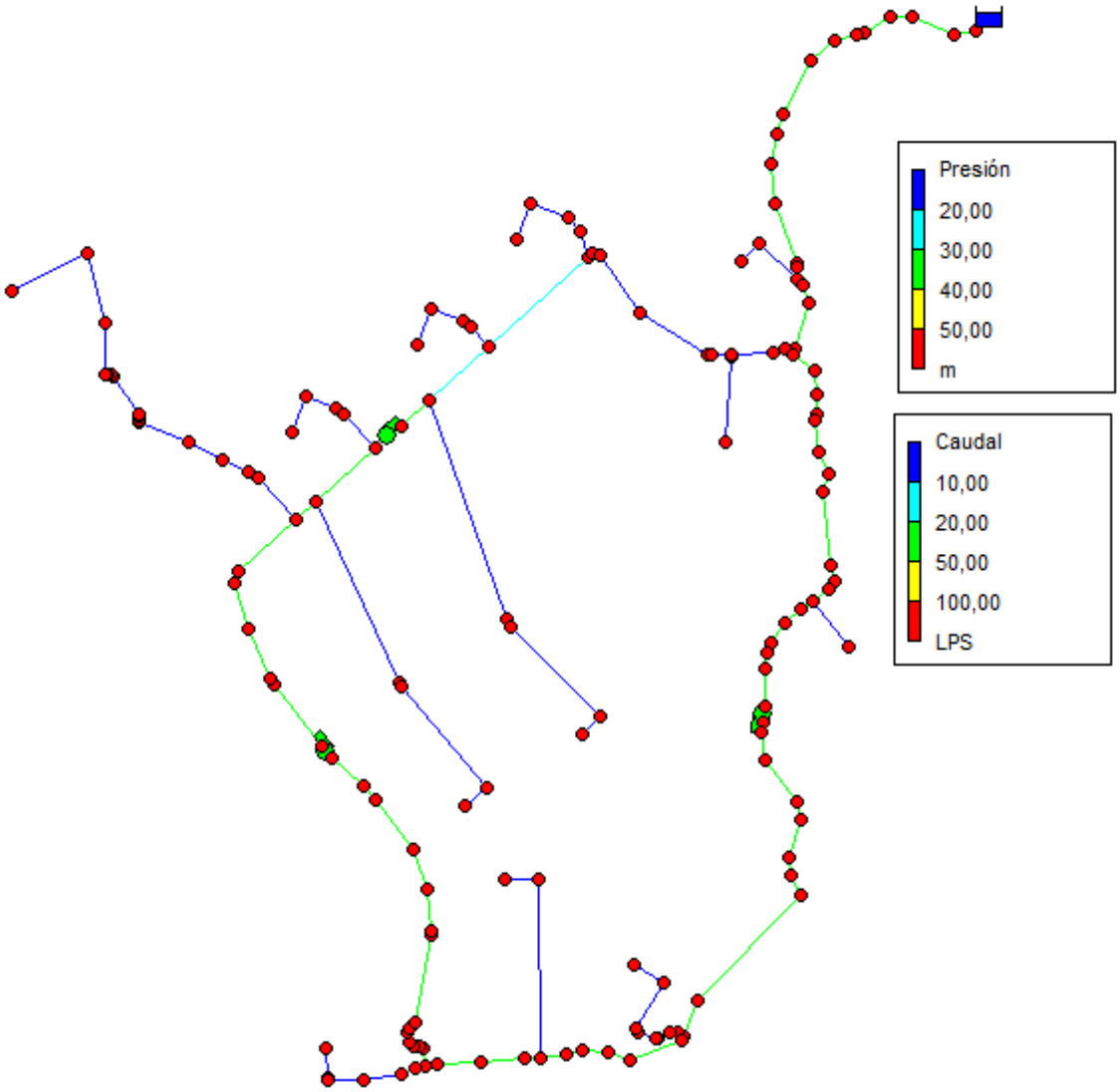


Fig. 21 Modelo esquemático de presiones de las tuberías de agua caliente de Vista Mar, con bombeo (Escenario 2)

Fuente: propia

Al igual que en el escenario anterior, se muestran a continuación cada uno de los nodos del sistema con sus respectivas presiones.

Tabla 34. Estados de los nodos de la red de agua caliente con bombeo (Escenario 2)

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Nudo n1	199,92	77,92
Nudo n2	198,86	76,86
Nudo n3	198,8	77,8

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Nudo n4	198,68	84,68
Nudo n5	198,61	89,61
Nudo n6	198,54	94,54
Nudo n7	198,51	95,51
Nudo n8	198,45	100,45
Nudo n9	198,37	104,37
Nudo n10	198,20	109,20
Nudo n11	197,15	109,15
Nudo n12	197,06	110,06
Nudo n13	196,95	110,95
Nudo n14	196,78	122,78
Nudo n15	196,77	123,77
Nudo n16	196,73	125,73
Nudo n17	195,02	137,02
Nudo n18	195,86	129,86
Nudo n19	195,90	126,90
Nudo n20	196,72	124,32
Nudo n21	196,71	127,31
Nudo n22	147,71	132,71
Nudo n23	147,71	130,71
Nudo n24	149,42	121,42
Nudo n25	149,42	122,42
Nudo n26	149,42	122,42
Nudo n27	149,42	120,42
Nudo n28	149,42	120,42
Nudo n29	149,42	120,42
Nudo n30	149,42	120,42
Nudo n31	149,42	120,42
Nudo n32	149,42	120,42
Nudo n33	149,42	119,42
Nudo n34	149,42	119,42
Nudo n35	149,42	119,42
Nudo n36	149,42	119,42
Nudo n37	149,42	118,42
Nudo n38	149,42	122,42
Nudo n39	149,42	122,42
Nudo n40	194,17	144,17
Nudo n41	194,17	134,17

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Nudo n42	152,22	109,22
Nudo n43	152,22	111,22
Nudo n44	152,22	112,22
Nudo n45	152,22	111,22
Nudo n46	152,22	111,22
Nudo n47	152,22	116,22
Nudo n48	152,22	117,22
Nudo n49	152,22	117,72
Nudo n50	152,22	120,72
Nudo n51	149,75	129,25
Nudo n52	149,76	126,26
Nudo n53	149,76	122,76
Nudo n54	148,88	119,88
Nudo n55	148,87	125,37
Nudo n56	148,87	125,37
Nudo n57	148,86	125,36
Nudo n58	148,86	128,36
Nudo n59	194,50	157,50
Nudo n60	194,48	159,98
Nudo n61	194,48	159,98
Nudo n62	194,48	159,98
Nudo n63	194,48	162,98
Nudo n64	148,48	125,48
Nudo n65	148,48	122,48
Nudo n66	148,49	122,49
Nudo n67	148,49	122,49
Nudo n68	148,49	113,49
Nudo n69	194,33	160,33
Nudo n70	194,33	157,33
Nudo n71	194,33	157,33
Nudo n72	194,34	157,34
Nudo n73	194,34	153,34
Nudo n74	194,25	147,25
Nudo n75	194,25	144,25
Nudo n76	194,25	144,25
Nudo n77	194,25	144,25
Nudo n78	194,26	134,26
Nudo n79	191,77	145,27

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Nudo n80	191,77	136,77
Nudo n81	147,72	128,72
Nudo n82	147,70	128,70
Nudo n83	147,69	128,69
Nudo n84	147,68	128,68
Nudo n85	147,67	128,67
Nudo n86	147,66	129,66
Nudo n87	147,65	128,65
Nudo n88	147,64	129,64
Nudo n89	147,64	129,64
Nudo n90	147,50	125,50
Nudo n91	147,50	125,50
Nudo n92	147,44	123,44
Nudo n93	147,37	120,37
Nudo n94	147,28	120,28
Nudo n95	147,25	120,25
Nudo n96	147,19	121,19
Nudo n97	150,3	124,3
Nudo n98	150,18	126,18
Nudo n99	150,17	126,17
Nudo n100	150,09	124,09
Nudo n101	150,02	123,02
Nudo n102	150,00	123,00
Nudo n103	194,23	133,23
Nudo n104	194,23	132,23
Nudo n105	194,22	131,22
Nudo n106	194,22	131,22
Nudo n107	194,22	132,22
Nudo n108	194,19	136,19
Nudo n109	194,18	136,18
Nudo n110	193,27	136,27
Nudo n111	193,22	136,22
Nudo n112	193,17	136,17
Nudo n113	192,26	135,26
Nudo n114	192,19	135,19
Nudo n115	192,13	135,13
Nudo n116	192,08	136,08
Nudo n117	191,91	136,91

ID Nudo	Altura (m)	Presión (m)
Nudo n118	191,87	136,87
Nudo n119	191,85	136,85
Nudo n120	190,91	136,91
Nudo n121	190,87	139,87
Nudo n122	190,81	142,81
Nudo n123	190,79	143,79
Nudo n124	189,94	144,94
Nudo n125	189,85	149,85
Nudo n126	153,82	113,82
Nudo n127	153,80	113,80
Nudo n128	153,74	113,74
Nudo n129	153,62	114,62
Nudo n130	153,58	116,58
Nudo n131	153,49	113,49
Nudo n132	153,45	112,45
Nudo n133	153,41	110,41
Nudo n134	153,08	108,08
Nudo n135	151,47	108,47
Nudo n136	151,36	114,36
Nudo n137	151,32	117,32
Nudo n138	151,27	119,27
Nudo n139	150,52	122,52
Nudo n140	149,11	123,11
Nudo n141	148,45	125,45
Nudo n142	148,38	129,38
Nudo n144	147,72	128,72
Nudo n145	147,72	129,72
Nudo n146	147,72	130,72
Nudo n148	194,18	137,18

Fuente: Propia

3.6 Ahorro energético

Al seleccionarse un nuevo modelo de bombas más eficiente es importante también escogerla de manera que se pueda tener un ahorro energético en comparación al sistema ya existente en el diseño que se propone mejorar, a continuación, se hace una comparación de ambas bombas.

El diseño inicial que se planteó mejorar con este proyecto contemplaba un sistema de bombeo ubicado en el edificio SB, donde se encuentran la mayoría de los equipos electromecánicos; el mismo sistema debe cumplir con las presiones que se ejercen en la tubería de agua caliente de todo el complejo de Vista Mar, por lo cual generaría la escogencia de cuatro bombas. En este sistema se plantea que deben estar trabajando 3 bombas al mismo tiempo y quedaría una de respaldo para que el sistema continúe trabajando en caso de que alguno de los equipos se dañe.

El modelo de esta bomba es CR 15-10 A-GJ-A-E-HQQE de Grundfos, la cual tiene una potencia nominal de 15kW y puede llevar una presión de 179mca a un caudal de 17,55L/s, que sería la demanda total para agua caliente del complejo, como se calculó anteriormente.

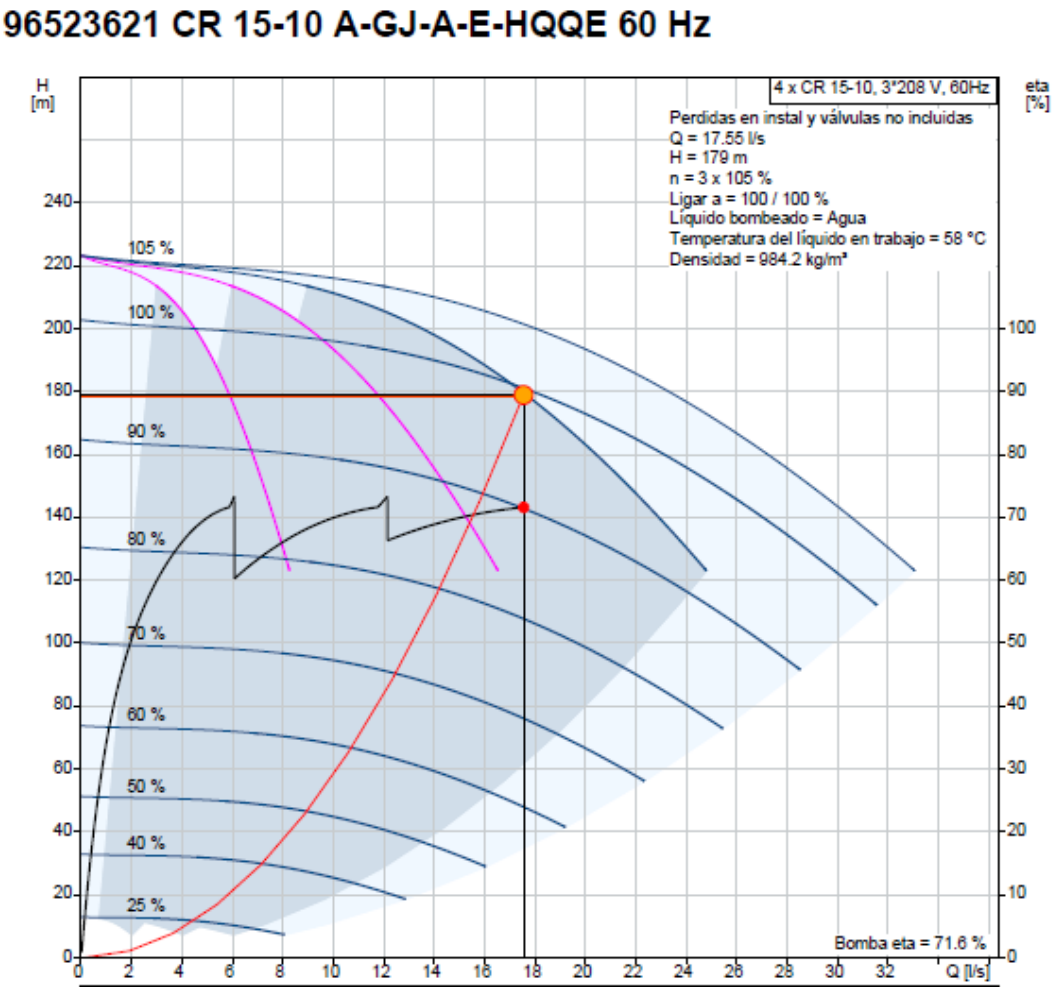


Fig. 22 Curva de operación de la bomba que distribuye a todo el complejo de Vista Mar

Algunos parámetros importantes que pueden obtenerse de la ficha técnica de esta bomba sería el consumo anual de energía que tiene este sistema de bombeo, así como las emisiones anuales de CO^2 que genera.

Tabla 35. Resultado energético de estación de bombeo única

Consumo de energía	54753 kWh/Año
Emisión CO^2	31200 kg/Año

Fuente: (Grundfos, 2018)

El tipo de bomba seleccionado para el sistema con tres estaciones de bombeo propuestos en este proyecto fue el modelo CR 64-2-1 A-G-A-E-HQQE, su curva de operación (como se mostró en la figura 16) es de 60mca para un caudal de 17,55L/s. Es menor, ya que las presiones se dividen por la cantidad de estaciones existentes.

Tabla 36. Resultado energético por estación de bombeo del diseño propuesto

Consumo de energía	17136 kWh/Año
Emisión CO^2	9770 kg/Año

Fuente: (Grundfos, 2018)

El consumo mostrado en la tabla anterior será para una sola estación de bombeo, esto quiere decir que el consumo y las emisiones de CO^2 deben ser multiplicados por la cantidad de estaciones de bombeo que se propusieron para que el cálculo sea real. En este caso se multiplicará por tres los valores de la tabla anterior para encontrar el resultado total del consumo de energía y las emisiones de CO^2 del diseño de agua caliente propuesto para la resolución de este proyecto, que contempla las tres estaciones de bombeo a lo largo del anillo de la tubería de infraestructura.

Tabla 37. Resultado energético total con tres estaciones de bombeo

Consumo de energía	51408 kWh/Año
Emisión CO^2	29310 kg/Año

Fuente: (Grundfos, 2018)

Esto quiere decir que, en un año el sistema propuesto en este proyecto tendrá un ahorro de energía de 3345 kWh en comparación al sistema único y también se dejará de emitir 1890 kg/año de CO^2 con la propuesta realizada en este proyecto.

Tabla 38. Resumen comparativo del consumo y emisión de CO^2 del sistema de bombeo único y el propuesto

	Consumo de Energía (kWh/Año)	Emisión CO^2 (kg/Año)
Estación Única	54753	31200
Propuesta	51408	29310
Diferencia	3345	1890

Fuente: propia

El costo tarifario estipulado por el Instituto Costarricense de Electricidad dicta que para consumos mayores a 3000 kWh en comercios y servicios el precio mensual será de 69.50 colones.

Tabla 39. Resumen monetario comparativo de consumo de energía

	Consumo de Energía (colones)
Estación Única	3 805 333,5
Propuesta	3 572 856,0
Diferencia	232 477,5

Fuente: propia

CONCLUSIONES

La diferencia de altura en el proyecto fue un determinante para el desarrollo de este proyecto, las presiones dentro del sistema claramente se vieron afectadas ante este factor, así como también las escogencias de equipos que tuvieran las propiedades adecuadas para mantener el sistema en correcto funcionamiento. Además, las solicitudes técnicas del complejo hotelero dejaban poco margen para distintas soluciones planteadas para el sistema de agua caliente.

A manera de propuesta para el diseño actual del proyecto, se realizaron tramos más cortos de la tubería de agua potable, así como una revisión de los diámetros de entrada de los tubos y en los cuales existió el caso de que en algunos edificios los diámetros eran menores. En cuanto a la tubería de agua caliente, se logró escoger un sistema de bombeo que tenía un menor gasto energético. También se lograron modelar los sistemas de agua potable y caliente con el fin de tener cálculos en un programa especializado en redes de tuberías para una mejor apreciación de las presiones del sistema, ya que el proyecto actual contaba solamente con el cálculo a través de memorias realizadas en programas como Excel.

Con este diseño se logró hacer un ejemplo práctico de una tubería de agua caliente en anillo con bombeo, además de los cálculos de caudal mediante el conteo de unidades accesorio, como lo solicita el código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones. Se mostró cómo colocar una curva de operación de la bomba dentro del programa EPANET, así como el uso de elementos varios para lograr diferentes escenarios en las redes de agua potable y caliente dentro de dicho programa.

RECOMENDACIONES

Un proyecto como éste puede ligarse con proyectos de electromecánica, así que se recomienda para futuros estudiantes que puedan tener interés en el proyecto, que se realicen más a fondo estudios del cálculo para intercambiadores de calor en una red de entrada a un edificio como regulador de presiones, ya que dicho tema puede ahondarse más con conocimientos de termodinámica.

Es importante analizar el comportamiento de los sistemas hidráulicos por medio de modelos virtuales con programas certificados, con el fin de obtener resultados más reales y de sencilla interpretación, para incorporarlos en los análisis de resultados de cualquier red que se quiera diseñar.

Se recomienda para el diseño actual del sistema de agua potable que viaja por gravedad, se considere la tubería SDR17 y no la SDR13.5, como se tiene especificado en planos, ya que la tubería en SDR17 puede llevar las presiones que demanda el sistema. La otra tubería también llevará bien las presiones, pero la holgura entre las presiones obtenidas en el sistema y las que puede soportar el tubo es muy amplia, así que se estaría usando un tubo que podría ser más costoso, lo que elevaría los costos del proyecto y además que está sobre dimensionado.

BIBLIOGRAFÍA

Arquitectos, C. F. (2017). *Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones* . Costa Rica: Imprenta Nacional.

Engineers, U. A. (1999). *Manual: Liquid Process Piping.* Washington : Department Of The Army.

Grundfos. (2018). *Grundfos America.* Obtenido de https://mx.grundfos.com/

Mataix, C. (1986). *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas* (Segunda Edición ed.). Madrid, España: Ediciones del Castillo, S.A.

McNaughton, K. (2016). *Bombas: Selección, uso y mantenimiento.* México: McGraw Hill.

Mott, R. L. (2006). *Mecánica de Fluidos* (Sexta ed.). México: Pearson Educación.

Mott, R. L. (2015). *Mecánica de Fluidos* (Séptima Edición ed.). Distrito Federal , México: Pearson Educación.

Rodríguez, Ó. (24 de mayo de 2013). *La Nación*. Recuperado en Abril de 2018, de https://www.nacion.com/archivo/comenzo-la-construccion-de-hotel-paradisus-papagayo/OONIXDM4GVBXXJNT3OZU4DABJQ/story/

Rossman, L. A. (2001). *EPANET 2, Manual del Usuario.* Cincinnati: United States Environmental Protection Agency.

Sunvesta. (2017). *Hotel Paradisus Papagayo Bay*. Recuperado en Abril de 2018, de http://www.sunvesta.com/es/

ANEXOS

GRUNDFOS

Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 09/09/2018

Posición	Contar	Descripción
	4	**CR 16-10 A-GJ-A-E-HQQE**

Código: 96523621
Bomba centrífuga vertical, no autocebante, multicelular, en línea para instalación en sistemas de tuberías y montaje en una base.

La bomba tiene las siguientes características:
- Longitud de montaje del cierre según EN 12756.
- Transmisión de energía mediante acoplamiento ranurado de fundición.

El motor es un motor CA 3-fásico.

Paneles control:
Frequency converter: NONE

Líquido:
Líquido bombeado: Agua
Rango de temperatura del líquido: -20 .. 120 °C
Liquid temperature during operation: 58 °C
Densidad: 984.2 kg/m³
Viscosidad cinemática: 1 mm2/s

Técnico:
Caudal real calculado: 17.55 l/s
Caudal nominal: 5.694 l/s
Altura resultante de la bomba: 179 m
Pump orientation: Vertical
Shaft seal arrangement: Single
Code for shaft seal: HQQE
Approvals on nameplate: CURUS
Curve tolerance: ISO9906:2012 3B

Materiales:
Base: Cast iron
EN 1561 EN-GJL-200
ASTM A48-25B
Impulsor: Stainless steel
Impeller: EN 1.4301
Impulsor: AISI 304
Bearing: SIC

Instalación:
Temperatura ambiental máxima: 40 °C
Presión de trabajo máxima: 25 bar
Presión máxima a la temp. declarada: 25 bar / 120 °C
25 bar / -20 °C

GRUNDFOS

Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 09/09/2018

Posición	Contar	Descripción
		Type of connection: ANSI / JIS Size of inlet connection: DN 50 Dimensión aspiración: 2 inch Size of outlet connection: DN 50 Dimensión descarga: 2 inch Pressure rating for pipe connection: PN 25 Flange rating inlet: 300 lb Flange size for motor: 254TC **Datos eléctricos:** Motor standard: NEMA Tipo de motor: Baldor Clase eficiencia IE: NEMA Premium / IE3 60Hz Potencia nominal - P2: 15 kW Potencia (P2) requerida por la bomba: 15 kW Frecuencia de alimentación: 60 Hz Tensión nominal: 3 x 208-230/460 V Factor de trabajo: 1.15 Corriente nominal: 48-44/22 A Velocidad nominal: 3540 rpm Número de polos: 2 Grado de protección (IEC 34-5): 54 Dust/Splashing Clase de aislamiento (IEC 85): F **Otros:** Net weight: 194 kg Gross weight: 246 kg Shipping volume: 0.619 m3 Country of origin: DK Custom tariff no.: 0000.00.00.000A

GRUNDFOS

Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 09/09/2018

Posición	Contar	Descripción
	2	**CR 64-2-1 A-G-A-E-HQQE**

Código: 96418860
Bomba centrífuga vertical, no autocebante, multicelular, en línea para instalación en sistemas de tuberías y montaje en una base.

La bomba tiene las siguientes características:
- Longitud de montaje del cierre según EN 12756.
- Transmisión de energía mediante acoplamiento ranurado de fundición.

El motor es un motor CA 3-fásico.

Paneles control:
Frequency converter: NONE

Líquido:
Líquido bombeado: Agua
Rango de temperatura del líquido: -30 .. 120 °C
Liquid temperature during operation: 58 °C
Densidad: 984.2 kg/m³
Viscosidad cinemática: 1 mm2/s

Técnico:
Caudal real calculado: 17.55 l/s
Caudal nominal: 21.39 l/s
Altura resultante de la bomba: 60 m
Pump orientation: Vertical
Shaft seal arrangement: Single
Code for shaft seal: HQQE
Approvals on nameplate: CURUS,NSF61
Curve tolerance: ISO9906:2012 3B

Materiales:
Base: Cast iron
EN 1563 EN-GJS-500-7
ASTM A536 80-55-06
Impulsor: Stainless steel
Impeller: EN 1.4301
Impulsor: AISI 304
Bearing: SIC
Support bearing: Grafion

Instalación:
Temperatura ambiental máxima: 40 °C
Presión de trabajo máxima: 16 bar
Presión máxima a la temp. declarada: 16 bar / 120 °C

GRUNDFOS

Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 09/09/2018

Posición	Contar	Descripción

16 bar / -30 °C

Type of connection:	ANSI
Dimensión aspiración:	4 inch
Dimensión descarga:	4 inch
Pressure rating for pipe connection:	PN 16
Flange rating inlet:	150 lb
Flange size for motor:	254TC

Datos eléctricos:

Motor standard:	NEMA
Tipo de motor:	Baldor
Clase eficiencia IE:	NEMA Premium / IE3 60Hz
Potencia nominal - P2:	15 kW
Potencia (P2) requerida por la bomba:	15 kW
Frecuencia de alimentación:	60 Hz
Tensión nominal:	3 x 208-230/460 V
Factor de trabajo:	1.15
Corriente nominal:	48-44/22 A
Velocidad nominal:	3540 rpm
Número de polos:	2
Grado de protección (IEC 34-5):	54 Dust/Splashing
Clase de aislamiento (IEC 85):	F

Otros:

Net weight:	211 kg
Gross weight:	220 kg
Shipping volume:	0.82 m3
Country of origin:	US
Custom tariff no.:	0000.00.00.000A

Durman®

FT Tubería Tipo SDR

Descripción

Tubería de PVC para conducción de agua potable.

Presentación

Tubería PVC

Diámetros de ½ a 18 pulgadas

Empaque Rieber incorporado o campana cementada

La presión de trabajo varía de acuerdo al SDR

Norma de referencia ASTM D 2241

Aplicaciones y consideraciones básicas

- Este producto es utilizado solamente para sistemas de distribución agua.
- No es apto para la distribución de gases o aire comprimido.

Normas de producto

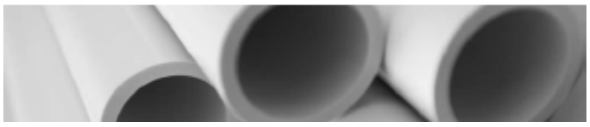
- Norma ASTM D 2241
- NSF STD 14-61 (si el cliente lo requiere)

Características generales

- Fácil instalación
- Químicamente inerte
- No produce olores ni sabores
- Libres de plomo
- Apariencia uniforme

Especificaciones tubería PVC ASTM D 2241

Diam. Nom.	Diámetro Promedio Externo	Espesor mínimo de pared (mm) (Tolerancia positiva equivalente al 6% del espesor mínimo)					
	(mm)	SDR 41	SDR 32,5	SDR 26	SDR 21	SDR17	SDR 13,5
12	21,34±0,10	...	...	...	...	...	1,57+0,09
18	26,67±0,10	...	...	...	1,52+0,09	1,57+0,09	1,98+0,12
25	33,40±0,13	...	...	1,52+0,09	1,60+0,10	1,96+0,12	2,46+0,15
31	42,16±0,13	1,18+0,07	1,52+0.09	1,63+0,10	2,01+0,12	2,49+0,15	3,12+0,19
38	48,26±0,15	1,18+0,07	1,52+0,09	1,85+0,11	2,29+0,14	2,84+0,17	3,58+0,21
50	60,32±0,15	1,47+0,09	1,85+0,11	2,31+0,14	2,87+0,17	3,56+0,21	4,47+0,27
62	73,02±0,18	1,78+0,11	2,24+0,13	2,79+0,17	3,48+0,21	4,29+0,26	5,41+0,32
75	88,90±0,20	2,16+0,13	2,74+0,16	3,43+0,21	4,24+0,25	5,23+0,31	6,58+0,39
100	114,30±0,23	2,79+0,17	3,51+0,21	4,39+0,26	5,44+0,33	6,73+0,40	8,46+0,51
150	168,28±0,28	4,11+0,25	5,18+0,31	6,48+0,39	8,03+0,48	9,91+0,59	12,47+0,75
200	219,08±0,38	5,33+0,32	6,73+0,40	8,43+0,51	10,41+0,62	12,90+0,77	...
250	273,05±0,38	6,65+0,40	8,41+0,50	10,49+0,63	12,98+0,78	16,05+0,96	...
300	323,85±0,38	7,90+0,47	9,96+0,60	12,45+0,75	15,39+0,92	19,05+1,14	...
375	388,62±0,41	9,47+0,57	11,96+0,72	14,94+0,90	18,49+1,11	...	...
450	457,20±0,48	11,15+0,67	14,07+0,84	17,58+1,05	21,77+1,31	26,90+1,61	...

Presión nominal de trabajo a 23 °C

	SDR 41	SDR 32,5	SDR 26	SDR 21	SDR17	SDR 13,5
psi	100	125	160	200	250	315
Kg/cm^2	7,03	8,93	11,25	14,06	17,58	22,15
kPa	690	862	1103	1379	1724	2172