



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD DE METALURGIA ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA.

TRABAJO DE DIPLOMA
EN OPCION AL TITULO DE
INGENIERO MECÁNICO

TITULO:

**Diseño y cálculo de una red en malla para el abasto de
agua de un Hospital de Camas**

AUTOR: Ngagne Gueye

TUTOR: Dr. Raúl Izquierdo Pupo

Moa, 2008

“Año 50 de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

El autor de este trabajo de diploma titulado “Diseño y cálculo de una red en malla para el abasto de agua de un Hospital de 400 camas”, Ngagne Gueye, certifica la propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa a hacer uso del mismo con la finalidad académica que estime conveniente.

Ngagne Gueye
Autor

Dr. C. Raúl Izquierdo Pupo
Tutor

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, mi Abuelo Mbaye Gueye y Primo Elhadji Gueye, que con sus sabios consejos me enseñaron que todo en la vida se logra con esfuerzo, amor y dedicación.

A las personas que han intervenido de cierta manera en mi preparación tanto profesional como moral.

En fin, a todos aquellos que siempre estuvieron apoyándome para poder seguir adelante.

ÍNDICE	Págs.
Introducción	1
Capítulo I. Marco Teórico Metodológico de la Investigación	4
1.1. Trabajos Precedentes	4
1.2. Descripción del esquema tecnológico	8
1.3. Características de los fluidos	11
1.4. Fundamentos para la selección y diseño de tuberías	11
1.5. Pérdidas de carga en las tuberías	12
1.5.1. Perdidas de carga en régimen laminar y turbulento	13
1.5.2- Pérdidas secundarias	14
1.5.3. Pérdidas de carga en función del gasto	15
1.6. Sistemas de tuberías	16
1.6.1. Tuberías simples. Tipos de servicios y problemas que se presentan en la práctica	16
1.6.2. Tuberías compuestas	17
1.7. Redes de tuberías	18
1.7.1. Redes ramificadas o abiertas	18
1.7.2. Redes en mallas	19
1.8. Métodos de cálculos de redes en mallas	20
1.8.1. Hardy – Cross como solución a las inconvenientes de las redes ramificadas	21
1.8.2. Resumen del método de Hardy – Cross	23
1.9. USO DEL SOLVER (ver anexos)	24
1.10. Conclusiones Parciales	25
Capítulo II. Materiales y Métodos	26
Introducción	26
2.1. Materiales y Métodos empleados para el desarrollo del trabajo	26
2.2. Ecuación general de las perdidas de carga por el metodo ecuación de DARCY-WEISBACH	27
2.3. Formulas de Hazen-Williams para perdidas en tuberías	28
2.4. Obtención de la ecuación de la bomba ($h_{BOMBA}=f(Q)$)	29
2.5. Determinación de la curva característica de la red	31
2.6. Diseño, cálculo y explotación de la red en malla	32
2.6.1. Establecer los consumidores	32
2.6.2. Establecer los nodos	33
2.6.3. Establecer las mallas	34
2.6.4. Establecer los recorridos	35
2.6.5. Balance de gasto aplicando Solver, tabla en Excel para cada metodología	36
2.6.6. Establecer la ecuación de la red en malla	41
2.6.7. Determinación de las pérdidas por rozamiento y pérdidas locales	41
2.6.8. Régimen de trabajo de la instalación	44
2.7. Cálculo del rendimiento, potencia y energía de la bomba	45
2.8. Conclusiones Parciales	47
Capítulo III. Evaluación económica y Análisis del Mantenimiento	48

Introducción	48
3.1. Evaluación técnica económica	48
3.1.2. Determinación del costo de m ³ de agua para el esquema actual	48
3.2. Mantenimiento y explotación del sistema de bombeo	51
3.3. Conclusiones Parciales	54
Conclusiones Generales	55
Recomendaciones	56
Bibliografía	57
Anexos	

RESUMEN

La Hidráulica se define generalmente como la ciencia que trata sobre las leyes del equilibrio y movimiento de los líquidos y la aplicación de dichas leyes a la solución de problemas prácticos. En tal sentido en el presente trabajo se realiza una descripción de las principales características del diseño de redes de tuberías para el abastecimiento de agua, además se diseña una red en malla para una instalación hidráulica de un hospital de 400 camas aplicando la herramienta de Excel, Solver; todo esto a partir de las ecuaciones y métodos más generales, tales como Hardy-Cross, Bernouilli, DARCY-WEISBACH, Hazen-Williams. También da como resultado, que el régimen de trabajo de la instalación es igual ambos métodos de cálculo, para los cuales se obtienen valores de gasto de 8,5 l/s y una altura de 32,55 m.

Finalmente se realiza una valoración técnico económica y del mantenimiento de dichas instalaciones.

SUMMARY

Hydraulics is defined generally as the science that deals with laws of equilibrium and movement of liquids and the application of the mentioned laws to practical problems. In the same sense as in the present study, a description of principle characteristics of the design of pipe networks for water supply is realized, also included is the design of a mesh network for hydraulic installation of a 400 bed hospital applying the tool Excel, Solver; all this being derived from more general equations and methods, such as Hardy-Cross, Bernouilli, DARCY-WEISBACH, Hazen-Williams. Also as a result, the working regime of the installation is equal in both calculation methods, for which waste values obtained is 8,5 liters/s and a height of 32,55m.

Finally an economic technical valuation and that of maintenance of the said installations is realized.

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Loja Ubicada al sur de la Republica del Ecuador, se encuentra el Hospital Regional Isidro Ayora que brinda sus servicios por más de 30 años a la ciudadanía lojana en las distintas ramas de la medicina. La instalación da atención adecuada a la ciudadanía mas necesitada de está Región del país.

El hospital Isidro Ayora cuenta con una capacidad máxima de 400 camas ubicadas en 4 plantas. Actualmente cuenta con un servicio activo para 200 camas. La instalación actual posee un sistema de bombeo que consta de tres bombas; 1 de 25 Hp y de 2 de 50 Hp, y una red abierta (Montaño, 2005). Esta instalación cuenta ya con más de 20 años de explotación y presenta actualmente problemas de altos consumos de energía y de mantenimiento; lo cual justifica realizar el presente trabajo de Diploma.

El transporte hidráulico se caracteriza por un elevado consumo energético, dependiendo en gran medida de las pérdidas de carga a lo largo de la tubería y está, a su vez, depende de el diámetro de la conductora, su estado de explotación, el material y tecnología de que está hecho, el régimen de trabajo de la instalación y de las propiedades físicas mecánicas del material y del fluido que se transporta.

El rediseño de una red en malla del sistema de abasto de agua del Hospital Isidro Ayora permitirá resolver el problema actual de la instalación. La red en malla tiene las siguientes ventajas respecto a las líneas abiertas:

- Libertad en el sentido de la circulación del agua.
- Mejor repartición de la presión.
- Mayor seguridad en el servicio, ya que una avería en un punto determinado no acarrea, como en el caso anterior, un corte de suministro, pues el agua puede conducirse por otras tuberías de la malla, dejando aislado el tramo en reparación.

Para proyectar y fundamentar una instalación de transporte hidráulico, es necesario conocer las propiedades del fluido, determinar la velocidad del fluido, las pérdidas de hidráulicas, el diámetro de la conductora que permite la determinación del régimen racional de trabajo y elegir los equipos adecuados para el uso correcto. Estos

parámetros tienen incidencia en la magnitud de las inversiones, en los gastos de explotación, y en la fiabilidad de trabajo de la instalación.

En la ejecución de esta investigación en el campo la mecánica de los fluidos se basa en dos puntos importantes:

1. Uso del programa SOLVER para la optimización.
2. Cálculo de las pérdidas por las metodologías de Darcy-Weisbach y Hazen-Williams y su comparación.

En general, la curva característica de una red suele aparecer con una ligera caída hacia la derecha; en principio podría parecer que mejor sería una línea horizontal, pues permitiría regular la bomba en amplios intervalos de caudales, dando siempre la misma presión o altura de impulsión; sin embargo, el caudal se puede regular accionando la válvula de impulsión, de forma que la variación de presión que con esto se provoca, permita ajustar el caudal al valor deseado.

Situación Problemática.

En la actualidad el sistema de abasto de agua de un Hospital en Loja de 400 camas presenta alta ineficiencia debido a problemas técnicos y operacionales que provocan que la instalación opere en un régimen de inestabilidad produciendo un incremento en el consumo energético y recursos para el mantenimiento de las bombas de la instalación.

Problema

Insuficiente conocimiento de un método de cálculo y evaluación, que permite establecer los parámetros racionales de operación del sistema de abasto de agua del Hospital Isidro Ayora, para disminuir el consumo de energía y mejorar los parámetros de explotación de la instalación.

Objeto de estudio

Hospital en Loja de 400 camas

Hipótesis General

El diseño de una red en malla para abastecimiento de agua a un hospital de 400 camas aplicando el software de optimización SOLVER permitirá disminuir el consumo de energía y los gastos de mantenimiento.

Objetivo General.

Evaluar una red en malla de abastecimiento de agua aplicando el software de optimización SOLVER y las metodologías de cálculo de Darcy-Weisbach y Hazen - Williams

Por tanto, para cumplir el objetivo central, se desarrollaron los siguientes.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar la red en malla para el sistema de abastecimiento de agua
2. Realizar los cálculos de la red en malla aplicando el software de optimización SOLVER y las metodología de calculo de Darcy-Weisbach y Hazen - Williams.
3. Comparar los parámetros consumo de energía y gasto de mantenimiento de la instalación diseñada con redes en mallas con los parámetros de la instalación actual

Para darle cumplimiento a los objetivos anteriormente expuestos se realizan las siguientes tareas:

Tareas

1. Revisión bibliográfica y establecimiento del estado del arte.
2. Diseño de una red en malla equivalente al de sistema abierto de abastamiento de agua.
3. Análisis y comparación de los resultados obtenidos del sistema de red en malla con respecto al abierto en cuanto al consumo de energía y los gastos de mantenimiento.
4. Presentar los resultados al evento forum del instituto.

Capítulo I. Marco Teórico Metodológico de la Investigación

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.

1.1. Trabajos Precedentes

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 de nuestro país.

En el desarrollo de la investigación se han consultado diferentes trabajos y estudios, la revisión bibliográfica ha estado dirigida en dos líneas fundamentales:

- La información relacionada con el enfoque teórico – metodológico.
- los trabajos sobre el tema de fluidos newtonianos desde el punto de vista científico, técnico y práctico que se han efectuado en los últimos años.

El deseo del hombre de comprender los fenómenos en los fluidos surgió en él cuando tuvo problemas de suministro de agua, de irrigación, de navegación; y de energía hidráulica. Con solo una rudimentaria apreciación física de los fluidos, construyo pozos; canales, opero ruedas hidráulicas y dispositivos de bombeo rudimentarios y al aumentar el tamaño de sus ciudades; construyo 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 JC) sobre los principios de flotación en la mecánica de los fluidos son muy pocos los conocimientos de la antigüedad. Después de la caída del imperio Romano no existe; hasta la época de Leonardo Da Vinci (1452 – 1519) registro algún progreso en la mecánica de los fluidos. Este gran genio proyectó y construyó la primera esclusa de cámaras para un canal cerca de Milan e introdujo una

nueva era en la Ingeniería Hidráulica; estudio también el vuelo de las aves y desarrollo algunas ideas sobre el origen de las fuerzas que soportaban a estas 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 conocimientos sobre la Hidráulica ganó importancia 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 1774 "La teoría de los fluidos deberá basarse necesariamente en la experimentación" D'Alembert demostró que no existe resistencia al movimiento de un cuerpo cuando se mueva a través de un fluido ideal (no viscoso) pero es obvio que esta conclusión no puede aplicarse a los cuerpos que se mueven a través de los fluidos reales. Esta discrepancia entre la teoría y el experimento; que se denominó la paradoja de D'Alembert ha sido ya resuelta.

En un sentido amplio la Hidráulica experimental llegó a ser el estudio de los fenómenos de flujos ocurrientes en orificios, tubos y canales abiertos. Entre los muchos investigadores precursores que dedicaron sus energías a la iniciación de este campo se encuentra Chezy, Bossut, Borda, Du Buat, Coulomb, Venturi, De Prony, Eutewill, 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 adoptarlas a las de un fluido viscoso y, al hacerlo así demostraron la posibilidad de aplicar 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, Mannig, Francis y otros. Infortunadamente, las investigaciones conducían con frecuencia a fórmulas empíricas obtenidas por solo el ajuste entre la gráfica y la 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 la fórmula resultante.

Hacia fines del siglo pasado surgieron nuevas industrias que demandaron información sobre el flujo de fluidos diferentes al agua; este hecho, unido 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 los modelos en la solución de problemas sobre fluidos por Frande; Reynolds; Vernon – Harcourt; Fargue y Engels.
4. El rápido progreso de al aeronautica teórica y experimental debido a los estudios de Lanchesten; Lilienthal, Kutta, Betz y Prant. Estos adelantos proporcionaron nuevas herramientas para dar solución a los problemas y nacimiento a la moderna mecánica de los fluidos.

La Hidráulica se define generalmente como la ciencia que trata sobre las leyes del equilibrio y movimiento de los líquidos y la aplicación de dichas leyes a la solución de problemas prácticos.

En hidráulica se estudian principalmente los flujos de líquidos dirigidos y limitados por paredes resistentes, es decir, corrientes en cauces abiertos y cerrados. En la noción de cauce incluiremos todas las paredes que limitan y dirigen la corriente, por consiguiente; no solo los lechos de los ríos; canales, sino también diversas tuberías toberas, elementos de máquinas hidráulicas y otros dispositivos, en el interior de los cuales fluye el líquido.

En hidráulica se examinan principalmente los movimientos de líquidos y en la mayoría de los casos, estos últimos son considerados incompresibles.

En cuanto a las corrientes interiores de gases, cabe señalar que estas pasan a la esfera de la hidráulica solamente cuando las velocidades de su corriente son considerablemente menores que la velocidad del sonido y por consiguiente; cuando se puede despreciar la compresibilidad del gas. Semejante movimiento de los gases se observa en la práctica bastante a menudo; el flujo del aire en sistemas de ventilación y otros gasoductos.

Por eso, de los problemas vitales de la actividad práctica de los hombres surgió otra ciencia sobre el movimiento de los líquidos la Hidráulica en la cual los investigadores eligieron otro camino la amplia aplicación del experimento y la acumulación de datos experimentales para su utilización en la ingeniería práctica. En el periodo inicial de su desarrollo, la Hidráulica era una ciencia puramente empírica. En cambio; ahora; en hidráulica se empieza a ampliar cada vez más; donde es posible y convenientemente; el método de la hidromecánica. Teórica para la solución de determinados problemas y está acude cada vez a menudo al experimento como criterio de la autenticidad de sus conclusiones es decir; la diferencia entre los métodos de estas dos ciencias poco a poco va desapareciendo y la frontera entre ellas disminuyendo.

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 et al., 2001). La información que existe ha sido desarrollada principalmente para fluidos de tipo newtoniano.

Liu et al. (1998), realizaron el análisis teórico y la modelación del transporte de fluidos no newtonianos (del tipo Herschel-Bulkley, Meter y Cross), tanto en conductos como a través de medios porosos, involucrando tres factores de forma y la viscosidad como necesarios para evaluar las caídas de presión durante el flujo. Adhikari et al. (2000), incorporaron el concepto de las redes neuronales, como una nueva herramienta computacional, en el cálculo de las pérdidas de presión en tuberías, para lo cual manejaron fluidos de comportamiento no newtoniano, obteniendo errores de predicción

menores a 5.4% con respecto a los valores experimentales. Los coeficientes de fricción para el manejo de fluidos reoadelgazantes en diferentes accesorios de 1 pulgada, fueron medidos por Martínez et al. (2001), dicho coeficiente fue expresado como función del número de Reynolds generalizado. Perona (2003), reportó los resultados obtenidos en la transición de régimen laminar a turbulento para purés de frutas diluidos, considerando que las discrepancias observadas en su estudio, pueden atribuirse a los efectos viscoelásticos de los fluidos.

En el Artículo, Sánchez (2002), realiza un estudio numérico de mecánica de fluidos 2D en una contracción brusca para fluidos no newtonianos tipo ley de potencia de Ostwald-de-Waele. Se emplean dos métodos de resolución, el método de los volúmenes finitos y el método de los elementos finitos para la resolución de las ecuaciones de momentum lineal y de continuidad. En ambos métodos se estudia el comportamiento del fluido para diferentes índices de potencia.

Turro (2002), en su tesis doctoral estudia el hidrot transporte de las colas en el proceso carbonato amoniacal, planteando a partir del sistema de correlaciones derivado del modelo físico propuesto, su novedad para el cálculo y evaluación de las instalaciones de hidrot transporte, derivado de los resultados de la caracterización realizada y del sistema de ecuaciones producto del modelo físico – matemático.

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.

Mena (2006) evalúa el sistema de mantenimiento, de las redes de tuberías para el transporte de amoniaco, en la planta de Recuperación de la empresa del Niquel Comandante Ernesto Che Guevara.

Columbié (2006) establece la caracterización y evaluación de los indicadores técnicos – económicos y medio ambiental del sistema de transporte de combustible en la planta de preparación de Mineral de la empresa del Niquel Comandante Ernesto Che Guevara, en cuanto al comportamiento del fluido. El trabajo incluyo una nueva propuesta de suministro de combustible a los hornos de secado.

1.2. Descripción del esquema tecnológico

El Hospital Isidro Ayora ubicado en el ciudad de Loja, inició sus actividades en el año de 1979 con una capacidad instalada de 400 camas, para lo cual se monto el sistema hidráulico de presión constante con una cisterna de 227 metros cúbicos de la cual se succiona el agua mediante 2 bombas ubicadas a un colector común de 3 metros de longitud que tiene un diámetro de 0.15 m. La tubería de salida desde este colector es de 0,1016 m. que es la tubería matriz de distribución de agua a los diferentes sectores del .Hospital.

Planta Baja y Primer Piso

En la instalación hidráulica cada 6 metros se encuentra uniones universales y exactamente a los 18 m hacia el Sur se encuentra una válvula check que sirve como mecanismo de protección para el sistema de bombeo, a continuación de la check existe una Tee que deriva en dos partes una con la cual continua la tubería de 0.101 m. y otra que reduce a 0.0508 m.; donde se subdivide en dos ramales que sirven para alimentar de agua hacia et tanque de condensado de las calderas y la otra para el tanque calentador de agua. Siguiendo con el esquema 18m después se encuentra una Tee que deriva la tubería matriz hacia el Este del Edificio y otra que reduce a 0.0508 m. que distribuye el líquido hacia el Departamento de Rayos "X" que se encuentra en la primera Planta (Hay que destacar que la tubería que se encuentra en planta baja distribuye el agua tanto para este piso como para la primera planta). 18 metros hacia el este existe otra Tee que se divide en dos, la una hacia el Norte a/ sector que comprende Alimentación y la otra sigue hasta 2 metros mas hacia el este, donde gira en un codo de 90° hacia el sur en una longitud de 39 m. hasta una Tee de 3 vías que ramifica en dos tuberías de 0.0508 m. hacia consulta externa que se encuentra en el primer piso y otra de 0.1016 que va hasta los pisos superiores.

En la matriz de 0.1016 que se dirige hacia el Sur existe una Tee a los 14 m. y a su vez una reducci6n hasta los 0.0508 m. que proporciona agua a la morgue que se ubica en el subsuelo. 10m. mas adelante en la tubería matriz existe otra desviación dirigida hacia el este que alimenta de agua en un ramal de 0.0762 m. y una longitud de 26 m. a 4 lavadoras de 55 kilogramos. Con respecto a la tubería que se desvía hacia alimentación en un diámetro de 0.1016 m. 10 hace en una longitud de 15 m. A los 7 m. donde inicia

este ramal existe una Tee y una reducción hasta los 0.0508 m. que conduce agua hacia el

Área Administrativa ubicada en el primer piso. Al final de esta tubería 0 sea a los 15 m. existe una tee que deriva en dos, una de 0.1016 hacia el este y que al final de su longitud de 20 m. cursa la misma hacia los pisos superiores, la otra sigue la dirección norte para reducida a 0.0508 m en una longitud de 10m. al final de la cual existe un ramal de 0.0508 m. que se desvía al este en una longitud de 16 m. que sirve para alimentar de agua a dos sectores et uno a 5 marmitas y el otro para la lavadora de vajilla ambas en un diámetro de 0.0254 m. Posterior a los 10m. en la misma tee que ramifica alas marmitas continua una tubería de 0.0381 m de diámetro hacia el norte que ramifica a su vez a Laboratorio, Fisiatría y lavabos de Cocina. En anexos se puede apreciar el esquema de distribución de las tuberías en Planta Baja y primer Piso.

Segundo Piso

Para el segundo piso (Anexos) se tiene dos ramales designados como Norte y Sur. El ramal norte alimenta de agua al Departamento de Gineco Obstetricia ubicado al este del hospital, allí desde la tubería vertical de 0.1016 m por medio de una Tee deriva hacia la derecha en un diámetro de 0.0762 m y hacia la izquierda en 0.0508 m de cuyos matrices se subdividen en tuberías de 0.0381 m de diámetro que distribuyen agua a los cuartos de este departamento tanto para baño, lavabo y servicio higiénico, en 10 que respecta a los baños y lavabos la alimentación es en una tubería de 0.0127 m. Al oeste del ramal norte se ubican los quirófanos de Centro Obstétrico y el servicio de Neonatología los mismos que son abastecidos con una tubería de 0.0508 m. En el ramal Sur al igual que en el norte desde la tubería vertical de 0.1016 m se distribuye y se reduce a un tubo de 0.0635 m de los cuales se ramifica a tubos de 0.0381 m para distribuir agua a las áreas de Patología, Endoscopia y Salud Mental, esto en lo que respecta a la ubicación Este. En lo que tiene que ver al Oeste desde el tubo de 0.0635 por medio de una Tee se deriva en la misma medida hacia el sector de Residencia Medica.

Tercer Piso

El ramal Norte de este piso es idéntico al segundo piso. En lo que concierne al ramal Sur, desde la tubería vertical de 0.1016 se subdivide a través de una Tee en dos tramos

el derecho con un diámetro de 0,0635 m y el izquierdo con una medida de 0.0508 m de los cuales se alimentan en tuberías de 0.0381 m a la Unidad de Quemados, Hemodiálisis y Unidad de Cuidados Intensivos, en este ramal no existe distribución hacia el sector oeste ya que no hay edificación alguna.

Cuarto Piso

La distribución es similar a la del tercer piso tanto en el ramal Norte como en el Sur con la excepción que en el ramal norte no existe distribución al Oeste puesto que no existe edificación en este piso.

1.3. Características de los Fluidos

Fluido es aquella sustancia que; debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene.

Los fluidos se clasifican en líquidos y gases.

En general los sólidos y líquidos son poco compresibles y los gases muy compresibles, pero ningún cuerpo (sólido, líquido, gaseoso), es estrictamente incompresible.

Sin embargo el fluido incompresible no existe en realidad.

Todos los líquidos pertenecen a la primera clase. Los gases generalmente a la segunda, pero en los gases, si las variaciones de presión que entran en juego son pequeñas; por ejemplo inferiores a 1 m.c.a el gas puede considerarse también como incompresible; así un ventilador, que comprime aire a 100 m.c.a sobre la presión atmosférica; es una máquina que se estudia en la mecánica de fluidos incompresibles.

1.4. Fundamentos para la selección y diseño de tuberías

Este epígrafe solo trata con los elementos teóricos necesarios para el cálculo y diseño de tuberías, es decir, que no hace alusión a cada una de las etapas que comprenden el diseño de un artículo o elemento.

Para la selección y diseño de una tubería se emplea como ecuación fundamental la siguiente:

$$Q = A \cdot V \tag{1.1}$$

Donde:

Q – flujo o caudal, expresado en m³/s; pie³/s o en cualquier otra unidad de medida compatible.

V – velocidad del fluido, expresado en m/s; pie/s o en cualquier otra unidad de medida compatible.

A – área interna de la sección transversal de la tubería, expresado en m²; pie² o en cualquier otra unidad de medida compatible.

Pero:

$$A = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \quad (1.2)$$

Donde:

D – diámetro interior de la tubería.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}} \quad (1.3)$$

- La ecuación anterior permite la determinación del diámetro interior de la tubería.

1.5. Pérdidas de carga en las tuberías

Las pérdidas de carga en las tuberías son de dos clases, primarias y secundarias.

- **Las pérdidas primarias:** son las pérdidas debido al contacto del fluido con la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluido con otras (régimen laminar) o de las partículas de fluido entre sí (régimen turbulento). Tienen lugar en flujo uniforme, por tanto, principalmente en los tramos de tubería de sección constante.
- **Las pérdidas secundarias:** son las pérdidas debido a la variación de las dimensiones o configuración del cauce, donde cambia la velocidad del flujo y surgen habitualmente torbellinos (estrechamiento o expansiones de la corriente).

1.5.1. Pérdidas de carga en régimen laminar y turbulento

Para el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías juegan un papel discriminante dos factores: el que la tubería sea lisa y el que el régimen de corriente sea laminar o turbulento.

Es necesario tener bien en cuenta que si la velocidad del fluido en la tubería es pequeña el régimen es laminar, donde para este tipo de corriente la pérdida de carga es proporcional a la primera potencia de la velocidad.

Cálculo del coeficiente de pérdidas primarias f

Todos los casos que pueden presentarse, se reducen a:

-Régimen laminar

- a) Con tuberías lisas ($\frac{\varepsilon}{D}=0$: tuberías de vidrio o de cobre, por ejemplo).
- b) Con tuberías rugosas: tuberías de hierro, hormigón, etc.

-Régimen turbulento

- a) Con tuberías lisas.
- b) Con tuberías rugosas.

El coeficiente f

- a) en general $f=f(\text{Re}, \frac{\varepsilon}{D})$.
- b) en régimen laminar $f=f(\text{Re})$ y no es función de la rugosidad $\frac{\varepsilon}{D}$.
- c) en régimen turbulento con un número elevado del Re $f=f(\frac{\varepsilon}{D})$ y no es función del Reynolds.

Cálculo de f en régimen laminar: Fórmula de POISEUILLE

En estos casos el efecto de la rugosidad que se presenta favorece el desprendimiento y la turbulencia: como si las rugosidades microscópicamente produjeran un efecto de rozamiento de forma. Sin embargo, si el flujo es laminar la corriente es relativamente lenta, la viscosidad relativamente grande, y la corriente no es perturbada por las protuberancias del contorno; más aún, si se inicia una turbulencia la viscosidad la destruye. Por tanto: en régimen laminar f no es función de la rugosidad.

Para deducir la **fórmula de Poiseuille** es necesario usar la ecuación de energía para calcular la pérdida mínima de la bomba, si conocemos la pérdida de fricción en la tubería. El método para calcularla exige derivar y resolver una ecuación diferencial que describa el perfil de velocidad a través de la tubería. Del perfil de velocidad podemos

calcular todas las propiedades del flujo, incluyendo la energía perdida en las paredes de la tubería debido a la viscosidad. A partir del gráfico se puede determinar una ecuación diferencial que describa el movimiento de un fluido. Examinemos la salida de una sección de tubería.

**Cálculo de f en régimen turbulento y tuberías lisas: para $2300 < \text{Re} < 100\ 000$:
Fórmula de BLASIUS.**

En esta sección se determinará el valor de f en régimen turbulento y tuberías lisas, para diferentes valores de Re hasta 100 000 solamente.

Como las tuberías son lisas f no es función de la rugosidad relativa, ya que ésta es nula ($\varepsilon=0$), o sea, $f=f(\text{Re})$. Para estos casos se aplica la ecuación de Blasius:

$$f = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{\text{Re}}} \quad (1.4)$$

Cálculo de f en régimen turbulento y tuberías lisas: para $\text{Re} > 100\ 000$: Fórmula primera de KÁRMAN-PRANDTL.

Para régimen turbulento y tuberías lisas también; pero para $\text{Re} > 100\ 000$, con estudios teóricos y experimentales, y ajustando los coeficientes experimentales, estos científicos dedujeron la **Fórmula primera de Kármán-Prandtl**:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \cdot \log \cdot \text{Re} \cdot \sqrt{f} - 0.8 \quad (1.5)$$

Cálculo de f en régimen turbulento y tuberías rugosas $\frac{\varepsilon}{D} > 0$

En las tuberías rugosas:

- si el número de Reynolds es bajo ($\text{Re} < 2300$, o $\text{Re} > 2300$, pero de manera que el flujo sea laminar) la rugosidad no influye en la pérdida de carga.

$$f=f(\text{Re})$$

- si el número de Reynolds es elevado por el contrario, f deja de ser función de Re y se tiene que:

$$f=f(\varepsilon/D)$$

-si el número de Reynolds tiene un valor intermedio se tendrá en general:

$$f=f(Re, \varepsilon/D)$$

De este último caso se tratará en los siguientes tópicos.

1.5.2. Pérdidas Secundarias

Las pérdidas menores en una red, como se dijo anteriormente, se refieren a la pérdida asociada con los codos, las válvulas, las expansiones, etc.

Las pérdidas menores o secundarias se pueden dividir en los siguientes grupos y subgrupos:

- 1 Ensanchamiento del cauce: brusco y gradual.
- 2 Estrechamiento del cauce: brusco y gradual.
- 3 Cambio de dirección del cauce: brusco y gradual.

La pérdida de carga debido a cada uno de estos componentes se da por un coeficiente de pérdida, K , dónde K es la proporción de pérdida de carga, a la carga dinámica del sistema, es decir,

$$K = \frac{h_{fm}}{V^2/2g} \quad (1.6)$$

En un sistema de tuberías donde se tienen varias pérdidas menores, si el diámetro de la tubería es constante, la pérdida de carga total, sería: ⁽²⁰⁾

$$h_{focal} = \frac{V^2}{2 \cdot g} \left(\frac{L}{D} \cdot f + \sum_i K_i \right) \quad (1.7)$$

Las pérdidas secundarias se pueden calcular también:

$$H_{loc} = Na \cdot \xi \frac{8Q^2}{D^4 \Pi^2 g} \quad (1.8)$$

donde

N_a es el número de accesorios,

ξ coeficiente de pérdida del accesorio que se obtiene generalmente de tablas

1.5.3. Pérdidas de carga en función del gasto

Resulta de mucha importancia en ocasiones, utilizar expresiones de las pérdidas de carga que estén expresadas en función del gasto. Sobre todo cuando tenemos, por ejemplo, una tubería instalada, cuyo estado desconocemos.

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (1.9)$$

Y teniendo en cuenta que

$$Q = A \cdot V$$

Luego:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \quad (\text{En tubería circular})$$

Sustituyendo se obtendría:

$$H_f = \frac{8 \cdot f \cdot L}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} Q^2 \quad (1.10)$$

$$\text{Y también, haciendo } K_f = \frac{8 \cdot f \cdot L}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} \quad (1.11)$$

Préstese mucha atención a la ecuación anterior debido a su predominio en la mayoría de los cálculos realizados en este trabajo.

1.6. Sistemas de tuberías

El tópico está dedicado a la descripción y análisis de cada uno de los sistemas de tuberías debido a la aplicación práctica que cada uno de estos poseen. Los sistemas de tuberías están formados por un conjunto de tuberías de iguales o distintos diámetros dispuestas en forma muy variada.

En general, los sistemas de tuberías se clasifican en tres grandes grupos:

- a) Tuberías simples.
- b) Tuberías compuestas.
- c) Redes de tuberías.⁽⁵⁾

1.6.1. Tuberías simples. Tipos de servicios y problemas que se presentan en la práctica

Las tuberías simples, son sistemas formados por una sola tubería que tiene un diámetro uniforme en toda su longitud y en la cual aparece uno o varios accesorios (válvulas, tes, codos, etc.) que permiten al sistema cumplir la función para la cual fue diseñado. Los servicios a que puede estar destinada una tubería simple son los siguientes:

- a. Conducir cierto caudal de un punto a otro, conocido como **servicio en extremidad**.
- b. Distribuir un caudal determinado a lo largo de su trayectoria, **servicio en ruta**.
- c. Cumplir al mismo tiempo las dos funciones anteriores, es decir, distribuir un caudal en su recorrido y entregar el resto en el extremo aguas debajo de la tubería. Este tipo de servicio se conoce como **servicio mixto**.

Los problemas que pueden presentarse en estas son los siguientes:

- Cálculo de la pérdida de carga en una tubería determinada.
- Cálculo del caudal o la velocidad en una tubería determinada.
- Cálculo del coeficiente de fricción de una tubería determinada.
- Cálculo de la longitud necesaria para lograr un objetivo determinado.

1.6.2. Tuberías compuestas

Las tuberías compuestas, están formadas por varias tuberías simples conectadas en serie, o en paralelo, o por combinaciones de tuberías en serie y en paralelo (mixtas). Estas pueden clasificarse en tres grupos:

- a. Tuberías en serie
- b. Tuberías en paralelo
- c. Tuberías mixtas

Tuberías en serie

Están formadas por varias tuberías una a continuación de la otra. En el caso de tuberías en serie se aplican las fórmulas siguientes:

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots \quad (1.12)$$

$$H_f = H_{f1} + H_{f2} + H_{f3} + \dots \quad (1.13)$$

$$V_1 \cdot D_1^2 = V_2 \cdot D_2^2 = V_3 \cdot D_3^2 = \dots \quad (1.14)$$

En efecto:

- El caudal que circula por los tramos 1, 2, 3,...de diámetros D1, D2, D3,...es el mismo.
- La pérdida total es igual a la suma de las pérdidas parciales.
- Se cumple la ecuación de continuidad.

Tuberías en paralelo

Están formadas por dos o más tuberías dispuestas de modo tal, que sus extremos sean comunes.

Para estos casos se aplican las siguientes fórmulas:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots \quad (1.15)$$

$$H_f = H_{f1} = H_{f2} = H_{f3} = \dots \quad (1.16)$$

En efecto:

- El caudal total Q se reparte entre todas las tuberías.
- La presión al comienzo pA y al final pB de cada rama es la misma para todas las ramas, luego la caída de altura de presión (diferencia de lecturas en los tubos piezométricos), H_r será también la misma en todas las ramas.

Tuberías mixtas

Las tuberías mixtas están formadas por combinaciones de tuberías en serie y en paralelo.

En las redes mixtas, únicamente se instalan distribuidores ciegos cuando el complejo urbano lo requiera, como pueden ser los fondos de saco y los puntos de consumo aislados, su longitud no será mayor de 300 m, ni podrán abastecer a más de 200 viviendas.

El buen funcionamiento y la razonable duración de una red de distribución obligan a que los valores de la presión, en la misma, queden dentro de límites recomendables (30 a 45 m.c.a).

De forma general y resumiendo, los principales problemas que pueden presentarse en las tuberías compuestas son:

- a) cálculo de la pérdida de carga.
- b) Cálculo del gasto o caudal.

1.7. Redes de tuberías

Las redes de tuberías pueden ser de dos tipos:

- a) Redes ramificadas o abiertas, y;
- b) Redes en mallas.

1.7.1. Redes ramificadas o abiertas

Las redes de distribución ramificadas, tienen como característica que el agua discurre siempre en el mismo sentido. Las redes ramificadas se componen esencialmente de tuberías primarias, las cuales se ramifican en conducciones secundarias y éstas, a su vez, se ramifican también en ramales terciarios. Los puntos donde las tuberías se dividen se denominan **Nudos del sistema**.

Las redes ramificadas deben ser utilizadas en núcleos urbanos de 1.000 habitantes como máximo y de configuración urbana lineal.

Las arterias tendrán una longitud máxima de 1.000 m y seguirán el eje de los núcleos. Los distribuidores tendrán una longitud máxima de 300 m. (ramales ciegos).

El sistema ramificado reúne las siguientes ventajas:

- Ser el más sencillo de calcular, ya que al estar definido el sentido de circulación del agua, puede precisarse con exactitud, el caudal que circulará por cada tubería, lo cual facilita, enormemente, el cálculo de los diámetros.
- Resulta a primera vista más económico.

Sus inconvenientes son:

- Una rotura puede originar el entorpecimiento e incluso el corte general, de la casi totalidad, de la distribución.
- Los extremos o finales de la ramificación presentan el inconveniente de que en ellos el agua queda estancada y se hace necesario, para evitar contaminaciones, efectuar frecuentes descargas (ya sea por medio de bocas de riego o llaves de descarga).
- La economía que resulta del menor desarrollo (menor número de kilómetros de la red) es más bien aparente que real, ya que en este caso será necesario contar con diámetros mayores, puesto que la alimentación de cada tramo no se verifica más que por un solo lado.

Lo anterior se podría decir de otra forma, es decir, que en las redes ramificadas el sentido de circulación del agua puede determinarse fácilmente ya que el agua puede llegar a cada punto por un solo camino. Otro de los inconvenientes que presenta este tipo de red es que: que las pérdidas de carga resultan mayores ya que el líquido tiene un solo camino para llegar a un lugar determinado, por tanto, el consumo del flujo o caudal se incrementará en la medida que las pérdidas de carga sean mayores.

1.7.2. Redes en mallas

Bueno, para evitar las inconvenientes de las redes ramificadas se utilizan las redes en mallas, las cuales se pueden obtener uniendo entre sí los extremos libres de las tuberías ramificadas o a punto de otros ramales, es decir, que las tuberías principales se comunican unas con otras, formando circuitos cerrados y se caracterizan por el hecho de que la alimentación de las tuberías puede efectuarse por sus dos extremos indistintamente, según se comporten las tuberías adyacentes, de manera que el sentido de la corriente no es siempre, forzosamente, el mismo.

Otra de sus características es que, un punto cualquiera de la red puede abastecerse por varios caminos, lo que hace que se reduzcan las pérdidas de carga, y que por otra parte una interrupción determinada no afecta a otros puntos aguas abajo ya que puede abastecerse por otro camino.

La separación máxima entre los lados opuestos de una malla será de 900 m. y la mínima de 250 m. La superficie máxima de una malla será de 30 Ha y la mínima de 9 Ha. Cada malla abastecerá un máximo de 1.500 viviendas y a un mínimo de 500. Cuando el núcleo tenga menos de 500 viviendas se dispondrá una sola malla. ⁽¹⁵⁾

La red quedará dividida en sectores mediante llaves de paso, de manera que, en caso necesario, cualquiera de ellos pueda quedar fuera de servicio y de este modo facilitar las operaciones de limpieza y de mantenimiento que son necesarias efectuar con carácter periódico.

El sistema mallado, tiene las siguientes ventajas:

- Libertad en el sentido de la circulación del agua.
- Mejor repartición de la presión.
- Mayor seguridad en el servicio, ya que una avería en un punto determinado no acarrea, como en el caso anterior, un corte de suministro, pues el agua puede conducirse por otras tuberías de la malla, dejando aislado el tramo en reparación.

Los inconvenientes son los siguientes:

- Para el cálculo de la red, es necesario establecer, de antemano y por hipótesis, el sentido en el que circulará el agua.
- El montaje de la red, resulta más costoso cuando se trata de una red ramificada.

1.8. Métodos de cálculos de redes en mallas

Esta parte plasma métodos y vías de cálculo que permiten la resolución de problemas de redes más complejas, para proyectos y tesis futuros. Son diversos los métodos que se pueden emplear para el cálculo de redes en mallas o complejas, pero el más “sencillos” es el método de **HARDY – CROSS**, que es el que se considera aquí.

Además, se incluirá una nueva experiencia de cálculo mediante la analogía entre los modelos eléctricos e hidráulicos que posteriormente será explicada con más detalles.

1.8.1. Hardy – Cross como solución a las inconvenientes de las redes ramificadas

El método consiste en calcular los gastos y pérdidas en cada una de las tuberías simples que componen la red así como las cotas piezométricas en los nudos. Los datos de partida son las dimensiones de las tuberías, el gasto total que entra al sistema, etc. Se han de cumplir tres leyes fundamentales en estos tipos de redes:

- Ley de la pérdida de carga: en cada tubería se ha de cumplir la ecuación siguiente: $H_f = K_L \cdot Q^n$. (1.17)
- Ley de los nudos: el caudal que entra en un nudo debe ser igual a la suma de los caudales que salen del nudo. $\Sigma Q = 0$. (1.18)
- Ley de las mallas: la suma algebraica de las pérdidas de carga en una malla ha de ser igual a cero:

$$\Sigma H_f = 0 \quad (1.19)$$

Realmente, el método no es así de sencillo, hay que comenzar un juego de valores razonables supuestos, que satisfagan la ecuación de continuidad, y después ajustar en forma sistemática esos valores supuestos, manteniendo satisfecha la continuidad, hasta que se satisfagan las ecuaciones de pérdida de carga con un nivel de precisión deseado. En este método, se satisfacen automáticamente y continuamente todas las ecuaciones de continuidad.

Si la primera aproximación de las suposiciones es razonable, los regímenes de flujo verdaderos, Q_i , deberán diferir en solo una pequeña cantidad ΔQ , diferente de las suposiciones, Q_{oi} , en cada circuito (o gaza), lo cual es, solamente para un tubo en una gaza:

$$Q_i = Q_{oi} \pm \Delta Q \quad (1.20)$$

Donde el signo \pm depende de las direcciones asumidas por Q_i y ΔQ . Para mantener la continuidad se aplica a cada tubo de la gaza la corrección, ΔQ . Por ejemplo,

$$Q_3 = Q_{03} + \Delta Q_I$$

Para mantener una consistencia algebraica, se establecerá un convenio de signos de la siguiente forma: se le dará signo positivo al flujo en sentido de las agujas del reloj y a las pérdidas de carga correspondientes a ese flujo, y signo negativo a los flujos y pérdidas de carga en sentido contrario a las agujas del reloj.

Para un mejor entendimiento de este método vamos a establecer una situación. Si tenemos una red simple como la que aparece en la **Fig1.1** cuyas longitudes, diámetros y rugosidades se conocen, podemos obtener la ecuación básica para hacer las correcciones del flujo.

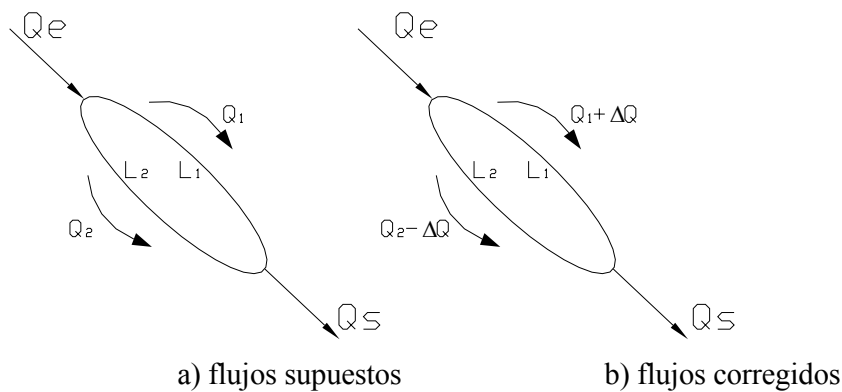


Figura 1.1 Dos circuitos cerrados donde se pueden ver los posibles recorridos de un flujo.

El flujo que entra a la red lo suponemos dividido en dos ramales L_1 y L_2 de modo que si establecemos el convenio de signo para este caso obtendremos:

$$Q_2 = Q_e - \Delta Q \text{ Y } Q_1 = Q_e + \Delta Q$$

Si llamamos H_{f1} a las pérdidas de carga calculadas para Q_1 en el ramal L_1 y H_{f2} para el ramal L_2 y Q_1 y Q_2 han sido escogidos de modo tal que el sistema quede balanceado hidráulicamente H_{f1} deberá ser igual a H_{f2} .

Si $H_{f1} - H_{f2}$ resulta diferente de cero los valores iniciales que se han supuesto para los caudales anteriores, son erróneos.

Entonces, supongamos que Q_1 era demasiado pequeño y que le faltaba una cantidad ΔQ para estar correcto; por lo que a Q_2 le sobrará ΔQ , debido a que:

$$Q_1 + Q_2 = Q_e$$

De lo anterior resulta que los flujos reales para cada rama serán:

$$Q_1' = Q_1 + \Delta Q \quad Y \quad Q_2' = Q_2 + \Delta Q$$

Y las pérdidas de carga reales, por supuesto, deben ser iguales, ya que las pérdidas por fricción en cada ramal deben ser las mismas para que el valor de la cota piezométrica en el punto de salida sea una sola (en un punto solo puede haber una sola presión). Finalmente, obtendremos las ecuaciones generales:

$$\sum_f H_{f_i} = \sum_f \pm \cdot K_i \cdot (Q_{0i} \pm \Delta Q)^n = 0 \quad (1.21)$$

$$\Delta Q = - \frac{\sum_f \pm \cdot K_i \cdot Q_{0i}^n}{\sum_f |n \cdot K_i \cdot Q_{0i}^{n-1}|} \quad (1.22)$$

1.8.2. Resumen del método de Hardy – Cross

- Sobre un croquis de la red se hace una distribución razonable de caudales dibujando con flechas los sentidos estimados.
- Se supone una distribución de caudales que satisfagan la ecuación de continuidad y que después de un cuidadoso examen de la red se presuma que es la mejor.
- Se calcula la pérdida de carga en cada tubería. Se calcula la pérdida de carga alrededor de cada circuito.
- Se calcula para cada circuito $\sum |nK_i Q^{n-1}|$ (todos los términos se consideran positivos).
- Se establece para cada circuito un caudal correctivo ΔQ para compensar la altura en el circuito.
- Se calculan los caudales corregidos en cada tubería y se repite el proceso hasta conseguir la precisión deseada.

Se conoce que la solución es correcta cuando todas las condiciones se satisfacen para cada circuito.

Hardy-Cross, se hace más sencillo si se logra realizar un programa de computación para cualquier número de circuitos y tubos. Una vez determinados los regímenes de flujo, se procede a calcular las pérdidas de carga reales, los cambios de presión y las presiones reales. No obstante, está en estudio un pequeño software que se ha descargado de Internet que permite la facilidad del cálculo en este método.

1.9. Uso del SOLVER (Anexo 2)

En estos tiempos donde se habla de la tecnología, información, sociedad del conocimiento, etc., Solver es una de las herramientas de Excel que se puede ubicar en el menú principal en la opción Herramientas, al pulsar este icono aparecerán varias opciones y ahí encontrarán dicha instrucción, ella resuelve problemas lineales y enteros utilizando el método más simple con límites en las variables y el método de ramificación y límite, implantado por John Watson y Dan Fylstra de Frontline Systems, Inc. Es de hacer notar que estos problemas se presentan en las ciencias administrativas y es requisito indispensable en casi todas las áreas de ciencias sociales, ingeniería, y en cualquiera de las carreras universitarias como Ciencias Estadísticas, Economía, Administración, entre otras, allí se estudia en una cátedra llamada Investigación de Operaciones, en ella se construyen modelos para el análisis y la toma de decisiones administrativas, los cuales en tiempos remotos se utilizaban algoritmos muy complejos entre ellos el del método simplex y el dual, estas técnicas manualmente son complejas, pero con la tecnología aparecieron softwares para resolver sendos problemas entre ellos se encuentra el más conocido que es el "LINDO", pero hoy tenemos la oportunidad de resolverlos muy fácilmente mediante la hoja de cálculo de excel y el paquete agregado llamado "SOLVER" que optimiza los modelos sujetos a restricciones, como los modelos de programación lineal y no lineales, la cual permite obtener las soluciones óptimas para un modelo determinado, y dependiendo de los niveles de la organización se tomen las mejores decisiones para resolver los conflictos de una empresa.

Proceso de construcción de modelos:

1. Definir variables de decisión

2. Definir la función de objetivos
3. Definir las restricciones

Una vez completada la hoja de cálculo con el modelo respectivo ¡GRABE SU HOJA!, y seleccione "Solver..." en el menú de "Herramientas", ahí tendrá que especificar dentro del cuadro de dialogo de Solver:

1. La celda que va a optimizar
2. Las celdas cambiantes
3. Las restricciones

Como se puede observar en la celda objetivo se coloca la celda que se quiere optimizar, en las celdas cambiantes las variables de decisión y por último se debe de complementar con las restricciones. Una vez realizado estos pasos deben pulsar el icono de "Opciones" y debe hacer clic en "Asumir modelo lineal" y enseguida el botón de "Aceptar". Luego haga clic en el botón de "Resolver" para realizar la optimización, lea detenidamente el mensaje de terminación de Solver y ahí observará si se encontró una solución o hay que modificar el modelo, en caso de haber encontrado una solución óptima usted podrá aceptar o no dicha solución, luego tendrá oportunidad de analizar un informe de análisis de sensibilidad para luego tomar la mejor decisión.

1.10. Conclusiones Parciales

1. De trabajos precedentes, pocos tratan de temas relacionados con la implementación de redes en mallas, para el suministro de agua a instalaciones. Gran parte de los trabajos consultados, analizan las redes de suministro sin la implementación del método Hardy- Cross.
2. Se utiliza el hospital de Loja, en Ecuador, como patrón para la implementación del la red en malla para el suministro de agua a dicha instalación.
3. Todos los calculos se realizan en el software Microsoft Excel con método de Hardy – Cross para la red en malla y la aplicación de SOLVER.

Capítulo II. Materiales y Métodos

Introducción.

Se denomina régimen de trabajo al conjunto de parámetros que determinan el trabajo de una instalación. En la práctica el régimen de trabajo se determina de forma gráfica, determinando los parámetros que corresponden al punto de intersección de las dos características empleando dos metodologías diferentes Darcy-Weisbach y Hazen-Williams.

Por tanto el objetivo de este capítulo es realizar los cálculos de la instalación, o sea la determinación del régimen de trabajo, de la potencia de la bomba y de la energía consumida.

2.1. Materiales y métodos empleados para el desarrollo del trabajo

Para la selección de los tramos se tuvo en cuenta las características de la instalación y el comportamiento del fluido en la misma (diámetro, temperatura y viscosidad, etc.). En el caso de velocidades del fluido en cada tramo, se tomó en cuenta el caudal de la bomba y diámetro para todos los tramos.

Tabla 2.1. Datos de placa de las bombas

	Bomba 50 HP	Bomba 25 HP
Potencia KW	37.28	18,64
Parte:	6-339659-01	6-33512-01
FR	324JP	256JP
Velocidad re/mn	3450	3500
Voltaje	230-460	230-460
Frecuencia Hertz	60	60
PH	3	3
Intensidad de Corriente	116-58	5929,5

El sistema está diseñado para que funcionen alternadamente, las bombas de 18.64 y 37.28 KW, pero solamente funciona la primera ya que el caudal requerido nunca es mayor al que proporciona la de 18.64 KW (25 HP), por lo que sirven solamente cuando existe algún daño de esta bomba y por cortos periodos, ya que representa un alto consumo energético, como ejemplo en el mes de julio del 2003 de un consumo promedio mensual de 46000 KW de todo el hospital llegó a un valor de 60000 KW lo que representó económicamente 5800 USD. La bomba funciona las 24 horas del día, con un caudal de 18.11 m³ tH. (80 GPM). Para cada bomba se dispone 2 válvulas de mariposa de 0,1016 m de diámetro, así mismo medidores de presión para la succión e impulsión. Como también un flujómetro de 0,2032 m de diámetro para medir el caudal y una válvula de globo.

De acuerdo a lo que establece la organización mundial de la salud contemplada en el sistema de suministro de agua correspondiente a los parámetros de diseño, establece que el consumo en litros y por cama debe ser de 450 a 600 litros, según este concepto el consumo real del Hospital Isidro Ayora fluctuaría por los 10 m³/h (44 Galones por minuto), razón por la cual es importante determinar la ecuación de la red, el gasto real de la instalación, así como otros parámetros como son la potencia, la eficiencia, etc.

Para la ejecución de la investigación se tienen dos métodos:

1. Método de DARCY-WEISBACH
2. Método de HAZEN-WILLIAMS

2.2. Ecuación general de las pérdidas de carga por el método Ecuación de DARCY-WEISBACH

En siglos pasados, fueron realizados experimentos con tubería de agua de diámetro constante, los cuales demostraron que la pérdida de carga era directamente proporcional al cuadrado de la velocidad media en la tubería y a la longitud de la tubería e inversamente proporcional al diámetro de la misma.

La fórmula fundamental que expresa lo anterior es la Ecuación de **DARCY-WEISBACH** (para las pérdidas primarias):

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (2.1)$$

H_f - pérdida de carga primaria.

f - coeficiente de pérdida de carga.

L - longitud de la tubería.

D - diámetro de la tubería.

V - velocidad media del fluido.

En la expresión de pérdida de carga es necesario el estudio y determinación del coeficiente de rozamiento para cada uno de los regímenes, turbulento y laminar, así como su determinación en tuberías rugosas, lisas, etc.

2.3. Formula de Hazen-Williams para perdida en tuberías

En el siglo antepasado e inicios del pasado se obtuvieron muchas fórmulas empíricas. Cada una de estas representa un modelo matemático que se aproxima a los valores de velocidad y fricción obtenidos en el laboratorio, pero no puede asegurarse que este modelo sea válido por fuera del rango de experimentación. Sin embargo algunas de estas fórmulas dan resultados aceptables y rápidos dentro de sus rangos. Una de estas fórmulas fue la propuesta por Hazen y Williams en 1903 $V = 1,318 \cdot C \cdot R_H^{0,63} \cdot S_F^{0,57}$

En donde: V : Velocidad del flujo en pies/s

C : Constante de Hazen - Williams

R_H : Radio hidráulico en pies

S_F : Cociente h_f / L , pérdida de energía en la longitud del conducto en pies/pies

El uso del radio hidráulico nos permite aplicar la fórmula tanto en conductos circulares como en los no circulares.

Para convertir la ecuación de Hazen - Williams al SI debemos pasar la velocidad a m/s y el radio hidráulico a metros.

$$V = 0,8492 \cdot C \cdot R_H^{0,63} \cdot S_F^{0,57} \quad (2.2)$$

Si despejamos h_F en la ecuación 3.8, y la dejamos en función del caudal obtenemos otra forma de la ecuación muy útil en los cálculos:

$$h_F = \frac{10,67 \cdot Q^{1,852}}{C^{1,852} \cdot D^{4,87}} \quad (2.3)$$

Esta fórmula es aplicable con las siguientes restricciones:

- Velocidades de flujo menores de 3.05 m/s
- Conductos de diámetros entre 2 y 72 pulgadas (50mm y 1800mm)
- Desarrollada únicamente para flujo turbulento.

El coeficiente de pérdida de carga f

Es obviamente adimensional y depende de la velocidad, del diámetro de la tubería, de la densidad, de la viscosidad y de la rugosidad de la tubería. De aquí se deduce:

$$f = f(V, D, \rho, \mu, k) \quad (2.4)$$

En el caso más general f , coeficiente adimensional de pérdidas de carga es función de dos variables adimensionales: el número de Reynolds y la rugosidad relativa.

$$f = f\left(\frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu}, \frac{\varepsilon}{D}\right)$$

donde:

$$\frac{VD\rho}{\mu} - \text{número de Reynolds, Re}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} - \text{rugosidad relativa}$$

Si Re es muy grande el coeficiente de pérdida de carga no depende ya de Re sino de la rugosidad relativa y para una misma tubería, como la rugosidad relativa es constante, f será también constante.

2.4. Obtención de la ecuación de la bomba ($h_{\text{BOMBA}}=f(Q)$).

El método para obtener la $h_{\text{bomba}} = f(Q)$ se realiza tomando tres puntos de la curva obtenida experimentalmente dada por el fabricante, se seleccionan los valores de carga h y de gasto volumétrico Q para tres puntos de la curva. Para que la curva quede más exacta seleccionamos el primer punto donde el gasto es cero, un segundo punto en el medio y el tercero en el final.

Con estos valores se hace un sistema de ecuaciones tres con tres partiendo de la siguiente ecuación:

$$H = x + y \cdot Q + c \cdot Q^2 \quad (14) \quad (2.5)$$

Se puede observar que los valores que se van a hallar son x , y y c para formar la ecuación.

$$\begin{array}{ll} H = 125 \text{ m col de H}_2\text{O} & Q = 0 \\ H = 70 \text{ m col de H}_2\text{O} & Q = 24,84 \text{ m}^3/\text{s} \\ H = 10 \text{ m col de H}_2\text{O} & Q = 39,6 \text{ m}^3/\text{s} \end{array}$$

Se sustituyen los valores anteriores en la ecuación;

$$\begin{array}{l} 125 = x + y \cdot (0) + c \cdot (0)^2 \\ 70 = x + y \cdot (24,84) + c \cdot (24,84)^2 \\ 10 = x + y \cdot (39,6) + c \cdot (39,6)^2 \end{array}$$

De las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$\begin{array}{l} 125 = x + y \cdot (0) + c \cdot (0)^2 \\ 70 = x + y \cdot (24,84) + c \cdot (617,02) \\ 10 = x + y \cdot (39,6) + c \cdot (1568,16) \end{array}$$

En el programa Math CAD se calcula el sistema de ecuaciones formando una matriz para facilitar el cálculo.

$$Q := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0^2 \\ 1 & 22.39 & 22.39^2 \\ 1 & 24.94 & 24.94^2 \end{pmatrix} \quad H := \begin{pmatrix} 125 \\ 85 \\ 70 \end{pmatrix}$$

K := Isolve (Q , H)

$$K = \begin{pmatrix} 125 \\ 1.891 \\ -0.164 \end{pmatrix}$$

Los valores de x, y y c son:

X := 125 Y := 1.891 C := -0.164

$$H_b(Q) := X + Y \cdot Q + C \cdot Q^2$$

Q := 0..30

Se sustituyen los valores obtenidos en los cálculos anteriores en la ecuación (2.1) y como resultado tenemos que:

$$H_{bomba} = 125 + 1,891 \cdot Q - 0,164 \cdot Q^2$$

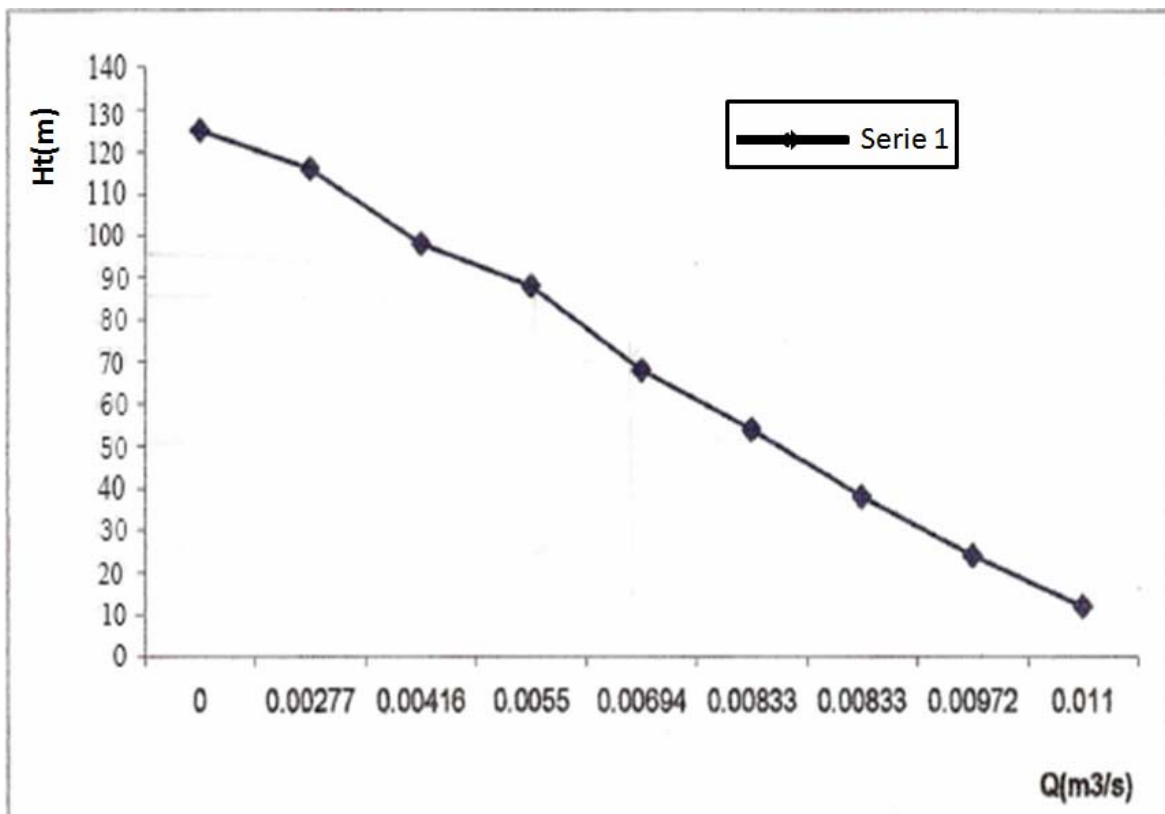


Figura 2.1 Curva de la Bomba dada por fabricante en catalogo

Fuente: Montaña (2005)

2.5. Determinación de la curva característica de la red

Este esquema nos permitirá calcular a través de las dos metodologías (Darcy-Weisbach y Hazen- Williams) todas las pérdidas en las tuberías aplicando el método de Hardy – Cross y el SOLVER.

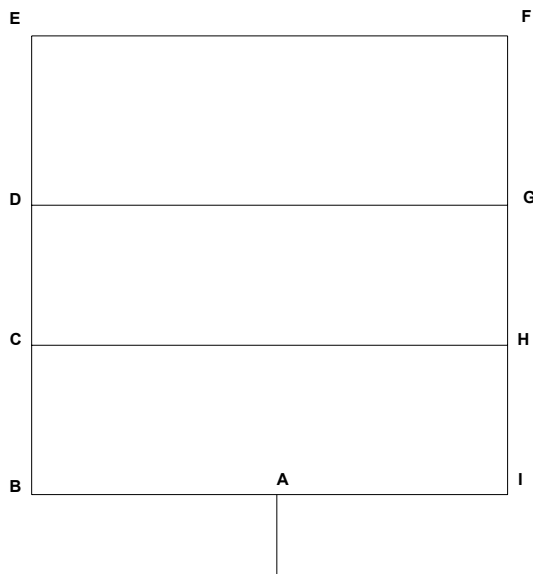


Figura 2.2 Propuesta de una red en malla

2.6 DISEÑO, CÁLCULO Y EXPLOTACIÓN DE LA RED EN MALLA.

2.6.1. Establecer los consumidores

Tabla 2.2. Datos de los consumidores

	Ramal Norte			Ramal Sur		
1er piso y BP	Cauda: 10,00082 m ³ /s			Cauda: 10,0015 m ³ /s		
2do piso caudal medio determinado Experiment. = 0,000073 m ³ /s		N ^o tomas	Cauda m ³ /s		N ^o tomas	Cauda m ³ /s
	derecha	48	0,000360	derecha	19	0,00014
	izquierda	12	0,000088	izquierda	28	0,00020
3er piso caudal medio Experiment.		N ^o tomas	Cauda m ³ /s		N ^o tomas	Cauda m ³ /s
	derecha	42	0,00029	derecha	9	0,00006

=0,000069 m ³ /s						0,00005
	izquierda	18	0,00012	izquierda	8	
4to piso caudal medio determinado Experiment. =0,000063 m ³ /s		N ^o tomas	Cauda m ³ /s		N ^o tomas	Cauda m ³ /s
	derecha	26	0,00016	derecha	19	0,00011
	izquierda	24	0,00015	izquierda	18	0,00011

2.6.2. Establecer los nodos

En todo nodo la suma de los caudales entrantes es igual a la suma de los salientes.

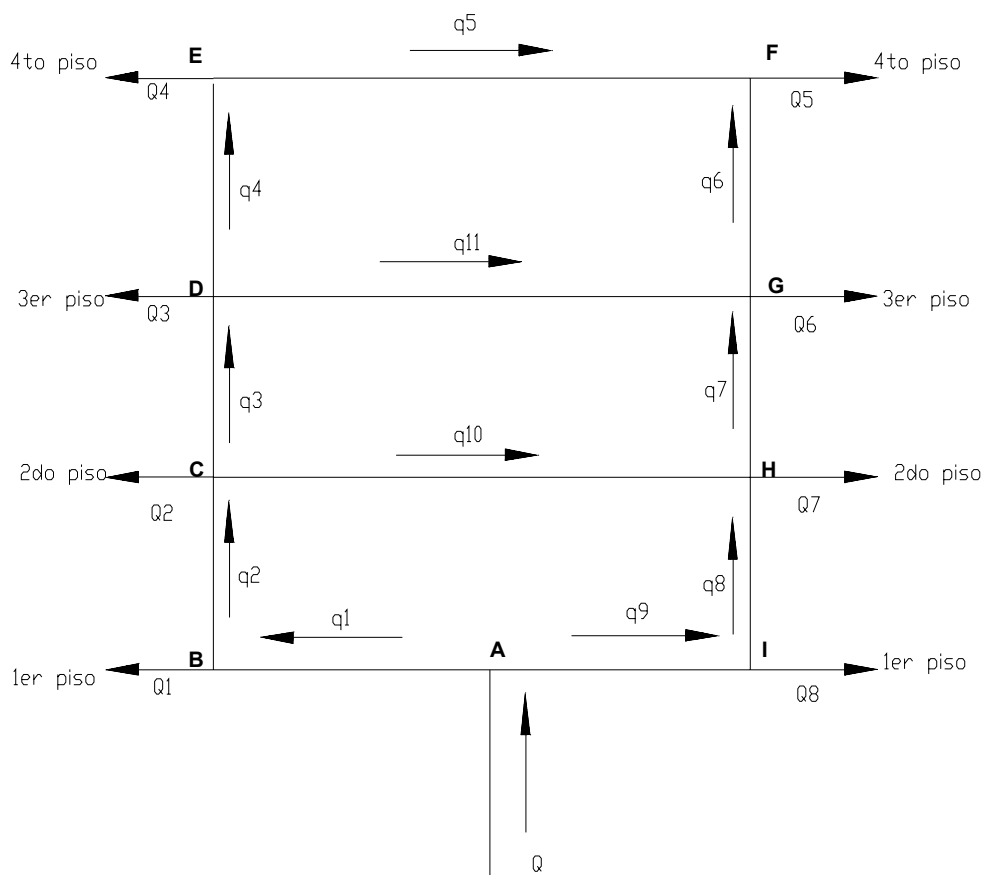


Figura 2.3. Nodos

Nudo A $Q=q_1+q_9$

Nudo F $Q_5=q_5+q_6$

Nodo B $Q_1=q_1-q_2$

Nodo G $Q_6=q_7+q_{11}-q_6$

Nodo C $Q_2=q_2-q_3-q_{10}$

Nodo H $Q_7=q_8+q_{10}-q_7$

Nodo D $Q_3=q_3-q_4-q_{11}$

Nodo I $Q_8=q_9-q_8$

Nodo E $Q_4=q_4-q_5$

2.6.3. Establecer las mallas

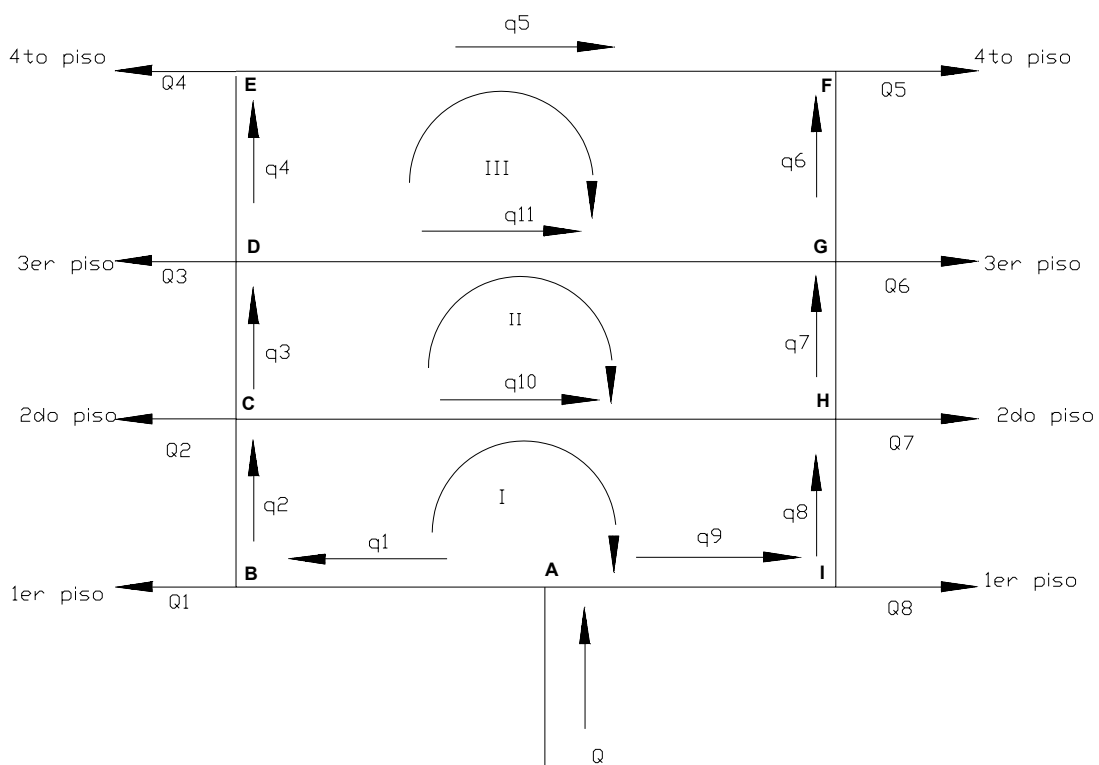


Figura 2.4. Mallas

Ante todo, lo dividimos en mallas para poder aplicar el método a cada una de ellas. En el método seguido por Hardy-Cross se eligen las mallas, elementales que constituyen la figura; en este caso serían las siguientes:

Malla I A B C H I

Malla II C D G H

Malla III D E F G

A estas mallas se les aplica el método descrito, es decir, se fijan unos caudales que cumplan la primera condición de los nodos de que todos los nudos estén equilibrados y se hallan los caudales de corrección que se suman algebraicamente a los que hemos supuesto a cada ramal.

Naturalmente, que a algunos ramales habrá que sumarles dos o más caudales de acuerdo con el número de mallas a que pertenezcan, como sucede, por ejemplo, con el ramal C H de la figura, que es común a dos mallas y que, por tanto, tendrá dos correcciones.

Con los caudales corregidos volvemos a hacer la misma operación hasta que la mayor corrección obtenida sea menor que el valor que tengamos fijado como error admisible.

Con este sistema puede ser necesario un gran número de correcciones y hasta se puede dar el caso de que en vez de ir hallando caudales de corrección decreciente los hallemos crecientes y, por tanto, no consigamos ningún resultado con el método.

Para ello se ha estudiado, la composición y el número de mallas que hay que elegir para tener resultados muy convergentes que obliguen al menor número posible de operaciones.

Para la aplicación de la ley de las mallas partimos de la ecuación de las pérdidas de carga en una tubería.

$$h = K \cdot Q^n \quad (2.6)$$

Donde h es la pérdida de carga, K el coeficiente de resistencia del tramo y Q el caudal que pasa por el mismo.

Si suponemos conocidos los caudales que recorren los ramales de la malla I de la figura supuesta y que tenemos fijados los diámetros de todas sus tuberías, tendremos la siguiente igualdad, de acuerdo con la segunda de la ley citada:

$$R_1 \cdot q_1^n + R_2 \cdot q_2^n - R_{10} \cdot q_{10}^n - R_8 \cdot q_8^n - R_9 \cdot q_9^n = 0$$

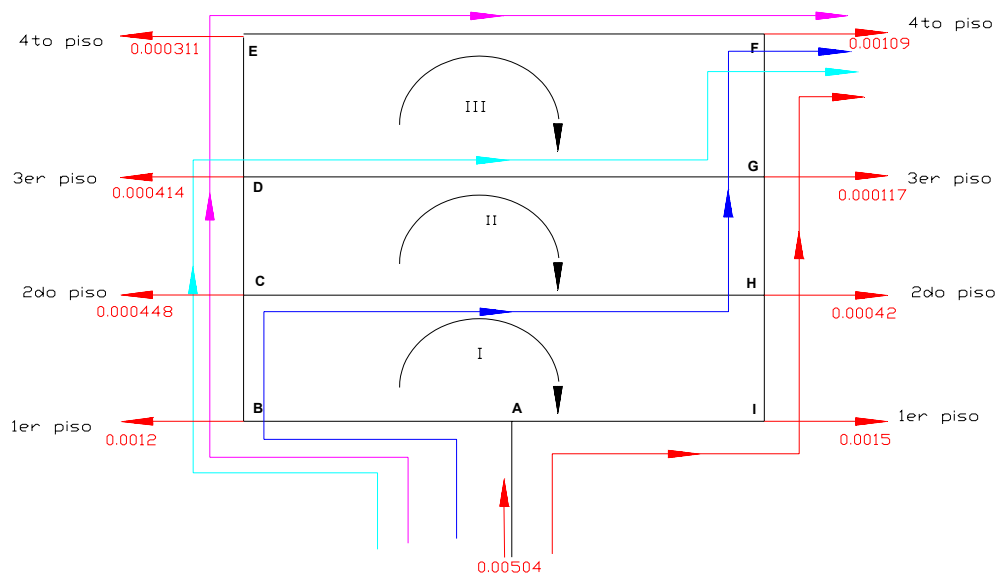
Y en general para una malla de n lados:

$$\sum_1^n R_n \cdot Q_n = 0$$

2.6.4. Establecer los recorridos

Los recorridos en una instalación en malla es la trayectoria del flujo desde su punto entrada en la red hasta su salida. Ellos están compuestos por un conjunto de ramales conectados en series y también se puede aclarar que en circuito la caída de presiones es considerable debido a las resistencias locales en el interior de las tuberías.

Si tenemos una red por la que tienen que circular unos caudales de modo que el caudal total que entra por el nudo A sea 0,00504 m³/seg., y que en los distintos puntos se deriven los caudales indicados, cuya suma, naturalmente, será la del caudal que entra por la malla.



ABCHGF

ABCDGF

ABCDEF

A I H G F

Figura 2.5. Posibles recorridos

2.6.5. Balance de gasto aplicando Solver en Excel para cada metodología.

Trabajando para tres gastos (mínimo, medio y máximo) para el máximo y mínimo ver anexo 1.

$$Q_{\text{mínimo}} = 0,0027 \text{ m}^3/\text{s} \quad , \quad Q_{\text{medio}} = 0,00504 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{y} \quad Q_{\text{máximo}} = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$$

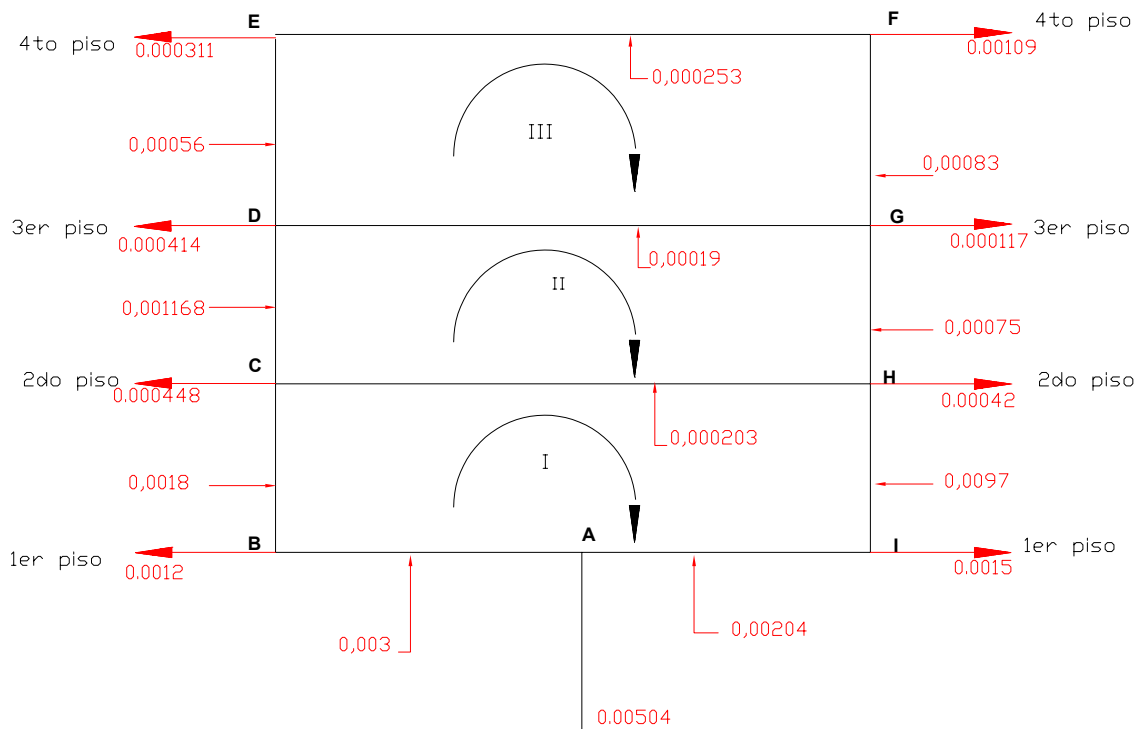


Figura 2.6. Ejemplo; Balance de gasto para el caudal medio (Q_{medio})

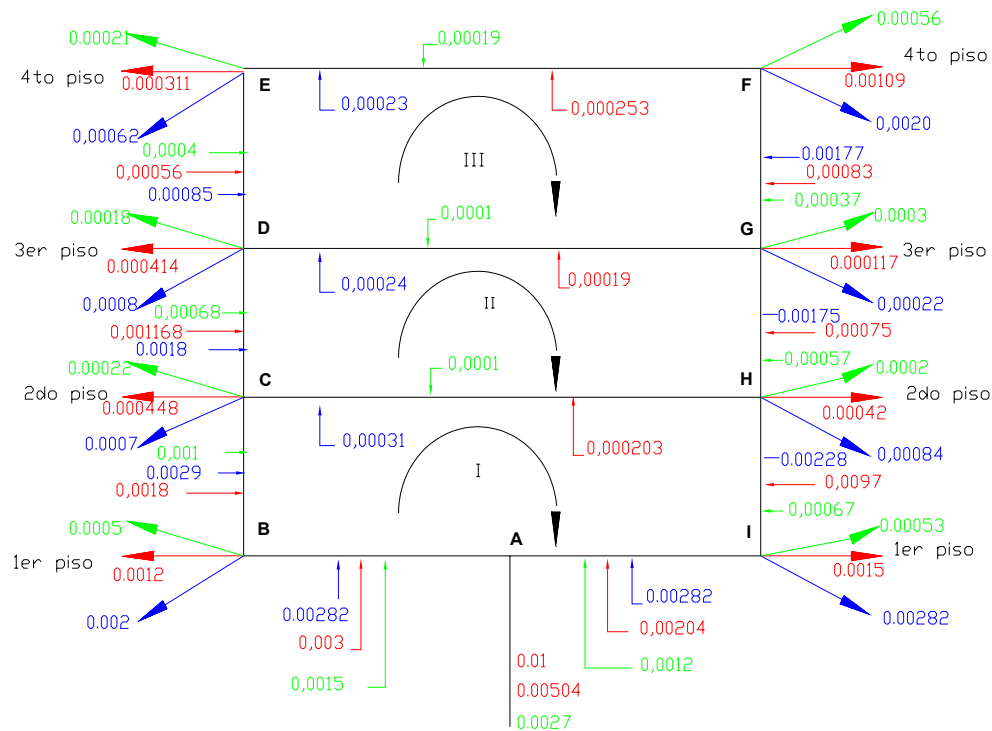


Figura 2.7. Ejemplo; Balance de gasto para los tres caudales (mínimo, medio y máximo)

Método Darcy-Weisbach

Tabla 2.3. Datos iniciales para el cálculo de las pérdidas en los tramos

mall	tramo	L(m)	D(m)	f
I	A-B	15	0,1016	0,017
	B-C	3	0,1016	0,07
	H-I	3	0,1016	0,017
	A-I	35	0,1016	0,017
II	C-H	54	0,0762	0,018
	H-C	54	0,0762	0,018
	C-D	3	0,1016	0,017
	H-G	3	0,1016	0,017
III	D-G	54	0,0762	0,08
	G-D	54	0,0762	0,017
	D-E	3	0,1016	0,017
	G-F	3	0,1016	0,017
	E-F	54	0,1016	0,017

Tabla 2.4. Determinación de los valores de “K, Q, hf, hf/Q, ΔQ” Para Q_{medio}

malla	tramo	L(m)	D(m)	f	Q(m)	K+kl	hf	hf/Q
I	A-B	15	0,1016	0,017	0,003	1915,02	0,040720	13,5731723
	B-C	3	0,1016	0,07	0,0018	1576,75	0,013017	7,23192324
	H-I	3	0,1016	0,017	0,0097	385,07	0,071951	7,41763442
	A-I	35	0,1016	0,017	0,00204	4463,27	0,046461	22,7749708
	C-H	50	0,0762	0,018	0,000202	28425,46	0,004085	20,2239917
II	H-C	50	0,0762	0,018	-0,000202	28425,46	-0,004085	20,2239917
	C-D	3	0,1016	0,017	0,001168	385,07	0,001427	1,22179181
	H-G	3	0,1016	0,017	0,00075	385,07	0,000628	0,83769921
	D-G	50	0,0762	0,08	0,00019	126333,31	0,016209	85,3131458
	III	G-D	50	0,0762	0,017	-0,00019	26846,30	-0,003445
D-E		3	0,1016	0,017	0,00056	385,07	0,000366	0,65311868
G-F		3	0,1016	0,017	0,00083	385,07	0,000758	0,9132516
E-F		50	0,1016	0,017	0,00025	6371,21	0,001389	5,49136943

Tabla 2.5. Corrección de los valores de Q por ΔQ

malla	tramo	L(m)	D(m)	f	Q(m)	K+kl	hf	hf/Q
I	A-B	15	0,1016	0,017	0,00298082	1915,02	0,040239	13,4992185
	B-C	3	0,1016	0,07	0,00178978	1576,75	0,012881	7,19693379
	H-I	3	0,1016	0,017	0,00970905	385,07	0,072075	7,42353204
	A-I	35	0,1016	0,017	0,00206779	4463,27	0,047640	23,0390882
	C-H	50	0,0762	0,018	0,00022669	28425,46	0,005058	22,3115667
II	H-C	50	0,0762	0,018	-0,00017732	28425,46	-0,003209	18,0991168
	C-D	3	0,1016	0,017	0,00116949	385,07	0,001430	1,22312066
	H-G	3	0,1016	0,017	0,00075102	385,07	0,000630	0,83867205
	D-G	50	0,0762	0,08	-0,00015524	126333,31	-0,011149	71,8193359
	III	G-D	50	0,0762	0,017	-0,00014227	26846,30	-0,002016
D-E		3	0,1016	0,017	0,00056	385,07	0,000368	0,65482733
G-F		3	0,1016	0,017	0,00082871	385,07	0,000756	0,91204188
E-F		50	0,1016	0,017	0,00027	6371,21	0,001540	5,75770772

Tabla 2.6. Variación del gasto por malla

ΔQ _I	ΔQ _{II}	ΔQ _{III}
-0,00130739	7,2194E-05	-1,6272E-05

Tabla 2.7. Perdidas de carga por las vías posibles del flujo

hf A-B-C-H-G-F	hf A-B-C-D-G-F	hf A-B-C-D-E-F	hf A-I-H-G-F
0,165487	0,16635086	0,17749975	0,12438
hf(prom)	Criterio de parada (%)		
0,15842939	5,00000076		

Tabla 2.8. REPORTE DE SOLVER

Celda objetiva (Valor de 5%):

Celda	Nombre	Valor Original	Valor Final
\$K\$	Criterio de parada (%)	13,1054023	5,00000076

Tabla 2.9. Celda (Valores cambiables)

Celda	Nombre	Valor Original	Valor Final
\$F\$24	A-B Q(m3/s)	0,003	0,00298082
\$F\$25	B-C Q(m3/s)	0,0018	0,00178978
\$F\$26	H-I Q(m3/s)	0,0097	0,00970905
\$F\$27	A-I Q(m3/s)	0,00204	0,00206779
\$F\$28	C-H Q(m3/s)	0,000202	0,00022669
\$F\$29	H-C Q(m3/s)	-0,000202	-0,00017732
\$F\$30	C-D Q(m3/s)	0,001168	0,00116949
\$F\$31	H-G Q(m3/s)	0,00075	0,00075102
\$F\$32	D-G Q(m3/s)	0,00019	-0,00015524
\$F\$33	C-D Q(m3/s)	-0,00019	-0,00014227
\$F\$34	D-E Q(m3/s)	0,00056	0,00056
\$F\$35	G-F Q(m3/s)	0,00083	0,00082871
\$F\$36	E-F Q(m3/s)	0,00025	0,00027

Método Hazen-Williams

Tabla 2.10 Datos iniciales para el cálculo de las pérdidas en los tramos

mall	tramo	L(m)	D(m)	C
I	A-B	15	0,1016	100
	B-C	3	0,1016	100
	H-I	3	0,1016	100
	A-I	35	0,1016	100
	C-H	54	0,0762	100
II	H-C	54	0,0762	100
	C-D	3	0,1016	100
	H-G	3	0,1016	100
	D-G	54	0,0762	100
III	G-D	54	0,0762	100
	D-E	3	0,1016	100
	G-F	3	0,1016	100
	E-F	54	0,1016	100

Tabla 2.11. Determinación de los valores de “K, Q, hf, hf/Q, ΔQ”

malla	tramo	L(m)+leq	D(m)	C	Q(m)	K	hf	hf/Q
I	A-B	18,84	0,1016	100	0,003	2721,56	0,057869	19,28966462
	B-C	5,83	0,1016	100	0,0018	842,18	0,006953	3,862755312
	H-I	5,83	0,1016	100	0,0097	842,18	0,157364	16,22312602
	A-I	38,84	0,1016	100	0,00204	5610,68	0,058405	28,62995024
	C-H	50,6	0,0762	100	0,000202	29671,44	0,004264	21,11047475
II	H-C	50,6	0,0762	100	-0,000202	29671,44	-0,004264	21,11047475
	C-D	5,83	0,1016	100	0,001168	842,18	0,003121	2,672183796
	H-G	5,83	0,1016	100	0,00075	842,18	0,001374	1,832133942
	D-G	50,6	0,0762	100	0,00019	29671,44	0,003807	20,0371847
III	G-D	50,6	0,0762	100	-0,00019	29671,44	-0,003807	20,0371847
	D-E	5,83	0,1016	100	0,00056	842,18	0,000800	1,428437435
	G-F	5,83	0,1016	100	0,00083	842,18	0,001658	1,997374766
	E-F	50,6	0,1016	100	0,00025	7309,49	0,001594	6,300074284

Tabla 2.12. Corrección de los valores de Q por ΔQ

malla	tramo	L(m)+leq	D(m)	C	Q(m)	K	hf	hf/Q
I	A-B	18,84	0,1016	100	0,002512944	2721,56	0,041683	16,58720349
	B-C	5,83	0,1016	100	0,001700237	842,18	0,006256	3,679586639
	H-I	5,83	0,1016	100	0,009792194	842,18	0,160146	16,35440608
	A-I	38,84	0,1016	100	0,002207439	5610,68	0,067592	30,62026114
	C-H	50,6	0,0762	100	0,000351544	29671,44	0,011898	33,84643619
II	H-C	50,6	0,0762	100	-0,000111328	29671,44	-0,001415	12,70703828
	C-D	5,83	0,1016	100	0,001183208	842,18	0,003197	2,701799679
	H-G	5,83	0,1016	100	0,000760431	842,18	0,001410	1,853822319
	D-G	50,6	0,0762	100	0,000217701	29671,44	0,004898	22,50067131
III	G-D	50,6	0,0762	100	2,51343E-05	29671,44	0,000090	3,575738785
	D-E	5,83	0,1016	100	0,00061	842,18	0,000927	1,528343621
	G-F	5,83	0,1016	100	0,000778483	842,18	0,001472	1,891250731
	E-F	50,6	0,1016	100	0,00025	7309,49	0,001594	6,300074284

Tabla 2.13. Variación del gasto por malla

ΔQ_I	ΔQ_{II}	ΔQ_{III}
-0,00153607	-0,00010986	-0,00016581

Tabla 2.15. Perdidas de carga por las vías posibles del flujo

hf A-B-C-H-G-F	hf A-B-C-D-G-F	hf A-B-C-D-E-F	hf A-I-H-G-F
0,298276	0,29713783	0,29223942	0,24430053
hf(prom)	Criterio de parada (%)		
0,282988412	4,999999956		

Tabla 2.16. REPORTE DE SOLVER

Celda objetiva (Valor de 5%):

Celda	Nombre	Valor Original	Valor Final
\$K\$	Criterio de parada	6,948303316	4,999999956

	(%)		
--	-----	--	--

Tabla 2.17.Celda (Valores cambiables)

Celda	Nombre	Valor Original	Valor Final
\$F\$24	A-B Q(m ³ /s)	0,003	0,002512944
\$F\$25	B-C Q(m ³ /s)	0,0018	0,001700237
\$F\$26	H-I Q(m ³ /s)	0,0097	0,009792194
\$F\$27	A-I Q(m ³ /s)	0,00204	0,002207439
\$F\$28	C-H Q(m ³ /s)	0,000202	0,000351544
\$F\$29	H-C Q(m ³ /s)	-0,000202	-0,000111328
\$F\$30	C-D Q(m ³ /s)	0,001168	0,001183208
\$F\$31	H-G Q(m ³ /s)	0,00075	0,000760431
\$F\$32	D-G Q(m ³ /s)	0,00019	0,000217701
\$F\$33	C-D Q(m ³ /s)	-0,00019	2,51343E-05
\$F\$34	D-E Q(m ³ /s)	0,00056	0,00061
\$F\$35	G-F Q(m ³ /s)	0,00083	0,000778483
\$F\$36	E-F Q(m ³ /s)	0,00025	0,00025

2.6.6. Establecer la ecuación de la red en malla

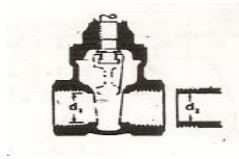


Metodología de DARCY-WEISBACH

Los 3 gastos $Q=0,0027\text{m}^3/\text{s}$; $Q=0,00504\text{m}^3/\text{s}$ y $Q=0,012\text{m}^3/\text{s}$ fueron cogidos en la curva de la bomba y son los gasto que vamos a usar para calcular los 3 valores de altura necesaria H_{nec} que nos permitan trazar la curva de la red para determinar el régimen de trabajo.

2.6.7. Determinación de las pérdidas por rozamiento y pérdidas locales

Si las válvulas se clasificaran según su resistencia que ofrecen al flujo, las que presentan un paso directo del flujo, como las válvulas de compuerta, bola, macho y de mariposa pertenecen al grupo de la baja resistencia las que tienen cambio en la dirección del flujo, como las válvulas de globo y angulares, están en el grupo de alta resistencia.

Tabla 2.18. Los accesorios usados en la instalación

<p>válvulas de tipo compuerta de cuña</p> <p>$\beta = 1, \theta = 0 \dots \dots \dots k = 8 f_T$</p> <p>$f_T = 0,017$ para diámetro 101,6mm</p> <p>$f_T = 0,018$ para diámetro 76,2mm</p>	
<p>Codos Estándar 90°</p> <p>$k = 30 f_T$</p>	
<p>Conexiones estándar en "T"</p> <p>Flujo directo $k = 20 f_T$</p>	

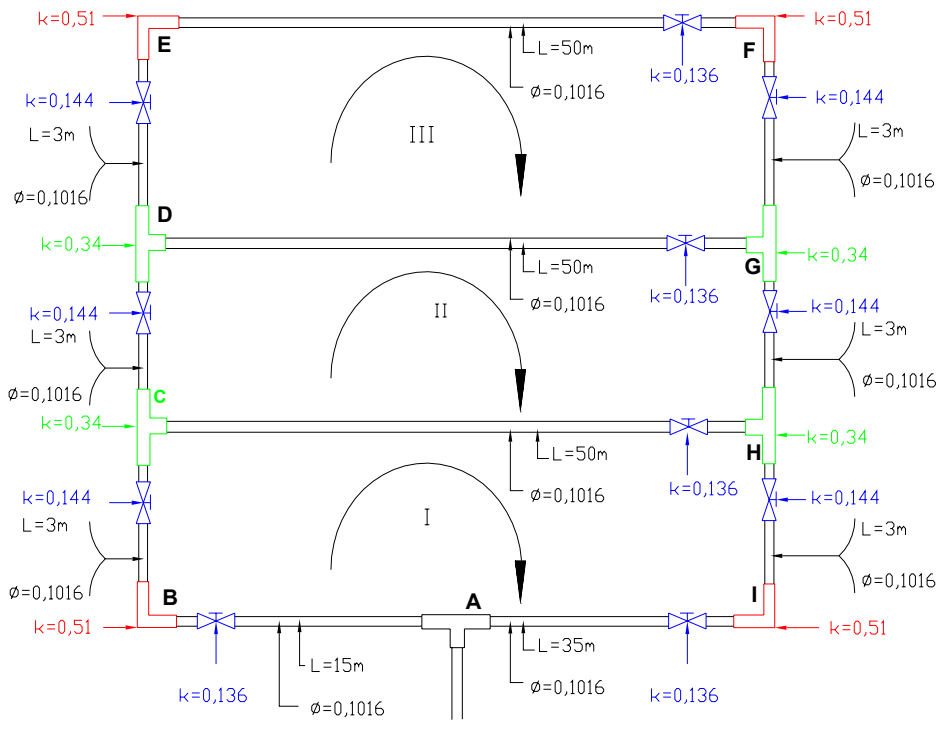


Figura 2.7. Tipos de accesorios usados

Aplicando la ecuación de Bernoulli se obtiene la ecuación para una tubería simple, ecuación

$$H_{nec} = \Delta Z + \frac{P_2}{\gamma} + \sum h_p \tag{2.7}$$

ΔZ es La diferencia de nivel del líquido desde la cisterna hasta el nivel superior es igual a 17m.

$\frac{P_2}{\gamma}$ es La presión final de los consumidores, incluye las tazas de un baño etc. es igual a 15m

Tabla 2.19. Las pérdidas hidráulicas y h_{nec} con la metodología de Darcy-Weisbach

Nro	Gastos m^3/s	Pérdidas Hidráulicas h_f	H_{nec}
1	0,0027	media	0,03072785
2	0,00504	media	0,15842939
3	0,01	media	0,47038273

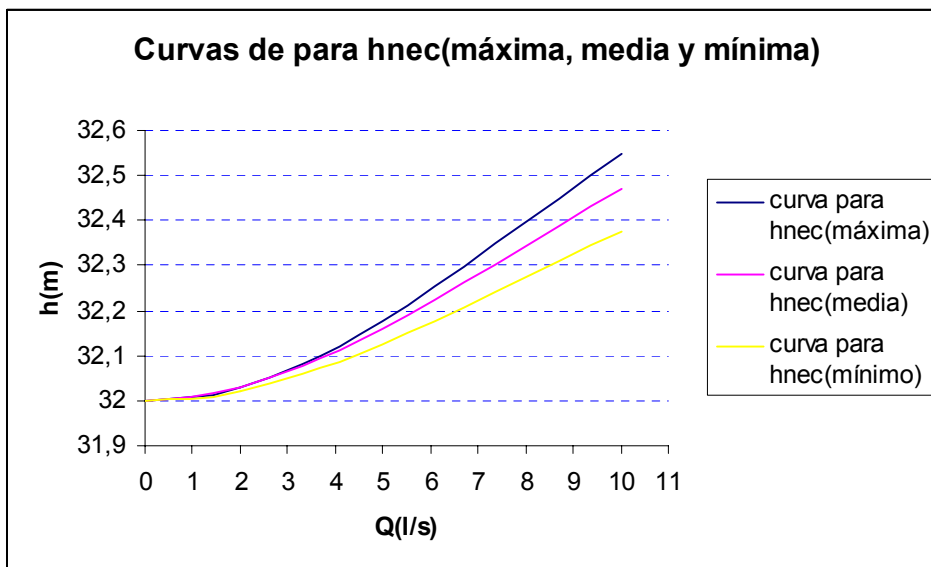


Figura 2.8. Curvas de la red por el método de Darcy-Weisbach

Tabla 2.20. Las pérdidas hidráulicas y h_{nec} con la metodología de Hazen- Williams

Nro	Gastos m^3/s	Pérdidas Hidráulicas h_f	H_{nec}
1	0,0027	media	0,04478247

2	0,00504	media	0,28298841	32,282988412
3	0,01	media	0,51359743	32,51359743

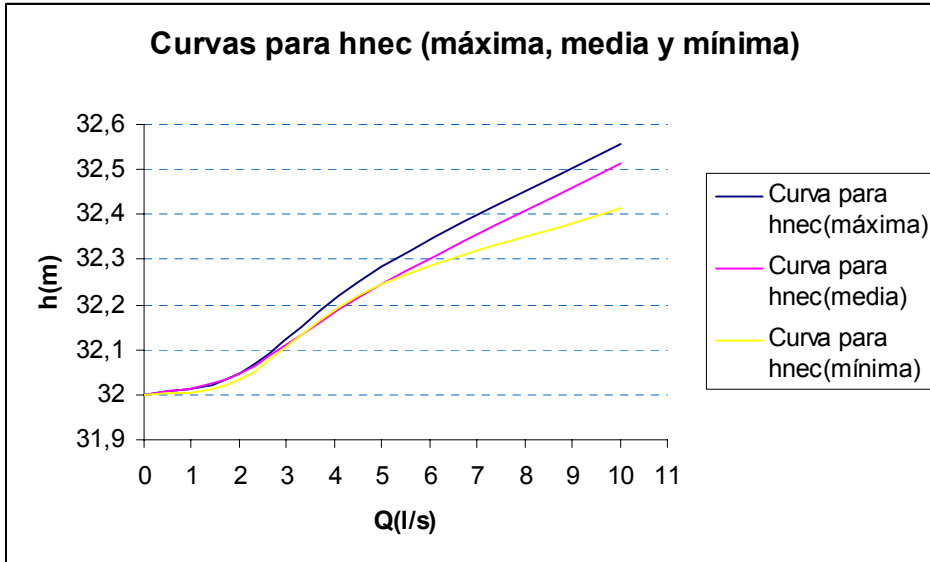


Figura 2.9. Curvas de la red por el método de Hazen Williams

2.6.8. Régimen de trabajo de la instalación

Se construye en el gráfico a igual escala las curvas características $H_{bomba} = f(Q)$, $H_{nec} = F(Q)$; donde se intersectan las características de la máquina y la red; se obtiene el punto de trabajo de la instalación.

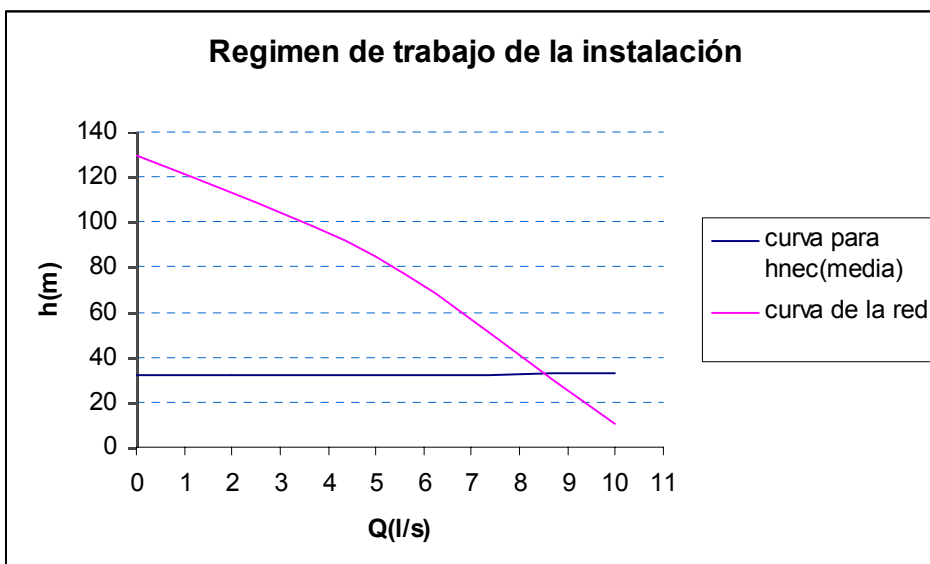


Figura 2.10. Régimen de trabajo de la instalación por método de Darcy-Weisbach

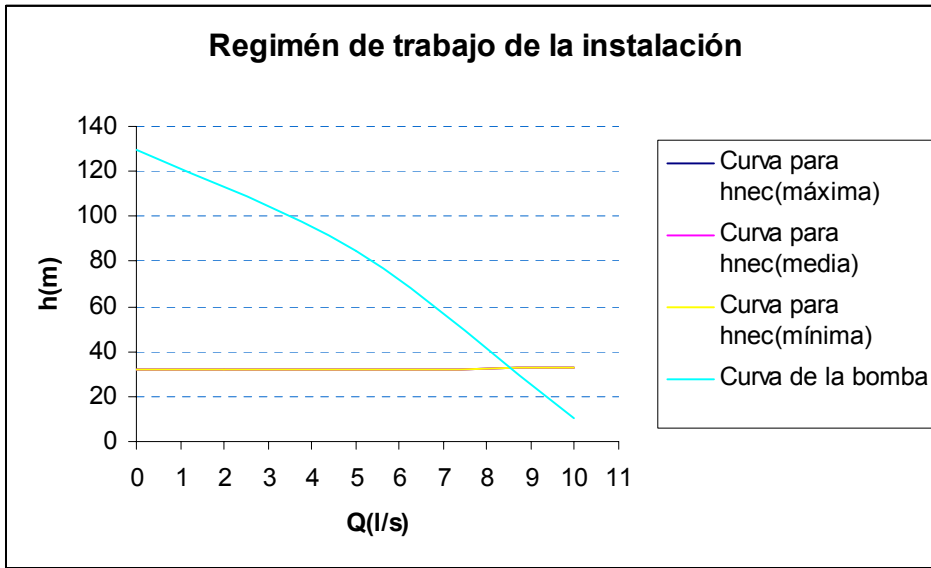


Figura 2.11. Régimen de trabajo de la instalación por método de Hazen Williams

2.7. Cálculo del rendimiento, potencia y energía de la bomba

Determinación de la eficiencia

$\eta_{Tr} \geq 0.9\eta_n$ Condición para la eficiencia.

$$\eta_{Tr} \geq 0.9 \times 0.48$$

$$\eta_{Tr} \geq 0.432$$

$\eta = 0.48$ eficiencia máxima.

Potencia de la bomba.

$$N = \frac{Nu}{\eta} = \frac{\text{Potencia. util}}{\text{rendimiento de trabajo}} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta} \tag{2.8}$$

Sabemos que $H_{bom} = H_{nec} = \Delta Z + \frac{P_2}{\gamma} + \sum hf$

$$H_{bom} = 17 + 15 + 0,8379 \quad H_{bom} = 32,8379 \text{ m.c.a}$$

$$N = \frac{9800 \times 0.0085 \times 32,42}{1000 \times 0.432} = 6,25 \text{ Kw}$$

$N = 6,25 \text{ KW} \cdot 1 \text{ KW} / 0,746 \text{ Hp} = 8,37 \text{ Hp}$.

Consumo de Energía en un día de trabajo.

$$E = N \cdot t \quad (2.9)$$

N: Potencia, KW.

t: Tiempo, h.

$$E = 6,25 \text{ KW} \times 24 \text{ h} \quad E = 150 \text{ KW} \cdot \text{h}$$

Consumo específico de energía.

E: Energía Consumida.

Q: Caudal.

$$E_c = \frac{150 \text{ Kwh}}{0,0085 \cdot 3600 \text{ m}^3 / \text{hx}24 \text{ h}} \quad (2.10)$$
$$E_c = 0,204 \frac{\text{Kw.h}}{\text{m}^3}$$

La potencia del motor es igual a la potencia de la bomba por un coeficiente de seguridad que se determina por la siguiente expresión:

$$N_e = m \cdot N \quad (2.11)$$

Donde:

$$m = (1,05 - 1,2)$$

$$N_e = 1,2 \cdot 6,25$$

$$N_e = 7,5 \text{ kw}$$

2.10. Conclusiones Parciales

1. Los resultados obtenidos para el cálculo de la instalación (el régimen de trabajo) aplicando las dos metodologías Darcy-Weisbach y Hazen-Williams son prácticamente iguales; con un gasto de 8,5 l/s y una altura de 32,55 m.
2. El cálculo de verificación de explotación en la instalación demuestra que las bombas están sobredimensionadas; porque existe una potencia de 18,648 kW para las condiciones de explotación son necesarias 6,25 kW.

Capítulo III. Valoración Económica y análisis del Mantenimiento.

Introducción

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, en correspondencia con esto:

El objetivo del presente capítulo es; Analizar el impacto económico.

3.1. Evaluación técnica económica

Comparación del diseño de red en malla con respecto a sistema abierto existente

Tabla 3.1. Comparación de los dos métodos utilizados en el análisis.

	Potencia(N)(kW)	Energía consumida(E) (kW.h)	Energía específico $E_e (kW.h / m^3)$	Potencia del Motor $N_e (kW)$
Red abierta	13,72	329,28	0,745	15,092
Red en malla	6,25	150	0,204	7,5

3.1.2. Determinación del costo de m³ de agua para el esquema actual

- Gasto anual por consumo eléctrico.

$$g_{elect} = \frac{Ta..N.Kp.t}{\eta} n \quad (3.1)$$

Donde:

Ta: Tarifa de corriente eléctrica 1KW/h: 0.10USD

N: Potencia consumida por el motor durante la transportación del líquido KW.

Kp: Coeficiente de perdida Kp:0.04 .

t: Cantidad de horas de funcionamiento al año.

η: Rendimiento %.

n: Número de bombas.

$$gelec = \frac{0.10 \times 7,5 \times 0.04 \times 8640}{0,43} \times 1$$

gelec = 6111,62 USD por año

Esto quiere decir que cada mes se paga 509,30 USD.

Se hace el cálculo únicamente para una bomba y todas las horas del año

- Gasto anual por consumo de salario del personal directo a la estación de bombeo.

$$gs : (ta) \cdot (tn \cdot kss \cdot kdr \cdot kpc) \cdot n \quad (3.2)$$

Donde:

ta: Tarifa de salario del operario.

tn: Tiempo de trabajo h.

Kss: Coeficiente de seguridad social.

Kdr: Coeficiente de descanso retribuido.

Kpc: Coeficiente de pago retribuido.

n: Número de personal.

$$Kpc = 1 + \frac{C}{100} \quad (3.3)$$

$$Kpc = 1 + \frac{4,5}{100}$$

Kpc=1.045

$$gs = (100) \times (2880 \times 0.019138 \times 1.045 \times 1.045) \times 2$$

gs= 11520 USD

- Gasto de amortización de las bombas.

$$gamort = \frac{Ng \cdot I}{100} \cdot n \quad (3.4)$$

Donde:

Ng: Taza de amortización del 6%.

I: Valor Inicial de las bombas.

n: Número de bombas.

$$gamort1 = \frac{6 \times 2000}{100}$$

$$gamort1 = 120 \text{ USD}$$

- Gasto de amortización de la tubería y soporte.

$$gamort2 = \frac{Ng \cdot It}{100} \quad (3.5)$$

Ng: Taza de amortización.

It: Valor inicial de las tuberías y soportes.

$$gamort2 = \frac{6 \times 15000}{100}$$

$$gamort2 = 900 \text{ USD}$$

- Gastos Unitarios Variables.

$$V = gs + gelec \quad (3.6)$$

$$V = 11520 + 6111,62$$

$$V = 17631,62 \text{ USD}$$

- Gastos fijos globales.

$$F = amort1 + amort2 \quad (3.7)$$

$$F = 360 + 900 \quad F = 1260 \text{ USD.}$$

Costo de explotación del líquido a transportar.

$$Gb = V + F \quad (3.8)$$

$$Gb = 17631,62 + 1260 \quad Gb = 18891,62 \text{ USD}$$

- Gasto de explotación de una instalación de bombeo para transportar 1 m^3 de agua a 0,7692 m de distancia.

$$G_{exp} = \left(\frac{Gb.L}{Q}\right)n \quad (3.9)$$

Donde:

n: Número de bombas.

Q: Caudal de trabajo de las bombas en un año.

$$G_{exp} : \left(\frac{18891,62 \times 0,8055}{1596384}\right) \times 1 \quad G_{exp}: 0,0926 \text{USD}$$

Por medio de este parámetro podemos darnos cuenta lo costosa que resulta mantener en funcionamiento esta instalación, por lo que a continuación buscaremos una alternativa para disminuir los gastos de explotación.

- Gasto por mantenimiento.

$$g_{mant} = g_{mone} + g_{ma} \quad (3.10)$$

Donde:

gmone= Gastos monetarios del personal.

gma= Gastos materiales.

Gastos materiales.

- 10 Sellos de las bombas a 35.7 USD, total 357 USD.
- 1 Rodamiento de la bomba 1, 122USD.
- 1 Rodamiento de la bomba 2, 85USD.
- 40 Kg de grasa, 2.06 USD.

Gasto total por materiales y mantenimiento es 566.06

3.2. Mantenimiento y explotación del sistema de bombeo

El mantenimiento que se efectúa corresponde al Preventivo y al correctivo. En cuanto al mantenimiento que se ha llevado a cabo, se tiene las siguientes actividades de mantenimiento que constan en la hoja de vida de las bombas, las cuales se detallan en la tabla 2.2.

Inestabilidad Operaciona

Es importante la detección oportuna de fenómenos como la cavitación, la recirculación o el cabeceo (hunting), debido a que causan fallas como el desgaste o rotura de anillos, fallas prematuras de cojinetes, atascamiento de equipos por roce interno, etc.

Lubricación

La correcta lubricación de las maquinas y sistemas es de gran significado para su desempeño. La función mas importante de la lubricación consiste en asegurar que los componentes de las maquinas trabajen en forma confiable con una operación libre de fallas durante la mayor parte del tiempo y al menor costo posible. De esta forma, la lubricación es el componente principal del mantenimiento programado. Con el fin de establecer un programa de lubricación, se debe realizar un inventario de los equipos ha ser lubricados, especificando el nombre del fabricante, modelo, numero o código asignado al equipo. Asimismo, se deben identificar las partes del equipo ha ser lubricados con la identificación de su lubricación; de su ubicación y sistemas de lubricación disponibles. El lubricante sa debe establecer de acuerdo con las recomendaciones de los manuales de mantenimiento del equipo, tomando en cuenta las condiciones de operación. (Carga, velocidad, temperatura y algún otro factor relevante).

Consumo de potencia

El control de vigilancia del consumo de potencia es de suma importancia ya que sus variaciones podrían no estar asociadas a la demanda de la producción. Podría estar asociada a anomalías como barras flojas en motores eléctricos, restricciones en los filtros de succión o la excesiva recirculación de partículas de desgaste interne La potencia es fácilmente determinada con las mediciones que sa haga con un amperímetro de gancho y un cosenofímetro los cuales facilitan una supervisión continua del sistema.

Rodamientos

El mantenimiento en las bombas centrifugas; comprende llevar a cabo un programa que incluye todos los elementos constitutivos, por ejemplo en el caso de los rodamientos debe considerarse, la limpieza, manipulación, inspecciones, instalaciones,

montajes y chequeo de nuevos rodamientos. A continuación se detalla sobre la limpieza y la inspección de los rodamientos.

Limpieza de los Rodamientos

La suciedad es causa del 90% de fallas de los rodamientos por tanto es fundamental tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- 1.- No abrir las chumaceras a menos que sea absolutamente necesario
- 2.- Limpiarlas sobre papel periódico extendido sobre un banco. Asentar las herramientas y rodamientos solamente sobre papel.
- 3.- Lavarse las manos. Limpiar la suciedad, virutas y grasa de las herramientas.
- 4.- Mantener rodamientos, chumaceras, y eje cubiertos con trapos limpios cuando ellos no estén siendo manipulados.
- 5.- No desenvolver los rodamientos nuevos hasta que no estén listos para ser instalados.
6. Limpiar a chorro de aire el eje y chumacera con solvente antes de reensamblar.

Estos aspectos al no ser observados se experimento el cambio continuo de rodamientos en el hospital Isidro Ayora.

Inspección de rodamientos y eje

- 1.- Es importante examinar cuidadosamente el cojinete y desecharlo si hay cualquier achatamiento, corte o picaduras en las bolas o pista. Los rodamientos deben estar en perfecto estado.
- 2.- Hay que girar lentamente el rodamiento por medio de la mano. Debe girar fácilmente y silenciosamente y desecharlo si esta ruidoso o pegajoso.
- 4.- Verificar las condiciones del eje. Los asientos de los rodamientos deben ser lisos y libres de rebabas, para ello lijar suavemente con paño de polvo abrasivo. El eje debe ser exacto y no corrido. Ahora bien para asegurar la vida util para los cuales fueron construidas las bombas centrifugas, se plantea un programa del mantenimiento preventivo.

Plan de Mantenimiento Preventivo

Para establecer un plan de mantenimiento preventivo es necesario determinar las unidades o partes componentes de un equipo, instalación, etc. que deben cambiarse por haber trabajado un tiempo determinado (mantenimiento preventivo), o por mostrar

desajuste o tendencia a una condición crítica (mantenimiento predictivo); todo lo anterior debe determinarse con base en técnicas preestablecidas. Este tiempo de operación conocido como vida útil o vida económica de la unidad se mide en horas de operación, número de operaciones especiales, tiempo de calendario una combinación de estas unidades. Las partes o componentes pueden ser reparables o no. La decisión sobre desecho versus reparación - construcción de una instalación, equipo o pieza debe hacerse en base a un análisis que involucra muchos factores.

Planificación del Trabajo de mantenimiento

La planificación permite estimar las actividades que estarán sujetas a un departamento, la cantidad y calidad de mano de obra necesaria, las reparaciones y materiales que se deberán emplear, así como el equipo y el tiempo probables que se pretende desarrollar. La planificación del mantenimiento debe ser un proceso continuo. El historial de los equipos se debe revisar y ajustar a la realidad, de acuerdo con la información actualizada y la experiencia acumulada por los operadores de plantas y equipos. Esto permite incrementar o disminuir el tiempo de labores de mantenimiento sin menoscabo de la condición operacional del equipo. La apreciación global del mantenimiento ayuda a que las bombas duren el tiempo para el cual fueron diseñadas por esta razón es importante tomar en cuenta parámetros tales como: la presión de succión, la presión de descarga, flujo, velocidad de la bomba, propiedades del gasto de la bomba, la potencia, y la altura dinámica total. Sobre la potencia ya se especificó la forma de obtenerla; el método básico para determinar la altura dinámica total (TDH) de la bomba es por medio de la utilización de manómetros de succión y de descarga. La instalación de las tuercas para la instalación de los manómetros es muy importante. Idealmente, ellos deben estar localizados normalmente en una sección recta de la tubería y de esta forma evitar ubicar las tuercas en los codos o reductores porque las lecturas no indicarían la verdadera presión estática debido a la carga de velocidad. Por otro lado evitar ubicar las roscas en parte superior o en el fondo de una tubería porque los manómetros rebotarían de aire o se obstruirían con sólidos. Para la medición de caudal puede instalarse un caudalímetro aunque actualmente existen en el mercado dispositivos no invasivos la temperatura del volumen de bombeo, viscosidad, y gravedad específica;

deben ser conocidos. Cuando todos los parámetros anteriores mencionados sean conocidos, se vuelve simple el cálculo del rendimiento de la bomba

3.3. Conclusiones Parciales

1. Comparando las potencia, las energías consumidas, las energías específicos y las potencias de motor se ve que son mucho menores en una red en malla con respecto a una red abierta así concluir que la red en malla es mas económica de 15,09KW a 7,5KW
2. En análisis económico revela que en los principales gastos de la instalación son provocado por gastos energéticos y por concepto de mantenimiento Con la red en malla se ahorrarían 8 311,08 USD

CONCLUSIONES GENERALES

- 1) Después de realizar el estudio del esquema de abastecimiento de agua al hospital se pudo comprobar que es factible transformar la red abierta existente por una red en malla que permita que el flujo llegue al consumidor por dos líneas y disminuya el consumo de energía de la instalación con respecto a la actual.
- 2) El diseño y cálculo de la red en malla aplicando software de optimización SOLVER, la determinación del régimen de trabajo de la instalación con la red en malla y el empleo de las metodologías de Darcy-Weisbach y Hazen – Williams dan como resultados parámetros más eficientes de la instalación.
- 3) Los gastos de la instalación actual que fluyen por las tuberías son mayores con respecto al nuevo diseño, lo que provoca que las pérdidas hidráulicas sean inferiores, igual que la potencia de la red en malla. (de 120m.c.a a 32,55 m.c.a) y (de 13,72kw a 6,44k)
- 4) Los gastos para el mantenimiento también disminuye debido a que la bomba puede trabajar con flujos más pequeños y cargas más pequeñas. La instalación se convierte en una instalación más económica porque disminuye el consumo de energía (de 329,28kw a 150kw).

RECOMENDACIONES.

Para el presente trabajo consideramos los siguientes recomendaciones:

1. Aplicar este método de instalación (redes en mallas) en el hospital “Dr. Guillermo Luís Hernández Baquero” de Moa para alcanzar mayor eficiencia con poco gasto de energía.
2. Debido a que actualmente existen nuevos tipos de bombeo en el mercado tales como HIDROPRESORES que tienen mejor eficiencia y que son usadas en las instalaciones hidráulica, se recomienda realizar estudios profundos sobre ellos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Adhikari B., Jindal V.K. *Artificial Neural: A New Tool for Prediction of Pressure Drop of Non-Newtonian Fluid Foods Through Tubes*. Journal of Food Engineering: 46, 43-51, 2000.
2. Banerjee T.P., M.Das y S.K. Das. *Non-Newtonian Liquid Flow Through Globe and Gate Valves*. Canadian Journal of Chemical Engineering: 72 (Abril), 207-211 (1994).
3. Bandala M. *Pérdidas por Fricción en Fluidos No Newtonianos*. Tesis de Licenciatura. Universidad de las Américas, Puebla, México , 2001.
4. Boussad. *Reología de sistemas coloidales*, II congreso mundial de emulsiones, Bordeaux-Francia, 1997.
5. Brookfield. *Manual de Instrucciones del Viscosímetro Modelo DV-I*. Brookfield Engineering Laboratories, Inc. EU. , 1996.
6. Carpenter, R., *Magnetic Treatment for Scale, Paraffin, Carbon, etc.* in Fluids, Pacific Coast Oil Show & Conf., 1986.
7. Caldiño V. I., Salgado M. G. *Estudio experimental con mezclas agua-sedimentos orientado al cálculo de flujos de lodos y debris*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Jiutepec, Morelos, México. VII Congreso Internacional de Ingeniería Hidráulica. (2004).
8. Columbie M. O., *Estudio del transporte de fuel oil desde Mazut hasta la planta de Preparación Mineral perteneciente a la empresa "Ernesto Che Guevara*, Tesis en Opción al título de ingeniero mecánico. ISMM, Moa, 2006. p.54
9. Cerpa A., y col., *Mineral – Content and Particle – Size Effects on the Colloidal Properties of Concentrated Lateritic Suspensions*. Clays and Clay Minerals, Vol.47, No.4, 515 – 521, 1999.
10. Cerpa, A., *Propiedades de flujo de suspensiones minerales lateríticas. Influencia de la mineralogía y de las propiedades coloido-químicas*. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Madrid, España, 1997.
11. Cerpa, A. y Garcell. L .R., *Propiedades superficiales y reológicas de suspensiones minerales lateríticas*. La Habana: Informe al evento Metalurgia 98, 1998.

12. Cerpa, A.y col., *Rheological properties of concentrated lateritic suspensions*. *Prog. Colloid Polym Science*, 1996, 100 (226): 6-12.
13. Charm, S., *Fundamentals of Food Engineering*. AVI Pub. Co. WestportConn.pp. 54-93, 1971.
14. Chen, T.Y., Mohammed, R.A., Bailey, A.I., Luckham, P.F., Y Taylor, S.E., *Dewatering of crude oil emulsions. Emulsion resolution by the application of an electric field*, *Colloids and Surfaces: Physicochemical and Engineering Aspects*, 83, 273-284, 1994.
15. Corney, J., *Magnetic Fluid Conditioner, Open Chapter in Well Treating*, The American Oil & Gas Reporter, V 34, No. 1., 1991.
16. Costa N. E., *Fenómenos de transporte*, Editorial Alambra S.A., Madrid, 1984.
17. CNE. *Programa de Desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía*. Comisión Nacional de Energía, 1993.
18. Darby R., *Laminar and Turbulent Pipe Flows of Non Newtonian Fluids*, in *Flow Dynamics and Transport Phenomena*.
19. De la Paz N. *Uso de la reología en la evaluación de la jalea dentífrica fluida*. Centro de Investigación y Desarrollo de Medicamentos, *Rev Cubana Farm* 2002;36(1):21-7
20. Díaz, A., *Manual de hidráulica aplicada*. Santiago de Cuba, Ediciones ISPJAM, 1990.
21. Falcón H. José; Brossard P. Luis; Carbonell M. José L.; Barreda T. Angel; Pacheco B. Pedro, *Emulgente para la preparación de emulsiones aguacombustible*. Oficina Cubana de la Propiedad Industrial Certificado de Autor de Invención (45), 1995.
22. Ferro, A., *Estudio de la sustitución de las pinturas asfálticas convencionales por emulsiones de crudo cubano con emulgente P*. Tesis de Maestría, Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Química, 2000.
23. Fredrickson A.G., *Principles and Applications of Rheology*, Prentice – Hall Inc., New York, 1964.
24. Foust A.S., L.A. Wenzel, C.W. Clump y L.B. Andersen., *Principles of Unit Operations*. John Wiley & Sons. Nueva York, EUA. pp. 541-558, 1980.
25. Garcell, L., *Características reológicas y mineralógicas de las pulpas limoníticas de Moa en periodos de sedimentación crítica*. Trabajo investigativo. ISPJAM, Facultad de Ingeniería Química., 1984.

26. Garcell, L., Determinación de parámetros reológicos en pulpas minerales que se comportan como plásticos reales. Revista Tecnología Química, 1984, (2): 14-19.

ANEXOS

Anexo 1. Hoja de cálculo en orden jerárquico de la investigación, utilizando la programación en el software Microsoft Excel para los valores máximos y mínimos

Q_{mínimo}

malla	tramo	L(m)	D(m)	f	Q(m)	K+kl	hf	hf/Q
I	A-B	15	0,1016	0,017	0,0015	1915,02	0,011280	7,51975697
	B-C	3	0,1016	0,017	0,001	385,07	0,001070	1,07037488
	H-I	3	0,1016	0,017	0,00067	385,07	0,000510	0,76094215
	A-I	35	0,1016	0,017	0,0012	4463,27	0,017390	14,4915669
	C-H	50	0,0762	0,018	0,0001	28425,46	0,001111	11,1098325
II	H-C	50	0,0762	0,018	-0,0001	28425,46	-0,001111	11,1098325
	C-D	3	0,1016	0,017	0,00068	385,07	0,000524	0,77060798
	H-G	3	0,1016	0,017	0,00057	385,07	0,000378	0,66304237
	D-G	50	0,0762	0,018	0,0001	28425,46	0,001111	11,1098325
III	G-D	50	0,0762	0,018	-0,0001	28425,46	-0,001111	11,1098325
	D-E	3	0,1016	0,017	0,00040	385,07	0,000196	0,49033288
	G-F	3	0,1016	0,017	0,00037	385,07	0,000170	0,45882152
	E-F	50	0,0762	0,018	0,00019	28425,46	0,003647	19,1957718

Q_{Máxim}

malla	tramo	L(m)	D(m)	f	Q(m)	K+kl	hf	hf/Q
I	A-B	15	0,1016	0,017	0,0049	1915,02	0,101022	20,6167931
	B-C	3	0,1016	0,07	0,0029	1576,75	0,031486	10,8573722
	H-I	3	0,1016	0,017	0,00228	385,07	0,004925	2,16021211
	A-I	35	0,1016	0,017	0,0051	4463,27	0,253555	49,7167483
	C-H	50	0,0762	0,018	0,00031	28425,46	0,009030	29,1304822
II	H-C	50	0,0762	0,018	-0,00031	28425,46	-0,009030	29,1304822
	C-D	3	0,1016	0,017	0,0018	385,07	0,003179	1,76615202
	H-G	3	0,1016	0,017	0,00175	385,07	0,003017	1,72426624
	D-G	50	0,0762	0,08	0,00024	126333,31	0,024984	104,101711
III	G-D	50	0,0762	0,017	-0,00024	26846,30	-0,005309	22,1220029
	D-E	3	0,1016	0,017	0,00085	385,07	0,000792	0,93196764
	G-F	3	0,1016	0,017	0,00177	385,07	0,003082	1,74104153
	E-F	50	0,1016	0,017	0,00023	6371,21	0,001165	5,06307189

Co

rección de los valores de Q por ΔQ

Mínimo

malla	tramo	L(m)	D(m)	f	Q(m)	K+kl	hf	hf/Q
I	A-B	15	0,1016	0,017	0,00148073	1915,02	0,011013	7,43738099
	B-C	3	0,1016	0,017	0,00099725	385,07	0,001065	1,06786498
	H-I	3	0,1016	0,017	0,00067084	385,07	0,000511	0,76175527
	A-I	35	0,1016	0,017	0,00121607	4463,27	0,017824	14,6567094

	C-H	50	0,0762	0,018	0,00011276	28425,46	0,001388	12,3066578
II	H-C	50	0,0762	0,018	-8,824E-05	28425,46	0,000881	9,98651716
	C-D	3	0,1016	0,017	0,00068085	385,07	0,000525	0,77142963
	H-G	3	0,1016	0,017	0,00057073	385,07	0,000379	0,66376806
	D-G	50	0,0762	0,018	4,684E-05	28425,46	0,000273	5,82197575
III	G-D	50	0,0762	0,018	-6,4761E-05	28425,46	0,000497	7,67263758
	D-E	3	0,1016	0,017	0,00040	385,07	0,000198	0,49221814
	G-F	3	0,1016	0,017	0,00036882	385,07	0,000169	0,45757512
	E-F	50	0,0762	0,018	0,00027	28425,46	0,006945	25,8164825

Máximo

mall	tramo	L(m)	D(m)	f	Q(m)	K+kl	hf	hf/Q
I	A-B	15	0,1016	0,017	0,004017	1915,02	0,069920	17,4059772
	B-C	3	0,1016	0,07	0,00243483	1576,75	0,022777	9,35477805
	H-I	3	0,1016	0,017	0,00230757	385,07	0,005036	2,18244493
	A-I	35	0,1016	0,017	0,00574163	4463,27	0,315782	54,9985438
	C-H	50	0,0762	0,018	0,00072647	28425,46	0,043720	60,1817049
II	H-C	50	0,0762	0,018	1,5988E-05	28425,46	0,000037	2,32991427
	C-D	3	0,1016	0,017	0,00182254	385,07	0,003253	1,78497669
	H-G	3	0,1016	0,017	0,001772	385,07	0,003088	1,74272131
	D-G	50	0,0762	0,08	0,00025248	126333,31	0,027443	108,695867
III	G-D	50	0,0762	0,017	0,00080687	26846,30	0,050152	62,1559797
	D-E	3	0,1016	0,017	0,00090	385,07	0,000884	0,98033374
	G-F	3	0,1016	0,017	0,00169526	385,07	0,002845	1,67820952
	E-F	50	0,1016	0,017	0,00052	6371,21	0,005316	10,1809162

Variación del gasto por malla

Mínimo

ΔQI	ΔQII	$\Delta QIII$
-0,00047393	-9,2547E-06	-0,00010685

Máximo

ΔQI	ΔQII	$\Delta QIII$
-0,00171303	-0,00015942	-0,00042621

Perdidas de carga por las vías posibles del flujo

Mínimas

hf A-B-C-H-G-F	hf A-B-C-D-G-F	hf A-B-C-D-E-F	hf A-I-H-G-F
0,038742	0,03226424	0,03199154	0,01991385
hf(prom)	Criterio de parada (%)		
0,03072785	5,00000027		

Máximas

hf A-B-C-H-G-F	hf A-B-C-D-G-F	hf A-B-C-D-E-F	hf A-I-H-G-F
0,547409	0,49390187	0,4664585	0,37376136
hf(prom)	Criterio de parada (%)		
0,47038273	5,00000081		

REPORTE DE SOLVER

Celda objetiva (Valor de 5%):

Celda	Nombre	Valor Original	Valor Final
\$K\$	Criterio de parada (%)	10,2016365	5,00000027

Celda	Nombre	Valor Original	Valor Final
\$K\$	Criterio de parada (%)	12,4933681	5,00000081

Celda (Valores cambiables)

Celda	Nombre	Valor Original	Valor Final
\$F\$24	A-B Q(m3/s)	0,0015	0,00148073
\$F\$25	B-C Q(m3/s)	0,001	0,00099725
\$F\$26	H-I Q(m3/s)	0,00067	0,00067084
\$F\$27	A-I Q(m3/s)	0,0012	0,00121607
\$F\$28	C-H Q(m3/s)	0,0001	0,00011276
\$F\$29	H-C Q(m3/s)	-0,0001	-8,824E-05
\$F\$30	C-D Q(m3/s)	0,00068	0,00068085
\$F\$31	H-G Q(m3/s)	0,00057	0,00057073
\$F\$32	D-G Q(m3/s)	0,0001	4,684E-05
\$F\$33	C-D Q(m3/s)	-0,0001	-6,4761E-05
\$F\$34	D-E Q(m3/s)	0,00040	0,00040
\$F\$35	G-F Q(m3/s)	0,00037	0,00036882
\$F\$36	E-F Q(m3/s)	0,00019	0,00027

Celda Nombre		Valor Original	Valor Final
\$F\$24	A-B Q(m3/s)	0,0049	0,004017
\$F\$25	B-C Q(m3/s)	0,0029	0,00243483
\$F\$26	H-I Q(m3/s)	0,00228	0,00230757
\$F\$27	A-I Q(m3/s)	0,0051	0,00574163
\$F\$28	C-H Q(m3/s)	0,00031	0,00072647
\$F\$29	H-C Q(m3/s)	-0,00031	1,5988E-05
\$F\$30	C-D Q(m3/s)	0,0018	0,00182254
\$F\$31	H-G Q(m3/s)	0,00175	0,001772
\$F\$32	D-G Q(m3/s)	0,00024	0,00025248
\$F\$33	C-D Q(m3/s)	-0,00024	0,00080687
\$F\$34	D-E Q(m3/s)	0,00085	0,00090
\$F\$35	G-F Q(m3/s)	0,00177	0,00169526
\$F\$36	E-F Q(m3/s)	0,00023	0,00052

Método Hazen-Williams

Tabla: Determinación de los valores de “K, Q, hf, hf/Q, □Q”

Q_{mínimo}

malla	tramo	L(m)+leq	D(m)	C	Q(m)	K	hf	hf/Q
I	A-B	18,84	0,1016	100	0,0015	2721,56	0,016030	10,6867862
	B-C	5,83	0,1016	100	0,001	842,18	0,002341	2,34101946
	H-I	5,83	0,1016	100	0,00067	842,18	0,001115	1,66425839
	A-I	38,84	0,1016	100	0,0012	5610,68	0,021860	18,2170526
	C-H	50,6	0,0762	100	0,0001	29671,44	0,001160	11,5968124
II	H-C	50,6	0,0762	100	-0,0001	29671,44	-0,001160	11,5968124
	C-D	5,83	0,1016	100	0,00068	842,18	0,001146	1,68539856
	H-G	5,83	0,1016	100	0,00057	842,18	0,000827	1,45014157
	D-G	50,6	0,0762	100	0,0001	29671,44	0,001160	11,5968124
	III	G-D	50,6	0,0762	100	-0,0001	29671,44	-0,001160
D-E		5,83	0,1016	100	0,00040	842,18	0,000429	1,07240823
G-F		5,83	0,1016	100	0,00037	842,18	0,000371	1,00348964
E-F		50,6	0,1016	100	0,00019	7309,49	0,000938	4,93611256

Q_{máximo}

malla	tramo	L(m)+leq	D(m)	C	Q(m)	K	hf	hf/Q
I	A-B	18,84	0,1016	100	0,0049	2721,56	0,143569	29,2997846
	B-C	5,83	0,1016	100	0,0029	842,18	0,016818	5,79920042
	H-I	5,83	0,1016	100	0,00228	842,18	0,010772	4,72460509
	A-I	38,84	0,1016	100	0,0051	5610,68	0,318739	62,497908
	C-H	50,6	0,0762	100	0,00031	29671,44	0,009426	30,4073657

II	H-C	50,6	0,0762	100	-	29671,44	-	30,4073657
	C-D	5,83	0,1016	100	0,0018	842,18	0,006953	3,86275531
	H-G	5,83	0,1016	100	0,00175	842,18	0,006600	3,77114683
	D-G	50,6	0,0762	100	0,00024	29671,44	0,005868	24,4499858
III	G-D	50,6	0,0762	100	-	29671,44	-	24,4499858
	D-E	5,83	0,1016	100	0,00085	842,18	0,001733	2,03830866
	G-F	5,83	0,1016	100	0,00177	842,18	0,006740	3,8078361
	E-F	50,6	0,1016	100	0,00023	7309,49	0,001336	5,80870208

Corrección de los valores de Q por ΔQ

Mínimo

malla	tramo	L(m)+leq	D(m)	C	Q(m)	K	hf	hf/Q
I	A-B	18,84	0,1016	100	0,00141732	2721,56	0,014432	10,1828283
	B-C	5,83	0,1016	100	0,00098189	842,18	0,002263	2,30484519
	H-I	5,83	0,1016	100	0,00068119	842,18	0,001150	1,68791314
	A-I	38,84	0,1016	100	0,00132248	5610,68	0,026172	19,7897463
	C-H	50,6	0,0762	100	0,000178	29671,44	0,003374	18,954246
II	H-C	50,6	0,0762	100	-2,2062E-05	29671,44	-0,000071	3,19976012
	C-D	5,83	0,1016	100	0,00069133	842,18	0,001182	1,70930135
	H-G	5,83	0,1016	100	0,00057975	842,18	0,000853	1,47125165
	D-G	50,6	0,0762	100	-0,00015752	29671,44	-0,002690	17,0790624
III	G-D	50,6	0,0762	100	6,7622E-05	29671,44	0,000562	8,30946295
	D-E	5,83	0,1016	100	0,00042	842,18	0,000460	1,10773459
	G-F	5,83	0,1016	100	0,00036224	842,18	0,000357	0,98551993
	E-F	50,6	0,1016	100	0,00026	7309,49	0,001693	6,47773431

Máximo

malla	tramo	L(m)+leq	D(m)	C	Q(m)	K	hf	hf/Q
I	A-B	18,84	0,1016	100	0,00457301	2721,56	0,126332	27,6254692
	B-C	5,83	0,1016	100	0,00283528	842,18	0,016129	5,68874798
	H-I	5,83	0,1016	100	0,00230864	842,18	0,011024	4,77513079
	A-I	38,84	0,1016	100	0,0054789	5610,68	0,363979	66,4328285
	C-H	50,6	0,0762	100	0,00049438	29671,44	0,022373	45,2559364
II	H-C	50,6	0,0762	100	-0,00012567	29671,44	-0,001771	14,0895653
	C-D	5,83	0,1016	100	0,00182342	842,18	0,007121	3,90553386
	H-G	5,83	0,1016	100	0,00177286	842,18	0,006760	3,8130852
	D-G	50,6	0,0762	100	-0,00045408	29671,44	-0,019114	42,0938708
III	G-D	50,6	0,0762	100	0,00018102	29671,44	0,003481	19,2277912
	D-E	5,83	0,1016	100	0,00089	842,18	0,001867	2,10982076
	G-F	5,83	0,1016	100	0,0017275	842,18	0,006443	3,72980282
	E-F	50,6	0,1016	100	0,00033	7309,49	0,002608	7,90186139

Variación del gasto por malla

ΔQI	ΔQII	$\Delta QIII$
-0,00048354	1,6715E-05	-9,8277E-05

ΔQI	ΔQII	$\Delta QIII$
-0,00194614	5,9177E-05	-0,00023583

Perdidas de carga por las vías posibles del flujo

hf A-B-C-H-G-F	hf A-B-C-D-G-F	hf A-B-C-D-E-F	hf A-I-H-G-F
0,049380	0,04702159	0,04971185	0,03301641
hf(prom)	Criterio de parada (%)		
0,04478247	5,00000001		

hf A-B-C-H-G-F	hf A-B-C-D-G-F	hf A-B-C-D-E-F	hf A-I-H-G-F
0,540790	0,5392773	0,55839146	0,4159307
hf(prom)	Criterio de parada (%)		
0,51359743	4,9999995		

REPORTE DE SOLVER

Celda objetiva (Valor de 5%):

Celda	Nombre	Valor Original	Valor Final
\$K\$	Criterio de parada (%)	13,1536739	5,00000001

Celda	Nombre	Valor Original	Valor Final
\$K\$	Criterio de parada (%)	9,64966848	4,9999995

Celda (Valores cambiables)

Celda	Nombre	Valor Original	Valor Final
\$F\$24	A-B Q(m3/s)	0,0015	0,00141732
\$F\$25	B-C Q(m3/s)	0,001	0,00098189
\$F\$26	H-I Q(m3/s)	0,00067	0,00068119
\$F\$27	A-I Q(m3/s)	0,0012	0,00132248
\$F\$28	C-H Q(m3/s)	0,0001	0,000178
\$F\$29	H-C Q(m3/s)	-0,0001	-2,2062E-05
\$F\$30	C-D Q(m3/s)	0,00068	0,00069133
\$F\$31	H-G Q(m3/s)	0,00057	0,00057975

\$F\$32	D-G Q(m3/s)	0,0001	-0,00015752
\$F\$33	C-D Q(m3/s)	-0,0001	6,7622E-05
\$F\$34	D-E Q(m3/s)	0,00040	0,00042
\$F\$35	G-F Q(m3/s)	0,00037	0,00036224
\$F\$36	E-F Q(m3/s)	0,00019	0,00026

Celda	Nombre	Valor Original	Valor Final
\$F\$24	A-B Q(m3/s)	0,0049	0,00457301
\$F\$25	B-C Q(m3/s)	0,0029	0,00283528
\$F\$26	H-I Q(m3/s)	0,00228	0,00230864
\$F\$27	A-I Q(m3/s)	0,0051	0,0054789
\$F\$28	C-H Q(m3/s)	0,00031	0,00049438
\$F\$29	H-C Q(m3/s)	-0,00031	-0,00012567
\$F\$30	C-D Q(m3/s)	0,0018	0,00182342
\$F\$31	H-G Q(m3/s)	0,00175	0,00177286
\$F\$32	D-G Q(m3/s)	0,00024	-0,00045408
\$F\$33	C-D Q(m3/s)	-0,00024	0,00018102
\$F\$34	D-E Q(m3/s)	0,00087	0,00089
\$F\$35	G-F Q(m3/s)	0,00177	0,0017275
\$F\$36	E-F Q(m3/s)	0,00023	0,00033

DARCY-WEISBACH

Perdidas hidráulicas h_{nec}

Nro	Gastos (m ³ /s)	Perdidas Hidráulicas		H_{nec} (m)	
		máxima	$hf(ABCDEF)=0,038742$	máxima	32,038742
1	0.0027	mínimo	$hf(AIHGF)=0,01991385$	mínimo	32,01991385
		máxima	$hf(ABHGF)=0,17749975$	máxima	32,17749975
2	0.00504	mínimo	$hf(AIHGF)=0,12438$	mínimo	32,12438
		máxima	$hf(ABCDEF)=0,547409$	máxima	32,547409
3	0.01	mínimo	$hf(AIHGF)=0,37376136$	mínimo	32,37376136

Hazen- Williams

Perdidas hidráulicas h_{nec}

Nro	Gastos (m^3/s)	Perdidas Hidráulicas		H_{nec} (m)	
1	0.0027	máxima	$hf(ABCHGF)=0,0497118$	máxima	32,0497118
		mínimo	$hf(AIHGF)=0,03301641$	mínimo	32,03301641
2	0.00504	máxima	$hf(ABCDEF)=0,298276$	máxima	32,298276
		mínimo	$hf(AIHGF)=0,24430053$	mínimo	32,24430053
3	0.01	máxima	$hf(ABCHGF)=0,5583914$	máxima	32,5583914
		mínimo	$hf(AIHGF)=0,4159307$	mínimo	32,4159307