



República de Cuba
Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Departamento de Mecánica

Trabajo de Diploma

En opción al Título de Ingeniero Mecánico

*Título: Estudio de la red hidráulica de la
residencia estudiantil del Instituto Superior
Minero Metalúrgico de Moa.*

Autor: Yunior Ramírez Leyet.

Tutor: Ms.c Rodney Martínez Rojas

Moa /2012

“Año 54 de la Revolución”



Declaración de Autoridad

Yo, Yunion Ramírez Leyet, autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero – Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Yunion Ramírez Leyet

Ms.C Rodney Martínez Rojas



DEDICATORIA

Agradezco enormemente a mis tutores Ms. c. Rodney Martínez Rojas por apoyarme en el transcurso de la realización de este trabajo así como a los profesores del Departamento de Mecánica por los conocimientos impartidos a lo largo de la carrera.

A mis padres Roberto Ramírez Tito y Hilda Rosa Leyet Anache, por su total entrega para poder llegar a ser un profesional de valores éticos.

A mis amigos: Félix Labañino Jiménez, Félix Gonzalo Bandera, Gilberto Matos Cause, Oscar Luis Duran Bilche, Dainis E. Leyva Legrá, Wilquer Borges, Rolando Cedeño, José E. Saavedra Galano, Benito Matos, Ramiro Alejandro Naranjo.

A mi hermanita Yusaima Ramírez Leyet, que ha sido motivo de mi inspiración en el transcurso de mis estudios.

A mis amistades y compañeros de escuela que con su apoyo desinteresado han contribuido a que alcanzara esta meta.

A todos mis seres queridos:

Muchas gracias.

El autor



Pensamientos

El socialismo es inconcebible sin técnicas edificadas según las últimas palabras de las más nuevas ciencias. Sin una organización estatal planificada, que subordine a decenas de millones de personas a una rigurosa observancia de una norma única en lo concerniente a la producción y distribución de los productos.

“Vladimir Iich Lenin”

La ciencia es buena porque nos ayuda a distinguir por medio de la acción lo posible de lo imposible y nos liberta de la sabiduría y la ignorancia.

“Anatoli France”



AGRADECIMIENTOS

Agradezco enormemente a mi tutor Ms. C. Rodney Martínez Rojas por apoyarme en el transcurso de la realización de este trabajo así como a los profesores del Departamento de Mecánica por los conocimientos impartidos a lo largo de la carrera.

A mis padres, por su total entrega para poder llegar a ser un profesional de valores éticos, a mi hermana, y familia en general, por el apoyo brindado y por siempre estar dispuestos a ayudarme.

A mis amistades y compañeros de escuela que con su apoyo desinteresado han contribuido a que alcanzara esta meta.

A todos mis seres queridos:

Muchas gracias.

El autor



Resumen

El presente trabajo de diploma viene condicionado por problemas surgidos en la red hidráulica del ISMM con el desconocimiento de los parámetros de trabajo de la bomba. Se realiza una búsqueda bibliográfica en correspondencia con el tema, dando lugar a muy escasos trabajos los cuales no se encuentran muy bien argumentados.

Se efectuó una breve descripción de la red hidráulica del sistema de la entidad antes mencionada, también se mencionan algunas de las propiedades del fluido. Se utilizó el Software WaterCad para la evaluación de los parámetros de trabajo de la red de agua.

Luego se realizó el análisis de los resultados obteniendo cuales son los locales de mayor demanda de agua y posteriormente se efectuó la valoración económica donde el costo que se emplearía para bombear el agua de la instalación es de 0,09 CUC/día con un gasto anual de 32.85 CUC/año.

ABSTRACT

The following diploma paper is conditioned by problems that came up in the hydraulic net of the ISMM without knowing the functioning of the bomb. It was also made a short description of the hydraulic system of the institution already mentioned.

It's used the software WaterCAD for the evolution of the functioning of the bomb. Then it was analysed the results obtaining which place of a great demand of water ever and later on was made an economic valuation where the cost that would be used to get the water to the institute is 0.09 CUC each day and 32.85a year.



ÍNDICE

CONTENIDO	Pág.
Introducción	1
Capítulo 1: Marco teórico de la investigación	4
1.1 Introducción	4
1.2 Antecedentes de la mecánica de los fluidos	4
1.3 Trabajos precedentes	8
1.4 Mecánica de los fluidos	10
1.4.1 Definición de fluido	10
1.4.2 Propiedades de los fluidos	11
1.5 Consideraciones generales de las redes de distribución de agua	14
1.6 Filosofía del WaterCAD	17
1.7 Conclusiones del capítulo 1	19
Capítulo 2 Materiales y métodos	20
2.1 Introducción	20
2.2 Descripción de la red hidráulica del área de residencia estudiantil	20
2.3 Información básica para el diseño y revisión de una estación de bombeo	21
2.4 Metodología para obtención de la curva característica del sistema de agua	22
2.4.1 Metodología de cálculo según WaterCad	22
2.5 Implementación del método utilizado por WaterCad	24
2.6. Cavitación en bombas centrífugas	32
2.7 Materiales empleados para las mediciones	33
2.7.1 Funcionamiento y utilización de cada material	33
2.8 Conclusiones del capítulo 2	34
Capítulo 3 Análisis de los resultados	35
3.1 Introducción del capítulo	35
3.2 Trazado de la red del área de residencia estudiantil del ISMM	35
3.3 Resultados obtenidos a partir del WaterCAD	36
3.3.1 Resultados de la bomba	36
3.3.2 Resultados de la simulación de las válvulas	38
3.3.3 Resultados de la simulación en las tuberías	38
3.4 Resultados de la demanda base y presión	39
3.5 Valoración económica	40



3.6 Medidas para la protección y seguridad de los trabajadores y la instalación	41
3.7 Conclusiones del capítulo 3	42
Conclusiones Generales	43
Recomendaciones	44
Bibliografías	45
Anexos	



INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento de mucho valor para el ser humano, ya que define las condiciones higiénicas, alimentarias y las posibilidades del desarrollo económico y social de un país o región.

Como es conocido por todo el universo, desde la existencia de todo ser viviente, siempre ha sido el agua uno de los recursos naturales más necesarios para el desarrollo vital.

Sólo que para algunas especies, el agua constituye una de esas necesidades que diariamente se ha de salir a buscar. No siendo así en lo correspondiente a la especie humana, ya que el hombre con uso y desarrollo evolutivo de su capacidad e inteligencia y a través de diferentes vías y formas ha sido capaz de llevar este apreciado recurso hasta lugares y puntos que satisfacen sus necesidades y deseos, haciendo de esta forma más cómoda y agradable su existencia.

La tierra como planeta del sistema solar que viaja en el espacio tiene una cantidad muy limitada de agua para ser usada por los humanos, de dañarla de forma irreversible, la humanidad no tendría alternativa de solución, no existe en el sistema una fuente de la cual podemos tomar. Por eso la importancia de usarla muy inteligentemente, no sobrepasando los consumos reales que requieren cada servicio, lo cual constituye un derroche innecesario y trabajando por eliminarle las contaminaciones severas que en ocasiones el hombre en su uso le impone.

El manejo y la explotación del agua deben realizarse en el más bajo nivel apropiado, utilizando enfoques participativos y basados en la demanda. Para ello es imprescindible involucrar a todas las partes interesadas (usuarios, planificadores, políticos y otros) en las decisiones.

El agua debe ser considerada como un bien social y económico; debe manejarse en un marco integrado, amplio, tratando de tener en cuenta e interrelacionando las consideraciones de los distintos sectores involucrados.



Cuba como isla no dispone de grandes fuentes de agua potable. En los últimos años en nuestro país se dan severas sequías que agotan las reservas de agua para la alimentación animal y la satisfacción de las necesidades poblacionales. Esta situación que debía preocuparnos y llevar a un intenso trabajo de conservación, preservación y racionalidad en el uso, teniendo como contraste la persistencia del hombre a continuar derrochando este escaso recurso.

Una de las utilidades más importantes que el hombre le ha dado al agua es el uso industrial, y una de las formas y vías con la que ha logrado llevar el agua de un punto a otro es a través de las redes de distribución, que por supuesto conectadas a distintos tipos de suministradores, como puede ser un tanque elevado cuando se hace uso de la aceleración de la gravedad o un equipo de bombeo cuando se hace necesario adicionarle energía al agua para su posterior traslado al punto indicado.

Desde los años sesenta del siglo pasado se inició en Cuba el desarrollo de las estrategias para la gestión del agua, con la creación del Instituto de Recursos Hidráulicos, el fortalecimiento de la infraestructura hidráulica, la formación de recursos humanos capacitados y la creación de las bases legales y normativas para la administración de las aguas terrestres, con la participación de otros organismos del estado cubano.

Los Recursos Hídricos Potenciales en Cuba alcanzan los 38 100 hm³, de los cuales 31 700 hm³ corresponden a las aguas superficiales, para un 83 % y 6 400 hm³ (17 %) a las aguas subterráneas, de este potencial total se ha evaluado al nivel de esquema como Recursos Hídricos Aprovechable 24 000 hm³, 18 000 hm³ superficiales y 6 000 hm³ subterráneas.

El Segundo Informe sobre Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo del 2006, alerta sobre la carencia de este servicio básico, vinculada a la mala gestión del agua, a la corrupción, a la poca creación de capacidades humanas y la escasez de las infraestructuras físicas (Pérez, 2001).

Y es precisamente este uso y esta forma de distribución del agua a la que se hace referencia en este trabajo.



Situación problemática:

Alto consumo del sistema de bombeo del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Perdidas hidráulicas por avería en la red hidráulica del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Desconocimiento de los parámetros de trabajo de la bomba. Insuficiente conocimiento sobre el trazado de la red hidráulica que bástese el área de residencia estudiantil del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

Problema:

Insuficiente conocimiento sobre los parámetros de gasto y consumo del área de residencia del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

Objeto de estudio:

Red hidráulica del área de residencia estudiantil del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

Hipótesis:

El conocimiento de las condiciones de trabajo de la red hidráulica del área de residencia estudiantil del instituto superior minero metalúrgico, permitirá obtener parámetros adecuados de trabajo del sistema y la disminución de portadores energéticos en el bombeo de agua en el área de objeto de estudio.

Objetivo general:

Analizar los parámetros de diseño de la red hidráulica del área de residencia del ISMM mediante el uso del software WaterCAD.

Tareas del trabajo:

- Realizar una búsqueda bibliográfica sobre la temática objeto de estudio.
- Establecimiento del trazado de la red hidráulica del área de residencia estudiantil del ISMM.
- Calculo de los parámetros de trabajo del sistema para la red hidráulica dada, mediante el uso del software WaterCAD.
- Establecer una metodología para el cálculo de la red hidráulica
- Análisis de los resultados obtenidos valoración económica e impacto medio ambiental.



CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

1.1 Introducción

El marco teórico del objeto de estudio, permite detectar de forma preliminar, las diferentes características y deficiencias que existen entre las investigaciones realizadas, las teorías existentes y los múltiples elementos que están presentes en la investigación. En tal sentido el **objetivo** del capítulo es:

Establecer el estado del arte, a partir de la revisión bibliográfica relacionada al tema de instalaciones de redes hidráulicas.

1.2 Antecedentes de la mecánica de los fluidos

El deseo del hombre de comprender los fenómenos en los fluidos, surgió cuando tuvo problemas de suministro de agua, de irrigación, de navegación y de energía hidráulica. Con sólo una rudimentaria apreciación de la física de los fluidos, cavó pozos, construyó canales, operó ruedas hidráulicas y dispositivos de bombeo rudimentarios y, al aumentar el tamaño de sus ciudades, construyó acueductos cada vez más grandes, los que alcanzaron su mayor dimensión y grandeza en la ciudad de Roma. Pero, a excepción de las ideas de Arquímedes (287-212 A. de J.C.) sobre los principios de flotación, en la mecánica de fluidos moderna aparece muy poco del escaso conocimiento de los antiguos.

Un fluido newtoniano es una sustancia que se deforma continuamente cuando se somete a un esfuerzo cortante sin importar que tan pequeño sea. Un esfuerzo cortante es la componente de fuerza tangente a una superficie, y esta fuerza dividida por el área de la superficie, es el esfuerzo cortante promedio sobre dicha superficie (Ravinovich, 1986; Nekrasov, 1990; Gerhart and Gross, 1992, 1995; Kuttz, 1995; Robert and McDonald, 1995; Streeter et al., 2000; Martínez et al., 2007).

Después de la caída del Imperio Romano (476 D. de J.C.) no existe, hasta la época de Leonardo da Vinci (1452-1519), registro alguno de progreso en la mecánica de fluidos. Este gran genio proyectó y construyó la primera esclusa de cámaras para un canal, cerca de Milán, e introdujo una nueva era en la ingeniería hidráulica; estudió también el



vuelo de las aves y desarrolló algunas ideas sobre el origen de las fuerzas que soportaban a éstas en el aire. Sin embargo, hasta la época de Leonardo, los conceptos sobre el movimiento de los fluidos deben considerarse más como un arte que como una ciencia. Después de la época de Leonardo, la acumulación de conocimiento sobre hidráulica creció rápidamente, siendo sobresalientes las contribuciones de Galileo, Torricelli, Mariotte, Pascal, Newton, Pitot, Bernoulli, Euler y D'Alembert a los principios básicos de la ciencia. Aunque las teorías propuestas por estos científicos se confirmaban en general por experimentos rudimentarios, las divergencias entre la teoría y la realidad condujeron a D'Alembert a declarar en 1744, "La teoría de los fluidos deberá basarse necesariamente en la experimentación". D'Alembert demostró que no existe resistencia al movimiento de un cuerpo cuando éste se mueve a través de un fluido ideal (no viscoso o invíscido), pero es obvio que esta conclusión no puede aplicarse a los cuerpos que se mueven a través de fluidos reales.

Esta discrepancia entre la teoría y el experimento, que se denominó la paradoja de D'Alembert, ha sido ya resuelta. No obstante, demuestra con claridad las limitaciones de la teoría de esa época para la resolución de problemas sobre fluidos. Con motivo del conflicto entre la teoría y la experimentación, surgieron dos escuelas de pensamiento para el estudio de la mecánica de los fluidos, una que trataba acerca de los aspectos teóricos y otra acerca de los aspectos prácticos del flujo de los fluidos. En cierto sentido, estas escuelas de pensamiento han subsistido hasta la actualidad, lo que ha tenido como resultado el campo matemático de la hidrodinámica, y la ciencia práctica de la hidráulica.

Fueron también muy importantes los trabajos en la segunda mitad del siglo XVIII desarrollado por Daniel Bernoulli, Leonardo Euler y Antoine de Chezy. Bernoulli formuló la ley fundamental que relaciona la presión, la velocidad y la posición de una partícula de un fluido en movimiento. Chezy suministró la fórmula básica para hallar la velocidad de una corriente de acuerdo con el radio hidráulico y la pendiente. Euler desarrolló las ecuaciones matemáticas que sirven de base a la mecánica de los fluidos.

Desde fines del siglo XVIII y a lo largo del siglo XIX, la hidráulica se ve enriquecida por los estudios teóricos y experimentales de Henri Darcy, por su discípulo y continuador H.



Bazin y por el médico Jean Poiseuille, interesado en la circulación de la sangre lo que lo llevó al campo de la hidráulica. Además de los científicos anteriores que desarrollaron sus trabajos en Francia, sobresalieron también en Alemania Julios Weibach y Gottlieb Hagen. Durante esa época, y en el aspecto teórico se destacan los científicos Lagrange, Helmholtz, Saint-Venatt, Venturi Pitot entre otros.

A fines del anterior periodo y a lo largo de los primeros años del siglo XX, se amplía el conocimiento hidráulico al incluirse los efectos de la viscosidad de los fluídos y se desarrolla la teoría de modelos, lo que permite una amplia gama de estudios experimentales. Esta época está asociada con los nombres de George Stokes y Osborne Reynolds en Inglaterra, N. Jukovski y B. A. Bakhmentev en Rusia, G. di Marchi y L. Allievi en Italia, D. Thomas y Th. Rehbock en Alemania, J. Bousinesq y M. Michaud en Francia y J. B. Francis en Estados Unidos.

Antes del principio de siglo XX, se hicieron notables contribuciones a la hidrodinámica teórica, por Euler, D'Alembert, Navier, Coriolis, Lagrange, Saint-Venant, Stokes, Helmholtz, Kirchhoff, Rayleigh, Rankine, Kelvin y Lamb. En un sentido amplio, la hidráulica experimental llegó a ser el estudio de los fenómenos de flujo ocurientes en orificios, tubos y canales abiertos. Entre los muchos investigadores precursores que dedicaron sus energías a la iniciación de este campo, se encuentran Chezy, Bosut, Borda, Du Boat, Coulomb, Venturi, de Prony, Eytelwein, Bidone, Belanger, Hagen y Poiseuille. A mediados del siglo anterior, Navier y Stokes tuvieron éxito al modificar las ecuaciones generales del movimiento de un fluido ideal para adaptarlas a las de un fluido viscoso y, al hacerlo así, demostraron la posibilidad de explicar las diferencias entre la hidráulica y la hidrodinámica. Casi al mismo tiempo, los estudios teóricos y experimentales sobre el movimiento de vórtice y sobre el flujo separado, hechos por Helmholtz y Kirchhoff, ayudaban a explicar muchos de los resultados divergentes entre la teoría y el experimento.

Mientras tanto, continuaba progresando la investigación hidráulica y se acumularon grandes cantidades de excelente información o se propusieron fórmulas por Darcy, Bazin, Weisbach, Ganguillet, Kutter, Manning, Francis y otros. Desafortunadamente, las investigaciones conducían con frecuencia a fórmulas empíricas obtenidas por él sólo



ajuste entre gráficas e información experimental, o por la sola presentación de los resultados en forma tabular y en muchos casos, no era aparente la relación entre los hechos físicos y la fórmula resultante. Hacia fines del siglo pasado, surgieron nuevas industrias que demandaron información sobre el flujo de fluidos diferentes al agua; este hecho, aunado a los muchos adelantos significativos en el conocimiento, tendió a detener el empirismo en la hidráulica. Estos adelantos fueron: (1) las investigaciones teóricas y experimentales de Reynolds; (2) el desarrollo, por Rayleigh, del análisis dimensional; (3) el uso de modelos en la solución de problemas sobre fluidos, por Froude, Reynolds, Vernon-Harcourt, Fargue y Engels; y (4) el rápido progreso de la aeronáutica teórica y experimental, debido a los estudios de Lanchester, Lilienthal, Kutta, Joukowsky, Betz y Prandtl. Estos adelantos proporcionaron nuevas herramientas para la solución de problemas, y dieron nacimiento a la moderna mecánica de fluidos.

La contribución singular más importante fue hecha por Prandtl, cuando en 1904 introdujo el concepto de la capa límite. En su corto pero descriptivo documento, Prandtl proporcionó, de una sola vez, un eslabón esencial entre los movimientos ideal y real de los fluidos de baja viscosidad (por ejemplo, el agua) y suministró la base de una gran parte de la mecánica de fluidos moderna. En el siglo XX ha decaído el empirismo puro, y los problemas sobre fluidos se han resuelto mejorando constantemente los métodos racionales; estos métodos han producido muchos resultados fructíferos y han colaborado al conocimiento creciente de los detalles de los fenómenos en los fluidos. Otra tendencia persistente es la del surgimiento de complejidades cada vez mayores y de más grandes desafíos en los problemas sobre fluidos. Subsisten los problemas sobre suministro de agua, irrigación, navegación y energía hidráulica, pero ahora a una escala nunca imaginada por los ciudadanos de Roma pre cristiana.

En Cuba no comienza un desarrollo de los estudios hidráulicos sino hasta después de la revolución en que dichos estudios constituyen una de las bases principales del progreso científico técnico en Cuba. Sin embargo, en la época colonial, se debe recordar al ingeniero Francisco de Albear, proyectista y constructor del acueducto que surte de agua a nuestra capital y a los hidráulicos anónimos que durante dos siglos



desarrollaron el sistema de regadío conocidos como la comunidad de regante de Guines.

1.3 Trabajos precedentes

Los trabajos realizados por Nekrasov (1986), son de considerables aportes, los mismos abordan la temática relacionada con la teoría general de la hidráulica, en esta publicación existe una amplia conceptualización de las leyes y principios físicos relacionados con el transporte hidráulico y constituyen un pilar fundamental para la comprensión de la misma en sus más diversas formas, en este trabajo se exponen diferentes situaciones prácticas donde se vinculan los fenómenos de movimientos hidráulicos con los equipos e instalaciones existentes en las industrias metalúrgicas, así como, en otras empresas donde se aplica este método de transporte.

Welty, J. (1976) y Bandala, M. (2001), efectuaron una evaluación en una tubería recta en la que el flujo es del tipo laminar o viscoso, según estos autores la resistencia se origina por el esfuerzo tangencial o cortante de la viscosidad entre las láminas o capas adyacentes y las partículas que se mueven en recorridos paralelos con diferentes velocidades. Además plantean que en la pared de la tubería las partículas se adhieren a ella y no tienen movimiento; deducen que tanto las láminas como las partículas en movimiento en la tubería están sujetas a un esfuerzo cortante viscoso que la disminuye y la aproximan al centro de la tubería, por lo que la variación de la velocidad a través de la tubería, está totalmente determinado por el esfuerzo viscoso entre las capas.

Resulta muy importante el trabajo realizado por Karelin, B. (1975), el cual plantea que en las bombas centrífugas se puede dividir el fenómeno de la cavitación en 2 regímenes críticos. El primer régimen corresponde con el momento de inicio de la cavitación; en las curvas de cavitación este régimen se caracteriza por el inicio de la disminución de la carga y la eficiencia. El segundo régimen crítico corresponde con el momento de caída abrupta de los parámetros de trabajo de la bomba; en las curvas de cavitación este segundo régimen está caracterizado por la caída precipitada de los parámetros de la bomba. Las curvas características para analizar los 2 regímenes de cavitación es una dependencia de los parámetros: carga, eficiencia y potencia en función de la reserva cavitacional, curvas no divulgadas en los pasaportes de la



máquina. Este autor plantea además que el trabajo de las bombas en regímenes de cavitación no debe permitirse, porque afecta los parámetros de trabajo, daña el equipo y termina por destruirla, disminuye el rendimiento e incrementa el consumo energético y que en la succión de una bomba debe garantizarse una cantidad de energía crítica (carga efectiva Δh_s , por encima de la tensión de vapor), para vencer las resistencias hidráulicas en el tramo hasta los álabes del rodete; garantizando la velocidad y aceleración suficientes a la entrada del impulsor.

Pérez, R. (2000), analiza procedimientos que permiten valorar y consecuentemente elegir las bombas centrífugas a partir de los datos técnicos aportados por el fabricante. La cavitación es un fenómeno frecuente en el trabajo de estas máquinas, influye considerablemente en los indicadores técnicos - económicos y depende no sólo del sistema, sino también de la calidad del diseño y construcción del equipo. No menos importancia tienen los materiales con los que se construyen estos equipos. Además, en el año 2004 define que la reserva requerida de cavitación $NPSH_R$, es un parámetro que depende de las peculiaridades constructivas de la bomba y es mayor para bombas con el rodete en voladizo, que para las que tienen el rodete entre apoyos.

El coeficiente o factor de fricción es un parámetro de diseño importante al considerar las pérdidas de energía mecánica en el transporte de fluidos a través de tuberías, ya sea para evaluar la potencia necesaria, o para estimar el diámetro del conducto, entre otros aspectos (Ibarz et al., 2001), (Vélez, 2003). Este coeficiente de fricción puede obtenerse con la pérdida de presión que se da en un segmento de tubo y/o accesorio, o bien puede evaluarse por medio de modelos, o gráficas propuestas para tal propósito (Charm, 1971); (Foust et al., 1980); (Macedo, 2001). La información que existe ha sido desarrollada principalmente para fluidos de tipo newtoniano.

Quishpe (2005), realiza un análisis integral de todo el sistema de abastecimiento de agua del hospital Isidro Ayora, este análisis incluyó la determinación de las causas por las que se produce la presencia del choque Hidráulico en la instalación, elevado consumo energético del sistema hidráulico. Además de realizar un análisis para verificar si el sistema de tuberías es el adecuado y su distribución es la correcta.



1.4 Mecánica de los fluidos

La ciencia de la ingeniería de la mecánica de los fluidos se ha desarrollado gracias al entendimiento de las propiedades de los fluidos, a la aplicación de las leyes básicas de la mecánica y la termodinámica y a una experimentación ordenada. Sin importar su naturaleza, todas las situaciones de flujo pueden expresarse en forma analítica a partir de las relaciones siguientes (Marks, 1982; Ravinovich, 1986; Nekrasov, 1990; Gerhart and Gross, 1992, 1995; Kuttz, 1995; Robert and McDonald, 1995; Streeter et al., 2000; Martinez et al, 2007):

- Las leyes de movimiento de newton.
- La relación de continuidad (ley de conservación de la masa).
- La conservación de la masa aplicada a mezclas de componentes dentro del fluido.
- La primera y segunda leyes de la termodinámica.
- Las condiciones de frontera.

También pueden tenerse en consideraciones otras relaciones y ecuaciones, tales como una ecuación de estado o la ley de viscosidad de newton.

Un fluido newtoniano es una sustancia que se deforma continuamente cuando se somete a un esfuerzo cortante sin importar que tan pequeño sea. Un esfuerzo cortante es la componente de fuerza tangente a una superficie, y esta fuerza dividida por el área de la superficie, es el esfuerzo cortante promedio sobre dicha superficie.

1.4.1 Definición de fluido

Un fluido es una sustancia que puede fluir. Una definición más formal es: “un fluido es una sustancia que se deforma continuamente cuando se le somete a un esfuerzo cortante, sin importar lo pequeño que sea dicho esfuerzo”. Así, un fluido es incapaz de resistir fuerzas o esfuerzos de cizalla sin desplazarse, mientras que un sólido sí puede hacerlo.

El término fluido incluye a gases y líquidos. Hay fluidos que fluyen tan lentamente que se pueden considerar sólidos (vidrio de las ventanas o el asfalto). Un líquido está sometido a fuerzas intermoleculares que lo mantienen unido de tal forma que su



volumen es definido pero su forma no. Un gas, por otra parte, consta de partículas en movimiento que chocan unas con otras y tratan de dispersarse de tal modo que un gas no tiene forma ni volumen definidos y llenará completamente cualquier recipiente en el cual se coloque.

1.4.2 Propiedades de los fluidos

Los fluidos son sustancias que se adaptan a la forma de los recipientes que los contienen. Cuando están en equilibrio no pueden soportar fuerzas tangenciales o cortantes. Todos los fluidos son compresibles en cierto grado y ofrecen poca resistencia a los cambios de forma.

Los fluidos pueden dividirse en líquidos y gases.

Líquidos: son prácticamente incompresibles, ocupan un volumen definido y tienen superficies libres.

Gases: son compresibles, se expansionan hasta ocupar todas las partes del recipiente que los contenga.

Densidad de un fluido:

La densidad de una sustancia se define como su masa por unidad de volumen.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

La unidad de medida en el S.I. de Unidades es kg/m^3 , también se utiliza frecuentemente la unidad g/cm^3 .

Peso específico:

Peso específico se define como su peso por unidad de volumen, se encuentra relacionado con la densidad por:

$$Y = \rho \cdot g \quad (1.2)$$

En los líquidos puede considerarse constante para las variaciones ordinarias de presión. Se pueden calcular a través de la ecuación de estado de los gases $PV = nRT$ como $P = \rho \cdot R \cdot T$



$$Y = \frac{P \cdot g}{R \cdot T} \quad (1.3)$$

Volumen específico

Es el volumen por unidad de masa y es por lo tanto el recíproco de la densidad.

$$V = \frac{1}{\rho} \quad (1.4)$$

Gravedad específica

Se suele designar como SG y se define como la relación de la densidad del fluido entre la densidad del agua a una temperatura dada. Normalmente esa temperatura es 4°C, y a esta temperatura la densidad del agua es 1000kg/m³.

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} \quad (1.5)$$

Viscosidad de un fluido

Es aquella propiedad que determina la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas cortantes. La viscosidad se debe primordialmente a las interacciones entre las moléculas del fluido.

Otro coeficiente de viscosidad, llamado viscosidad cinemática, viene definido por

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu}{\gamma / g} = \frac{\mu \cdot g}{\gamma} \quad (1.6)$$

Presión de vapor

Cuando tiene lugar el fenómeno de la evaporación dentro de un espacio cerrado, la presión parcial a que dan lugar las moléculas de vapor se llama presión de vapor. Depende de la temperatura, aumentando con ella.

Tensión superficial

La tensión superficial (σ) de un líquido es el trabajo que debe realizarse para llevar moléculas en número suficiente desde el interior del líquido hasta la superficie para crear una nueva unidad de superficie (J/m²). Este trabajo es numéricamente igual a la fuerza tangencial de contracción que actuase sobre una línea hipotética de longitud unitaria situada en la superficie, y

$$\sigma = \frac{\Delta F}{\Delta L} (N/m) \quad (1.7)$$

Las unidades son en m^2/s . En los líquidos la viscosidad disminuye al aumentar la temperatura, pero no se ve afectada apreciablemente por las variaciones de presión. En los gases la viscosidad absoluta aumenta al aumentar la temperatura, pero casi no varía con la presión. Como el peso específico de los gases varía con la presión (a temperatura constante), la viscosidad cinemática es inversamente proporcional a la presión.

Capilaridad

Es la elevación o descenso de un líquido en un tubo capilar vienen producidos por la tensión superficial dependiendo de las magnitudes relativas de la cohesión y de la adhesión del líquido a las paredes del tubo. Los líquidos ascienden por tubos que mojan (cohesión < adhesión) y descienden por tubos que no mojan (cohesión > adhesión). La capilaridad tiene importancia en tubos estrechos <10mm, para valores mayores de 12mm es despreciable. Propiedades de los fluidos.

$$h = \frac{2\sigma}{r \cdot g \cdot \rho} \cos \theta \quad (1.8)$$

Compresibilidad de un fluido

Se expresa a través del módulo volumétrico de elasticidad (E) que es la relación de la variación de presión a la variación de volumen por unidad de volumen.

$$E = \frac{dp}{-dv/v} (Pa) \quad (1.9)$$

El aumento de la presión da lugar a una disminución de volumen.

Tres principios fundamentales se aplican al flujo de fluidos:

1. El principio de conservación de la masa, a partir del cual se establece la ecuación de continuidad.
2. El principio de la energía cinética, a partir del cual se deducen ciertas ecuaciones aplicables al flujo.



3. El principio de la cantidad de movimiento, a partir del cual se deducen las ecuaciones para calcular las fuerzas dinámicas ejercidas por los fluidos en movimiento. El flujo de los fluidos puede ser permanente o no permanente; uniforme o no uniforme; laminar o turbulento; unidimensional, bidimensional o tridimensional.

Existen dos tipos de flujos permanentes que hay que considerar, el flujo laminar y el flujo turbulento. Que sean permanentes quiere decir que la velocidad del flujo es constante en el tiempo, pero no necesariamente en el espacio.

Por otro lado un flujo permanente podrá ser uniforme o no uniforme, la uniformidad implica constancia de la velocidad en el espacio.

Flujo laminar: El flujo laminar se da cuando las partículas fluidas se mueven siguiendo trayectorias paralelas, formando el conjunto de ellas capas o láminas. El flujo laminar está gobernado por la ley que relaciona la tensión cortante con la velocidad de deformación angular $\tau = \mu \cdot dv/dy$. La viscosidad del fluido es la magnitud física predominante y su acción amortigua cualquier tendencia a la turbulencia.

Flujo turbulento: En el flujo turbulento las partículas fluidas se mueven de forma desordenada en todas las direcciones.

$$\tau = (\mu + \eta) \cdot \frac{dv}{dy} \quad (1.10)$$

Donde μ representa los efectos debidos a la viscosidad y η tiene en cuenta los efectos debidos a la turbulencia.

1.5 Consideraciones generales de las redes de distribución de agua

Un sistema de distribución de agua es un conjunto de elementos encargados de transportar el fluido desde los puntos de suministro hasta los puntos de consumo. Está constituido por tuberías y otros elementos como son: Válvulas, elementos de unión, elementos de medición, depósitos, embalses, bombas, entre otros, que deben ser

dimensionados adecuadamente para suministrar los caudales demandados, para lo cual será necesario mantener en la red presiones adecuadas. El resto de los componentes del sistema de distribución (depósitos, estaciones de bombeo, forma de regulación, entre otros) condicionarán su diseño y calculo, por lo que en general no se puede tratar la red como un elemento aislado (Ravinovich, 1986; Pérez, 1986; Nekrasov, 1990; Aguirre et al., 1996b).

Las redes de distribución de agua se pueden clasificar de acuerdo a varios criterios, entre los que se destacan:

Ramificadas: redes que para una situación definida de consumos en los nodos, pueden calcularse los caudales circulantes por las tuberías al aplicar la ecuación de la continuidad.

Malladas: redes en las cuales los caudales circulantes por las conducciones no quedan definidos al utilizar la ecuación de continuidad, sino que es necesario aplicar las ecuaciones de equilibrio de malla.

Mixtas: Redes en las que se puede calcular de forma inmediata los caudales circundantes en las arterias ramificadas, pero en la malla.

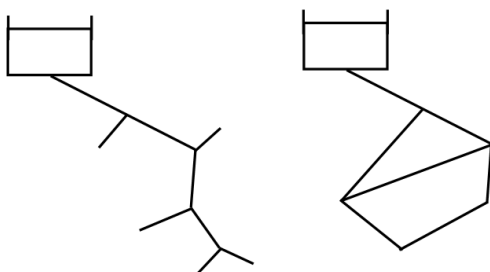


Figura 1.1 tipos de redes de distribución de agua

Teniendo en cuenta el sistema de inyección y regulación:

- Depósitos a presión atmosférica, elevados o semienterrados.
- Inyección directa a la red mediante grupos de bombeo de velocidad fija y/o variable

Un análisis de redes consiste en dadas las características físicas de las conducciones, diámetros, rugosidades, longitudes, así como de los restantes elementos de la red como válvulas, depósitos, etc. y sus características funcionales, como tarado de las válvulas y presionadores, grado de apertura de las válvulas, etc..., y conocida al menos



una altura piezométrica en uno de los nudos del sistema, determinar el caudal trasegado por cada una de las conducciones así como la altura piezométrica en todos los nudos restantes.

Los caudales circulantes no pueden ser definidos ni tan siquiera en su sentido por el uso exclusivo de la ecuación de continuidad, sino que habrá que añadir otras ecuaciones de la malla. El agua puede seguir distintos caminos para alimentar un mismo nudo. τ

En un sistema compuesto por L líneas, N nudos y M mallas se cumple siempre que $M = L - N + 1$. En M y L están incluidas las mallas y líneas ficticias necesarias para resolver el problema. En el caso de las redes ramificadas $L = N - 1$, y para las redes malladas: $L > N - 1$

En el momento de decidir el diseño de una red nos encontramos con dos problemas:

- **Distribución en planta:** Decidir el trazado de la misma, así como que elementos colocaremos, como válvulas, depósitos, conexiones, materiales, etc...
- **Dimensionado:** Determinar las dimensiones de los elementos, sobre todo el diámetro interior. Obviamente, ambas fases están entrelazadas, y se retroalimentan en el proceso de diseño.

Es evidente que cuando diseñamos una red lo hacemos para algo, por lo que debemos conocer una serie de datos de antemano, como:

- Necesidades de caudal
- Necesidades de presión
- Posibles trazados
- Situación y caracterización de los elementos de inyección y almacenamiento de fluido a la red
- Topología
- Velocidades de circulación permitida o aconsejable
- Diámetros comerciales de los que se dispone



➤ Material a emplear

Cuando queremos diseñar una línea hidráulica, por ejemplo una tubería, tenemos que resolver cuatro variables hidráulicas: velocidad del fluido, diámetro, caudal y pérdidas hidráulicas.

Solo existen dos ecuaciones que ligan las variables que son la ecuación de continuidad y la de pérdidas hidráulicas.

Resulta evidente que necesitamos dos nuevas ecuaciones o restricciones para poder determinar completamente el problema. Lo usual será en muchas redes que el caudal esté impuesto, por lo que nos quedará sólo una indeterminación, es decir una ecuación que imponer, para poder resolver el problema.

1.6 Filosofía del WaterCAD

WaterCAD es una aplicación que realiza simulaciones en período extendido (o cuasi estático) del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de tuberías a presión. Una red puede estar constituida por tuberías, nudos (uniones de tuberías), bombas, válvulas y depósitos de almacenamiento o embalses. WaterCAD permite seguir la evolución del flujo del agua en las tuberías, de la presión en los nudos de demanda, del nivel del agua en los depósitos, y de la concentración de cualquier sustancia a través del sistema de distribución durante un período prolongado de simulación. Además de las concentraciones, permite también determinar los tiempos de permanencia del agua en la red (water age) y su procedencia desde los distintos puntos de alimentación (source tracing).

WaterCAD ha sido diseñado como una herramienta de investigación para mejorar el conocimiento del movimiento y evolución de los constituyentes del agua en el interior de los sistemas de distribución. El módulo de calidad del agua de WaterCAD permite modelizar fenómenos tales como la reacción de los constituyentes en el seno del agua, la reacción con las paredes de las tuberías, y el transporte de masa entre las paredes y el fluido trasegado. A medida que dispongamos de una mayor experiencia y conocimiento del comportamiento de la calidad del agua en los sistemas de distribución, intentaremos actualizar y mejorar WaterCAD para reflejar estos progresos.



Otra característica distintiva de WaterCAD es la coordinación entre la modelización del comportamiento hidráulico de la red y de la calidad del agua. El programa se ha concebido para obtener simultáneamente la solución de ambos problemas. Sin embargo, como alternativa, puede también calcular solamente la parte hidráulica y almacenar los resultados en un fichero, o utilizar un fichero hidráulico previamente almacenado para llevar a cabo una simulación de la calidad del agua.

WaterCAD puede utilizarse para muchas aplicaciones diferentes en el análisis de los sistemas de distribución. Por citar algunos ejemplos mencionaremos el diseño de componentes de una red por prueba y corrección, la calibración de un modelo, el análisis del cloro residual, o la estimación del tiempo de exposición de un abonado a un cierto contaminante. WaterCAD puede también contribuir a definir estrategias de actuación para mejorar la calidad del agua en un sistema. Entre ellas podríamos citar:

1. utilización de fuentes de suministro alternativas en sistemas con diversidad de recursos.
2. modificación de los esquemas de bombeo y de llenado/ vaciado de los depósitos.
3. utilización de estaciones satélites para el tratamiento del agua, como la recloración en depósitos intermedios.
4. propuestas de limpieza y restitución de tuberías.

WaterCAD ha sido escrito en lenguaje C y hace uso de la localización dinámica de memoria. En consecuencia el único límite al tamaño de la red es la memoria disponible. La versión WaterCAD contenida en el disco de distribución está pensada para ser utilizada en ordenadores compatibles IBM con sistema operativo bajo DOS. Sin embargo, constituye una tarea relativamente simple recopilar el código fuente para rodar el programa en otras máquinas, como estaciones de trabajo UNIX.

El paquete WaterCAD contiene dos módulos de programas. El primero es un simulador de redes que opera bajo DOS, el cual recibe los datos de entrada de un fichero y escribe los resultados en otro fichero. El usuario debe utilizar un programa externo para editar el fichero de entrada y ver o imprimir el fichero de salida. (Se proporciona un



programa de Menú en Dos que permite interactivamente editar el fichero de entrada de WaterCAD, ejecutar el simulador y ver o imprimir el fichero de salida a través de las opciones de Menú). El segundo módulo es un programa operativo bajo Microsoft Windows TM 3.x que permite editar el fichero de entrada de WaterCAD, ejecutar el simulador y mostrar gráficamente los resultados en una gran variedad de formatos sobre el esquema de la red. En consecuencia, existen dos formas de rodar WaterCAD - bajo DOS y bajo Windows. Estamos convencidos de que para la mayoría de situaciones la potencia de visualización de la versión Windows constituye una ayuda esencial para tratar de asimilar los resultados proporcionados por WaterCAD, por lo que recomendamos la utilización de este modo si su computador y su software permiten soportarlo.

1.7 Conclusiones del capítulo 1

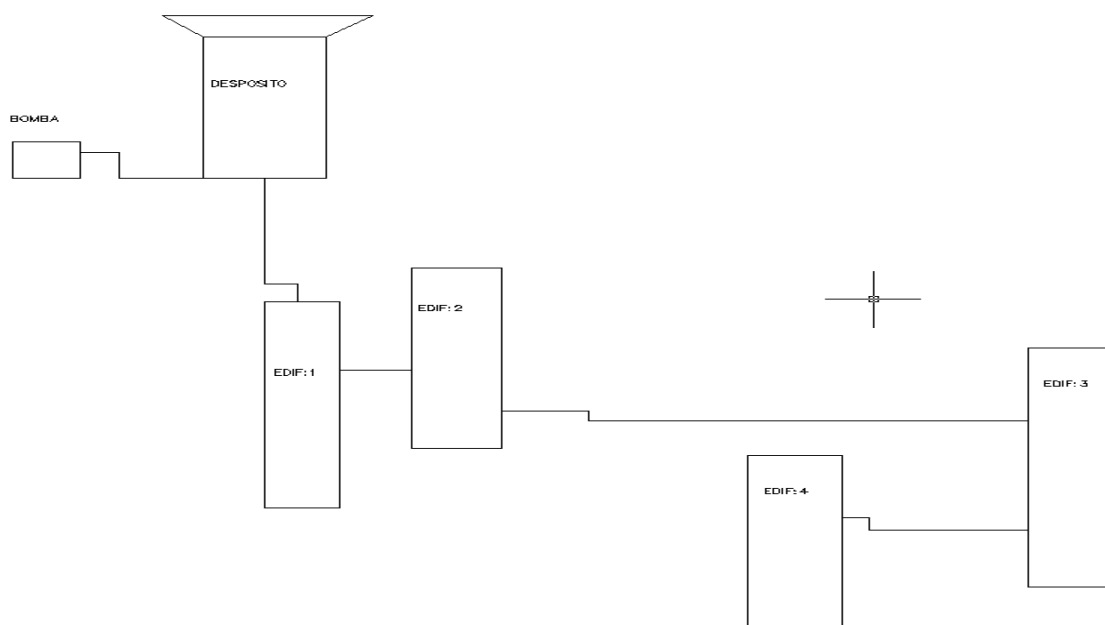
- Se exponen los fundamentos teóricos, que permiten desarrollar los objetivos planteados en la investigación.

Capítulo 2 Materiales y métodos

2.1 Introducción

Se denomina régimen de trabajo al conjunto de parámetros que determinan el trabajo de una instalación, por tanto el **objetivo** de este capítulo es: realizar los cálculos de la instalación, o sea, la determinación del régimen de trabajo, la potencia de la bomba y la energía consumida, entre otros.

2.2 Descripción de la red hidráulica del área de residencia estudiantil



En el esquema anterior están presentes la bomba y el depósito. Las características técnicas de ésta así como del motor acoplado se exponen en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Bomba empleada para enviar el agua hacia el depósito.

Bombas	Q (m ³ /h)	Hp (m)	N (kW)
1	140	45.06	30

Motor eléctrico:

- Potencia: 30 kW
- Voltaje: 220 V



- Velocidad de rotación: 3500 rev/min
- Corriente: 142,5 A
- Eficiencia: 78 %

2.3 Información básica para el diseño y revisión de una estación de bombeo

El punto de partida para el proyecto de una estación de bombeo es el caudal y la carga dinámica total que deba suministrar. En general, el caudal total de diseño, Q_d , está perfectamente definido, pero la carga no, ya que depende del diámetro y la longitud de la tubería o tuberías, que conducen el agua desde el lugar de extracción hasta el de utilización o distribución. Por otra parte, el diámetro adecuado para la conductora, depende del costo de la tubería y de la energía consumida para vencer las pérdidas de carga que se producen al bombear el caudal establecido (Talwar, 1983), (Stepanoff, 1959).

La información básica que se necesita inicialmente para el diseño y la revisión:

- Caudal de diseño.
- Diferencia de nivel entre la toma y la descarga.
- Diferencia de carga a presión entre la toma y la descarga.
- Diferencia de carga a velocidad entre la toma y la descarga (aunque como se sabe, esta diferencia es casi siempre nula).
- Longitud y perfil de la tubería.
- Disposición general del sistema y posición de instalación de las bombas.

Para realizar la selección de las bombas se tienen tres factores esenciales a considerar:

- El caudal que debe entregar la estación de bombeo.
- La carga dinámica total que deben desarrollar las bombas.
- Las condiciones existentes de succión.

Aunque hay otros factores que se tienen en cuenta para realizar la selección óptima del tipo y tamaño de las bombas, tales como: la naturaleza del líquido que se bombea, las condiciones de operación, las condiciones de instalación, el tipo de energía disponible, entre otros.

Teniendo esto en cuenta se tomaron algunos datos para poder realizar una metodología a seguir, para así saber en qué condiciones está trabajando el sistema.

2.4 Metodología para obtención de la curva característica del sistema de agua

La curva de un sistema de tuberías representa la energía por unidad de peso (carga) que es necesario suministrarle al sistema, para que circulen a través del mismo los caudales que se deseen. Cada punto de la curva representa la carga necesaria H_{nec} , para que circule el caudal Q , que le corresponda.

2.4.1 Metodología de cálculo según WaterCad

El método que emplea WaterCad para resolver simultáneamente las ecuaciones de continuidad en los nudos y las ecuaciones de comportamiento hidráulico de las tuberías, para un instante dado, puede clasificarse como un método híbrido de nudos y mallas. Todini y Pilati (1987) y más tarde Salgado (1988) decidieron llamarlo Método del Gradiente. Métodos similares fueron propuestos anteriormente por Hamam y Brameller (1971) (el Método Híbrido) y por Osiadacz (1987) (el Método de Nudos para Nudos y Mallas). La única diferencia entre estos métodos es la forma en que se actualizan los caudales de línea, después de haber encontrado una nueva solución provisional para las alturas en los nudos. Dado que la aproximación de Todini es la más simple, esta fue la elegida para desarrollar WaterCad.

Supongamos que tenemos una red de tuberías con N nudos de caudal y NF nodos de altura dada (embalses y depósitos). La relación entre la pérdida de carga para una tubería que va de nudo i al j , y el caudal de paso Q_{ij} , puede escribirse como:

$$H_i - H_j = h_{ij} = rQ_{ij}^n + mQ_{ij}^2 \quad (2.1)$$

H = altura piezométrica en el nudo,

h = pérdida de carga,

r = coeficiente de resistencia,

Q = caudal,

n = exponente del caudal,

m = coeficiente de pérdidas menores

El valor del coeficiente de resistencia depende de la fórmula utilizada para el cálculo de las pérdidas.

Para las bombas, la pérdida (esto es, la altura de la bomba cambiada de signo), puede representarse mediante una fórmula potencial del tipo:

$$h_{ij} = -w^2 \left(h_0 - r \frac{Q}{w} \right)^m \quad (2.2)$$

h_0 : es la altura a caudal nulo,

w : es la velocidad relativa de giro,

r y n : coeficientes de la curva de la bomba

El segundo sistema de ecuaciones a cumplir está configurado por la condición de equilibrio para los caudales en todos los nudos:

$$\sum Q_{ij} - D_i = 0 \quad \text{para } D_i = 1, \dots, N \quad (2.3)$$

D_i : caudal de demanda en el nudo i , el cual por convención se toma como positivo cuando entra al nudo. Dados los valores de las alturas en los nudos de altura prefijada, se trata de encontrar una solución para las alturas H_i en los restantes nudos, y para los caudales Q_{ij} de todas las líneas, que satisfagan las ecuaciones (2.1) y (2.3).

El método de resolución del Gradiente comienza haciendo una estimación inicial del caudal por cada tubería, sin necesidad de cumplir la ecuación de continuidad. En cada iteración del método, se obtienen las alturas piezométricas en los nudos resolviendo el sistema de ecuaciones:

$$AH = F \quad (2.4)$$

A = matriz jacobiana ($N \times N$),



H = vector de incógnitas nodales ($N \times 1$),

F = vector de términos independientes ($N \times 1$)

Los elementos de la diagonal principal de la matriz jacobiana vienen dados por:

$$A_{ii} = \sum_j p_{ij} \quad (2.5)$$

y los elementos no nulos fuera de la diagonal principal, por:

$$A_{ji} = -p_{ij} \quad (2.6)$$

donde p_{ij} es la inversa de la derivada respecto al caudal, de la pérdida de carga en la línea que va del nudo i al j . Su expresión para las tuberías es:

$$p_{ij} = \frac{1}{nr|Q_{ij}|^{n-1} + 2m|Q_{ij}|}, \quad (2.7)$$

y para las bombas:

$$p_{ij} = \frac{1}{nw^2r(Q_{ij}/w)^{n-1}} \quad (2.8)$$

Los términos independientes están constituidos por el caudal residual en el nudo no equilibrado, más un factor de corrección dado por:

$$F_i = \left(\sum_j Q_{ij} - D_i \right) + \sum_j y_{ij} \sum_f p_{if} H_f, \quad (2.9)$$

donde el último término está presente sólo para las tuberías que conectan el nudo, i con un nudo de altura conocida f ; por su parte, el factor de corrección del caudal y_{ij} tiene por expresión:

$$y_{ij} = p_{ij} \left(|Q_{ij}|^n + m|Q_{ij}|^2 \right) \text{sgn}(Q_{ij}), \quad (2.10)$$

para las tuberías, donde $\text{sgn}(x)$ es 1 si $x > 0$ y -1 en otro caso, e:

$$y_{ij} = -p_{ij} w^2 \left(1 - r(Q_{ij}/w)^n \right), \quad (2.11)$$

para las bombas (Q_{ij} es siempre positivo en este caso).

Una vez calculadas las nuevas alturas resolviendo las ecuaciones (2.4), los nuevos caudales se obtienen mediante:

$$Q_{ij} = Q_{ij} - \left[\frac{Q_{ij}}{H_i - H_j} \right] (H_i - H_j) \quad (2.12)$$

Si la suma, extendida a todas las líneas, del valor absoluto de la variación relativa del caudal respecto al caudal total en la línea, es mayor que una cierta tolerancia (p.ej.0,001), las ecuaciones (2.4) y (2.12) se resuelven de nuevo. Obsérvese que la fórmula de actualización (2.12) conduce al equilibrio de caudales en los nudos, tras la primera iteración.

2.5 Implementación del método utilizado por WaterCad

WaterCad implementa este método realizando los siguientes pasos:

1. El sistema de ecuaciones lineales 2.4 se resuelve utilizando un método de matrices vacías, basado en la reordenación de los nudos (George y Liu, 1981). Una vez los nudos reordenados al objeto de minimizar el número de coeficientes de relleno en la matriz A, se realiza una factorización simbólica, de modo que sólo los elementos no nulos de A se almacenan en memoria para operar con ellos. A lo largo de una simulación en periodo extendido, la reordenación y factorización de la matriz se efectúa una sola vez, al comienzo del análisis.
2. Para la primera iteración del primer instante de simulación, los caudales en las tuberías se determinan con la condición de que la velocidad de circulación sea de 1 pie/seg. Por su parte, el caudal en las bombas se hace igual al caudal de diseño de la bomba (internamente todos los cálculos se realizan con las alturas en pies y los caudales en pies^3/seg - cfs).
3. El coeficiente de resistencia de una tubería (r) se calcula según se las fórmulas de la. En el caso de la ecuación de pérdidas de Darcy-Weisbach, el factor de fricción f se calcula mediante diferentes ecuaciones, dependiendo del Número de Reynolds (Re) del flujo:

Para $Re < 2000$ se emplea la fórmula de Hagen – Poiseuille (Bhave, 1991):

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (2.13)$$

Para $\text{Re} > 4000$ se emplea la aproximación de Swamee y Jain a la ecuación Colebrook - White (Bhave, 1991):

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (2.14)$$

Para $2000 < \text{Re} < 4000$ se emplea una interpolación cúbica al Diagrama de Moody (Dunlop, 1991):

$$f = X1 + R(X2 + R(X3 + X4)) \quad (2.15)$$

$$R = \frac{\text{Re}}{2000} \quad (2.16)$$

$$X1 = 7FA - FB \quad (2.17)$$

$$X2 = 0.128 - 17FA + 2.5FB \quad (2.18)$$

$$X3 = -0.128 + 13FA - 2FB \quad (2.19)$$

$$X4 = R(0.032 - 3FA + 0.5FB) \quad (2.20)$$

$$FA = (Y3)^{-2} \quad (2.21)$$

$$FB = FA \left(2 - \frac{0.00514215}{Y2 * Y3} \right) \quad (2.22)$$

$$Y2 = \frac{\varepsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \quad (2.23)$$

$$Y3 = -0.86859 \ln \left(\frac{\varepsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{4000^{0.9}} \right) \quad (2.24)$$

donde ε = rugosidad de la tubería, d = diámetro de la tubería.

4. El coeficiente de pérdidas menores K , referido a la altura de velocidad, se transforma en el factor equivalente m que multiplica al cuadrado del caudal, mediante la siguiente relación:

$$m = \frac{0.2517K}{d^4} \quad (2.25)$$

5. Los emisores aplicados en los nudos se modelizan como una tubería ficticia entre el nudo y un embalse ficticio. Los parámetros de la tubería ficticia son $n = (1/\delta)$, $r = (1/C)^n$, y $m = 0$, donde C es el coeficiente de descarga del emisor, y δ el exponente de la presión. La altura del embalse ficticio es la propia cota del nudo. El caudal de paso calculado por la tubería ficticia se interpreta como el caudal descargado por el emisor.

6. A las válvulas abiertas se les asigna un valor del coeficiente r calculado bajo el supuesto de que la válvula actúa como una tubería lisa ($f = 0,02$), cuya longitud es dos veces el diámetro de la válvula. Las líneas cerradas se supone que obedecen a una relación de pérdidas lineal con un factor de resistencia muy grande, p. ej. $h = 10^8 Q$, con lo que $p = 10^{-8}$ e $y = Q$. Para las líneas en las cuales $(r+m) Q < 10^{-7}$, entonces $p = 10^7$ e $y = Q/n$.

7. En cada instante de cálculo se comprueba, tras cada iteración hasta la décima, el estado de las bombas, válvulas de retención, válvulas de control del caudal y tuberías que conectan con depósitos llenos o vacíos. Después de la décima iteración, el estado de estos componentes se vuelve a comprobar de nuevo una vez obtenida la convergencia, excepto para las válvulas de control de la presión (VRP y VSP), cuyo estado se comprueba en todas las iteraciones.

8. Durante la comprobación del estado de los diferentes componentes, las bombas se paran si la altura requerida es superior a su altura a caudal cero (para impedir el flujo inverso). Análogamente, las válvulas de retención se cierran si la pérdida de carga resultante es negativa (ver más adelante). Si más adelante dejan de darse estas circunstancias, dichos elementos vuelven a reactivarse. De forma similar se comprueba el estado de las líneas que conectan con depósitos que poseen limitaciones de nivel.

Dichas líneas se cierran si la diferencia de alturas inducen al vaciado de un depósito que está a su nivel mínimo, o al llenado de un depósito que está a su nivel máximo; y se abren de nuevo al dejar de darse estas circunstancias.

9. La simple comprobación del signo de la pérdida ($h < 0$) para determinar si una válvula de retención (VR) debe estar cerrada o abierta, se observó que en algunas redes daba lugar a un comportamiento cíclico de la válvula entre estos dos estados, debido a los límites de precisión numérica. Finalmente se comprobó que el siguiente procedimiento conducía a un comportamiento más robusto de estas válvulas:

si $|h| > H_{tol}$ entonces

si $h < -H_{tol}$ entonces estado = Cerrada

si $Q < -Q_{tol}$ entonces estado = Cerrada

si no estado = Abierta

si no si $Q < -Q_{tol}$ entonces estado = Cerrada

si no estado = sin cambios

donde $H_{tol} = 0,0005$ pies y $Q_{tol} = 0,001$ pies³/seg.

10. Si la verificación del estado de una bomba, tubería o VR conduce a su cierre total, entonces el valor del caudal se fuerza a 10^{-6} pies³/seg. Cuando se reactiva de nuevo una bomba, su caudal se determina entrando en su curva característica con la altura actual. Cuando se reabre una tubería o una VR, su caudal se determina resolviendo la ecuación 2.1 para la pérdida de carga actual h , ignorando cualquier pérdida menor.

11. Los coeficientes de la matriz jacobiana correspondientes a las válvulas de rotura de carga (VRC) se fuerzan a los siguientes valores: $p = 10^8$ e $y = 10^8 H_{set}$, donde H_{set} es la caída impuesta como consigna en la válvula (en pies). Las válvulas de regulación (VRG) son tratadas como tuberías, cuyo coeficiente r se establece según las hipótesis y cuyo coeficiente m se obtiene transformando el coeficiente impuesto como consigna en la válvula.

12. Los coeficientes de la matriz jacobiana correspondientes a las válvulas reductoras, sostenedoras y de control del caudal (VRPs, VSPs y VCQs) se calculan una vez todas las demás líneas han sido analizadas. La comprobación del estado de las VRPs y VSPs se efectúa según se ha descrito. Estas válvulas pueden estar completamente abiertas, completamente cerradas, o bien activas, imponiendo las consignas de presión o caudal establecidas.

13. La lógica empleada para comprobar el estado de una VRP es la siguiente:

- Si estado actual = Activa entonces

si $Q < -Q_{tol}$ entonces nuevo estado = Cerrada

si $H_i < H_{set} + H_{ml} - H_{tol}$ entonces nuevo estado = Abierta

si no, nuevo estado = Activa

- Si estado actual = Abierta entonces

si $Q < -Q_{tol}$ entonces nuevo estado = Cerrada

si $H_i > H_{set} + H_{ml} + H_{tol}$ entonces nuevo estado = Activa

si no, nuevo estado = Abierta

- Si estado actual = Cerrada entonces

si $H_i > H_j + H_{tol}$

y $H_i < H_{set} - H_{tol}$ entonces nuevo estado = Abierta

si $H_i > H_j + H_{tol}$

y $H_j < H_{set} - H_{tol}$ entonces nuevo estado = Activa

si no, nuevo estado = Cerrada

donde Q es el caudal actual a través de la válvula, H_i es la altura aguas arriba, H_j la altura aguas abajo, H_{set} la presión de consigna transformada en altura, H_{ml} la pérdida menor a válvula abierta ($= mQ^2$), y finalmente H_{tol} y Q_{tol} son los mismos valores utilizados para las válvulas de retención, ya vistas en el epígrafe 9. Para las VSP se efectúa una comprobación similar, excepto que en las inecuaciones en que

interviene H_{set} , los subíndices i y j aparecen intercambiados, al tiempo que los operadores $>$ y $<$.

14. El caudal que atraviesa una VRP activa es forzado a entrar por el nudo aguas abajo, mientras que el que atraviesa una VSP es obligado a salir del nudo aguas arriba. Para imponer la presión de salida de una VRP que vaya del nudo i al j , se hace:

$$\begin{aligned} p_{ij} &= 0 \\ F_j &= F_j + 10^8 H_{set} \end{aligned} \quad (2.26)$$

$$A_{ji} = A_{ji} + 10^8 \quad (2.27)$$

Con ello se fuerza a la altura en el nudo aguas abajo a tomar el valor de la altura de consigna H_{set} . Para las VSP se procede de manera análoga, excepto que los subíndices de F y A son los correspondientes al nudo aguas arriba i . Cuando las VRPs o las VSPs están totalmente abiertas o cerradas, sus coeficientes en la matriz son tratados del mismo modo que para las tuberías.

15- Para una válvula VCQ activa que vaya del nudo i al j , cuyo caudal de consigna es Q_{set} , éste es añadido al caudal que sale del nudo i y al caudal que entra al nudo j , para lo cual se resta de F_i y se añade a F_j . Si la altura en el nudo i es menor que la del nudo j , entonces la válvula no puede proporcionar el caudal y es tratada como una tubería abierta.

16- Una vez conseguida inicialmente la convergencia (convergencia de los caudales, sin cambios en las VRPs y VSPs) se realiza una nueva comprobación del estado de las bombas, VRs, VCQs, y líneas conectadas a depósitos. También se comprueba el estado de las líneas controladas por presión (p. ej. el estado de una bomba controlada por la presión en un nudo). Si hubiera algún cambio, las iteraciones se prolongan durante al menos dos nuevas pasadas (la comprobación de las condiciones de convergencia es omitida para la primera iteración). En caso contrario, la solución se da por buena.

17- Para desarrollar las simulaciones en periodo extendido (EPS), se ha implementado el siguiente procedimiento:



a) Una vez encontrada una solución para el instante actual, el incremento de tiempo adoptado para avanzar hasta el instante siguiente será el mínimo entre:

- el instante en que comienza un nuevo periodo de demanda,
- el menor intervalo de tiempo que hace que se llene o vacíe algún depósito,
- el menor intervalo de tiempo para el cual el nivel en algún depósito alcanza el valor de referencia que provoca el cambio de estado en alguna línea (p. ej. arrancar o parar una bomba), según figura en alguna de las leyes de control simples,
- el próximo instante en que debe actuar alguna de las leyes de control simple reguladas por tiempo.
- el próximo instante en que alguna de las leyes de control basadas en reglas provoque un cambio en la red.

Para calcular el instante en que se alcanza un determinado nivel en un depósito, se supone que éste evoluciona linealmente en base al caudal actual que entra o sale del depósito.

Por su parte, el instante de activación de las leyes de control basadas en reglas, se determina del siguiente modo:

- Comenzando en el instante actual, las distintas reglas se analizan paso a paso, avanzando con un intervalo de tiempo fijo, cuyo valor por defecto es 1/10 del intervalo de cálculo hidráulico (por ejemplo, si el intervalo de cálculo hidráulico es de 1 hora, entonces las reglas se evalúan cada 6 minutos).
- En base a este intervalo de tiempo se actualiza la hora de la simulación, y al mismo tiempo los niveles de agua en los depósitos (tomando como referencia los últimos caudales entrantes o salientes calculados).
- Si en un momento dado se cumple alguna de las reglas, las actuaciones derivadas se añaden a una lista. Si la actuación propuesta entra en conflicto con otra actuación de la lista sobre la misma línea, prevalece aquella que tiene una prioridad más alta, siendo la otra eliminada. Si las prioridades son equivalentes, entonces prevalece la actuación que estaba ya en la lista.

- Después de haber evaluado todas las reglas, si la lista no está vacía se ejecutan todas las actuaciones almacenadas en ella. Si como consecuencia de dichas actuaciones cambia el estado de una o más líneas, se procede a obtener una nueva solución y el proceso de simulación continúa.

b) Una vez determinado el intervalo de avance, se actualiza el tiempo de la simulación, se calculan las nuevas demandas, se ajustan los niveles en los depósitos en base a los últimos caudales calculados, y se verifican las reglas de control para determinar qué líneas deben cambiar su estado.

c) Se desencadena un nuevo proceso iterativo para resolver el conjunto de ecuaciones (2.4) y (2.12), partiendo de los caudales actuales.

2.6. Cavitación en bombas centrífugas

Con la siguiente metodología de cálculo se determinará si la bomba objeto de estudio está trabajando bajo un régimen cavitacional.

El parámetro $(NPSH)_d$ debe ser comparado contra el $(NPSH)_r$, el cual está determinado por las características del tramo de succión del sistema y se puede mejorar aumentando el diámetro de la tubería de succión, mejorando la calidad de la tubería, reduciendo la distancia de la tubería de succión y la cantidad de accesorios. Todo lo anterior con el fin de garantizar que $(NPSH)_d \geq (NPSH)_r$.

Altura neta positiva en la succión disponible

Se denomina $NPSH_d$ (altura neta positiva en la succión) a la diferencia entre la presión del líquido a bombear referida al eje del impulsor y la tensión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo (es la presión del líquido que a esa temperatura, se halla en equilibrio con su presión de vapor en un depósito cerrado). Se deben conocer y combinar en cada caso el NPSH disponible $(NPSH)_d$ de la instalación y el NPSH requerido $(NPSH)_r$ por la bomba.

El $(NPSH)_d$ es en función de la instalación independiente del tipo de bomba.

$$(NPSH)_d = \frac{P_{atm}}{\gamma} + H_{succ} - \sum h - H_t ; [m] \quad (2.34)$$

Donde:

P_{atm} - presión atmosférica; (Pa),

H_t - presión de vapor del agua; (m),

γ - peso específico; (N/m³),

Σh - pérdidas en la succión; (m).

Altura neta positiva en la succión requerida

El (NPSH)_r: es un dato básico y característico de la bomba, varía según el modelo, tamaño y condiciones de servicio, recomendada en los datos que facilita el fabricante.

Para la evaluación de la calidad del diseño, de la fabricación o de la confiabilidad de los datos técnicos referentes a la aspiración, es importante la determinación del (NPSH)_r, el cual es de 10.05m, este dato lo brinda el catálogo de la bomba.

2.7 Materiales empleados para las mediciones de los parámetros en el sistema de distribución

- Cinta métrica de 30 metros.
- Manómetro.
- Calibre para mediciones en pulgada.

2.7.1 Funcionamiento y utilización de cada material

Cinta métrica: Esta tiene gran utilización en la industria, en específico en el departamento de diseño, la cual se utiliza para la medición de tramos rectos y muy largos; en el trabajo se utilizó para los tramos largos de tubería con fácil acceso.

Manómetro: Se utiliza para medir la presión del fluido en la succión y la descarga.

- Marca: Wika.
- Rango: 0 a 10 bar.

Calibre para mediciones en pulgadas: se utiliza para medir el diámetro de las tuberías. Con este instrumento fue fácil determinar los diámetros de la línea.



2.8 Conclusiones del capítulo 2

- Se establecieron los procedimientos de cálculo para efectuar el diagnóstico de la red hidráulica del ISMM.
- El sistema de medición en la línea de distribución de agua es insuficiente, debido a que no se cuenta con la instrumentación adecuada, por lo cual no se puede obtener la cantidad de información que se requiere para su estudio.

CAPITULO 3. Análisis de los resultados

3.1 Introducción

La evaluación final de una investigación es de primordial importancia para establecer en qué medida esta ha contribuido al desarrollo político, económico o social de un país o región. El correcto análisis de esta permite además sentar las bases para futuros trabajos que sobre la temática se desarrollen, de ahí su ineludible relación con la economía, la sociedad y el medio ambiente, en correspondencia con esto:

El **objetivo** del presente capítulo es: Analizar los resultados, así como la valoración económica y medioambiental de la instalación proyectada.

3.2 Trazado de la red del área de residencia estudiantil del ISMM

El trazado de la red del área de residencia estudiantil del ISMM, se obtiene de forma totalmente gráfica, mediante la interfaz del software WaterCAD, definiendo primero los nodos (demandas, tanques o embalses) y enlazándolos a continuación mediante líneas (tuberías, bombas o válvulas) para garantizar así la conectividad de la red. El trazado de las tuberías puede definirse mediante polilíneas, para ajustar mejor el esquema de la red a la realidad. En la figura 3.1 se muestra el trazado de la red en el entorno del software. Ver anexo 3.

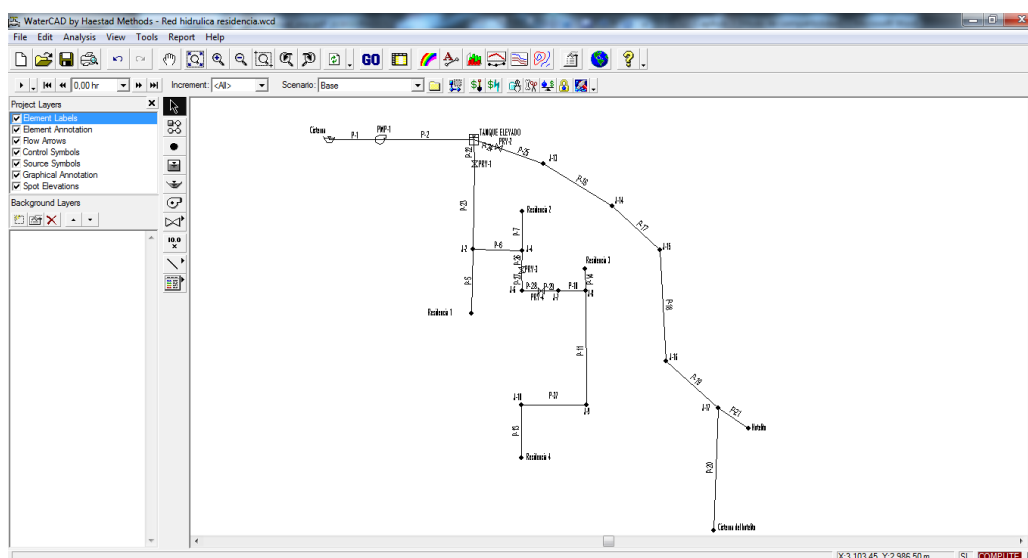


Figura 3.1 Esquema del trazado de la red del area de residencia del ISMM

Una vez confeccionado el trazado de la red se procedió a editar las propiedades de los elementos que configuran la red, ver anexos1 figura 1, 2, 3, 4 y 5.

3.3 Resultados obtenidos a partir del WaterCAD

Una vez realizado el trazado de la red y editado las propiedades de los elementos que la configuran se realizó el análisis del sistema obteniendo los siguientes resultados.

- Flujo suministrado: 128.84 l/s.
- Flujo demandado: 78.28 l/s.
- Flujo guardado: 50.56 l/s.
- El tanque está a un nivel de 34 m.

3.3.1 Resultados de la bomba

Según los resultados obtenidos a partir de la simulación con el programa WaterCad, la bomba empleada en la instalación trabaja como se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Resumen de los resultados de operación de la bomba

Tiempo (hr)	Estado	Presión en la succión (kPa)	Presión en la descarga (kPa)	Descarga (l/s)	Altura (m)	Velocidad relativa	Potencia (kW)
0,00	On	-10,32	336,44	45,06	35,43	1,00	15,63
1,00	On	-10,33	333,14	45,48	35,10	1,00	15,63
2,00	On	-10,34	329,94	45,89	34,77	1,00	15,62
3,00	On	-10,35	326,82	46,28	34,45	1,00	15,61
4,00	On	-10,36	323,78	46,66	34,14	1,00	15,59
5,00	On	-10,37	320,82	47,02	33,84	1,00	15,58
6,00	On	-10,38	317,94	47,38	33,55	1,00	15,56
7,00	On	-10,39	315,14	47,72	33,26	1,00	15,54
8,00	On	-10,39	312,41	48,05	32,98	1,00	15,51
9,00	On	-10,40	309,75	48,37	32,71	1,00	15,49
10,00	On	-10,41	307,16	48,67	32,45	1,00	15,46
11,00	On	-10,42	304,63	48,97	32,19	1,00	15,43
12,00	On	-10,43	302,16	49,26	31,94	1,00	15,40
13,00	On	-10,43	299,76	49,54	31,70	1,00	15,37
14,00	On	-10,44	297,42	49,82	31,46	1,00	15,34
15,00	On	-10,45	295,13	50,08	31,22	1,00	15,31
16,00	On	-10,45	292,91	50,34	31,00	1,00	15,27
16,90	On	-10,46	290,95	50,56	30,80	1,00	15,24
17,00	On	-10,46	292,01	50,44	30,91	1,00	15,26
17,49	On	-10,46	290,95	50,56	30,80	1,00	15,24
18,00	On	-10,44	296,40	49,93	31,35	1,00	15,32
19,00	On	-10,45	294,14	50,19	31,12	1,00	15,29

Tiempo (hr)	Estado	Presión en la succión (kPa)	Presión en la descarga (kPa)	Descarga (l/s)	Altura (m)	Velocidad relativa	Potencia (kW)
20,00	On	-10,46	291,94	50,45	30,90	1,00	15,26
20,46	On	-10,46	290,95	50,56	30,80	1,00	15,24
21,00	On	-10,44	296,75	49,89	31,39	1,00	15,33
22,00	On	-10,45	294,48	50,16	31,16	1,00	15,30
23,00	On	-10,46	292,27	50,41	30,93	1,00	15,26
23,61	On	-10,46	290,95	50,56	30,80	1,00	15,24
24,00	On	-10,45	295,12	50,08	31,22	1,00	15,31

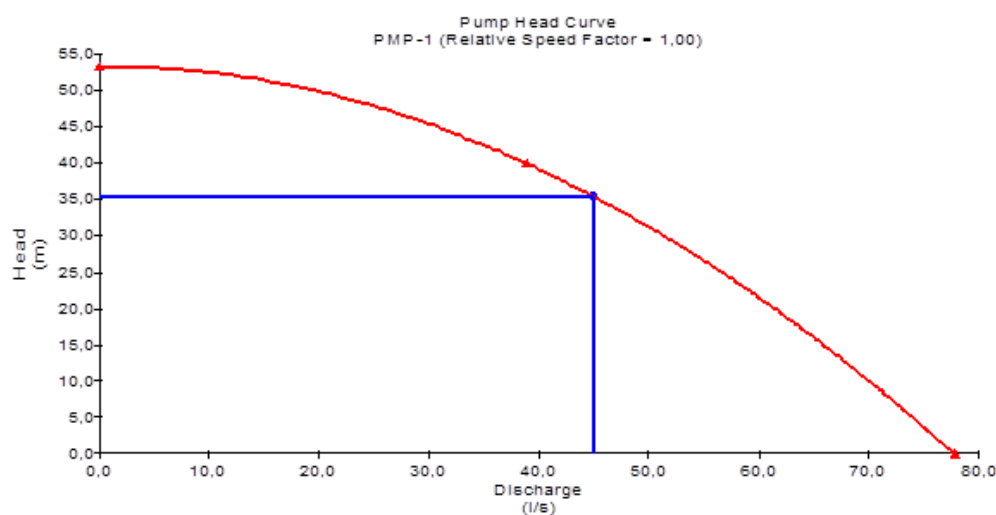


Figura 3.2 Punto de trabajo de la bomba

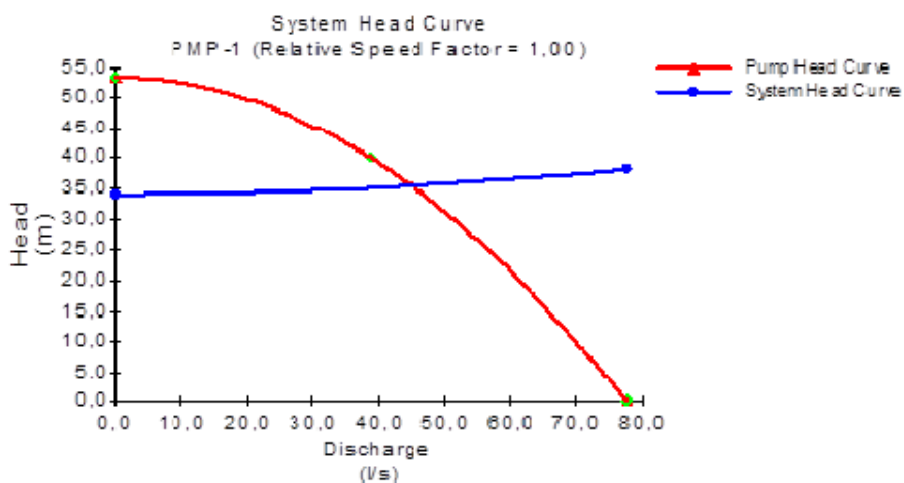


Figura 3.3 Curva característica de la bomba de agua

Tabla 3.2 Resultados de las bombas

Etiqueta	Descarga (l/s)	Altura (m)	Potencia empleada (kW)
PMP-1	45,06	35,43	30

En la figura 3.2 se puede observar que la bomba tiene disponible para su funcionamiento una altura de 35,43 m para un caudal de 140 m³/h, sin embargo los resultados de la simulación arrojados por el Water Cad muestra que la bomba solo utiliza 35,43 m de altura con un caudal correspondiente de 45,06 m³/h.

3.3.2 Resultados de la simulación de las válvulas

En la red hidráulica de objeto de estudio existen válvulas de regulación con el objetivo de darle paso a la residencia y el hotelito, los parámetros de trabajo de las mismas se exponen en la tabla 3.2.

Tabla 3.3 Resultados de las válvulas

Etiqueta	Diámetro (mm)	Estado	Descarga (l/s)
PRV-1	152,4	Abierta	23,92
PRV-2	152,4	Abierta	36,63
PRV-3	152,4	Abierta	30,79
PRV-4	152,4	Abierta	41,36

En la tabla 3.2 se muestran las descargas correspondientes a cada válvula empleada en la red hidráulica, mostrando que las mayores descargas le corresponden a las válvulas PRV-2 y PRV-4 con una descarga de 36,63 y 41,36 l/s respectivamente. Mientras que las menores descargas le corresponden a las válvulas PRV-1 y PRV-3 con 23,92 y 30,79 l/s respectivamente.

3.3.3 Resultados de la simulación en las tuberías

Las tuberías en la instalación son de hierro, por lo que es de vital importancia conocer la presión fundamentalmente en las mismas, estos datos se encuentran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Resultados de las tuberías

Etiqueta	Diámetro (mm)	Material	Presión (Pa)
P-1	152,4	hierro	34,38
P-2	152,4	hierro	34,04
P-22	152,4	hierro	33,71
P-23	152,4	hierro	33,39
P-5	152,4	hierro	33,08
P-6	152,4	hierro	32,78
P-7	152,4	hierro	32,49
P-26	152,4	hierro	32,20
P-27	152,4	hierro	31,92
P-28	152,4	hierro	31,65
P-29	152,4	hierro	31,38
P-10	152,4	hierro	31,13
P-14	152,4	hierro	30,87
P-11	152,4	hierro	30,63

Esta tabla muestra que la mayor presión existente en la línea de tubería P-1 y P-2 con un valor de 34.38 Pa y 34.04 Pa respectivamente, mientras que la presión más baja se encuentra en la tubería P-11 y P-14 con un valor de 30,63 y 30.87 Pa.

3.4 Resultados de la demanda base y presión

Los resultados de la demanda y la presión se muestran a continuación en la tabla 3.4 la cual muestra cuales son las áreas de mayor y menor presión y demanda.

Tabla 3.5 Datos de presión y demanda.

Áreas	Demanda (L/s)	Presión (K Pa)
Residencia 1	6.97	4.76

Residencia 2	2.67	0.70
Residencia 3	9.35	4.57
Residencia 4	6.87	4.63
Hotelito	13.56	18.03
Cisterna Hotelito	13.33	17.44

Las áreas de mayor demanda y presión son el hotelito y la cisterna del hotelito con una demanda base de 13.56 y 13.33 l/s y una presión de 18.03 y 17.44 KPa y las de menor demanda y presión son la residencia 2 y la residencia 4 con una demanda de 2.67 y 6.87 l/s y una presión de 0.70 y 4.63 KPa respectivamente.

3.5 Valoración económica

Para poder efectuar una correcta valoración económica, es necesario siempre tener en cuenta que la evaluación final de una investigación es de primordial importancia para establecer en que medida esta ha contribuido al desarrollo político, económico o social de un país o región. El correcto análisis de esta permite además sentar las bases para futuros trabajos que sobre la temática se desarrollen, de ahí su ineludible relación con la economía, la sociedad y el medio ambiente.

Para calcular el costo de bombeo se comenzará evaluando primeramente el costo que se emplearía para bombear el agua a la instalación, por lo que para efectura el cálculo se emplea la ecuación 3.1.

$$C_{bom} = \frac{t_{el} \cdot t_t \cdot N_m}{\eta_m} \quad (3.1)$$

Donde:

C_{bom} - costo de bombeo de la instalación; (CUC/día),

t_{el} - tarifa eléctrica; (CUC/kW.h),

t_t - tiempo de trabajo del equipo; (h/día),

η_m - rendimiento del motor eléctrico; (%),

N_m - potencia del motor; (kW).

Teniendo en cuenta que el valor de la tarifa eléctrica equivale a 0,09 CUC/kW.h, el tiempo de trabajo del equipo es de 1 hora 30 minutos diaria, el rendimiento del motor es de 78 % y la potencia del motor es de 30 kW, según la ecuación 3.1 el costo de bombeo es de 0,09 CUC/día con un gasto anual de 32.85 CUC/año.

3.6 Medidas para la protección y seguridad de los trabajadores y la instalación

Las reglas y recomendaciones dadas a continuación se aplican para la redacción de documentos normativos de seguridad y siempre que sea aplicable, para la inclusión de los aspectos de seguridad en normas de otro tipo. Ellos son más específicos, siendo adicionales o complementarios, que las reglas y recomendaciones contenidas en la Norma ISO / IEC, Parte 3.

La norma especificará toda la información necesaria para el uso seguro que deberá proveerse a las personas involucradas con el proceso o servicio.

En el caso del sistema contra incendios, las normas indicarán claramente:

- qué información para la seguridad se visualizará en el sistema;
- qué información para la seguridad es esencial hacerlas claramente visibles en la estación de bombeo.
- qué información para la seguridad se darán en manuales de instrucción para la instalación, el uso y el mantenimiento.

Además de esta información, las prácticas seguras de trabajo deberán ser descritas con claridad. Sí se siguen por las personas involucradas, se reducirán significativamente los riesgos.

La seguridad es tratada en la elaboración de las normas de muchas formas diferentes en todas las áreas de la tecnología y para la mayoría de los productos, sistemas, procesos y servicios. El aumento de la complejidad de los términos mencionados, exige que los aspectos de seguridad tengan la más alta prioridad.



3.7 Conclusiones del capítulo 3

- Se obtuvieron los parámetros fundamentales para la construcción de la curva de la bomba para el sistema de agua mediante el uso del software WaterCad V.7
- El análisis realizado permitió obtener la demanda por área principales y los mayores consumidores del área.



Conclusiones generales

A partir de los resultados obtenidos con nuestra tesis se obtiene las siguientes conclusiones:

- 1.** Se obtuvo la curva característica de la bomba del sistema de agua del ISMM a partir del software WaterCad.
- 2.** Se determinó que la bomba del sistema de agua trabaja con un caudal de 140 m³/h y una altura de trabajo de 35,43m.
- 3.** Se obtuvo la demanda de las principales consumidores del área de residencia estudiantil, determinándose que las mayores demandas están en el área del hotelito con un 13,56 l/s y la cisterna con un 13,33 l/s , y la residencia 3 es la de mayor demanda con un 9,35 l/s.
- 4.** Se determinó el costo de bombeo para el sistema con un coste de 0,09 CUC/día con un gasto anual de 32.85 CUC/año.



Recomendaciones

1. Realizar un estudio más a fondo sobre la red hidráulica y la bomba ya que no se posee un gran conocimiento sobre la misma.
2. Tomar como referencia los resultados expuestos en el trabajo de manera que contribuya positivamente en la toma de decisiones para proyectos futuros.



Bibliografía

1. Aguirre, A. et al. *“Ingeniería Hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua”*, Vol. I, eds. U. D. Mecánica de Fluidos – Universidad Politécnica de Valencia – Aguas de Valencia S.A., Valencia, España. (1996a):
2. Alberson, F. *“Reducción de las incrustaciones de magnesio mediante el tratamiento de agua cruda”*, Nicaro. pp. 7. (1955)
3. Bandala, M.: *“Pérdidas por fricción en fluidos no newtonianos”*. Tesis de Licenciatura. Universidad de las Américas, Puebla, México, 2001.
4. Bienvenido, J. *“Modelo de un sistema de bomba, tanque y red”*. Voluntad Hidráulica, No 28. (1973)
5. Charm, S. *“Fundamentals of Food Engineering”*. AVI Pub. Co. WestportConn.pp. 54-93. (1971)
6. Cherkasski, V.M. *“Bombas, Ventiladores, Compresores”*, Editorial Mir, Moscú, Rusia. (1986)
7. Columbié, O. M. *“Estudio del transporte de fuel oil desde Mazut hasta la planta de Preparación Mineral perteneciente a la empresa “Ernesto Che Guevara”*, Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico. ISMMM, p.70. (2006)
8. Farrill, G. *“Recirculación del agua de enfriamiento de los tanques de Lixiviación y Lavado”*, Nicaro. (1967)
9. Gerhart, M. and Gross, J. *“Fundamentos de la Mecánica de los Fluidos”*, eds. Addison – Wesley Iberoamericana, España. (1992)
10. Gerhart, M. and Gross, J. (*“Fundamentos de la Mecánica de los Fluidos”*, Hochstein, 2 ed, eds. Addison – Wesley, USA. 1995)
11. Ibarz, A.; Vélez, J. y Barbosa, G. *“Transporte de alimentos fluidos a través de tuberías”*. Inéditos: 60 hojas. Universidad de las Américas, Puebla, México. (2001)



12. Juregui, S. y Valdés, Y. “*Evaluación de sistemas de bombeo por métodos computacionales*”. Memorias del 1er. Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. Madrid. (1993)
13. Karassik, I. y Carter, R. “*Bombas centrifugas. Selección, operación y mantenimiento*”, editorial Revolucionaria. La Habana. (1968)
14. Karelin, B. “*Fenómeno de cavitación en bombas centrífugas y axiales*”. Moscú. Construcción de Maquinarias. (1987)
15. Kasatkin, A. G. “*Operaciones básicas y aparatos en la tecnología química*”. Tomo II, Editorial educación. (1985)
16. Kuttz, M. “*Enciclopedia de la Mecánica Ingeniería y Técnica*”, Vol. 6, ed. Océano, España. (1995)
17. Labarte, G. “*Evaluación del suministro de agua suavizada en la empresa “Cmdte. René Ramos Latour*”. Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico. ISMMM. (2011)
18. Macedo, R. C. “*Manual de Prácticas de Operaciones Unitarias I*”, Universidad de las Américas, Puebla. México. Inéditos. (2001)
19. Martínez y Barreto “*Diseño de un Sistema contra Incendio para una Empresa productora de Cereales*”. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Guayaquil, Ecuador. (2007)
20. Martínez, L.; Monteagudo, J. y Jáuregui, S. “*Mecánica de los Fluidos y Máquinas de Flujo*”, Editorial Universo Sur, Universidad de Cienfuegos, Cuba. (2007)
21. Mastrapa, M. “*Manual de operaciones de planta tratamiento de agua*”, Nicaro. pp. 88. (2006)
22. Nekrasov, B. “*Hidráulica*”, editorial PAZ, Moscú. (1986)
23. Pérez, F. D. “*Equipos de bombeo*”, editorial Pueblo y Educación. La Habana. (1981)



- 24.** Pérez, M. *“Introducción a la Ingeniería Hidráulica y Ambiental”*, editorial “Félix Varela”. La Habana. (2001)
- 25.** Pérez, R. *“Equipos de bombeo”*. 3ra Edición, Tercera Reimpresión, editorial Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana. (2000)
- 26.** Rabinóvich, E. Z. *“Hidráulica”*, editorial MIR, Moscú. (1987)
- 27.** Ramos, N. *“Bombas, ventiladores y compresores”*, editorial ISPJAE. La Habana. (1989)
- 28.** Robert, W. and McDonald, A. *“Introducción a la Mecánica de Fluidos”*, Cuarta Edición, ed. McGraw Hill, Interamericana S. A., USA. (1995)
- 29.** Santos, F. y Martín, M. *“Modelos matemáticos para la determinación aproximada de la forma de la característica de trabajo de una bomba centrífuga”*; Centro azúcar, N 1. (1999)
- 30.** Stepanoff, A. *“Centrifugal and axial flow pumps”*, editorial, John Willey & Sons. New York. (1959)
- 31.** Streeter, L. Victor, *“Mecánica de los fluidos”*, editorial Ciencia y Técnica, Ciudad de la Habana. (1978)
- 32.** Streeter, V.; Benjamin, E. y Bedford, K. *“Mecánica de Fluidos”*, Novena Edición. McGraw-Hill. Best Seller International, S.A., Santa Fé de Bogotá, Colombia. (2000)
- 33.** Talwar, M. *“Analyzing centrifugal-pump circuit”*. Chemical Engineering, vol. 90, No. 17. (1983)
- 34.** Turiño, I. M. *“Determinación aproximada de la característica de funcionamiento de una bomba centrífuga”*. Centro azúcar, No.1. (1994)
- 35.** Turro, B. A. *“Estudio del Hidrotransporte de las Colas en el Proceso Carbonato Amoniaca”*, Tesis en Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas. ISMM, Moa, 2002. p.154.



Anexo 1 Ventana de edición de los elementos que conforman la red

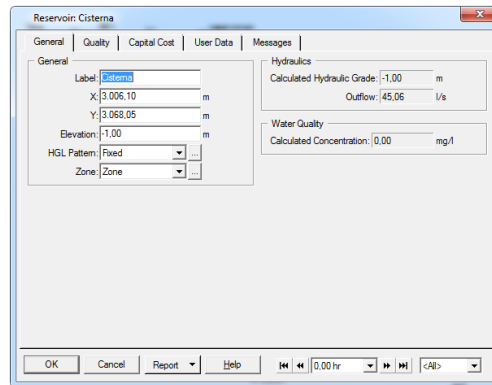


Figura 1 Ventana de edición de las propiedades de la cisterna

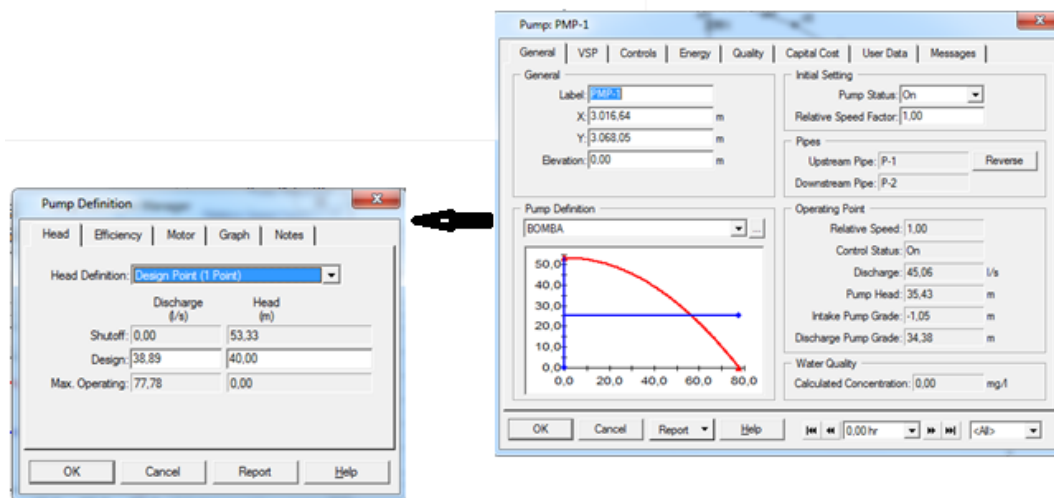


Figura 2 Ventana de edición de las propiedades de la bomba y definición de su curva.

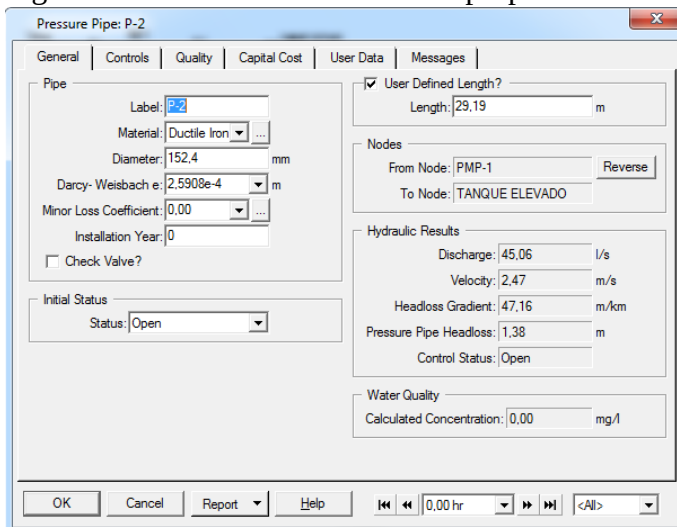


Figura 3 Ventana de edición de las propiedades de las tuberías

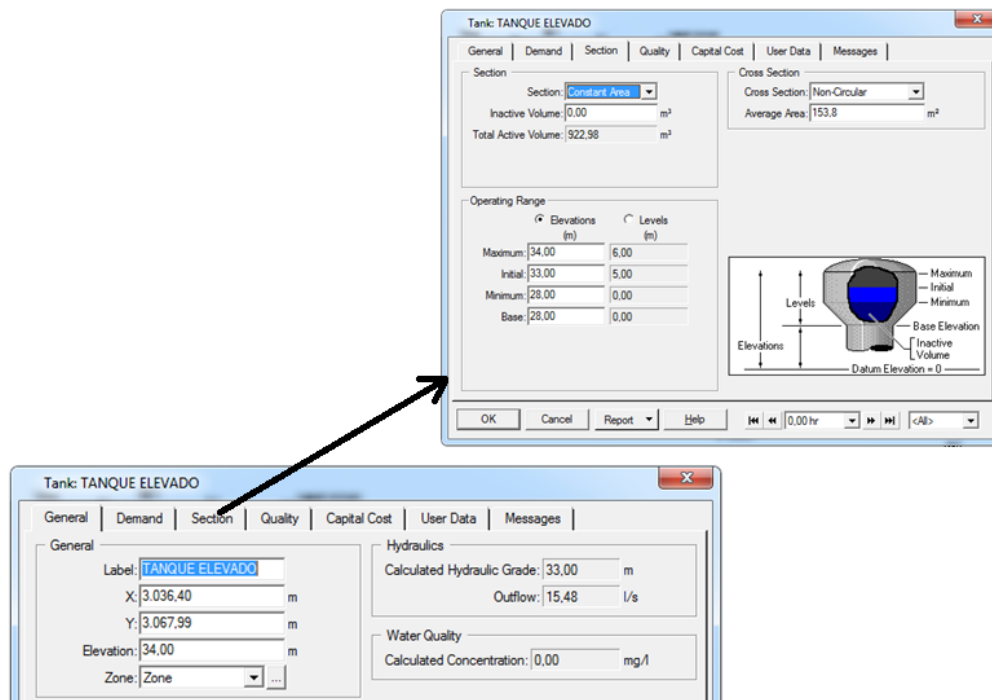


Figura 4 Ventana de edición de las propiedades del tanque elevado

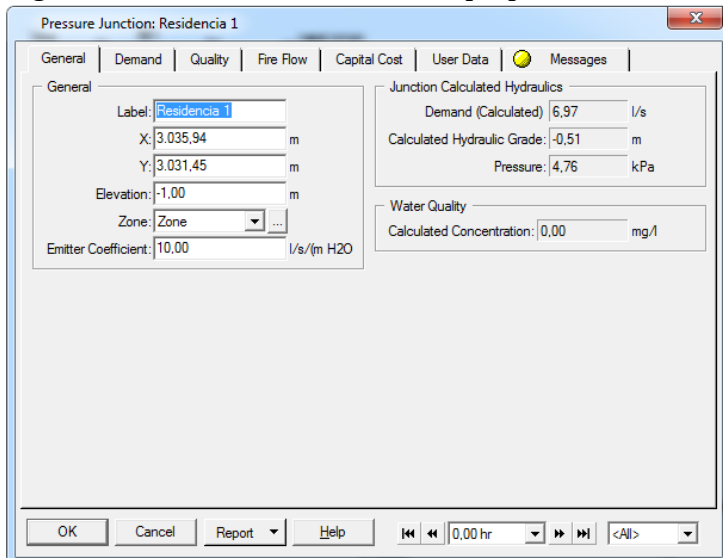


Figura 5 Ventana de edición de las propiedades de los nodos

Anexo 2



Figura 6 Trazado de la línea de tuberías de la red del área de residencia del ISMM



Anexo 3

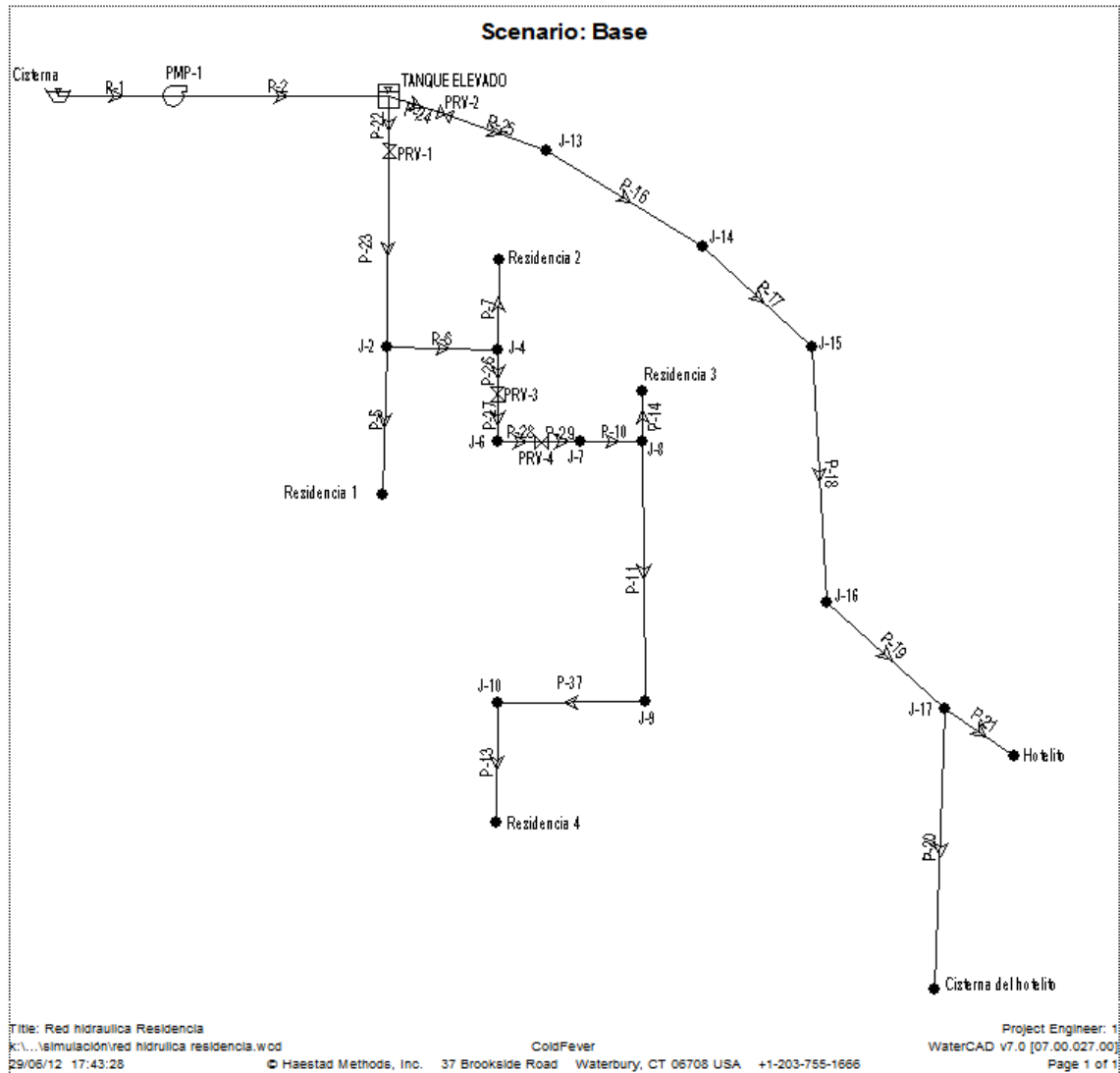


Figura 7 Trazado de la red simulada en WaterCAD V.7



Anexo 4

Tabla 1 tabla reporte emitida por el software WaterCAD

WaterCAD Table - Pipe Report													
File Copy Print Print Preview Options Close Help 0,00 hr Increment: <All> Scenario: Base													
	Label	Length (m)	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Check Valve?	Minor Loss Coefficient	Control Status	Discharge (l/s)	Upstream Structure Hydraulic Grade (m)	Downstream Structure Hydraulic Grade (m)	Pressure Pipe Headloss (m)	Headloss Gradient (m/km)
P-1	P-1	1,16	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	45,06	-1,00	-1,05	0,05	47,16
P-5	P-5	25,00	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	6,97	-0,48	-0,51	0,03	1,25
P-6	P-6	32,30	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	23,88	-0,48	-0,92	0,44	13,53
P-7	P-7	45,00	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	2,67	-0,92	-0,93	0,01	0,21
P-10	P-10	15,00	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	35,53	-1,66	-2,10	0,44	29,52
P-11	P-11	58,00	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	16,73	-2,10	-2,49	0,39	6,75
P-13	P-13	1,52	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	6,87	-2,53	-2,53	0,00	1,22
P-14	P-14	10,00	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	9,35	-2,10	-2,12	0,02	2,19
P-16	P-16	20,00	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	49,27	-2,60	-3,73	1,12	56,25
P-17	P-17	30,00	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	44,04	-3,73	-5,08	1,35	45,07
P-18	P-18	83,50	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	34,45	-5,08	-7,40	2,32	27,77
P-19	P-19	17,65	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	40,74	-7,40	-8,08	0,68	38,65
P-20	P-20	32,00	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	13,33	-8,08	-8,22	0,14	4,35
P-21	P-21	17,45	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	13,56	-8,08	-8,16	0,08	4,49
P-22	P-22	4,88	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	23,92	33,00	32,93	0,07	13,57
P-23	P-23	35,50	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	23,92	-0,00	-0,48	0,48	13,57
P-24	P-24	5,49	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	36,63	33,00	32,83	0,17	31,33
P-25	P-25	83,00	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	36,63	-0,00	-2,60	2,60	31,33
P-26	P-26	0,70	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	30,79	-0,92	-0,93	0,02	22,27
P-27	P-27	8,30	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	30,79	-0,93	-1,12	0,18	22,27
P-28	P-28	13,00	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	41,36	-1,12	-1,64	0,52	39,82
P-29	P-29	0,57	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	41,36	-1,64	-1,66	0,02	39,82
P-2	P-2	29,19	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	45,06	34,38	33,00	1,38	47,16
P-37	P-37	13,41	152,4	Ductile Iron		☐	0,00	Open	-9,62	-2,53	-2,49	0,03	2,32