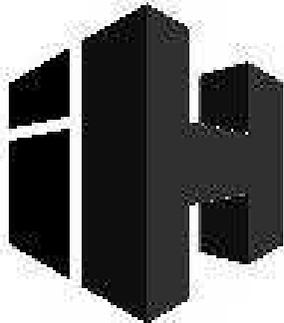


**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
Facultad de Construcciones.
Departamento de Ingeniería Hidráulica.**



Ingeniería Hidráulica

TESIS DE GRADO

Estudio del Sistema de abasto de agua en la UCLV. Propuestas de Soluciones.

**AUTOR: Darly Claro Crespo
TUTOR: Dr. Ing. Luis O. Ibañez Mora**

Santa Clara 2016

Resumen.

El presente trabajo aborda el estudio del sistema de abasto de agua a la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas (UCLV) el cual por los años de sobre explotación y el incremento de la matrícula se encuentra muy deteriorado. Además, no existe conocimiento del trazado de las redes hidráulicas y en algunos lugares se han realizado nuevas construcciones por lo que se desconoce las principales características (diámetro y longitud) de las redes hidráulicas.

Se realiza un levantamiento del actual sistema de abasto de agua de la UCLV que está conformado por una planta potabilizadora, una cisterna, un tanque elevado que no funciona en la actualidad y las redes de distribución. En la zona de Ciencias Agropecuarias se utiliza la combinación de cisterna y tanque elevado para el abasto de agua a los edificios docentes, beca y comedor. Entre las principales problemáticas en la red de abasto de agua se encuentra las insuficiencias en la planta potabilizadora de agua, la disminución de presión en las tuberías y problemas puntuales en el abasto de agua cuando se utilizan la combinación de sistema-bomba.

El trabajo de diploma tiene como finalidad obtener a partir de la inspección de los elementos que conforman el sistema de abasto de agua a la UCLV sus principales características y estado actual, confeccionar un sistema de información geográfico de las redes hidráulicas de la UCLV y proponer soluciones para mejorar el mismo. Con el empleo de herramientas computacionales se modela el comportamiento de la red.

Introducción

El agua potable es un recurso indispensable para todo proceso relacionado con la vida, es un producto primario tanto para la actividad doméstica, así como para las actividades urbanas y agrícolas. La disponibilidad de este recurso está totalmente ligada al bienestar y prosperidad de cualquier sociedad. De ahí la importancia que cobra la buena gestión de las Redes de Abastecimiento de Agua Potable (RDAP). Estas son las infraestructuras que permiten transportar el recurso en cuestión desde las fuentes hasta los consumidores; es decir, a través de ellas se da el proceso de abastecimiento de agua potable. En tal sentido, es importante hacer notar la relación directa que existe entre la calidad del servicio de abastecimiento de agua potable de la que dispone cualquier ciudad (o localidad) y su grado de desarrollo y modernidad.

Desde el punto de vista técnico y dado por supuesto que se hace una apropiada gestión administrativa, los problemas de las RDAP pueden resumirse en cuatro aspectos generales: fugas y agua no contabilizada; integridad física de la red; calidad de agua a distribuir; fiabilidad y calidad de la base de datos de los sistemas de distribución de agua. Con relación al primero de ellos, el control de las pérdidas de agua ha sido una actividad asociada a los sistemas de distribución de agua desde que se construyeron las primeras RDAP. Incluso, en la antigua Roma ya existía conciencia de que una buena parte del agua que era inyectada a los sistemas de distribución no llegaba a los usuarios (Pilcher *et al.*, 2007).

En países en vías de desarrollo, el segundo tipo de pérdidas puede representar más del 50% del agua inyectada a la red (Kingdom *et al.*, 2006), (SAWUADB, 2007). En una RDAP con pérdidas del 50%, se tienen que producir 2 m³ de agua para que llegue 1 m³ a los usuarios. Se ha estimado que, en estos países, el volumen anual de pérdidas de agua alcanza 26.7 miles de millones de m³, lo que representa 5.9 miles de millones de dólares norteamericanos. Con tan sólo reducir este valor por la mitad, se podría abastecer hasta 90 millones de personas (WWC, 2009). En esta misma línea, Iwa (2000) estima que reducir las pérdidas en países de renta baja y media a la mitad del nivel actual, representaría 11 mil millones de m³, lo que permitiría el acceso a agua potable a 130 millones de personas, implicando, en adición, un flujo de caja propio de 4 mil millones de dólares norteamericanos para los operadores de agua.

En países desarrollados la situación es distinta. El porcentaje de pérdida no suele superar el 15% (Kingdom *et al.*, 2006); no obstante, las previsiones no indican una mejora. Un estudio, conducido por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), estima que para el año 2025, dos tercios de la población mundial será objeto de "estrés" de agua ya sea moderado o

alto. Este mismo estudio, estima que en EEUU las extracciones de agua pasarán del 10-20% (cifra de 1995) del agua disponible, al 20-40% (Thornton *et al.*, 2008).

En países en vías de desarrollo es muy común que las empresas encargadas del suministro de agua potable busquen, con carácter de urgencia, fondos para financiar la expansión del suministro de agua, ya que se estima que la mitad de los consumidores sufren un servicio intermitente y de baja calidad (Kingdom *et al.*, 2006). Tal situación, se agrava más si se tiene en cuenta que a la hora de valorar el costo del agua perdida, sólo se tiene en cuenta sus costos marginales, es decir, los costos asociados al proceso operativo que implica llevar el agua desde las fuentes hasta los usuarios; no obstante, existen otros costos que no son tan fáciles de cuantificar, que se agrupan bajo una categoría denominada externalidades, y que representan los costos no asociados a la producción, que no están reflejados en el precio de mercado. Un ejemplo de externalidad es el costo por reparación de daños que puede causar una fuga en una tubería de gran diámetro a los edificios residenciales.

Cifras de esta naturaleza resaltan la necesidad de equidad y gestión óptima y sostenible del agua con el fin de hacer frente a la creciente demanda del recurso a nivel mundial. Hoy, redes sin ningún tipo de pérdidas se consideran una utopía, tanto por las implicaciones técnicas como económicas que esto representa; no obstante, ha habido un gran avance en el conocimiento y desarrollo de equipos y técnicas, que permiten hacer un seguimiento más exhaustivo de las fugas en ellas. A continuación, se hace mención de las más importantes (Pilcher *et al.*, 2007).

- Subdivisión de las redes en pequeñas subredes mediante el cierre temporal de válvulas e instalación de caudalímetros.
 - Métodos tradicionales de cierres controlados de válvulas (o variaciones de estas técnicas).
- Se conoce como red de abastecimiento de agua potable al sistema que permite que llegue el agua desde el lugar de captación al punto de consumo en condiciones correctas, tanto en calidad como en cantidad. Este sistema se puede clasificar por la fuente del agua en: agua de mar, agua superficial; esta procede de lagos o ríos, agua de lluvia almacenada, agua subterránea y las aguas procedentes de manantiales naturales. Es importante tener en cuenta que esta agua antes de ser enviadas a las viviendas se transformará en agua potable, dependiendo el origen de estas, se le hará un proceso de saneamiento y desinfección. Ahora bien, el sistema que utiliza aguas superficiales consta de cinco partes principales como son la captación, el almacenamiento de agua bruta, el tratamiento, almacenamiento de agua tratada y red de distribución. Este sistema se considera como la red de abastecimiento de agua potable más completa.

Almacenamiento de agua bruta: este se utiliza cuando la fuente de agua no tiene un caudal que le supla el agua necesaria durante todo el año. Para ello es que se construyen los embalses, este puede almacenar el agua de los arroyos y ríos que no garantiza en todo momento el caudal.

Captación: es el puesto inicial del sistema de abastecimiento, para la captación de aguas subterráneas se realiza en pozos, para aguas superficiales se realiza mediante las bocatomas, estos dos tipos de aguas son las más empleadas para abastecer agua a las poblaciones.

Tratamiento: aquí se procede a purificar las aguas. Este tratamiento cambiará dependiendo la calidad del agua bruta. Para el tratamiento del agua potable se debe tener en cuenta los siguientes componentes: Reja: gracias a esta se evita el paso del material grueso ya sea flotante o de arrastre de fondo. Desarenador: evita el paso de materiales de tamaño fino. Floculadores: aquí se le añade químicos para la decantación de materiales muy finos. Decantadores: este separa una porción elemental del material fino. Filtros: gracias a este el material en suspensión se retira totalmente. Dispositivo de desinfección.

Almacenamiento de agua: este almacena un volumen necesario de agua, el cual será utilizado para casos de emergencia, un ejemplo de estos casos son los incendios. Esta agua se almacena en tanques, estos pueden ser elevados o apoyados en el suelo.

Red de distribución: esta red comienza en los tanques de agua tratada y termina en el hogar de la persona que utilice el sistema.

En la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas (UCLV) el sistema de abasto de agua presenta dificultades por los años de explotación y el deterioro del mismo. Inicialmente fue diseñado para una población la cual se ha incrementado en los diferentes cursos. De manera general este sistema está compuesto por una planta potabilizadora, una estación de bombeo, una cisterna, un tanque elevado y las redes de distribución. En el caso de la residencia de Ciencias Agropecuarias, existe una planta potabilizadora en desuso y de manera general el sistema lo componen cisternas, bombas y los tanques elevados en las diferentes edificaciones.

En este trabajo de diploma se pretende a partir de un estudio del sistema de abasto de agua proponer un grupo de soluciones que mejoren el funcionamiento del mismo, así como crear un sistema de información geográfica de las redes hidráulicas principales y la modelación del sistema. Esta información permitirá a los decisores establecer políticas en el tema de abasto de agua en la UCLV.

Planteamiento y definición del problema.

En la UCLV existe un deterioro de las redes hidráulicas por los años de explotación, además de que no se conoce el trazado y el diámetro de las mismas. En varias instalaciones el suministro de agua es limitado y el posible crecimiento de la matrícula de UCLV genera un incremento de la demanda de agua por lo que se hace necesario conocer las características del sistema de abasto de agua.

Fundamentación.

Con el desarrollo de la ingeniería existe un grupo de herramientas que permiten el estudio de los sistemas de abasto de agua de manera tal que se pueda estimar su funcionamiento actual y sus futuras capacidades. A partir de estos criterios se puede evaluar el funcionamiento de cada una de las partes que conforman un sistema de abasto de agua. Con el empleo de la informática se pueden desarrollar herramientas como los sistemas de información geográfica que permiten a los ingenieros conocer las características de una red hidráulica. A partir del conocimiento de esta información se puede modelar la distribución de agua de las redes hidráulicas al contar con los datos iniciales del trazado de la red.

Hipótesis.

Con el conocimiento del trazado de las redes hidráulicas y las características del sistema de abasto de agua de la UCLV se podrá contar con una herramienta para la modelación, la toma de decisiones para nuevas inversiones o mantenimiento que permitan mejorar el suministro de agua a las diferentes instalaciones.

Objetivos.

Para el desarrollo de la investigación se consideró el siguiente objetivo general: *Realizar un estudio del sistema de abasto de agua de la UCLV que permita proponer un grupo de soluciones que mejoren el abasto de agua y la confección de un sistema de información geográfica que sirva de base para el empleo de herramientas computacionales.*

Objetivos específicos.

Para dar cumplimiento al objetivo general anterior se desarrollaron los siguientes objetivos específicos:

1. Realizar una búsqueda bibliográfica sobre el tema de estudio.
2. Realizar un estudio del sistema de abasto de agua en la UCLV.

3. Elaborar un sistema de información geográfica que incluya las redes hidráulicas y algunas edificaciones de la UCLV.
4. Modelar las redes de abasto de agua de la UCLV.

Pregunta de Investigación.

1. ¿Cuáles son las características del sistema de abasto?
2. ¿Cuáles soluciones técnicas podrán mejorar el sistema de abasto de agua en la UCLV?
3. ¿Podrán utilizarse los sistemas de información geográfica como una herramienta para la toma de decisiones en la solución de los problemas del sistema de abasto?
4. ¿Podrá utilizarse software profesionales para modelar el comportamiento del sistema de abasto de agua de la UCLV?

Tareas de investigación.

Para dar cabal cumplimiento a los objetivos antes planteados se realizarán las siguientes tareas de investigación:

- Búsqueda bibliográfica sobre el tema de estudio.
- Realizar un levantamiento del sistema abasto de agua de la UCLV identificando sus principales problemáticas.
- Propuesta de soluciones para el abasto de agua en el interior de la UCLV.
- Elaborar un sistema de información geográfica de las redes hidráulicas.
- Modelar con un software profesional las redes de abasto de agua de la UCLV.

Metodología de la Investigación.

Para realizar la actual investigación se define las siguientes etapas, las cuales se complementan entre sí.

Etapas I: Definición de la problemática.

- Definición del tema y problema de estudio.
- Recopilación bibliográfica.
- Formación de la base teórica general.
- Planteamiento de las hipótesis.
- Definición de los objetivos.
- Definición de tareas científicas.

Redacción de la introducción.

Etapas II: Revisión bibliográfica.

- Estudio, análisis y crítica de los últimos adelantos científicos relacionados con el tema.
- Redacción del Capítulo I.

Se da cumplimiento al objetivo específico 1.

Etapas III: Levantamiento "in situ"

- Levantamiento y evaluación del sistema de abasto de agua.
- Diagnóstico del sistema.
- Levantamiento de las redes hidráulicas

Se da cumplimiento al objetivo específico 2.

Etapas IV: Estudio de las bases teóricas para la confección del SIG.

- Levantamiento en AutoCAD de la UCLV.
- Propuesta de un SIG.
- Creación de un modelo en EPANET.

Redacción del capítulo II.

Etapas IV: Estudio de las problemáticas del sistema de abasto de agua.

- Creación del SIG.
- Cálculo de la demanda de agua.
- Modelación por el EPANET.
- Propuesta de soluciones.

Redacción del capítulo III.

Se da cumplimiento al objetivo específico 3 y 4.

Etapas VI. Redacción definitiva de la tesis.

Estructura de la Tesis.

La estructura de la tesis está relacionada directamente con la metodología de la investigación establecida y de un modo específico con el desarrollo particular de cada una de las etapas de la investigación. La misma se encuentra formada por una introducción general, tres capítulos, las conclusiones, recomendaciones y bibliografía, así como los anexos necesarios.

El orden y estructura lógica del trabajo se establece a continuación:

- Resumen
- Introducción
- Capítulo I: Revisión Bibliográfica.
- Capítulo II: Levantamiento del sistema de abasto de la UCLV.
- Capítulo III: Estudio de las problemáticas del sistema de abasto de la UCLV.
- Conclusiones.

Capítulo 1

Capítulo 1: Revisión Bibliográfica.

1.1 Introducción.

Si se toma en cuenta el dicho de que “*El agua es vida*”, fácilmente se puede explicar por qué los asentamientos humanos se localizaban donde este elemento estaba disponible. Con el paso del tiempo y debido al crecimiento poblacional ha sido necesario realizar obras cada día de mayor tamaño con la finalidad de abastecer de este preciado líquido a las poblaciones que día a día lo solicitan en mayor cantidad y de mejor calidad, para sus necesidades.

Para ello es necesario que el ingeniero hidráulico, tome en consideración una serie de elementos, que le permitan mediante estudios y trabajos especializados satisfacer de manera efectiva y sustentable la necesidad que se tiene del servicio del agua, proporcionándolo en forma ininterrumpida, en cantidad y con la calidad apropiada.

Un sistema de abastecimiento de agua potable, tiene como finalidad primordial, la de entregar a los habitantes de una localidad, agua en cantidad y calidad adecuada para satisfacer sus necesidades, ya que como se sabe los seres humanos estamos compuestos en un 70% de agua, por lo que este líquido es vital para la supervivencia. Uno de los puntos principales de este capítulo, es entender el término potable. El agua potable es considerada aquella que cumple con la norma establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cual indica la cantidad de sales minerales disueltas que debe contener el agua para adquirir la calidad de potable. Sin embargo, una definición aceptada generalmente es aquella que dice que el agua potable es toda la que es “apta para consumo humano”, lo que quiere decir que es posible beberla sin que cause daños o enfermedades al ser ingerida. La contaminación del agua ocasionada por aguas residuales municipales, es la principal causa de enfermedades de tipo hídrico por los virus, bacterias y otros agentes biológicos que contienen las heces fecales (excretas), sobre todo si son de seres enfermos. Por tal motivo es indispensable conocer la calidad del agua que se piense utilizar para el abastecimiento a una población.

CAPTACIÓN. Es la parte inicial del sistema hidráulico y consiste en las obras donde se capta el agua para poder abastecer a la población. Pueden ser una o varias, el requisito es que en conjunto se obtenga la cantidad de agua que la comunidad requiere. Las obras de captación son las obras civiles y electromecánicas que se emplean para extraer las aguas. Estas obras varían de acuerdo a las características de la fuente de abastecimiento, su localización, la topografía del

terreno y por la cantidad de agua a extraer. Un requisito importante para el diseño de una obra de captación, es la previsión que sea necesaria para evitar la contaminación de las aguas.

CONDUCCIÓN. La denominada “línea de conducción” consiste en todas las estructuras civiles y electromecánicas cuya finalidad es la de llevar el agua desde la captación hasta un punto que puede ser un tanque de regularización, una planta de tratamiento de potabilización o el sitio de consumo. Es necesario mencionar que debido al alejamiento cada vez mayor entre la captación y la zona de consumo, las dificultades que se presentan en estas obras, cada día son mayores.

TRATAMIENTO. El tratamiento, se refiere a todos los procesos físicos, mecánicos y químicos que harán que el agua adquiera las características necesarias para que sea apta para su consumo. Los tres objetivos principales de una planta potabilizadora son lograr un agua que sea: segura para consumo humano, estéticamente aceptable y económica.

Para el diseño de una planta potabilizadora, es necesario conocer las características físico-químicas y biológicas del agua, así como los procesos necesarios para modificarla.

LÍNEA DE ALIMENTACIÓN. Esta línea es el conjunto de tuberías que sirven para conducir el agua desde el tanque de regularización hasta la red de distribución, cada día son más usuales por la lejanía de los tanques y la necesidad de tener zonas de distribución con presiones adecuadas.

RED DE DISTRIBUCIÓN. Este sistema de tuberías es el encargado de entregar el agua a los usuarios en su domicilio, debiendo ser el servicio constante las 24 horas del día, en cantidad adecuada y con la calidad requerida para todos y cada uno de los tipos de zonas socio-económicas (comerciales, residenciales de todos los tipos, industriales, etc.) que tenga la localidad que se esté o pretenda abastecer de agua. El sistema incluye válvulas, tuberías, tomas domiciliarias, medidores y en caso de ser necesario equipos de bombeo (Albert (2014)).

1.2 Consumo de agua

En la gestión de los servicios de agua en una ciudad se presentan tres variables cuyo equilibrio mutuo debe ser considerado, estas son:

- el suministro o entrega de agua
- la demanda
- el precio

Como complemento del sistema debe considerarse la gestión de reciclaje de aguas residuales y la interacción agua-energía.

Para valorar la eficiencia del servicio de suministros de agua a una población es necesario primero definir algunos conceptos que deberán ser cuantificados durante el proceso de control de la gestión. (NC176:2002 / NC9311:1986).

Producción: Es la cantidad de agua extraída de las diferentes fuentes de agua.

Abastecimiento: Es la cantidad de agua entregada por la red para su consumo.

Luego, debe cumplirse que $\text{Abastecimiento} = \text{Producción}$
pero puede suceder que $\text{Producción} > \text{Abastecimiento}$

En este último caso hay pérdidas de agua en el sistema, lo que implica consumo de energía no aprovechada, disminución de la eficiencia y costos de operación no justificados (Sánchez (2012) y Melguizo (1994)).

Consumo: Cantidad de agua que se utiliza desde la red de distribución.

Demanda: Cantidad de agua requerida de la red para todos los usos por la comunidad.

La máxima eficiencia del sistema de suministro de agua se produce cuando $\text{Demanda} = \text{Consumo}$, pero si $\text{Demanda} > \text{Consumo}$ el suministro es insuficiente, y si $\text{Demanda} < \text{Consumo}$ hay despilfarro.

En un sistema altamente eficiente debe producirse que:

$\text{Producción} = \text{Abastecimiento} = \text{Consumo} = \text{Demanda}$ calificando el sistema en:

- Insuficiente sí: $\text{Abastecimiento} < \text{Demanda}$
- Deficiente si: $\text{Producción} > \text{Consumo}$

lo que trae por consecuencia pérdidas de agua, de energía, eficiencia reducida y costos de producción más elevados.

Para poder evaluar la eficiencia de un sistema de abasto de agua es necesario por lo tanto realizar mediciones de la extracción en las fuentes, el total entregado por la red de distribución, los consumos reales y estimar la demanda esperada por la comunidad. Estos valores son necesarios, tanto para operar correctamente el sistema existente, como para valorar las mejores técnicas que se requieren para aumentar la eficiencia, calidad del servicio y el rendimiento económico.

Para el diseño de un sistema de abasto de agua a una comunidad se parte de la asignación de un volumen de agua percapita al día o dotación, tomado de las normas nacionales de acuerdo

al tamaño de la población a abastecer, asumiendo este valor como el consumo medio por habitante. La experiencia ha demostrado que el per cápita supuesto puede ser superado significativamente en función de las características propias de la comunidad y especialmente por el mal empleo del agua.

Luego, lo que se ha calculado como demanda media de la comunidad:

$$\text{Demanda} = \text{Población} \times \text{Dotación} \quad \text{Ec 1.1}$$

puede no ser semejante al consumo real.

Para los consumos las vías de cuantificación tienen que basarse en mediciones dentro de la red de distribución, que incluyen el agua perdida y por tanto no representa el agua realmente utilizada por la población en los diferentes usos de la comunidad. Es posible acercarse más al consumo real mediante mediciones en las líneas de servicio a las edificaciones, pero no es posible ni económico tratar de tener medidas todas las acometidas de la ciudad, por lo que se puede utilizar un muestreo de lecturas y procesar los datos estadísticamente para buscar una aproximación confiable del consumo real.

Como indicadores del consumo se conocen

Consumo medio diario

$$V_m = \text{Población} \times \text{Dotación} \quad \text{Ec 1.2}$$

donde:

Volumen diario medio en m^3/s

$$Q_m = P \cdot \text{dot} / 86\,400 \quad \text{Ec 1.3}$$

donde:

P=población en habitantes.

Dot=dotación el índice de consumo real por persona al día.

Este valor representa el consumo medio para el año, pero puede que como gasto real solo se mida en un breve tiempo dentro de algunos pocos días del año.

Consumo máximo diario como:

$$V_{Md} = V_m \times k_1 \text{ (en } \text{m}^3 \text{ /d)} \quad \text{Ec 1.4}$$

donde:

k_1 es el coeficiente de variación de todos los valores de consumo diario en el año.

Consumo máximo horario, tomado como el mayor consumo horario que se produce en el día de máximo consumo:

Ec 1.5

$$V_{Mh} = V_{Md} \times k_2 = V_m \times k_1 \times k_2 \quad (\text{en m}^3 / \text{d})$$

o bien

$$Q_{Mh} = Q_{Md} \times k_2 = Q_m \times k_1 \times k_2 \quad (\text{en l/s})$$

Ec 1.6

donde:

k_2 es el coeficiente de variación de todos los valores horarios dentro del día de máximo consumo.

Tabla 1.1. Coeficiente de irregularidad (Norma Mexicana(2004))

Población (hab)	Dotación (lppd)	K1	K2
2000	300	1,50	2,00
2000-10000	330	1,50	1,90
10000-25000	360	1,50	1,85
25000-50000	390	1,50	1,80
50000-100000	410	1,40	1,75
100000-250000	440	1,30	1,70
250000-500000	460	1,20	1,65
Más de 500000	470	1,10	1,60

En cuanto a la dotación, hay que tener en cuenta que su valor real depende de la interrelación del conjunto de factores que afectan el consumo, tal que:

Dotación = (f) tamaño de la población (habitantes equivalentes) nivel de desarrollo económico social.

Si se analiza dentro de una misma ciudad o comunidad se aprecia una heterogeneidad en el desarrollo socio económico de la población, que se manifiesta por diferencias culturales (hábitos de vida) y distinta disponibilidad para el uso del agua, por lo que no se consume iguales cantidades de agua.

De poder cuantificar los diferentes consumos durante un año, se podría plantear, para el día medio, la dotación en términos de:

$$De = \{(Qd + Qi + Qes) 100 / (100 - fl) \times 1/P\} \times F \quad \text{Ec 1.7}$$

Donde:

De = dotación equivalente, en lppd

Qd = consumo doméstico, en m³/año

Qi = consumo no doméstico (industrial, comercial, social), en m³/año

Qes = consumos especiales, en m³/año

fl = pérdida de agua en el sistema, en % del suministro

P = población total servida, en número de personas

F = factor de conversión de m³/año a litros/día

A continuación, se relaciona un grupo de normativas relacionadas con el cálculo de la demanda.

Normativa Mexicana (1994)

La dotación es la cantidad de agua asignada a cada habitante, considerando todos los consumos de los servicios y las pérdidas físicas que existen en cualquier sistema de distribución, su unidad es en lppd.

Tabla 1.2 Dotación de Agua Potable para diferentes giros.		
Giros	Tipos	Dotación(lppd)
Habitacional	Doméstico	200
	Doméstico (Administraciones)	150
Espacios abiertos o Areas de donación		5

Normativa España (2004)

La fórmula más comúnmente utilizada es la siguiente:

$$Q \text{ (l/s)} = Kp \times D \times P / 86400 \quad \text{Ec 1.8}$$

donde:

Kp = coeficiente de simultaneidad, depende de la población servida en total, no la servida por ese nodo; adimensional.

D = dotación media diaria, l/hab/día

P = población servida por ese nodo (teniendo en cuenta el crecimiento de dicha población en el período de vida útil de la obra; normalmente 20 años), hab.

El valor 86400 resulta de la transformación de días en segundos.

El valor del coeficiente de simultaneidad puede extraerse de la siguiente tabla:

Tabla 1.3: Valores del coeficiente de simultaneidad.

Población (1000 hab)	Kp
1	2.6
3	2.3
5	2.2
10	2.0
20	1.85
50	1.7
100	1.6
300	1.5
500	1.45

Se observa cómo el consumo se reduce a medida que aumenta la población. Su significado es claro: es mucho más difícil que todo el mundo este consumiendo a la vez en una población con 500.000 habitantes que en una con 1.000.

Tabla 1.4: Normativa Peruana (2012).

Clima	Consumo por Clase Socioeconómica L/H/D		
	Residencial	Media	Popular
Cálido	400	230	185
Semi cálido	300		
Templado Semifrío Frío	250	195	185

GASTO MÁXIMO DIARIO Y GASTO MÁXIMO HORARIO.

Estos gastos son necesarios para calcular la cantidad de agua requerida por una localidad para poder satisfacer las necesidades de este elemento en un día de máximo consumo y a la hora de máximo consumo respectivamente. Tomando como base el gasto medio diario los gastos máximo diario y máximo horario se calculan de la siguiente manera:

$$Q_{Md} = C_{Vd} \times Q_{Md}$$

Ec. 1.9

donde:

QMd = Gasto máximo diario en l/s

QMh = Gasto máximo horario en l/s

CVd = Coeficiente de variación diaria = 1.40

CVh = Coeficiente de variación horaria = 1.55

Gasto máximo diario (Normativa Mexicana 1994)

Es el caudal que debe proporcionar la fuente de abastecimiento y se utiliza para diseñar:

- Los equipos de bombeo.
- La línea de conducción antes del tanque de regularización.
- El tanque de regularización y almacenamiento.

$$QMd = CVd \times Qmed$$

Ec.1.11

donde:

QMd = gasto máximo diario en l/s.

CVd = coeficiente de variación diaria de (1.2 a 1.5)

$Qmed$ = gasto medio diario en l/s.

Gasto máximo horario (Normativa Española 2004)

El gasto máximo horario es el requerido para satisfacer las necesidades de la población en el día y a la hora de máximo consumo. Se utiliza para diseñar:

- La línea de alimentación a la red (después del tanque de regularización).
- Las redes de distribución.

$$QMh = CVh \times Qmd$$

$$Qmh = CVh \times Qmd$$

Ec.1.12

donde:

Qmh = caudal máximo horario l/s.

CVh = coeficiente de variación horaria (de 1.5 a 2.0).

Qmd = caudal máximo diario l/s.

Finalmente se resumen tablas para las condiciones cubanas

Tabla1.5: Índices de Consumo (Resolución 45/91 INRH).

Actividad	U.M	Índice (m3/Día U.M.)
Hoteles, Apartamentos, Moteles y Villas turísticas:	Habitación	
- categoría 4 y 5 estrellas	"	0,650
- categoría 3 estrellas	"	0,510
- categoría 1 y 2 estrellas	"	0,280
Hoteles 3 estrellas	"	0,600/0,700
Hoteles 1 y 2 estrellas	"	0,500/0,600
Restaurantes	Usuario	0,04
Cafeterías	"	0,03
Cafeterías que sirven comidas	"	0,15
Bares	"	0,01
Hospitales Clínico-Quirúrgico, Pediátricos, Clínico-Obstétricos, Oftalmológicos, Ortopédicos, con lavandería	Cama	0,85
Idem, sin lavandería	"	0,72
Hospitales Psiquiátricos con lavandería	"	0,60
Idem, sin lavandería	"	0,47
Hospitales de adolescentes	"	0,35
Clínicas Estomatológicas	Sillón	2,00
Policlínicos y Postas Médicas	Usuario	0,015/0,030
Institutos, Facultades de Ciencias Médicas, Politécnicos de la Salud y otros Centros Docentes con alumnos internos	Alumno	0,13
Idem. con alumnos seminternos	"	0,06
Idem. con alumnos externos	"	0,04
Bancos de Sangre	Litro de sangre	0,20
Centros de Higiene y Epidemiología	Determinación	0,06
Hogares de ancianos, con lavandería	Usuario	0,35
Idem, sin lavandería	"	0,22
Hogares de ancianos de día	"	0,15
Hogares de impedidos físicos y mentales con lavandería	Cama	0,35
Idem, sin lavandería	"	0,22
Idem. de día	Usuario	0,15
Círculos Infantiles	Niños	0,15

Jardín de la infancia	"	0,075
Escuelas con alumnos internos	Alumno	0,13
Escuelas con alumnos internos externos	"	0,04
Escuelas con alumnos semi-internos	"	0,06
Educación Especial	"	0,20
Albergues y casas de visitas	Usuario	0,10
Cines y Teatros	Espectador	0,003/0,005
Museos y Casas de Cultura	Visitante	0,003
Bibliotecas	Servicio prestado	0,003/0,006
Centros Poligráficos	Ton	0,340/0,360
Fregado de autos	Unidad	0,12
" de camiones	"	0,30
" de rastras	"	0,50
" de ómnibus	"	0,60
" de aviones	"	2,00
Terminales Aéreas	Pasajero	0,02

Nota: Para otras actividades puede debe consultarse la resolución del INRH.

Tabla1.6: Cobertura de agua potable en Cuba en (%)

Conceptos	2011		
	Total	Urbano	Rural
Población con acceso a agua potable	92.3	97.4	76.7
Con:			
Conexión domiciliaria	73.5	85.4	37.3
Servicio público	13.3	9.3	25.4
Fácil acceso	5.5	2.7	14.1
Población sin acceso a agua potable	7.7	2.6	23.3

Tabla 1.7: Dotación en litros por habitantes al día (l/hab/d)

Población en miles de habitantes	Según el uso				
	Domestico	Comercial publico	Industrias locales	Propio del sistema	Total
Menos de 2.0	100	20	3	2	125
2.2 -10.0	125	45	7	3	180
10.0 - 25.0	160	62	8	5	235
25.0 -50.0	170	77	8	5	260
50.0 -100	180	90	9	6	285
100 -150	190	95	9	6	300
150 -300	190	100	20	10	320
300-500	200	105	25	10	340
Más de 500	200	120	40	10	370

Se consultaron además las normas cubanas relacionadas con el cálculo de las demandas y las dotaciones (NC 176: 2002 / NC 9311:1993)

A manera de resumen se expone gráficamente el abasto de agua en Cuba y en el mundo (Ver figura 1.1)



Figura 1.1. Cobertura de agua potable por provincias, año 2011.

Exceso de consumo de agua sobre el abastecimiento natural (promedio anual)

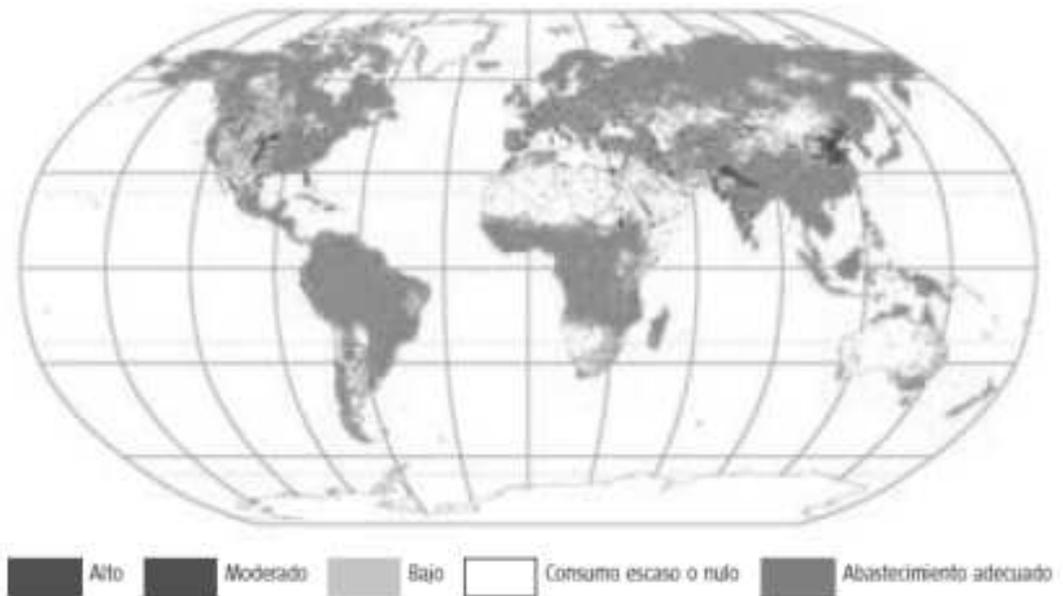


Figura 1.2 Consumo de agua en el mundo

1.3 Los sistemas de abasto de agua.

El abastecimiento de agua potable es una cuestión de supervivencia. Todos necesitan acceso a una cantidad suficiente de agua pura para mantener la buena salud y la vida. Sin embargo, no todo se reduce a los 15 o 20 litros de agua por día que se necesitan para mantenerse vivo y sano. El agua es un compuesto formado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Su fórmula molecular es H_2O . El agua cubre el 72% de la superficie del planeta Tierra y representa entre el 50% y el 90% de la masa de los seres vivos. Es una sustancia relativamente abundante, aunque sólo supone el 0,22% de la masa de la Tierra. Se puede encontrar esta sustancia en prácticamente cualquier lugar de la biosfera y en los tres estados de agregación de la materia: sólido, líquido y gaseoso. Se halla en forma líquida en los mares, ríos, lagos y océanos; en forma sólida, nieve o hielo, en los casquetes polares, en las cumbres de las montañas y en los lugares de la Tierra donde la temperatura es inferior a cero grados Celsius; y en forma gaseosa se halla formando parte de la atmósfera terrestre como vapor de agua.

El agua cubre tres cuartas partes de la superficie de la Tierra. El 3% de su volumen es dulce. De ese 3%, un 1% está en estado líquido, componiendo los ríos y lagos. El 2% restante se encuentra formando casquetes o banquisa en las latitudes próximas a los polos. Es fundamental para todas

las formas de vida conocidas. Las personas consumen agua potable la cual se denomina al agua que se encuentra en condiciones aptas para el consumo humano según unos estándares de calidad.

Un sistema de distribución de agua potable se proyecta para suministrar un volumen suficiente de agua a una presión adecuada y con una calidad aceptable, desde la fuente de suministro hasta los consumidores. El sistema básico de abastecimiento de agua potable, incluye la infraestructura necesaria para captar el agua de una fuente que reúna condiciones aceptables, realizar un tratamiento previo para luego conducirla, almacenarla y distribuirla a la comunidad en forma regular. En un sistema de abastecimiento de agua, es importante que se tome en cuenta a toda la población que se beneficiará.

En la literatura nacional consultada se puede referenciar diferentes trabajos relacionados con las redes de abasto de agua los cuales se encuentran citados en la revista Ingeniería hidráulica y ambiental de la CUJAE. Estos trabajos están relacionados fundamentalmente con la calidad del agua y la evaluación técnica económica de los sistemas de abasto de agua (Lopez 2009, Martínez 2011 a, b, c). En el trabajo de Boch (2014) se acerca bastante a la problemática de la UCLV al analizar el funcionamiento de sistemas de abasto de agua en un municipio.

Además, en nuestra universidad se han elaborado 3 trabajos de diploma y una tesis de maestría donde se aborda el tema relacionado con el sistema de abasto. Morales (2008) propone un sistema de abasto de agua a redes rurales, Osorio (2013) realiza un diagnóstico de la planta potabilizadora de la UCLV con vista a mejorar la calidad del agua. De Armas (2013) propone un sistema automatizado para las plantas potabilizadoras. El trabajo más completo relacionado con la planta potabilizadora lo realiza Albert (2014) relacionado con la rehabilitación completa de dicha planta. En el capítulo 2 de este trabajo se hará referencia a la planta de tratamiento de agua.

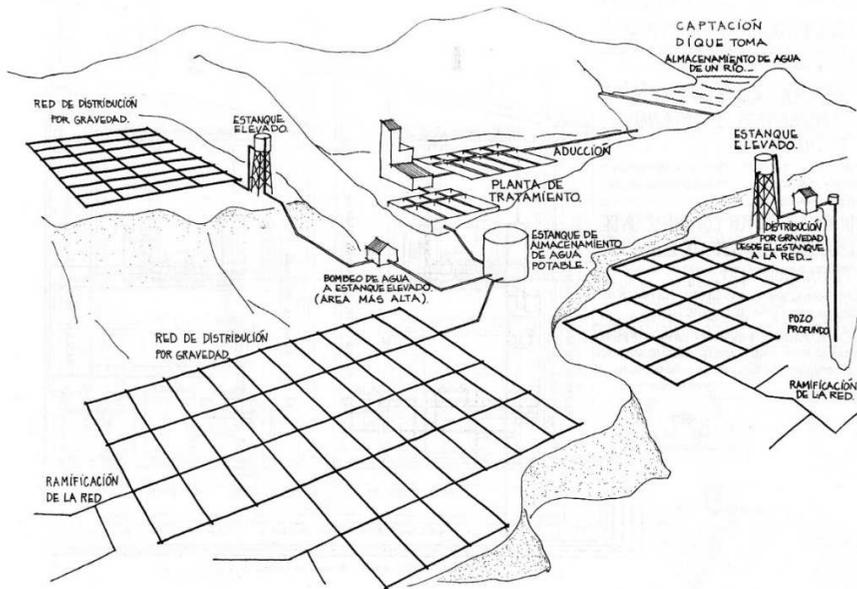


Figura 1.4. Componentes de un sistema de abastecimiento de agua.

A continuación se relacionan los elementos que componen un sistema de abasto de agua y se especifica en aquellos que están presentes en la UCLV. Teniendo en cuenta que el suministro viene a través del sistema Minerva Ochoita no se profundizará en este tema. Por la antigüedad de la construcción de nuestro centro hoy no se cuenta con información referida al trazado de las redes hidráulicas y sus características. En este sentido se abordará los conceptos fundamentales para el diseño y revisión de las redes dentro del sistema de abasto de agua.

1.4 Normativas para elaborar proyectos de sistemas de abastecimiento de agua potable .

El presente epígrafe pretende exponer en forma clara y sencilla los lineamientos para elaborar los proyectos hidráulicos de los sistemas de abastecimiento de agua potable. El objetivo de un sistema de abastecimiento es proporcionar un sistema eficiente, considerando cantidad, calidad y continuidad.

En la elaboración de un proyecto se deben plantear varias alternativas, definiendo para cada una de ellas, las obras que lo integran, realizando un análisis y selección de la más conveniente, en función de los aspectos de eficiencia, constructivos y económicos.

1.4.1 Datos para el proyecto

Para llevar a cabo los proyectos de Agua Potable de los fraccionamientos y condominios (Norma Mexicana (2014)), se deben de conocer los siguientes datos:

Tabla 1.8. Datos a considerar en el diseño de proyectos de agua potable (Norma Mexicana (2014)).

Nb.	Datos	Características
1	Tipo de desarrollo	Habitacional Comercial Industrial Mixto
2	Tabla de áreas de usos del suelo (m ²)	Terreno
3	Número de lotes	Cantidad (habitacional, comercial etc.)
4	Densidad de población	Hab/ha
5	Población de proyecto	Habitantes (total para el desarrollo)
6	Dotación	l/hab/día
7	Gasto medio diario.	l/s
8	Gasto máximo diario	l/s
9	Gasto máximo horario	l/s
10	Coefficiente de variación diaria	1.2 a 1.5
11	Coefficiente de variación horaria	1.5 a 2.0
12	Tipo de tubería a emplear	Material, características
13	Coefficiente de rugosidad de la tubería	f (material de la tubería)
14	Punto de conexión	Ubicación del cruce de conexión
15	Presión disponible en el punto de conexión	Definir carga que proporcionará el punto de conexión
16	Tipo de conducción	Gravedad, bombeo, combinada
17	Regularización	Tanque superficial, tanque elevado
18	Capacidad de la regularización	m ³
19	Rebombeo	Tanque superficial
20	Capacidad de rebombeo	m ³
21	Tipo de distribución	Gravedad, bombeo, combinada
22	Definir si habrá re-uso de aguas negras o grises	Describir

LÍNEA DE CONDUCCIÓN

Se llama línea de conducción al conjunto de tuberías, estaciones de bombeo y dispositivos de control, que permiten el transporte del agua desde una fuente de abastecimiento, hasta el sitio donde será regulada y posteriormente distribuida.

La conducción por bombeo se requiere cuando la fuente de abastecimiento tiene una altura piezométrica menor a la requerida en el punto de entrega, es decir, se encuentra en un nivel inferior al del tanque de regulación o la red de distribución.

La conducción por gravedad se requiere cuando la fuente de abastecimiento tiene una altura piezométrica mayor a la requerida en el punto de entrega, es decir, se encuentra en un nivel superior al del tanque de regulación o la red de distribución.

Conceptos a considerar para el diseño (Mayol 1981, 1983, Mayne 1983)

Las tuberías de conducción deberán de cumplir con los aspectos mencionados a continuación:

Contar con el perfil y el trazo del terreno donde se ubicará la línea.

- No cruzar terrenos particulares.
- Dejar pasillos de servicio entre terrenos para ubicar la línea de conducción. Estos pasillos de servicio deberán ser de 4.00m de ancho mínimo (2.00m a cada lado), con acceso libre de construcciones y obstáculos, no se permitirá ningún tipo de construcción.
- Buscar el recorrido más corto entre la fuente de abastecimiento y el tanque de regulación.
- Deberá de ubicarse la línea de conducción en zanjas separadas de las redes de distribución.
- En la conducción nunca deberán de conectarse tomas domiciliarias.
- Deberá de contar con válvulas de admisión y expulsión de aire (combinadas) en los sitios más elevados del perfil, en las zonas sensiblemente planas a distancias entre 400m y 800m. Lo anterior es para eliminar el aire presente en el agua y permitir la correcta operación de la línea durante el llenado y vaciado de la misma.
- En los puntos bajos del perfil deberán de colocarse válvulas de desagüe.

Pérdidas de energía por fricción en la conducción

Para el cálculo de las pérdidas de carga por fricción, se utiliza la fórmula de Darcy- Weisback

$$hf = f \frac{L \times V^2}{D \times 2g}$$

Ec 1.13

donde:

h_f = pérdidas de energía por fricción en metro de la columna de agua.

F = coeficiente de pérdidas por fricción.

L = longitud de la tubería en metros.

V = velocidad media del flujo en m/s.

D = diámetro interior de la tubería en m.

G = aceleración de la gravedad = 9.81 m/s^2 .

La ecuación de diseño para conductos con flujo libre (a la presión atmosférica) ha sido la ecuación de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} \times (A \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}) \quad \text{Ec 1.14}$$

donde:

Q = caudal (m^3 / s)

A = área de la sección de flujo m^2 .

R = radio hidráulico (área/perímetro mojado (m))

S = pendiente de la tubería (adimensional).

n = coeficiente de rugosidad de Manning

Pérdidas secundarias o menores

Se emplea la siguiente fórmula de Manning para el cálculo de la velocidad en tuberías llenas.

$$V = \frac{0.397 \times D^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad \text{Ec1.15}$$

donde:

V = velocidad media del flujo en m/s.

S = pendiente de la tubería (adimensional).

n = coeficiente de rugosidad de Manning

D = diámetro interior de la tubería en m

Tabla 1.9: Velocidades permisibles según el tipo de material de la tubería. Norma Perú (2004)

Material de la tubería	Velocidad	
	Máxima	Mínima
Concreto simple hasta 45cm de diámetro	3.00	0.30
Concreto reforzado a partir de 60cm de diámetro	3.50	0.30

Acero con revestimiento	5.00	0.30
Acero sin revestimiento		
Acero galvanizado		
Asbesto cemento		
Hierro fundido		
Hierro dúctil		
PEAD (Polietileno de Alta Densidad)		
PVC (Poli cloruro de Vinilo)		

Cálculo del diámetro de la tubería.

Para la obtención del diámetro en metros de la fórmula de Manning.

$$D = \left(\frac{3.208 \times Q \times n}{S^{1/2}} \right)^{3/8} \quad \text{Ec 1.16}$$

Donde:

Q = caudal (m^3 / s)

D=diámetro interior de la tubería en m

S = pendiente de la tubería (adimensional).

n = coeficiente de rugosidad de Manning

Procedimiento de cálculo de la línea de conducción por bombeo

Para el cálculo de la línea de conducción se deben de seguir los siguientes pasos:

Partiendo del trazo y perfil de la línea de conducción, se deberán definir las longitudes de cada tramo y los desniveles de la línea, pudiendo determinar así la carga estática total a vencer.

- Determinar el gasto que aporta la fuente de abastecimiento.
- Determinar el Gasto Demandado por día que será igual al Gasto Máximo Diario por 24 horas.

$$Q_d = Q_{md} \times 24 \text{ horas} \quad \text{Ec 1.17}$$

- Determinar el Gasto de entrada Q_e al tanque de regulación, que será igual al gasto demandado entre el número de horas que se bombea al día.

$$Q_e = \frac{Q_d}{\text{No. horas de bombeo por día}} \quad \text{Ec 1.18}$$

donde:

Q_e =gasto de entrada en l/s.

Q_d =gasto de diseño en l/s.

- Calcular el diámetro de la tubería de conducción con el gasto de entrada (Q_e) con alguna de las fórmulas de Manning.
- Calcular las pérdidas por fricción y si se considera necesario, las pérdidas secundarias o menores.
- Hacer varias alternativas con diámetros comerciales menores y mayores al calculado volviendo a calcular las pérdidas por fricción y elegir el diámetro más conveniente.
- Revisar la velocidad de la línea que esté dentro de los parámetros permitidos.

1.4.2. TANQUE DE REGULACIÓN

La regularización tiene por objeto lograr la transformación de un régimen de aportaciones (de la conducción) que normalmente es constante, en un régimen de consumos o demandas (de la red de distribución) que siempre es variable. El tanque de regularización debe de proporcionar un servicio eficiente bajo normas estrictas de higiene y seguridad, procurando que su costo de inversión y mantenimiento sea mínimo.

Adicionalmente a la capacidad de regulación, se puede contar con un volumen para alimentar la red de distribución en condiciones de emergencia (incendios, desperfectos en la captación o en la conducción). Este volumen adicional debe de justificarse en aspectos técnicos y financieros, y se define como el volumen de almacenamiento.

En el cálculo de la capacidad de los tanques se debe de considerar tanto el número de horas de alimentación o bombeo como su horario.

Cuando se modifique el horario de bombeo a un periodo menor de 24 horas se debe de cambiar el gasto de diseño de la fuente de abastecimiento y conducción, incrementándolo proporcionalmente a la reducción del tiempo de bombeo, según la siguiente expresión:

$$Q_e = \frac{Q_d}{t_b} = \frac{24 \text{ horas} \times Q_{md}}{t_b} \quad \text{Ec1.19}$$

donde:

Q_e =gasto de entrada al tanque en l/s.

Q_d =gasto demandado en l/s.

Q_{md} =gasto máximo diario en l/s.

T_b =tiempo de bombeo en horas/día.

1.6.1. Volumen del tanque

Con el régimen de demandas anterior podemos establecer que el volumen útil del tanque se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$V_{tanque} = Q_{md} \cdot 3600 \cdot F \quad \text{Ec1.20}$$

Donde:

V_{tanque} =volumen útil del tanque en m^3

Q_{md} =gasto máximo diario en m^3 / s

3600=valor para convertir de m^3 / s a m^3

F=valor obtenido para de calcular el Máximo déficit +Máximo superávit dividido entre 100 para convertirlo de porcentaje a unidad.

Se obtiene la suma del Máximo déficit y el Máximo superávit en valor absoluto de los valores anteriores convertido de porcentaje a unidad, aplicando este factor al gasto máximo diario convertido a m^3 , se obtiene el volumen útil del tanque de regulación en m^3 . En caso de considerar un volumen adicional, este tanque también será de almacenamiento.

Tabla 1.10 Valor de "F" para distintos horarios de bombeo.

Cantidad de horas de bombeo al día	Horario de bombeo	Valor de F
24	0 – 24	3.0
20	4 a 24	2.5
16	16 a 20	5.5
12	6 a 18	9.0
8	9 a 17	14.0
6	10 a 16	16.0

Determinando el período de bombeo que abastecerá al tanque de regulación, se podrá conocer el valor del Máximo déficit y del Máximo superávit para determinar el volumen más conveniente del tanque, siendo el óptimo, la suma en valor absoluto de los dos valores anteriores y el mínimo el valor del Máximo déficit.

Un sistema de abasto típico puede estar compuesto por una estación de bombeo, una conductora, un tanque y la red de distribución. En este caso todos los elementos que anteceden al tanque debe de diseñarse para el $Q_{\text{maxdiario}}$, el que, dicho sea, es menor que $Q_{\text{maxhorario}}$. Esto permite ahorrar el costo de estas instalaciones, pues esta son de menos capacidad que si se diseñaran para el $Q_{\text{maxhorario}}$. Esto es posible por la función compensadora de los caudales que tiene el tanque, que se denominará compensador, ya que compensa la irregularidad en el consumo de la población. Es decir, cuando la población demanda o consume menos del $Q_{\text{maxdiario}}$ el tanque se está llenando, y cuando la población consume más, el tanque se empieza a vaciar y así se produce un ciclo durante todos los días del año. Los tanques se deben ubicar en lugares altos para poder garantizar la entrega por gravedad a la red. Todos los elementos aguas abajo del tanque compensador deben de diseñarse para el $Q_{\text{maxhorario}}$, ya que este es el caudal que garantiza la demanda de la hora de máximo consumo. (CONAGUA (2003))

1.4.3 Redes de distribución

La red de distribución es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua potable desde los tanques de regulación (y almacenamiento) o desde el punto de conexión con alguna red ya existente hasta las tomas de los edificios o hidrantes públicos.

De acuerdo a su función, la red de distribución puede dividirse en red primaria y red secundaria. A la tubería que conduce el agua desde el tanque de regulación hasta el punto donde se inicia la distribución se le denomina línea de alimentación y se le considera como parte de la red primaria, sujetándose a los mismos criterios de diseño que la red de distribución en general. La red de distribución se diseña con el Gasto Máximo Horario (QMh).

Las redes de distribución (Saldariaga 1998) de agua potable se pueden dividir, en función de la morfología de las mismas, en dos grandes tipos:

- Redes arborescentes: sin ningún circuito cerrado o, dicho de otro modo, donde el agua tan sólo puede circular en un único sentido.
- Redes malladas: con circuitos cerrados o, dicho de otro modo, donde el agua puede realizar como mínimo dos trayectos distintos para servir cada punto de consumo. Este es el que más se asemeja al trazado actual de la universidad.

1.4.3.1 Formas de distribución

Por gravedad. El agua de la fuente de abastecimiento se bombea hasta un tanque de regulación localizado en algún punto elevado del terreno que pueda proporcionar la suficiente presión, para de ahí ser distribuida por gravedad a través de la línea de alimentación. Éste es el método más conveniente de operación, debiéndose de utilizar siempre que se disponga de cotas de terreno elevadas con un tanque superficial o en terrenos planos con un tanque elevado que nos proporcione la carga hidráulica requerida.

Por bombeo directo a la red a partir de un tanque central de almacenamiento. Éste sistema de operación, consiste en el abastecimiento directo a la red a través de un equipo de bombeo que garantice la carga hidráulica adecuada para el suministro en los puntos cercanos al tanque que no presenten desnivel con respecto a la ubicación del mismo, considerando equipos de bombeo con variadores de velocidad para generar parámetros de presión constante en la red y gasto de acuerdo a la demanda que se presenta durante el día.

En la UCLV la distribución se realiza mediante el bombeo desde un tanque de regulación debido a que el tanque elevado no funciona. Se conoce que las bombas tienen un caudal de 48 l/s, y se bombea 3 veces al día durante 6 horas. Albert (2014)

1.4.3.2. Criterio del cálculo hidráulico.

Cuando la operación de la red es a presión y los gastos que circulan en sus tuberías no cambian con el tiempo, se tiene el caso de flujo permanente y corresponde a una red estática, que es el caso que se considerará para el cálculo de las redes de distribución (Auli 1990).

Las siguientes reglas se deben de considerar en el cálculo de redes:

- La pérdida de carga en un conducto varía como una potencia del gasto.
- La suma algebraica de todos los gastos de entrada y salida en cualquier unión de los tubos es igual a cero.
- La suma algebraica de todas las pérdidas de carga entre dos puntos cualesquiera, es la misma por cualquier ruta.
- La suma algebraica de todas las pérdidas de carga alrededor de un circuito, es igual a cero.

Existen diferentes procedimientos de cálculo, entre los que se encuentra el método de Hardy Cross (Mayol (1981)), por ser el más práctico para la solución de las redes de los fraccionamientos, los pasos a seguir son:

1. Definir el material a emplear para la tubería y sus características.
2. Determinar el coeficiente de fricción de la tubería de acuerdo al tipo de material.
3. Definir el tipo de la red: primaria o secundaria.
4. Identificar todos los cruces de la red, numerándolos en forma consecutiva.
5. Calcular la longitud propia, tributaria y acumulada de la línea de distribución, así como la longitud total.
6. Calcular el gasto inicial (Q_1) para la longitud acumulada de la línea, en cada tramo proporcional a la longitud de la tubería.

$$Q_1 = \frac{Q_{mh} \cdot \text{Longitud acumulada}}{\text{longitud total de la línea}} \quad \text{Ec 1.21}$$

7. Determinar el sentido del flujo del agua, dándole por costumbre el signo “+” a los flujos en el sentido del reloj y “-” a los de sentido opuesto.
8. Corregir el gasto inicial afectándolo con el signo correspondiente al flujo.
9. Suponer un diámetro para cada tramo de la línea, preferentemente un diámetro comercial.
10. El gasto en cada conexión es igual a la suma de las salidas de ella, normalmente esto no se logra en la primera aproximación, debiéndose proceder a hacer nuevos tanteos.
11. Calcular las pérdidas por fricción h_f de las tuberías correspondientes a la longitud propia de la misma, las cuales tendrán el mismo signo del gasto inicial Q_1 ya afectado por el signo del flujo, con la fórmula de Manning.

$$h_f = K \cdot L \cdot Q_1^2 = \frac{10.3 \cdot n^2 \cdot L \cdot Q_1^2}{D^{16/3}} \quad \text{Ec 1.22}$$

Donde:

h_f = pérdida por fricción en metros de la columna de agua.

L = longitud de la tubería en m.

Q_1 = gasto inicial en m^3/s .

n = coeficiente de rugosidad.

D = diámetro de la tubería en m.

12. Hacer la suma algebraica de todas las pérdidas por fricción y determinando así con un valor igual, pero de signo contrario la carga necesaria para vencer las pérdidas por fricción.

$$- \sum h_f \quad \text{Ec 1.23}$$

13. Obtener la relación entre las pérdidas de cada tramo con el gasto inicial ya afectado del signo del flujo. Este valor es absoluto y por lo tanto deberá ser siempre positivo, haciendo la suma total correspondiente.

$$\frac{n_{f1}}{\mp Q_1} \quad \text{Ec 1.24}$$

14. Se calcula la corrección del gasto haciendo la siguiente relación:

$$\Delta Q_{i1} = - \sum \frac{h_{f1}}{2 \sum \frac{h_f}{Q_1}} \quad \text{Ec 1.25}$$

15. Esta corrección debe ser la misma para la misma red en análisis.

16. Se calcula un nuevo gasto Q_2 :

$$Q_2 = \mp Q_1 + \Delta Q_1 \quad \text{Ec 1.26}$$

17. Con el nuevo Q_2 se calculan las nuevas pérdidas .

18. Se realiza la suma de las pérdidas con signo “-” y consigno “+”, debiendo ser próxima a cero, en caso de no serlo, el proyectista deberá de determinar si es necesario repetir el procedimiento calculando un nuevo ajuste de gasto, repitiendo desde el punto No. 13.

19. Partiendo de la cota del terreno y la cota piezométrica en el punto inicial de la red de distribución, se calculan las siguientes cotas piezométricas, restándole a la cota piezométrica anterior la pérdida por fricción del tramo en análisis.

$$Cota\ Piezometrica\ 2 = Cota\ piezometrica\ 1 - h_{f(1-2)} \quad \text{Ec 1.27}$$

20. La carga disponible en cada nodo o cruceo se obtiene restando a la cota piezométrica la cota del terreno.

$$Carga\ Disponible = Cota\ piezométrica - Cota\ de\ Terreno \quad \text{Ec 1.28}$$

21. Por último, deberán de verificarse las velocidades en cada tramo y compararlas con las máximas permisibles (ver tabla 1.9), si están excedidas, deberá de modificarse el diámetro.

$$V = \frac{0.397 \cdot D^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n} \quad \text{Ec 1.29}$$

Donde:

V =velocidad del flujo en el tubo en m/s.

D =diámetro de la tubería en m.

S =pérdida de la carga unitaria m/m

n =coeficiente de rugosidad.

Procedimiento para el cálculo de redes abiertas (Catedra de Mecánica de los Fluidos (1987))

1. Se hace el trazo de la red a partir del tanque.
2. Se obtiene el coeficiente de gasto por metro de tubería o gasto específico.
3. Se marca en un plano topográfico la que será la línea principal de distribución a partir del tanque.
4. Se calculan los gastos principales y secundarios.
5. Se calculan para la línea principal los gastos acumulados del final de la red, hasta el inicio de ella.
6. Se estiman los diámetros.
7. Se determinan las pérdidas de carga por fricción a partir del tanque para cada tramo de la línea principal.
8. Se determinan las elevaciones piezométricas y las cargas de presión en cada cruceo.
9. Se determina el diámetro de las tuberías secundarias.
10. Se termina la numeración de los cruceos faltantes y se efectúa su diseño, colocando las válvulas de seccionamiento en forma adecuada.

1.4.3.3. Recomendaciones. Presión, velocidad, válvulas

La Norma Mexicana (1994) propone que las redes primarias o el circuito se dividen en dos ramales y el diámetro mínimo a utilizar es de 100 mm (4 pulg.) Aunque en zonas rurales se acepta hasta 50 mm (2 pulg.). Para las redes secundarias su diámetro estará comprendido entre 50 y 60 mm y no se calculan hidráulicamente, su trazo puede ser biplanar o monoplanar.

Tabla 1.21. Velocidades máximas permisibles según la Norma Mexicana. (2004)

Diámetro interior, mm	Velocidades máximas, m/s
<150	1.5
<600	2.0
>600	2.5

La Norma Peruana (2012) propone:

- Diámetro mínimo: El diámetro mínimo de las tuberías principales será de 75 mm para uso de vivienda y de 150 mm de diámetro para uso industrial.
- En casos excepcionales, debidamente fundamentados, podrá aceptarse tramos de tuberías de 50 mm de diámetro, con una longitud máxima de 100 m si son alimentados por un solo extremo o de 200 m si son alimentados por los dos extremos, siempre que la tubería de alimentación sea de diámetro mayor y dichos tramos se localicen en los límites inferiores de las zonas de presión.
- El valor mínimo del diámetro efectivo en un ramal distribuidor de agua será el determinado por el cálculo hidráulico. Cuando la fuente de abastecimiento es agua subterránea, se adoptará como diámetro nominal mínimo de 38 mm o su equivalente.
- La velocidad máxima será de 3 m/s.
- En casos justificados se aceptará una velocidad máxima de 5 m/s.
- La presión estática no será mayor de 50 m en cualquier punto de la red. En condiciones de demanda máxima horaria, la presión dinámica no será menor de 10 m.

Ubicación y recubrimiento de tuberías.

- Se fijarán las secciones transversales de las calles del proyecto, siendo necesario analizar el trazo de las tuberías nuevas con respecto a otros servicios existentes y/o proyectos.
 - En todos los casos las tuberías de agua potable se ubicarán, respecto a las redes eléctricas, de telefonía, conductos de gas u otros, en forma tal que garantice una instalación segura.
 - En las calles de 20 m de ancho o menos, las tuberías principales se proyectarán a un lado de la calzada como mínimo a 1.20 m del límite de propiedad y de ser posible en el lado de mayor altura, a menos que se justifique la instalación de 2 líneas paralelas (NC1021 del 2014).
- En las calles y avenidas de más de 20 m de ancho se proyectará una línea a cada lado de la calzada cuando no se consideren ramales de distribución.
- El ramal distribuidor de agua se ubicará en la vereda, paralelo al frente del lote, a una distancia máxima de 1.20 m. desde el límite de propiedad hasta el eje del ramal distribuidor.
 - La distancia mínima entre los planos verticales tangentes más próximos de una tubería principal de agua potable y una tubería principal de aguas residuales, instaladas paralelamente, será de 2 m, medido horizontalmente.
 - La mínima distancia libre horizontal medida entre ramales distribuidores y ramales colectores, entre ramal distribuidor y tubería principal de agua o alcantarillado, entre ramal

colector y tubería principal de agua o alcantarillado, ubicados paralelamente, será de 0.20 m. Dicha distancia debe medirse entre los planos tangentes más próximos de las tuberías.

- En vías vehiculares, las tuberías principales de agua potable deben proyectarse con un recubrimiento mínimo de 1 m sobre la clave del tubo. Recubrimientos menores, se deben justificar. En zonas sin acceso vehicular el recubrimiento mínimo será de 0.30 m.
- El recubrimiento mínimo medido a partir de la clave del tubo para un ramal distribuidor de agua será de 0.30 m.

Válvulas (NC 176)

- La red de distribución estará provista de válvulas de interrupción que permitan aislar sectores de redes no mayores de 500 m de longitud.
- Se proyectarán válvulas de interrupción en todas las derivaciones para ampliaciones.
- Las válvulas deberán ubicarse, en principio, a 4 m de la esquina o su proyección entre los límites de la calzada y la vereda.
- Las válvulas utilizadas tipo reductoras de presión, aire y otras, deberán ser instaladas en cámaras adecuadas, seguras y con elementos que permitan su fácil operación y mantenimiento.
- Toda válvula de interrupción deberá ser instalada en un alojamiento para su aislamiento, protección y operación.
- Deberá evitarse los “puntos muertos” en la red, de no ser posible, en aquellos de cotas más bajas de la red de distribución.
- El ramal distribuidor de agua deberá contar con válvula de interrupción después del empalme a la tubería principal.

1.5 Principales problemáticas con el abasto de agua en la UCLV

A continuación, se representa esquemáticamente la red de abasto de agua en la UCLV destacándose que el actual tanque elevado no funciona por lo que es necesario bombear el agua desde el tanque de almacenamiento con 2 bombas de 48 l/s las cuales funcionan 3 veces al día en periodo alternos de 2 horas (6 horas totales).

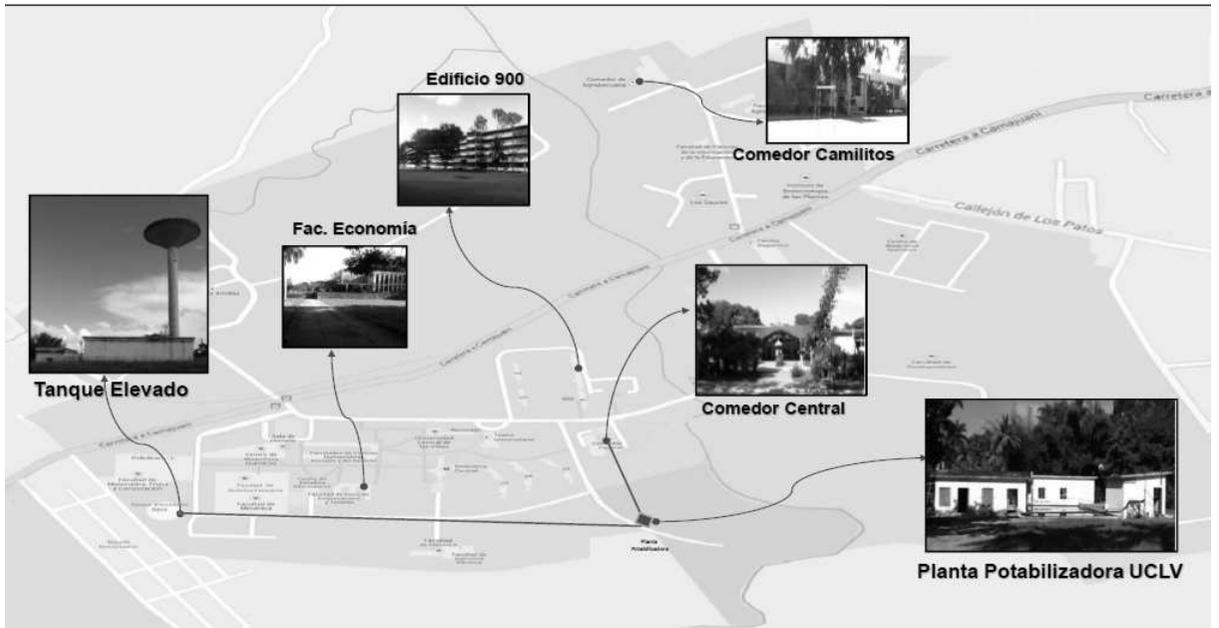


Figura 1.5 Esquema del sistema de abasto de la UCLV.

La potabilizadora de la UCLV presenta un alto grado de deterioro, si bien se requiere un nuevo diseño que garantice cumplir con las demandas, pudiera ser más eficiente su funcionamiento reemplazando el equipamiento existente y dando mantenimiento a los sedimentadores. Albert (2014) hace un profundo análisis de la situación de dicha planta y propone un grupo de soluciones relacionadas fundamentalmente con la calidad química del agua. En visita técnica al lugar se comprobó que la cbración del agua se realiza de manera arbitraria y el alto grado de deterioro de la instalación.



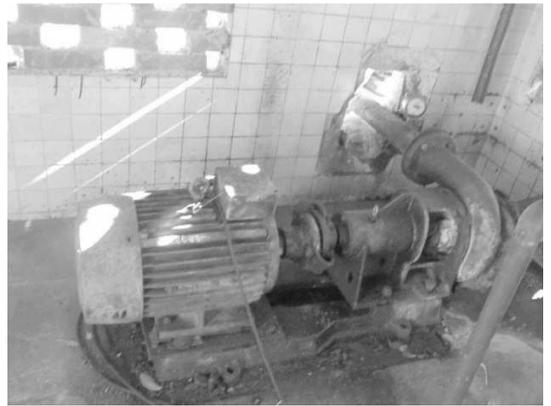


Figura 1.6: Planta de tratamiento de la UCLV.

En el capítulo 3 de esta investigación se determinará la demanda de agua de la UCLV teniendo en cuenta las instalaciones que funcionan actualmente según la NC 53-91, a partir de los criterios propuestos por Albert (2014), en el cual se plantea que es insuficiente el volumen del tanque cisterna.

En el área de Ciencias Agropecuarias se presenta una problemática con los edificios debecados. Es común que el agua no llegue al segundo y tercer nivel de dichos edificios o que de manera muy rápida se vacíen los tanques de almacenamiento colocados en la cubierta. El sistema de abasto a estos edificios está formado por una cisterna de aproximadamente 130 m³ que abastece a 2 edificios con 600 becados. Similar al bombeo de zona central de la UCLV, se realiza el mismo 3 veces al día por período de 2 horas (6 horas total).

Además, a pesar de consultar diferentes fuentes no existe constancia sobre el trazado de la red interna de abasto de agua en la UCLV. En consultas con especialistas y personal con experiencia se conoce algunos trazados, así como la ubicación de las válvulas y otros accesorios. Todos los entrevistados coinciden en la existencia de una red principal construida simultáneamente con la universidad (década del 50 del pasado siglo) y una extensión de la misma en el año 70 hacia los Camilitos hoy zona de Ciencias Agropecuarias. Esta red es clasificada como una red ramificada de la cual se conecta una red secundaria que llega a los principales edificios. No existe ninguna referencia sobre las redes internas en edificaciones u otras redes construidas temporalmente. A partir de los trabajos realizados por GeoCuba y en intercambio con los especialistas se puede estimar el trazado de la red interna de la UCLV, de manera que en futuros mantenimientos o nuevas inversiones se cuenta con una herramienta de ayuda a proyectista.

1.6 Los sistemas de información Geográfica

Un **Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS**, en su acrónimo inglés [Geographic Information System]) es una integración organizada de *hardware*, *software* y *datos geográficos* diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión.

FUNCIONAMIENTO DE UN SIG

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía. (Bosque (2002), Cabrera (1997), Huxhold (2001).

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma (Barredo 1997).

Un SIG no es simplemente un sistema de cómputo para hacer mapas, aunque si puede crearlos a diferentes escalas, en diferentes proyecciones y con diferentes colores, pero más que eso un SIG es una herramienta de análisis cuya ventaja principal es que permite identificar la relación espacial entre elementos de un mapa. No es un almacén de mapas en cualquier sentido convencional, ni almacena imágenes o vistas de un área geográfica, más bien un SIG almacena los datos desde los cuales puede crearse la vista deseada, así como obtener un dibujo para un propósito particular.

Muchos programas de cómputo usados ampliamente, tales como hojas de cálculo (Lotus 1, 2, 3, Excel), paquetes estadísticos (SAS, Minitab), o paquetes de dibujo técnico (AUTOCAD) pueden manejar datos geográficos o espaciales simples, pero no se consideran como un SIG.

Un SIG no guarda mapas o imágenes, guarda bases de datos. El concepto de bases de datos es esencial para un SIG ya que es la diferencia principal entre un SIG y un dibujo técnico simple o sistema de cómputo para hacer mapas, los cuales solamente producen buena calidad gráfica. Cualquier SIG tiene incluido un sistema para manejo de base de datos.

Las principales cuestiones que puede resolver un Sistema de Información Geográfica, ordenadas de menor a mayor complejidad, son:

Localización: preguntar por las características de un lugar concreto.

Condición: el cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.

Tendencia: comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.

Rutas: cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.

Pautas: detección de pautas espaciales.

Modelos: generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Por ser tan versátiles, el campo de aplicación de los Sistemas de Información Geográfica es muy amplio, pudiendo utilizarse en la mayoría de las actividades con un componente espacial. La profunda revolución que han provocado las nuevas tecnologías ha incidido de manera decisiva en su evolución.

LA CREACIÓN DE DATOS

Las modernas tecnologías SIG trabajan con información digital, para la cual existen varios métodos utilizados en la creación de datos digitales. El método más utilizado es la digitalización, donde a partir de un mapa impreso o con información tomada en campo se transfiere a un medio digital por el empleo de un programa de Diseño Asistido por Ordenador (DAO o CAD) con capacidades de georreferenciación.

Dada la amplia disponibilidad de imágenes orto-rectificadas (tanto de satélite y como aéreas), la digitalización por esta vía se está convirtiendo en la principal fuente de extracción de datos geográficos. Esta forma de digitalización implica la búsqueda de datos geográficos directamente en las imágenes aéreas en lugar del método tradicional de la localización de formas geográficas sobre un tablero de digitalización.

LA REPRESENTACIÓN DE LOS DATOS

Los datos SIG representan los objetos del mundo real (carreteras, el uso del suelo, altitudes). Los objetos del mundo real se pueden dividir en dos abstracciones: objetos discretos (una casa)

y continuos (cantidad de lluvia caída, una elevación). Existen dos formas de almacenar los datos en un SIG: raster y vectorial (Lantada 2005, Sánchez 2012).

Los SIG que se centran en el manejo de datos en formato vectorial son más populares en el mercado. No obstante, los SIG raster son muy utilizados en estudios que requieran la generación de capas continuas, necesarias en fenómenos no discretos; también en estudios medioambientales donde no se requiere una excesiva precisión espacial (contaminación atmosférica, distribución de temperaturas, localización de especies marinas, análisis geológicos, etc.).

Software SIG existentes en el mercado

Es muy común que los SIG y los programas de cómputo SIG sean confundidos, por lo que resulta importante recordar que este último es sólo uno de los componentes de un verdadero SIG. Ahora bien, para que el manejo de información de un SIG tenga los mejores resultados, es importante elegir el programa de cómputo SIG que mejor se ajuste a las necesidades de un problema.

Existen en el mercado muchos programas de cómputo especializados en SIG, cada uno de ellos con características y funciones propias, pero en general todos los programas manejan información tanto en formato vectorial como raster. No hay ningún líder entre los programas, algunos tienen muy buenas herramientas para el tratamiento de imágenes de satélite y otras incluyen un amplio rango de módulos para el modelado de evaluaciones estadísticas. Durante el manejo de información generalmente se requiere la participación de más de uno de estos según las características de los datos y aplicaciones.

A continuación, se mencionan algunos de los programas de cómputo SIG que son más usuales en el manejo de información espacial.

- **ArcView:** Es un programa de consulta y visualización de mapas vectoriales y raster. Una de sus grandes ventajas es su potente motor de base de datos el cual permite añadir categorías a los atributos a medida que se visualiza el mapa en pantalla.
- **ArcGIS:** Es la nueva generación de SIG que viene a integrar bajo una misma arquitectura los programas ArcView, ArcEditor y ArcInfo, con multitud de herramientas de análisis consulta y presentación de datos mejorando la toma de decisiones.
- **MapInfo:** Está enfocado al mercado de gestión de mapas aplicado a las empresas, permitiendo realizar análisis sofisticados y detallados para tomar decisiones más acertadas.

En el entorno de una empresa gestora de agua, un SIG queda definido por las cinco componentes básicas, según AGBAR (2004), como:

- *Datos*: Una información gráfica de la cartografía de base del ámbito territorial de las redes. La información gráfica de la red de Distribución y/o de Saneamiento y la información alfanumérica descriptiva, funcional y de gestión asociada a las dos redes perfectamente relacionada con ella. El aspecto diferenciador más significativo de un SIG con respecto a otro sistema gráfico asistido por ordenador es de hecho la coexistencia de unos datos gráficos y de unos datos alfanuméricos asociados, que confieren al sistema propiedades de gestión de base de datos más que de representación gráfica.

- *Programas*: Un programa de Sistemas de Información Geográfica capaz de gestionar y satisfacer las necesidades y requerimientos concretos del servicio en todos sus aspectos funcionales tal y como han sido descritos anteriormente. Este programa debe estar sólidamente apoyado en un programa Gestor de Base de Datos, y en un programa de CAD. A ellos deben sumarse los programas para el desarrollo de los Modelos Matemáticos de Simulación para cada una de las redes y los desarrollos propios sobre cada uno de todos estos programas para facilitar las labores específicas de la gestión de redes de suministro y saneamiento de agua.

- *Equipamiento informático*: Un dimensionamiento de los ordenadores personales y servidores de datos y programas que garanticen que toda esta información pueda ser tratada sin perjuicio de funcionalidad.

Métodos: Una definición de los circuitos de información dentro de la organización y de los circuitos de relación con empresas externas, (de servicios, administraciones públicas) que faciliten la entrada, el mantenimiento y la consulta de los datos disponibles y relativos a la red, así como su actualización.

- *Recursos Humanos*: Todas las personas de los distintos ámbitos de la organización a los que paulatinamente sea posible hacer accesible la información geográfica, deben estar sensibilizados en la importancia corporativa que tiene el cumplimiento de los circuitos de información establecidos para el mayor rendimiento y servicio de la empresa.

Funciones y limitaciones de los Sistemas de Información Geográfica (Monson 2015).

Un SIG tiene diferentes funciones generales, como son:

1. Funciones para la entrada de información.
2. Funciones para la salida / representación cartográfica y gráfica de la información.
3. Funciones para la gestión de la información.

4. Funciones analíticas.

A partir de las mismas los SIG cumplen diferentes funcionalidades que se explican con gran claridad por Colectivo de Autores (2005).

- Construir datos geográficos: mediante datos geométricos existentes en CAD, o capturándolos por digitalización o vectorización de imágenes, el sistema permite depurarlos y estructurarlos topológicamente, asociándolos con bases de datos alfanuméricas. De esta forma se obtienen datos espaciales listos para su uso en el análisis.
- Modelado cartográfico: creación de nuevos mapas a partir de mapas existentes: combinando atributos del terreno como pendiente, vegetación, tipo de suelo, etc. Mediante un modelo matemático se pueden crear nuevas variables.
- El SIG permite analizar los mapas estructurados en combinación con bases de datos asociadas. Se pueden interrogar para seleccionar los datos de interés, ver los resultados interactivamente eligiendo la simbología en función de los atributos asociados y producir cartografía de calidad.

Se pueden realizar además otros análisis con los SIG, como son: análisis sobre la vecindad (superficie de densidad, análisis de proximidad, filtrado de mapas, entre otros), análisis sobre Modelos Digitales de Elevación (M.D.E), reclasificación y superposición de mapas, generación de áreas de influencia.

A las limitaciones que tiene un SIG se refiere Colectivo de Autores (2005) planteando que un SIG es un gran sistema informático cuya implantación en una organización es siempre gradual y costosa. Se requiere siempre la adecuación del sistema al trabajo requerido, mediante programación y recopilación de los datos necesarios.

Según Moreno (2002), el costo y calidad de las cartografías digitales disponibles es una limitación ya que las empresas que ofrecen cartografías digitales poseen permisos especiales para su comercialización que les permite imponer los precios. El uso del software también constituye un problema en un país bloqueado como Cuba.

1.6.1 Los SIG aplicados en la ingeniería hidráulica

Uno de los mayores retos a que se enfrenta la ingeniería hidráulica en la actualidad es sin duda el tema del agua. Por una parte, atendiendo los beneficios de su correcto aprovechamiento y por otro intentando dar solución a los incontables daños que esta genera. La ingeniería hidráulica es la disciplina responsable de crear las obras de infraestructura que satisfagan las necesidades de una población. Para ello hace uso de sus conocimientos e ingenio aplicando todas las

herramientas y tecnologías disponibles. En general existen métodos matemáticos tradicionales empleados en resolver dichas problemáticas. Sin embargo, en los últimos años, las tecnologías SIG están siendo aprovechadas para el diseño, ejecución, operación y mantenimiento de las diferentes obras hidráulicas. La mayor parte de las aplicaciones hidrológicas llevadas a cabo en los SIG son evaluaciones de riesgos naturales y estudios de localización. En ambos casos existe cierta similitud, pero en realidad disponen de un tratamiento diferente.

En los estudios de localización de actividades, las condiciones para la implantación de SIG son conocidas, mostrando grandes ventajas para sondear con rapidez zonas apropiadas o desfavorables para la ejecución de alguna actividad. En cambio, en las evaluaciones de riesgos naturales, se ejecutan operadores aritméticos más complejos. Dentro de los trabajos consultados de aplicación en la ingeniería hidráulica podemos citar a: Valls, J. (2002), Amorós, M. N. (2012), Triviño, A. (2001), Belmonte (2006)

Durante la última década se ha producido la consolidación de los sistemas de información geográfica, como herramienta básica para la gestión espacial de las redes y de las relaciones que en el territorio se establecen entre los distintos elementos que las componen. Es por ello que en las empresas dedicadas a la actividad de abastecimiento y saneamiento de agua se ha difundido ampliamente su uso.

En el presente trabajo de diploma se pretende confeccionar un SIG cuya principal información estará relacionada con:

- Planta general de la Universidad (sus edificaciones) y sus características generales
- Sistema de abasto de agua y sus propiedades
- Trazado de redes hidráulicas principales y sus características

El software propuesto es el MapInfo por sus potencialidades y el uso en nuestra institución.

1.7 Conclusiones parciales.

Después de realizada la búsqueda bibliográfica sobre los sistemas de abasto, y la situación actual en la UCLV arribamos a las siguientes conclusiones parciales:

1. Existen diferentes valores de dotación según las normativas consultadas,
2. Existe coincidencia en el procedimiento para el diseño de sistemas de abasto de agua, diferenciándose en valores permisibles que asume cada norma,
3. Existe un marcado deterioro en el sistema de abasto de agua en la UCLV, comprobado con la opinión de especialistas y no existe conocimiento del trazado de las redes hidráulicas en la UCLV.

4. El empleo de los sistemas de información geográfica es una herramienta que posibilita la toma de decisiones para el mantenimiento de las redes hidráulicas y el sistema de abasto, abalado por lo diferentes ejemplos consultados en la bibliografía nacional e internacional.

Capítulo 2

Capítulo 2: Levantamiento de las partes componentes del sistema de abasto de agua en la UCLV.

2.1 Introducción

En este capítulo se presentan los resultados de las inspecciones a las diferentes componentes del sistema de abasto de agua de la UCLV. Como parte de este proceso, se entrevistó a diferentes especialistas y responsables para conocer las características del sistema relacionadas con las capacidades de reserva de agua instalada, así como el trazado de la red, su diámetro y otras características.

A continuación, se propone una metodología para la confección de un Sistema de Información Geográfica (SIG) a partir de los datos existentes y enfocados a incluir las redes principales, secundarias e instalaciones de la UCLV, con el objetivo de exportar estos resultados a otros softwares para la modelación de la red hidráulica.

Finalmente se explican las características principales del software EPANET, el cual será utilizado en el capítulo 3 para modelar el comportamiento de la red bajo diferentes condiciones de trabajo y que permita la realización de futuros cálculos en la medida de un mejor conocimiento de los elementos del sistema.

2.2 Sistema de abasto de agua de la UCLV.

El sistema de abasto de agua de la UCLV está conformado por: (1) Planta Potabilizadora, (2) Estación de bombeo, (3) Cisterna – tanque elevado y (4) redes de distribución, principales y secundarias.

Del análisis de la información disponible en la UCLV se pudo conocer que la planta potabilizadora se encuentra en funcionamiento desde la década del 50 y que fue construida para el tratamiento de agua proveniente del río Ochoita con un flujo de 16 L/s. El flujo de alimentación a la planta (55 L/s) es tres veces superior al flujo de diseño (16 L/s), lo que provoca una disminución en la efectividad de los equipos.



Figura 2.1: Planta Potabilizadora

El conjunto cisterna tanque elevado fue construido en la década de 1970 y tiene una capacidad de 1225 m^3 , en la actualidad el tanque elevado no funciona y se cuenta con 2 bombas de 48 l/s de caudal. Se establece un sistema de bombeo de 6 horas al día distribuido en tres frecuencias de 2 horas (6.00 am – 8.00 am, 11.00 am – 1.00 pm y 6.00 pm – 8.00 pm).

La red de distribución de la UCLV puede clasificarse como una red ramificada. El uso de redes ramificadas presenta dos ventajas principales:

- Para datos de consumos conocidos, resultan de gran facilidad tanto el dimensionado como la optimización de la red.
- Tiene menor longitud de tendido de conducciones y obras anexas, con el consiguiente ahorro en el costo sobre las ramificadas.

Por el contrario, su diseño tiene algunos inconvenientes relevantes:

- Riesgo de interrupción de suministros por roturas, o por intervención en la red (mantenimiento, ampliaciones, etc.).
- Posibilidades de estancamiento del fluido en los extremos de la línea.
- Diferencias de presión extrema entre alimentación y servicios.
- Necesitan mayores diámetros para mantener pérdidas de presión moderadas y precisan de mayores espesores de conductos para soportar la presión interior con el consiguiente aumento del costo de la red.

En recorrido por el trazado de las redes de distribución se pueden destacar los siguientes aspectos: en la zona central de la UCLV la construcción data de la década del 50, las tuberías de la red principal son de hierro fundido de 300 mm de diámetro y la red secundaria de 100 mm de diámetro del mismo material. Existen un gran número de válvulas, las cuales no funcionan. Aunque en los últimos años se ha trabajado en el mantenimiento de las mismas presentan varios puntos con fuga de agua. La residencia estudiantil en la zona central data de 1965 al 1979,

manteniendo la misma tipología para las redes y destacándose la no existencia de tanques elevados ni cisternas en los mismos. La zona de la Facultad de Construcciones, planta CBQ y CQA son construcciones más modernas (1970 al 1990), donde la red secundaria es de acero de 75 mm de diámetro. En esta área existen cisternas y tanques elevados.

Mención especial requieren las instalaciones deportivas, las cuales no serán objeto de estudio en este trabajo por el alto grado de deterioro de las mismas, además las piscinas cuando son llenadas de agua se capta directamente del río y se procede a su cloración. Una vez que las condiciones económicas lo permitan y se repare esta instalación, se requerirá de un mejoramiento total del sistema de abasto de agua, al aumentar la demanda de dichas instalaciones.

Finalmente, la red de agua en la zona de Ciencias Agropecuarias data del año 1970, cuando se construyó la escuela Militar "Camilos Qenfuegos". En el año 2001 se ejecutó una planta potabilizadora de agua en el lugar, la cual solo funcionó 2 cursos, y que, aparejado con el no funcionamiento del tanque elevado, generó la construcción de cisternas en toda esta zona para poder garantizar el suministro de agua. Se pudo comprobar en el lugar la existencia de tuberías de varios diámetros de hierro fundido, así como la presencia de una nueva red para abastecer las cisternas y los edificios de becados (Ver Figura 2.2). Se reconoce por trabajadores de muchos años de experiencia la existencia de varios puntos de fuga.

En consulta con las autoridades universitarias se pudo conocer el volumen de las cisternas existentes en el centro.

Tabla 2.1: Cisterna de Agropecuaria

Ubicación	Capacidad (m ³)
Edificio de 33 viviendas	277.75
Edificio C2 y C3	146.58
Comedor agropecuario	130.30
Cisterna C4 y C5	176.22
Cisterna acueducto agropecuario	159.91
Filtros acueducto agropecuario	30.40
Total	921.16

Tabla 2.2: Cisternas del área central.

Ubicación	Capacidad (m ³)
Cisterna tanque elevado	1225
Acueducto central (cisterna 1)	548.25
Acueducto central (cisterna 2)	760.32
Filtros de acueducto central	450.84
Cisterna comedor central	169.63
Tanque ferrocarril U 10 soterrado	99.16
Total	3253.2

Tabla 2.3: Capacidad Total de almacenamiento de agua (m³).

Ubicación	Capacidad (m ³)
Agropecuaria	921.16
Área Central	3253.2
Total	4174.36



Figura 2.2: Cisterna en el Área de Ciencias Agropecuarias



Figura 2.3. Piscina de la UCLV.

2.3 Planta potabilizadora de agua.

En visita a la planta potabilizadora los días 13, 14 y 15 de abril del 2016 y consultando trabajos precedentes realizados en la UCLV (Albert (2014), Osorio (2008)), se puede apreciar el alto grado de deterioro de la misma y las limitaciones técnicas que presenta.

El abastecimiento del agua cruda a la planta potabilizadora de la UCLV se realiza desde la presa Minerva. Inicialmente el agua se alimenta a un floculador con un flujo de 55 L/s. Posteriormente, pasa al sedimentador sin recibir ningún tipo de coagulante (no se realiza el proceso de coagulación-floculación). Una vez sedimentada, la mitad del agua pasa a dos filtros lentos, mientras la otra mitad es succionada e impulsada hacia dos filtros rápidos. En los filtros lentos se aplica el hipoclorito de sodio como desinfectante y después el agua es conducida a una cisterna donde es succionada e impulsada, una parte hacia el comedor central y otra hacia el tanque de almacenamiento y distribución.

El agua proveniente de los filtros rápidos es conducida fuera de la planta sin ningún tratamiento químico y entra en contacto con el agua clorada de los filtros lentos mediante una conexión Y, para ser transportada hacia el tanque de almacenamiento y distribución.

De manera general se pueden establecer las siguientes problemáticas en la planta (Ver Figura 2.4):

- La inexistencia de un flujómetro para cuantificar el agua afluente a la planta evidencia la necesidad de instalación del mismo.

- No se añade coagulante en el proceso, por lo que no se realiza la coagulación- floculación que facilitaría la sedimentación (CONAGUA 2003, 2005).
- Hay cinco manómetros conectados a los dos filtros rápidos de las cuales no funcionan ninguno y requieren reparación.
- La no existencia de un sistema para la dosificación adecuada del desinfectante.
- El estado de las tuberías y accesorios, así como otras estructuras metálicas y parcialmente metálicas, es de alto nivel de deterioro por corrosión y roturas, en algunos casos imposible de reparar.
- De las tres bombas en la planta, una no funciona y las otras dos funcionan a tiempo completo, para bombear el agua del sedimentador hasta el filtro rápido, el agua proveniente de la cisterna hacia el comedor central y a la estación de bombeo central, por lo que se requiere de bombas de repuesto, ya que si se presenta algún problema se paraliza parcial o totalmente la planta.
- El agua tratada en los filtros rápidos no contiene desinfectante. La desinfección se garantiza por la unión con el efluente de los filtros lentos. Esta estrategia debe ser cambiada, ya que en caso de presentarse dificultades en los filtros lentos, habría que usar el agua de los filtros rápidos sin desinfección.
- La inexistencia de un plan de mantenimiento de los equipos en la planta, atenta contra el funcionamiento de la misma de forma general, ya que, aunque los filtros rápidos se limpian diariamente, en el resto de la instalación no se realiza sistemáticamente. Específicamente, la falta de mantenimiento en la estación de bombeo tiene gran influencia en la situación de la planta.
- Se requiere realizar un plan de capacitación general a los operadores de la planta, que incluya temas relacionados con la operación y control de la planta, así como las normas de higiene y protección en el trabajo.

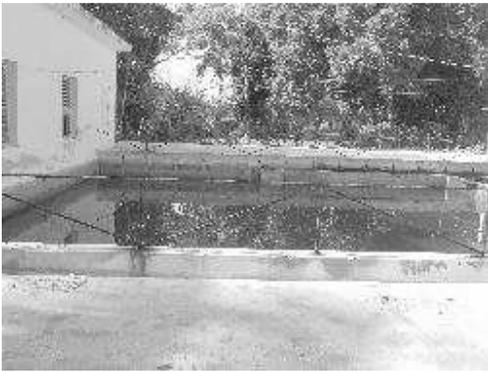


Figura 2.4. Fotos realizadas por la autora (abril 2016)

2.4 Tanque de regulación

Para el análisis del tanque de almacenamiento, existen criterios divididos en la literatura consultada. Osorio (2008) en su trabajo de diploma plantea que el tanque de almacenamiento es capaz de almacenar $1225 \text{ m}^3/\text{día}$ o sea el 42% del gasto total de la planta o lo que es lo mismo, podría estar almacenando agua durante 10 h; teniendo en cuenta que el abastecimiento de agua a los consumidores se realiza tres veces al día y durante 2 horas este tanque no necesitaría la realización de modificaciones, además de que existe un tanque elevado, para el almacenamiento del agua.

Albert (2014) propone que la capacidad del tanque de distribución debe ser calculada en base a los datos de consumo de la población y su distribución horaria. Se recomienda que el volumen del tanque sea $1/3$ del caudal máximo diario ya que distribuye el agua 3 veces al día.

Ecuaciones:

$$V_{tanque} = A \times h$$

Ec 2.1

$$V_{tanque} = \frac{V}{3}$$

Ec 2.2

$$V = Q \times t$$

Ec 2.3

$$A = a \times l$$

Ec 2.4

Datos:

$$Q=4752 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$V=4752 \text{ m}^3$$

$$t=1 \text{ día}$$

$$h=11 \text{ m}$$

Resultados:

$$V_{tanque} = 1584 \text{ m}^3$$

$$a = l = 12 \text{ m}$$

Aunque este enfoque es el más adecuado en la determinación de la demanda para la UCLV, el cálculo de los valores de Dotación y Población es muy complejo, al tener en el centro varias instalaciones con funciones y demandas diferentes. Por citar algunos casos existen en la universidad: 2 comedores, 8 edificios de facultades, 11 edificios de beca, 2 plantas de producción, 2 piscinas, 1 policlínico.

Utilizando la expresión 1.1 a la 1.4 con una demanda de 150 lppd y una población de 6000 personas, la demanda sería de 900000 lppd = 900 m³, o sea el 80 % del volumen total del tanque. Este resultado demuestra que la reserva de agua en la UCLV, es de menos de un 1 día, en caso de que se corte la fuente de abasto. No obstante, en este análisis no se tiene en cuenta aspectos importantes como la reserva para incendios, el consumo de las instalaciones deportivas (2 piscinas) y las dos plantas productoras (IBP y CBQ). Sin duda alguna, la demanda que estas instalaciones generan, hace que la reserva de agua del sistema sea mucho inferior, y queda demostrada cada vez que se corta el abasto por el sistema Minerva-Ochoita que el centro queda sin agua.

En el capítulo 3 se realizará un análisis más detallado para el cálculo de la demanda en función de cada instalación.



Figura 2.5. Cisterna y tanque Elevado de la UCLV

2.5 Bases iniciales para la confección de un SIG de las redes hidráulicas de la UCLV.

El empleo de los SIG como herramienta computacional para la solución de problemas ingenieriles es amplia, pudiéndose destacar los trabajos de Peña (2006), Conesa (2005), Parra et al. (1997). Gutierrez (1994) y Barranco (2011).

Para la continuidad a este trabajo se propuso una metodología la creación del Sistema de Información Geográfica, que a su vez permitiría exportar sus resultados a otros softwares como el EPANET o WateGens, teniendo en cuenta la experiencia de diferentes autores.

- Paso 1: Levantamiento en AutoCAD de la planta física de la UCLV.
- Paso 2: Filtrado del plano (Eliminación de objetos innecesarios).
- Paso 3: Creación de una capa (Layer) para cada elemento de la planta física.
- Paso 4: Levantamiento de posible trazado de las redes hidráulicas.

Es importante destacar que este paso se realizó recopilando información de diferentes fuentes (GeoCuba, INRH, Trabajos de curso de la UCLV). Sin embargo, aún resulta insuficiente el completamiento de la información en algunas áreas, siendo más crítica la situación en el trazado de las redes de los edificios independientes.

- Paso 5: Levantamiento de la posición de válvulas, ventosas y otros accesorios
Este paso se realizó recopilando información de diferentes fuentes (INRH, Trabajadores de la UCLV con experiencia).
- Paso 6: Filtrado del trazado de la red hidráulica. (Ubicación de posibles redes).
- Paso 7: Creación del plano para el SIG (MapInfo).

Paso 1: Levantamiento en AutoCAD de la planta física de la UCLV.

Para la confección del plano en planta de la UCLV fue necesario recopilar información en diferentes instituciones y trabajos precedentes. La mayoría de la información existente se limitaba a zonas específicas del centro y muchos casos no ubicaban la totalidad de los inmuebles.

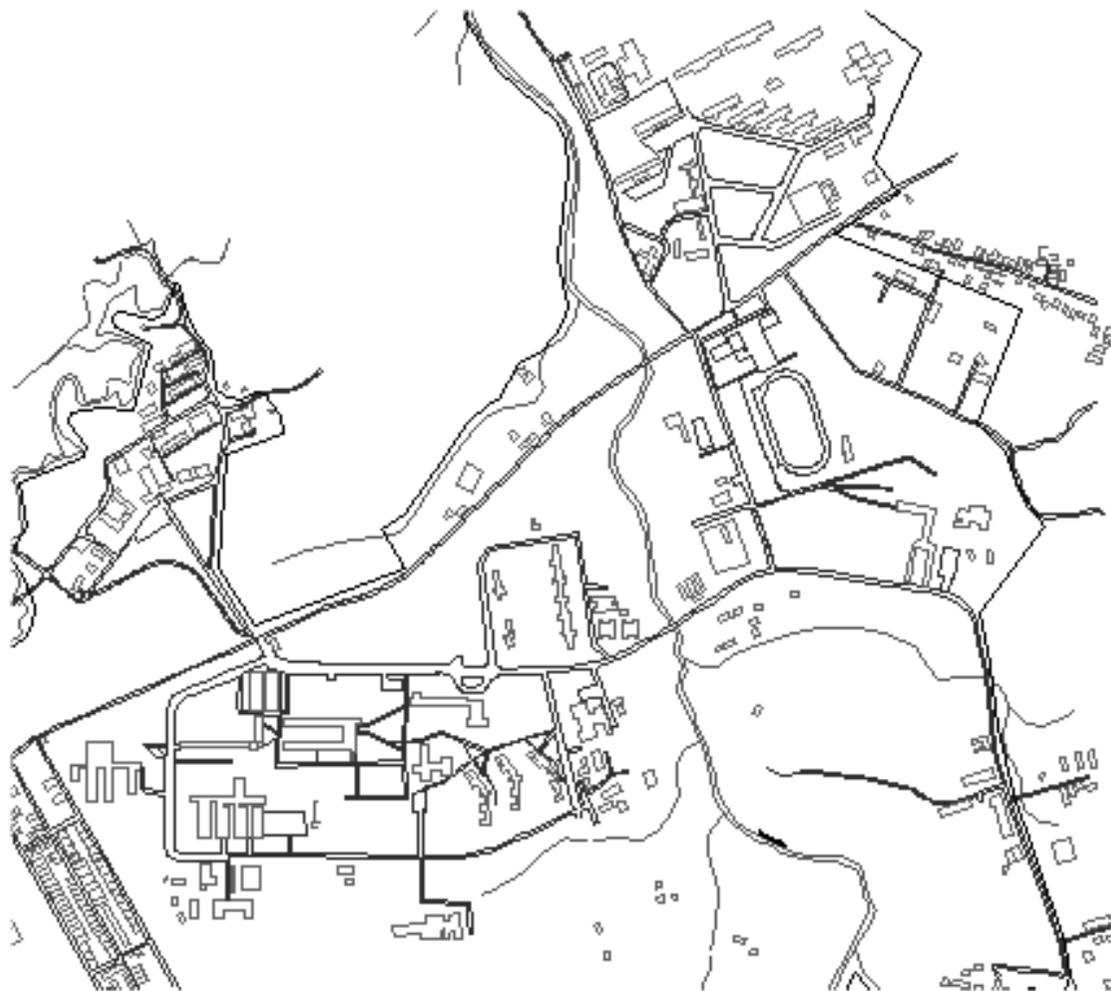


Figura 2.5. Planta de la UCLV.

Paso 2: Filtrado del plano (Eliminación de objetos innecesarios)

Una vez confeccionado el plano total se procede a la eliminación de algunos objetos que no existen en la actualidad, así como a la verificación de la existencia de otros. Se eliminan algunos puntos, líneas, etc. que no aportan información al objetivo del trabajo.

Paso 3: Creación de una capa (Layer) para cada elemento de la planta

Con el objetivo de poder exportar a otras aplicaciones la planta construida se procede a montar en capas los diferentes elementos del plano, siguiendo el criterio de agrupar los elementos por su función y características. En caso de la necesidad de crear nuevas capas con otros fines a partir del plano base se puede realizar nuevas modificaciones.

Se destaca que parte de las redes hidráulicas ya están digitalizadas, por lo que en el próximo paso se procede a su creación definitiva.

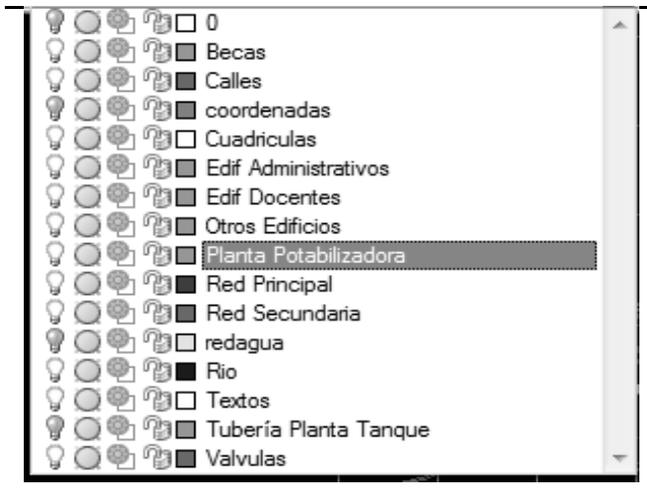


Figura 2.6. Layers de la UCLV confeccionados en AutoCAD.

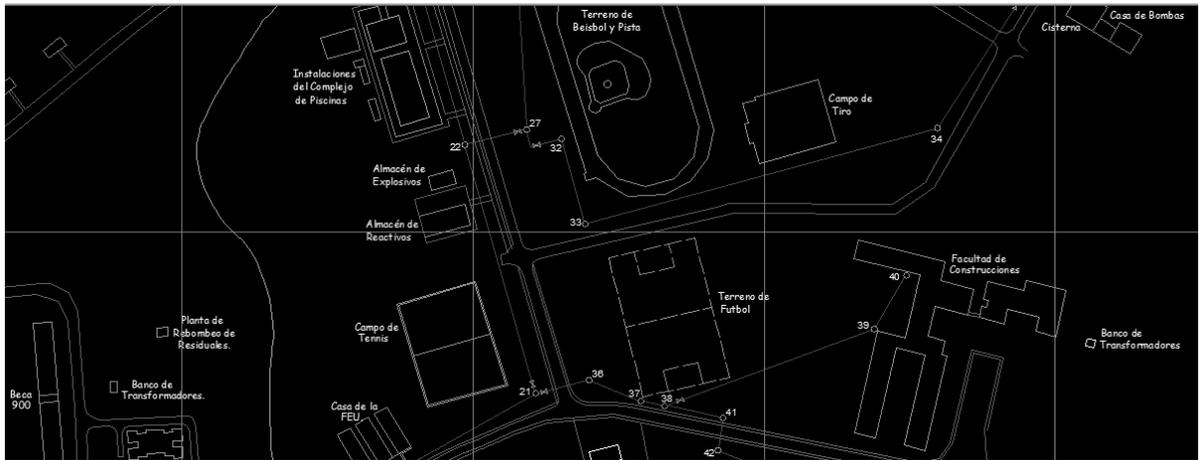


Figura 2.7. Vista en AutoCAD de la zona del SEDER – Facultad de Construcciones. (Rojo: Red Principal, Azul: red Secundaria, Verde: Edificaciones)

Paso 4: Levantamiento de posible trazado de las redes hidráulicas

En este paso se verifica el trazado de la red principal y secundaria, con el apoyo de los planos existentes y en consulta con especialistas. Como se menciona anteriormente el volumen de trabajo para este paso es el mayor y más complicado, pues no existe certeza del trazado de la red secundaria en la zona central (Teatro, Rectorado, Facultad de Humanidades). En el caso de Ciencias Agropecuarias destacar que en el año 2001 se construyó una planta potabilizadora de agua y estación de bombeo, la cual solo funcionó durante 2 cursos y el trazado de las redes data de la construcción de la Escuela Militar “Camilo Cienfuegos” en el año 1971. Con posterioridad se han realizado trabajos de rehabilitación y nuevos trazados, como por ejemplo la construcción de 3 cisternas y el cambio en la forma de abasto a cada edificio de residencia.

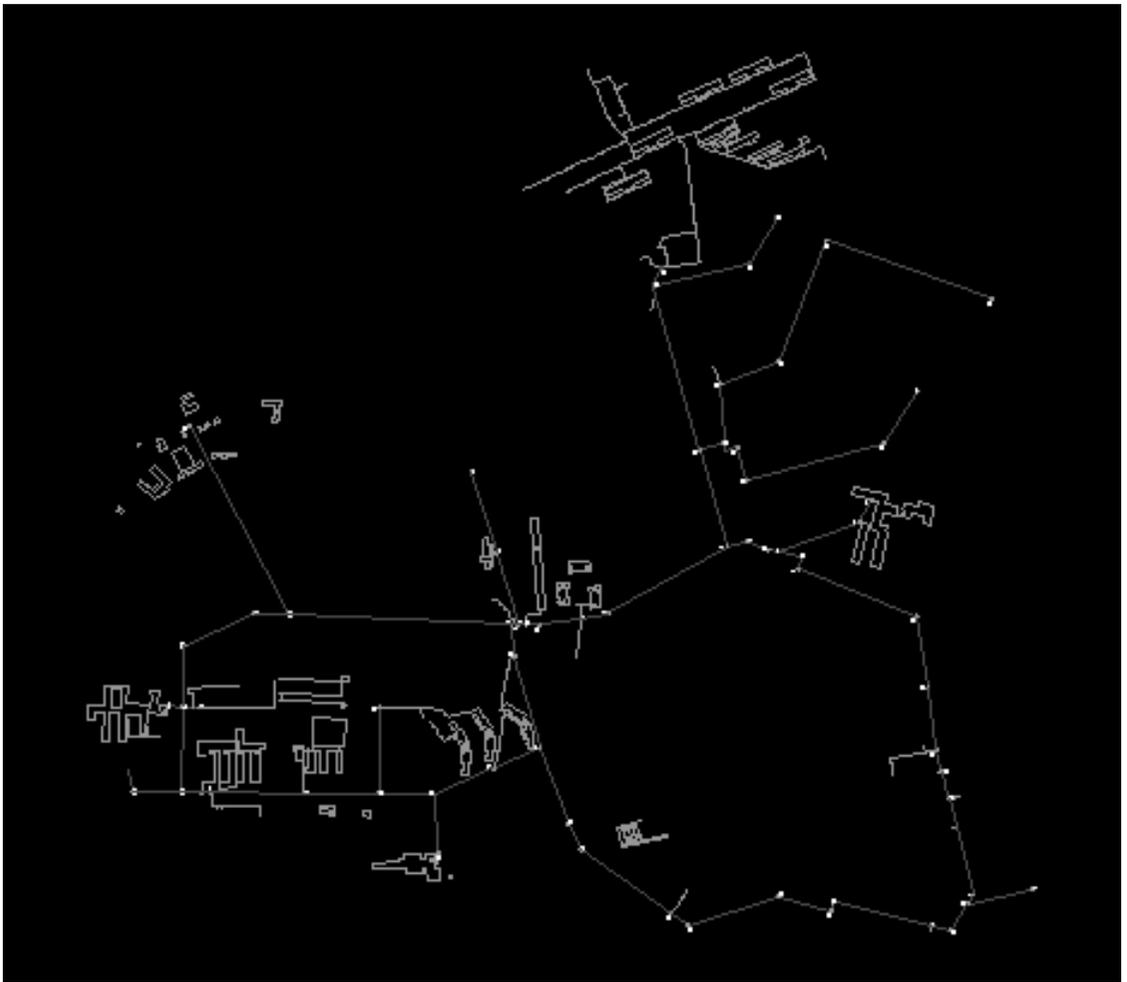


Figura 2.8. Red Principal y edificaciones docentes y residencia (Rojo: Red Principal, Azul: red Secundaria, Verde: edificaciones)

Paso 5: Levantamiento de la posición de válvulas, ventosas y otros accesorios

De manera similar al paso anterior se realizó un recorrido por el trazado y se verificó la presencia de estos dispositivos. En el caso de las válvulas la mayoría no se utilizan o bien por no funcionar o por el peligro de aumentar la presión en la red y provocar fugas. En el caso de las ventosas este año 2016 se pretende colocar 6 unidades en diferentes puntos del trazado.

Paso 6: Filtrado del trazado de la red hidráulica. (Ubicación de posibles redes)

Este paso, el más complicado en volumen de trabajo, consiste en una vez levantado la red, los inmuebles y demás instalaciones, verificar cada línea de la red principal y secundaria y como llega a su destino. A pesar de los esfuerzos por eliminar los trazos innecesarios en la zona de

Ciencias Agropecuarias existe un trazado de la red principal que no se conoce el punto de abasto final, pudiendo ser un objeto de obra no construido o que no existe en la actualidad. En la zona central también ocurre algo similar en el trazado entre los edificios del rectorado, biblioteca y sociales. En aras de cumplir con la culminación del trabajo, en esta zona se ubica la red principal hasta un punto común, del cual deben salir las redes secundarias.

Paso 7: Creación del plano para el SIG (MapInfo)

Una vez elaborado un plano en AutoCAD se procede a exportar el mismo a otros formatos para ser utilizados por otras herramientas computacionales como el EPANET, MapInfo, WateGens, etc. Contar con este plano es la base fundamental para desarrollar estas y otras aplicaciones informáticas, no solo relacionadas con la ingeniería hidráulica, sino también la arquitectura y la ingeniería civil.

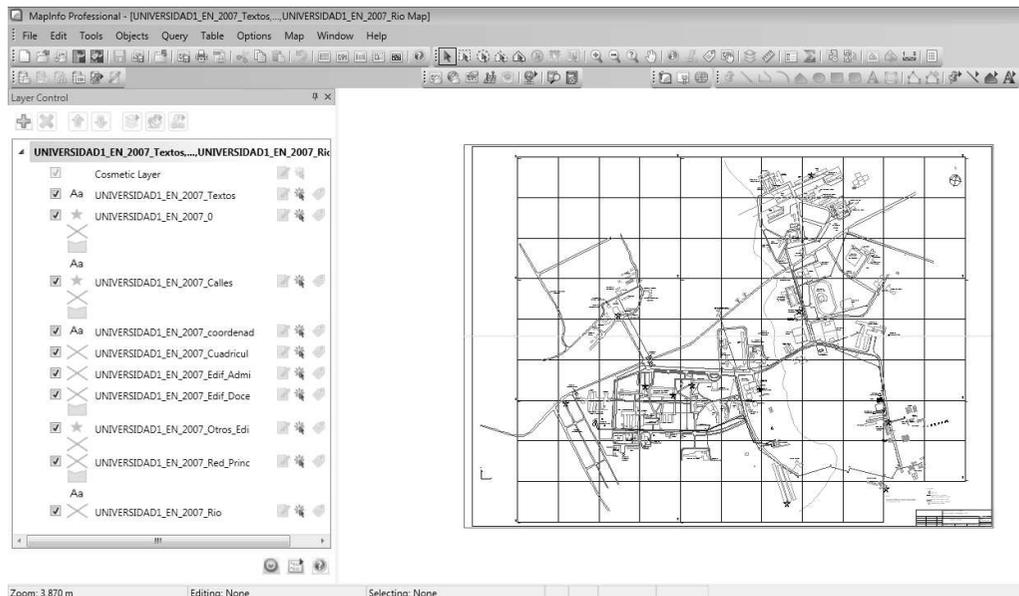


Figura 2.9. Plano en MapInfo 2010

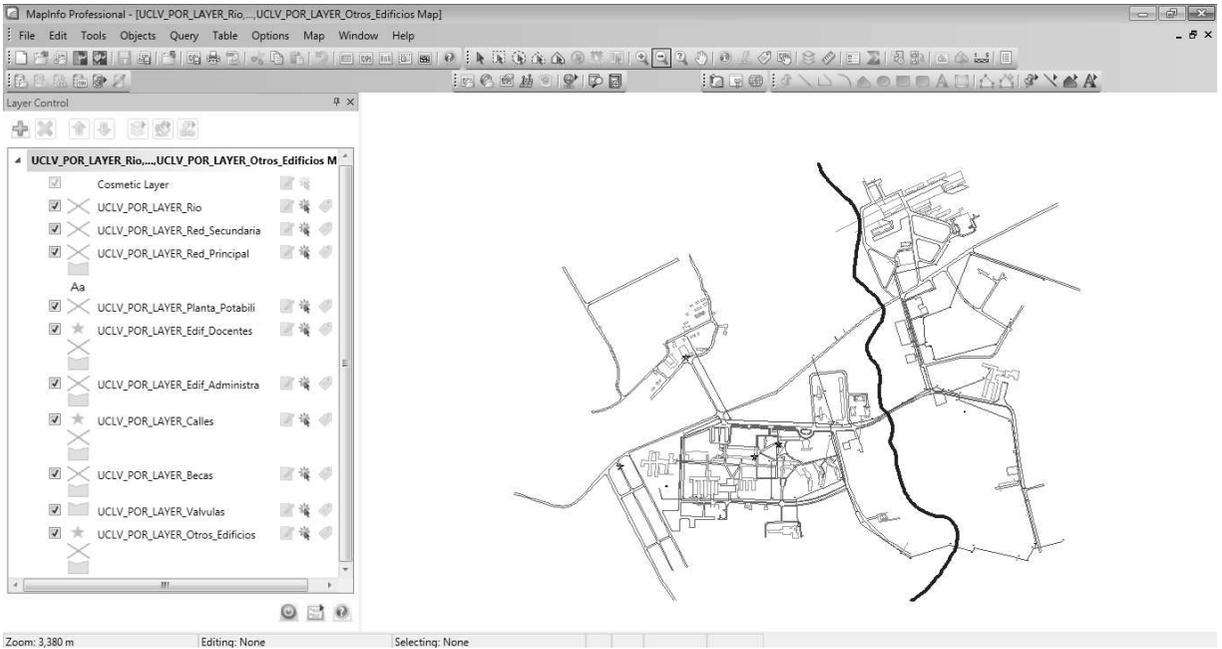


Figura 2.10. Vista en MapInfo. (Verde: Edificaciones, Magenta: Vías de comunicación, Azul: Río)

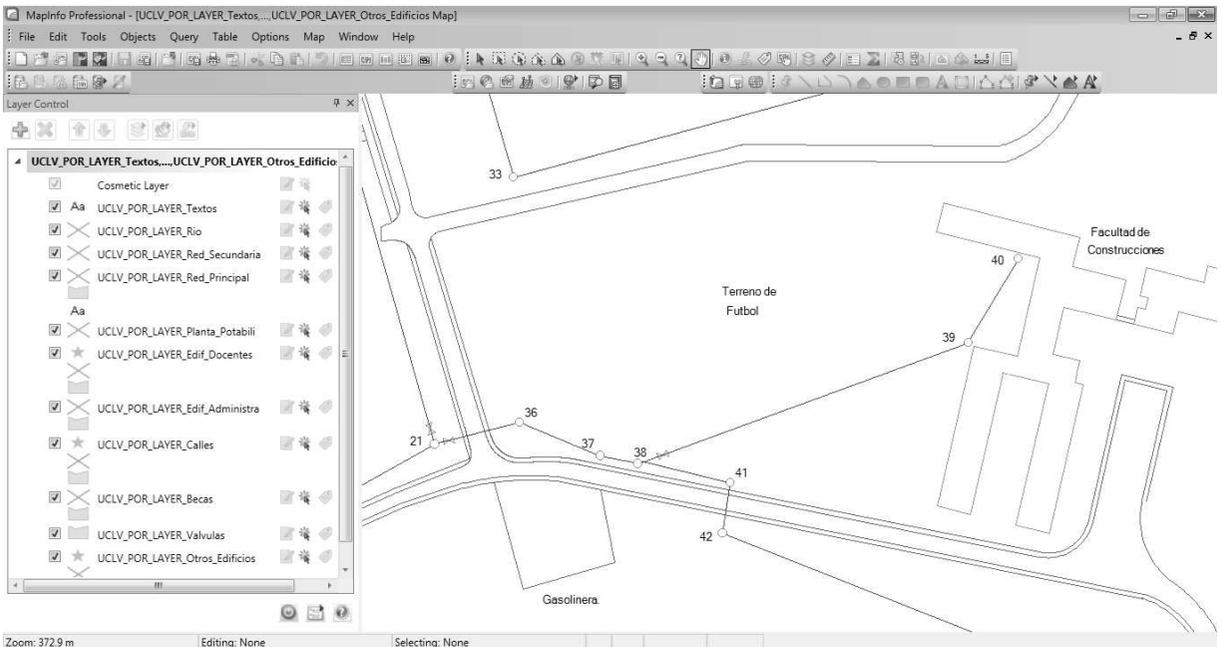


Figura 2.11. Zona Facultad de Construcciones.

2.5 Bases iniciales para la modelación del sistema de abasto de agua en la UCLV

Para la simulación de la red de abasto de agua se propone la utilización del software EPANET. Este es un programa de ordenador que realiza simulaciones en períodos prolongados del comportamiento hidráulico y la calidad del agua en redes de suministro a presión. Una red puede estar constituida por tuberías, nudos (uniones entre tuberías), bombas, válvulas y depósitos de almacenamiento o embalses. Efectúa un seguimiento de la evolución de los caudales en las tuberías, las presiones en los nudos, los niveles en los depósitos, y la concentración de las especies químicas presentes en el agua, a lo largo del período de simulación discretizado en múltiples intervalos de tiempo.

El éxito de EPANET (Rosman 2000, Martínez 2003) radica en su potente simulador hidráulico que ofrece las siguientes prestaciones:

- No existe límite en cuanto al tamaño de la red que puede procesarse.
- Las pérdidas de carga pueden calcularse mediante las fórmulas de Hazen-Williams, de Darcy-Weisbach o de Chezy-Manning.
- Contempla pérdidas menores en codos, accesorios, etc.
- Admite bombas de velocidad fija o variable.
- Permite considerar varios tipos de válvulas, tales como válvulas de corte, de retención, y reguladoras de presión o caudal.
- Considera diferentes tipos de demanda en los nodos, cada uno con su propia curva de modulación en el tiempo.
- Admite leyes de control simples, basadas en el valor del nivel en los depósitos.

Los pasos a seguir normalmente para modelar un sistema de distribución de agua con EPANET son los siguientes:

- Dibujar un esquema de la red o importar una descripción básica del mismo desde un fichero de texto.
- Editar las propiedades de los elementos que configuran el sistema en el editor de propiedades.
- Describir el modo de operación del sistema (arranque o parada de bombas, abertura o cierre de válvulas, etc.) mediante leyes de control.
- Seleccionar las opciones de cálculo (ecuaciones de cálculo de pérdidas de energía, sistema de unidades)

- la calidad del agua.

Los nodos de caudal pueden también:

- presentar una demanda variable en el tiempo.
- tener asignados distintos tipos de demanda (doméstica, industrial, etc.)
- presentar una demanda negativa, indicando que el caudal entra a la red a través del nodo.
- ser punto de entrada de una fuente contaminante a la red.
- tener asociado un emisor (o hidrante), cuyo caudal de salida depende de la presión.

Embalses: son nodos que representan una fuente externa de alimentación, de capacidad ilimitada, o bien un sumidero de caudal. Se utilizan para modelar elementos como lagos, captaciones desde ríos, acuíferos subterráneos, o también puntos de entrada a otros subsistemas. Los embalses pueden utilizarse también como puntos de entrada de contaminantes.

Las propiedades básicas de un embalse son su altura piezométrica (que coincidirá con la cota de la superficie libre del agua si éste se encuentra a la presión atmosférica), y la calidad del agua en el mismo, caso de realizar un análisis de calidad.

Depósitos: son nodos con cierta capacidad de almacenamiento, en los cuales el volumen de agua almacenada puede variar con el tiempo durante la simulación.

Los datos básicos de un depósito son:

- la cota de solera (para la cual el nivel del agua es cero)
- el diámetro (o su geometría si no es cilíndrico)
- el nivel del agua inicial, mínimo y máximo.
- la calidad inicial del agua.

Los principales resultados asociados a un depósito, a lo largo de la simulación, son:

- la altura piezométrica (cota de la superficie libre)
- la presión (o nivel del agua)
- la calidad del agua.

El nivel del agua en los depósitos debe oscilar entre el nivel mínimo y el nivel máximo. EPANET impide la salida del agua del depósito cuando está a su nivel mínimo y cierra la entrada de agua cuando está a su nivel máximo. Los depósitos también pueden utilizarse como puntos de entrada de contaminantes a la red.

Emisores: son dispositivos asociados a los nodos de caudal que permiten simular el flujo de salida a través de una tobera u orificio descargando a la atmósfera. El caudal de salida por un emisor varía en función de la presión disponible en el nodo, conforme a la ecuación:

$$q=C \times p^{\gamma} \quad \text{Ec. 2.1}$$

donde:

q = caudal.

p = presión.

C = coeficiente de descarga.

γ = exponente de la presión.

En el caso de las toberas y rociadores (Streeter 1980) el exponente γ toma el valor 0,5 mientras que el coeficiente de descarga viene proporcionado por el fabricante, en unidades $\text{lps/m}^{0.5}$ ($\text{gpm/psi}^{0.5}$), y representa el caudal que sale por el emisor para una caída de presión en el mismo de 1 m (1 psi).

Los emisores se emplean para simular el caudal que sale a través de un rociador en una red de extinción de incendios, o a través de un hidrante en un sistema de riego a presión. También pueden emplearse para simular una fuga en una tubería conectada al nodo (en este caso el coeficiente de descarga y el exponente de la presión en la fuga deben estimarse) o para calcular el caudal de incendios en un nodo (esto es, el caudal extra que puede suministrarse para una presión residual mínima). Para esto último basta imponer un valor elevado al coeficiente de descarga (p. ej. 100 veces el caudal máximo esperado) y modificar la cota del nodo agregándole el valor de la presión mínima requerida, en m (pies). EPANET interpreta los emisores como una propiedad del nodo, y no como un componente independiente. Cuando se especifica un emisor y una demanda normal en un nodo, el valor que presenta EPANET (Gámez 2015) en los resultados de salida incluye a ambos, la demanda normal y el caudal que atraviesa el emisor.

Tuberías: son líneas que transportan el agua de un nodo a otro. EPANET asume que las tuberías están completamente llenas en todo momento, y por consiguiente que el flujo es a presión. La dirección del flujo es siempre del nodo de mayor altura piezométrica (suma de la cota más la presión, o bien energía interna por unidad de peso) al de menor altura piezométrica. Los principales parámetros de una tubería son:

- los nodos inicial y final
- el diámetro.

- la longitud.
- el coeficiente de rugosidad (para calcular las pérdidas de carga)
- su estado (abierta, cerrada, o con válvula de retención).

El parámetro de estado permite simular el hecho de que una tubería posea válvulas de corte o válvulas de retención (válvulas que permiten el paso del flujo en un solo sentido) sin tener que modelar estos elementos explícitamente.

Los datos de una tubería relacionados con los modelos de calidad son:

- el coeficiente de reacción en el medio
- el coeficiente de reacción en la pared.

Los resultados en una tubería contemplan:

- el caudal de circulación.
- la velocidad del flujo.
- la pérdida de carga unitaria.
- el factor de fricción para la fórmula de Darcy-Weisbach.
- la velocidad media de reacción (a lo largo de la tubería).
- la calidad media del agua (a lo largo de la tubería).

La pérdida de carga (o de altura piezométrica): en una tubería debida a la fricción por el paso del agua, puede calcularse utilizando tres fórmulas de pérdidas diferentes:

- la fórmula de Hazen-Williams.
- la fórmula de Darcy-Weisbach.
- la fórmula de Chezy-Manning.

La fórmula de Hazen-Williams es la más utilizada en EEUU. Sin embargo, no puede utilizarse para líquidos distintos del agua, y fue desarrollada originalmente sólo para flujo turbulento. Desde el punto de vista académico, la fórmula de Darcy-Weisbach es la más correcta, y es aplicable a todo tipo de líquidos y regímenes. Finalmente, la fórmula de Chezy-Manning es utilizada usualmente para canales y tuberías de gran diámetro, donde la turbulencia está muy desarrollada.

Al aplicar la fórmula de Darcy-Weisbach, EPANET emplea distintos métodos para calcular el factor de fricción f , dependiendo del tipo de régimen:

- Para flujo laminar ($Re < 2.000$) emplea la fórmula de Hagen–Poiseuille.
- Para flujo turbulento ($Re > 4.000$) emplea la aproximación explícita de Swamee y Jain a la fórmula de Colebrook-White.
- Para el flujo de transición ($2.000 < Re < 4.000$) aplica una interpolación cúbica al diagrama de Moody.

Tabla 2.4. Fórmulas de Pérdida de Carga para tubería llena (las pérdidas se expresan en mca y el caudal en m^3/s)

<i>Fórmula</i>	<i>Coefficiente de Resistencia (A)</i>	<i>Expon. Caudal (B)</i>
Hazen-Williams	$10,674 C^{-1,852} d^{-4,871} L$ (4)	1,852
Darcy-Weisbach	$0,0827 f(\epsilon, d, q) d^{-5} L$ (°)	2
Chezy-Manning	$10,294 n^2 d^{-5,33} L$ (°)	2
donde: C = Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams ϵ = Coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach (m) f = factor de fricción (depende de ϵ , d, y q) n = Coeficiente de rugosidad de Manning d = diámetro de la tubería (m) l = longitud de la tubería (m) q = caudal (m^3/s)		

Tabla 2.5. Coeficientes de Rugosidad.

<i>Material</i>	<i>C Hazen-Williams (universal)</i>	<i>ϵ Darcy-Weisbach (mm)</i>	<i>n Manning (universal)</i>
Fundición	130 – 140	0,25	0,012 – 0,015
Hormigón revestimiento. de Hormigón	120 – 140	0,3 – 3,0	0,012 – 0,017
Hierro Galvanizado	120	0,15	0,015 – 0,017
Plástico	140 – 150	0,0015	0,011 – 0,015
Acero	140 – 150	0,03	0,015 – 0,017
Cerámica	110	0,3	0,013 – 0,015

Las tuberías pueden abrirse o cerrarse en determinados instantes de la simulación o bajo ciertas condiciones específicas, por ejemplo cuando el nivel de un depósito rebasa por encima o por debajo unos ciertos límites, o cuando la presión en un nodo supera o queda por debajo de ciertos umbrales.

Las pérdidas menores (también denominadas pérdidas localizadas) pueden interpretarse como debidas al incremento de la turbulencia que se produce en los cambios de dirección, codos, accesorios, etc. La importancia de incluir o no tales pérdidas depende del tipo de red modelada y de la precisión de los resultados deseada. EPANET permite asociar a cada tubería un coeficiente de pérdidas menores.

Tabla 2.6. Coeficientes de *Pérdidas Menores* para algunos Accesorios.

<i>ACCESORIO</i>	<i>COEF. PERDIDAS</i>
Válvula de Globo, todo abierta	10,0
Válvula de Angulo, todo abierta	5,0
Válvula Retención, todo abierta	2,5
Válvula compuerta, todo abierta	0,2
Codo de radio pequeño	0,9
Codo de radio mediano	0,8
Codo de radio grade	0,6
Codo a 45 grados	0,4
Codo de Retorno (180°)	2,2
Té Estándar – flujo recto	0,6
Té Estándar – flujo desviado	1,8
Entrada brusca	0,5
Salida brusca	1,0

Bombas: son líneas que comunican energía al fluido elevando su altura piezométrica. Los datos principales de una bomba son sus nodos de aspiración e impulsión y su curva característica a velocidad nominal (o relación entre caudal trasegado y la altura comunicada). En lugar de dar la curva característica, el comportamiento de una bomba puede también modelarse admitiendo que trabaja a potencia constante para cualquier combinación de caudal y altura, lo que permite determinar la altura comunicada al fluido en función del caudal de paso.

Los resultados principales asociados a una bomba son el caudal trasgado el incremento de altura comunicada al fluido. El flujo a través de una bomba es de sentido único, y EPANET no permite a la bomba operar fuera del rango delimitado por su curva característica.

Se pueden considerar también bombas de velocidad variable, sin más que especificar el valor de su velocidad relativa de giro, con las mismas restricciones anteriormente mencionadas. Por definición, a la curva original de la bomba suministrada como dato, se le supone una velocidad relativa de 1. De este modo, si la velocidad de giro se duplica, entonces la velocidad relativa sería 2; y si gira a mitad velocidad, entonces sería 0,5. Al cambiar la velocidad de giro de la bomba, su curva característica se desplaza y cambia de forma.

Al igual que las tuberías, las bombas puede pararse o arrancarse durante la simulación en instantes prefijados, o cuando se cumplan determinadas condiciones en la red. También se puede controlar el modo de funcionamiento de una bomba asociándole una Curva de Modulación a su velocidad de giro. EPANET permite además calcular el consumo energético de una bomba y su coste. Para ello cada bomba puede tener asociada una curva de rendimiento y una curva de modulación de los costes energéticos.

Válvulas: Las válvulas son líneas que limitan la presión o el caudal en un punto determinado de la red. Los datos principales de una válvula son:

- los nodos aguas arriba y aguas abajo.
- el diámetro.
- la consigna.
- su estado (forzado o no).

Los resultados asociados con una válvula son básicamente el caudal de paso y la pérdida de carga.

Además de los componentes físicos, EPANET utiliza tres tipos de componentes complementarios:

- curvas de comportamiento.
- curvas de modulación.
- leyes de control.
- modo de operación del sistema.

Curvas de Comportamiento: son objetos que contienen pares de datos ordenados, los cuales representan una relación entre dos magnitudes. Dos o más objetos físicos pueden compartir la misma curva. En un modelo de EPANET se pueden declarar los siguientes tipos de Curvas:

- Curvas Características.
- Curvas de Rendimiento.
- Curvas de Cubicación.
- Curvas de Pérdidas.

Curvas de Modulación: son una secuencia de factores multiplicativos que, aplicados sobre un valor base, hacen que éste varíe con el tiempo. Las Curvas de Modulación se asocian a las demandas en los nodos, a las alturas de los embalses, a la velocidad de giro de las bombas, a las inyecciones de contaminantes en la red, y al precio de la energía. Dentro de un intervalo se admite que el valor de la magnitud permanece constante, e igual al producto del valor base por el factor multiplicativo correspondiente a dicho intervalo. Aunque todas las curvas de modulación tengan el mismo intervalo de tiempo, cada una puede contener un número diferente de períodos. Cuando el tiempo de simulación excede al definido por el número de períodos de la curva, ésta se repite a partir del primer período.

Leyes de Control: son reglas que determinan el modo de operación de la red durante la simulación. Controlan el estado de determinadas líneas de la red en función del tiempo, de los niveles en los depósitos y de las presiones en puntos de referencia de la red. Las leyes de control pueden clasificarse en dos categorías:

- Leyes de Control Simples.
- Leyes de Control basadas en Reglas.

El modelo de simulación hidráulica de EPANET: calcula las alturas piezométricas en los nodos y los caudales en las líneas, dados los niveles iniciales en los embalses y depósitos, y la sucesión en el tiempo de las demandas aplicadas en los nodos. De un instante al siguiente se actualizan los niveles en los depósitos conforme a los caudales calculados que entran o salen de los mismos, y las demandas en los nodos y niveles en los embalses conforme a sus curvas de modulación. Para obtener las alturas y caudales en un determinado instante se resuelven simultáneamente las ecuaciones de conservación del caudal en los nodos y las ecuaciones de

pérdidas en todos los tramos de la red. Este proceso, conocido como “equilibrado hidráulico”, requiere el uso de método iterativo para resolver las ecuaciones de tipo no lineal involucradas.

A manera de ejemplo se realiza un ejemplo en el EPANET para la red de la UCLV, conformada con los datos aportados por el trazado en AutoCAD. Se debe destacar que se realizan un grupo de simplificaciones, en aras de comprobar la efectividad del modelo.

En este ejemplo son eliminadas algunas tuberías secundarias de la red, y no se tienen en cuenta algunas edificaciones cuya demanda base es muy pequeña o insignificante en los resultados.

La siguiente figura representa la Red de la UCLV considerando la red principal y los principales puntos de demanda de agua. Se destaca que en la zona de Ciencias Agropecuarias la red de tubería es muy extensa (Ver plano en AutoCAD), y se trabaja solo con las redes principales, teniendo en cuenta las demandas.

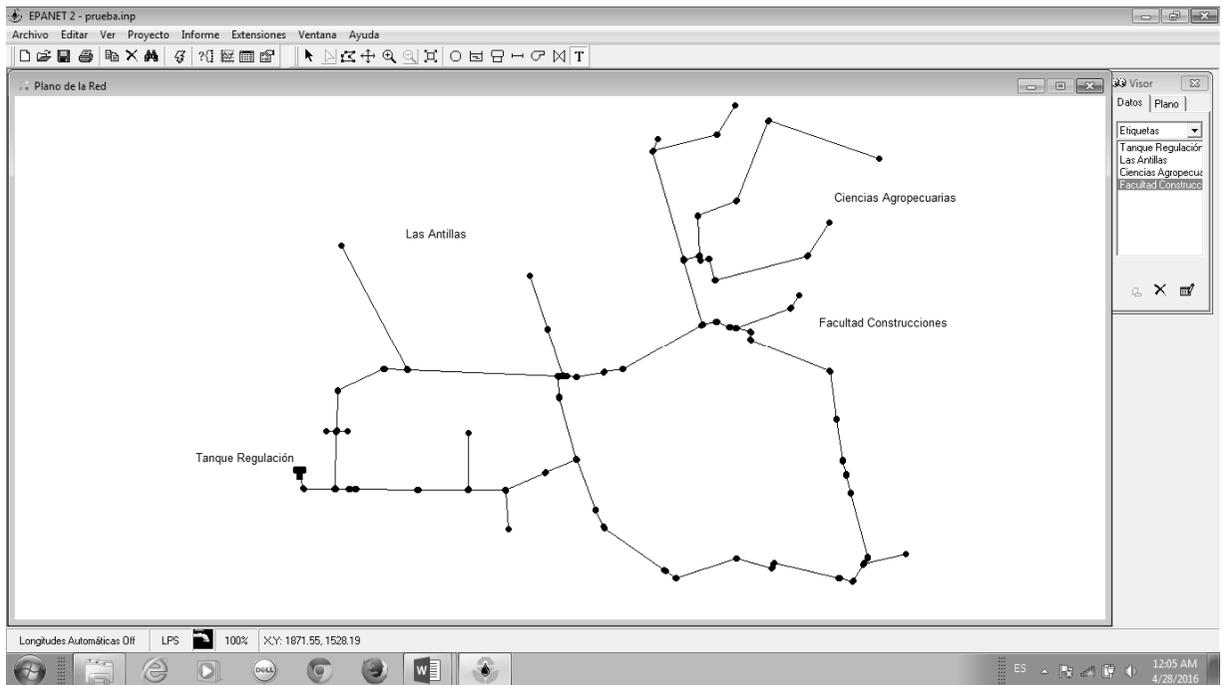


Figura 2.13. Red de la UCLV. Nodos

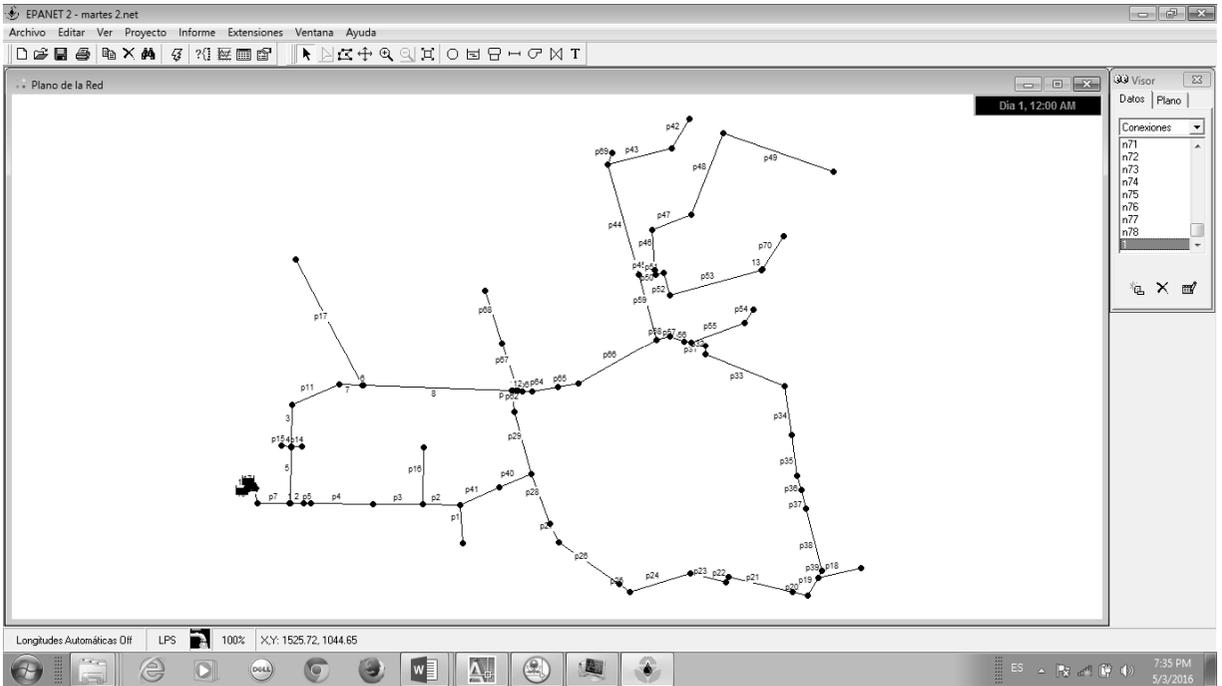


Figura 2.14. Red de la UCLV. Tuberías.

EPANET 2 - 01Epanet.net - [Tabla de Red - Lineas]

Archivo Editar Ver Proyecto Informe Extensiones Ventana Ayuda

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit m/km	Factor de Fricción	Veloc. de Reacción m/s/d	Estado
Tubería p1	0.90	0.01	0.00	0.041	0.00	Abierto
Tubería p2	0.90	0.01	0.00	0.040	0.00	Abierto
Tubería p3	4.90	0.07	0.02	0.027	0.00	Abierto
Tubería p4	5.90	0.08	0.03	0.025	0.00	Abierto
Tubería p5	5.90	0.08	0.03	0.026	0.00	Abierto
Tubería p7	43.68	0.62	1.18	0.018	0.00	Abierto
Tubería p8	43.68	0.62	1.18	0.018	0.00	Abierto
Tubería p11	35.05	0.50	0.78	0.019	0.00	Abierto
Tubería p14	2.00	0.03	0.00	0.033	0.00	Abierto
Tubería p15	2.73	0.04	0.01	0.031	0.00	Abierto
Tubería p17	1.00	0.01	0.00	0.040	0.00	Abierto
Tubería p18	0.90	0.01	0.00	0.041	0.00	Abierto
Tubería p19	9.13	0.13	0.07	0.023	0.00	Abierto
Tubería p20	9.13	0.13	0.07	0.023	0.00	Abierto
Tubería p21	9.13	0.13	0.07	0.023	0.00	Abierto
Tubería p22	9.13	0.13	0.07	0.023	0.00	Abierto
Tubería p23	9.13	0.13	0.07	0.023	0.00	Abierto
Tubería p24	9.13	0.13	0.07	0.023	0.00	Abierto
Tubería p25	9.13	0.13	0.07	0.023	0.00	Abierto
Tubería p26	9.13	0.13	0.07	0.023	0.00	Abierto
Tubería p27	9.13	0.13	0.07	0.023	0.00	Abierto
Tubería p28	9.13	0.13	0.07	0.023	0.00	Abierto
Tubería p29	9.13	0.13	0.07	0.023	0.00	Abierto
Tubería p30	12.13	0.17	0.11	0.022	0.00	Abierto

Longitudes Automáticas Off LPS 100% X,Y: 1493.10, 1722.70

Figura 2.15. Resultados. Tuberías.

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Factor de Fricción	Veloc. de Reacción m/s	Estado
Tubería p65	13.42	0.19	0.13	0.022	0.00	Abierto
Tubería p66	12.17	0.17	0.11	0.022	0.00	Abierto
Tubería p67	2.50	0.04	0.01	0.031	0.00	Abierto
Tubería p68	1.25	0.02	0.00	0.038	0.00	Abierto
Tubería p69	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	Abierto
Tubería p70	2.00	0.03	0.00	0.033	0.00	Abierto
Tubería 1	43.68	0.62	1.18	0.018	0.00	Abierto
Tubería 2	5.90	0.08	0.03	0.025	0.00	Abierto
Tubería 3	35.05	0.50	0.78	0.019	0.00	Abierto
Tubería 4	37.78	0.53	0.90	0.019	0.00	Abierto
Tubería 5	37.78	0.53	0.90	0.019	0.00	Abierto
Tubería 6	34.05	0.48	0.74	0.019	0.00	Abierto
Tubería 7	35.05	0.50	0.78	0.019	0.00	Abierto
Tubería 8	32.05	0.45	0.66	0.019	0.00	Abierto
Tubería 9	32.05	0.45	0.66	0.019	0.00	Abierto
Tubería 10	19.92	0.28	0.27	0.020	0.00	Abierto
Tubería 11	18.92	0.27	0.25	0.020	0.00	Abierto
Tubería 12	16.42	0.23	0.19	0.021	0.00	Abierto
Tubería 13	2.00	0.03	0.00	0.033	0.00	Abierto
Tubería 18	2.00	0.03	0.00	0.033	0.00	Abierto
Tubería 19	3.50	0.05	0.01	0.029	0.00	Abierto
Tubería 20	0.50	0.01	0.00	0.022	0.00	Abierto
Tubería 21	2.00	0.03	0.00	0.033	0.00	Abierto
Tubería 22	1.00	0.01	0.00	0.038	0.00	Abierto

Longitudes Automáticas Off LPS 100% X,Y: 1493.10, 1722.70

Figura 2.16. Resultados. Tuberías.

Conociendo los parámetros de la red puede modelarse el comportamiento de la misma, evaluando la presión y carga en los diferentes nodos del sistema. Es importante destacar que los parámetros que caracterizan la red serán en varios casos asumidos, pues no se conoce en todos los casos los diámetros de las tuberías y el material que las compone. De manera similar al no conocer el trazado exacto en algunos puntos se asumirá la demanda del sector en el nodo terminal, quedando para futuros trabajos precisar el trazado exacto de cada tubería.

Con esta herramienta computacional se podrá simular el comportamiento de la red para posibles situaciones como son: el cierre de válvulas, para cambiar la presión en el sistema, el funcionamiento del tanque elevado para estimar carga en los diferentes nodos, (funcionamiento del sistema en la década de los 80 y 90 cuando el agua llegaba por gravedad a todos los edificios), además de constituir una herramienta para los inversionistas para la toma de futuras soluciones en la rehabilitación de la red.

2.6 Conclusiones Parciales

Después de realizado el levantamiento del sistema de abasto de agua de la UCLV y con la elaboración de las bases para la confección del sistema de información geográfica y la modelación del mismo se arriban a las siguientes conclusiones parciales:

1. La planta potabilizadora de agua presenta un alto grado de deterioro.
2. Se crearon las bases para la confección de un Sistema de Información Geográfica para el procesamiento de datos de la planta física de la UCLV.
3. Se demuestra la validez del empleo de herramientas computacionales para la modelación de la red de abasto de agua de la UCLV.

Capítulo 3

Capítulo 3: Estudio de algunas problemáticas del sistema de abasto de agua de la UCLV .

3.1 Introducción

En este capítulo se realizan un grupo de recomendaciones para el mejoramiento del sistema de abasto de agua de la UCLV que pueden servir a los decisores en el momento de proponer las futuras inversiones, además de modelar con software EPANET la red hidráulica.

Inicialmente se proponen un grupo de medidas para mejorar el funcionamiento de la Planta Potabilizadora de Agua, la determinación de la demanda en función de la población y el diseño de la bomba de agua para satisfacer la demanda de los edificios de becados de la zona de Ciencias Agropecuarias.

Con la creación de un SIG, la definición de los datos que se procesan y la creación de un modelo que represente la red hidráulica de la UCLV se brinda una importante herramienta para el estudio y simulación del comportamiento del sistema de abasto de agua de la UCLV.

3.2 Recomendaciones para el mejoramiento de la planta potabilizadora de agua.

Como se describió anteriormente el abasto de agua a la UCLV proviene de la fuente Minerva-Ochoita, la cual presenta problemas de calidad desde el punto de vista químico. Existen trabajos precedentes (Albert (2014)) que realizan propuestas de intervención de esta planta que permitirían mejorar la calidad del agua. Por la complejidad de la reparación de la misma y la importancia de su funcionamiento, pudieran adoptarse medidas temporales para mejorar su funcionamiento. Desde el punto de vista químico, la manera en que se agrega cloro al agua no cumple ningún parámetro técnico, puede limpiarse el tanque de sedimentación, actividad que hace 8 años no se realiza y se pudieran cambiar las bombas existentes, por similares, debido a los años de explotación de las mismas.

Teniendo en cuenta las problemáticas detectados en la planta potabilizadora de agua, en visitas realizadas los 10 primeros días del mes de abril del 2016 y según lo expuesto en el epígrafe 2.3 de este trabajo se concluye que:

1. La infraestructura de la planta potabilizadora de la UCLV presenta un alto grado de deterioro, los equipos están trabajando a una capacidad superior a la de diseño y las instalaciones destinadas al tratamiento físico-químico en dicha planta no están

cumpliendo la función requerida, lo que evidencia la necesidad de remodelación de la planta.

2. A pesar de la situación de la planta, durante el tiempo de realización de los análisis, los parámetros físicos, químicos y microbiológicos evaluados en el efluente están dentro del rango establecido por la NC 827:2012, lo que evidencia la calidad de la fuente de abasto de agua y la intensidad del proceso de desinfección que se realiza.
3. Es necesario cambiar la estrategia para la desinfección, instalar dosificadores para el hipoclorito de sodio y aplicar la dosis idónea, de acuerdo a la demanda de cloro determinada.
4. Las alternativas propuestas para la remodelación de la planta potabilizadora por Albert (2014), basadas en el aumento de capacidad de la misma, así como la implementación adecuada de las operaciones de coagulación floculación y desinfección y cambio del esquema de filtración en uno de los casos, ofrecen soluciones que permiten garantizar una adecuada operación de la planta.

3.3 Volumen del tanque de almacenamiento.

En oportunidades, sobre todo en pequeños abastecimientos, el agua captada es conducida desde la fuente hacia un tanque, para luego ser bombeada hasta otro tanque de almacenamiento para posteriormente ser distribuida.

Dicho depósito debe estar ubicado entre la fuente donde se genera el agua y la bomba que la succiona. El depósito de succión, compensa la entrada de un caudal constante durante un tiempo “ t_s ” y la salida de un caudal constante durante un tiempo “ t_b ”.

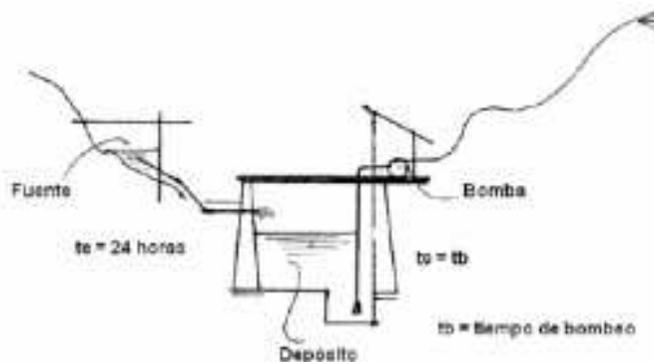


Figura 3.1. Gráfico de un depósito de agua.

Para calcular el volumen del depósito de succión o tanque de almacenamiento se puede seguir el siguiente procedimiento:

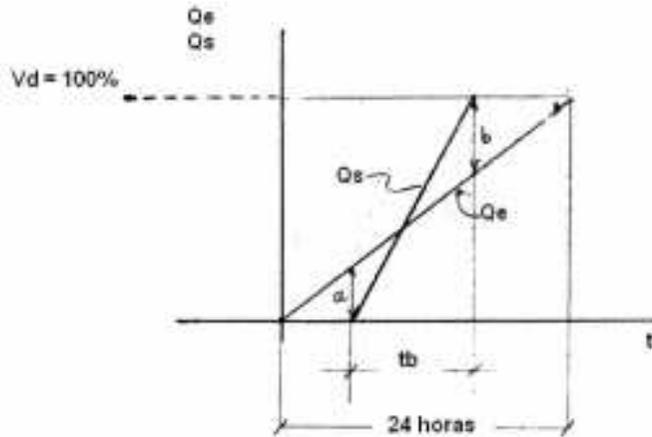


Figura 3.2. Esquema de Curva vs Demanda

Volumen de compensación $V_c = a + b$ Ec 3.1

Por semejanza de triángulos semejantes

$$\frac{V_d}{24} = \frac{V_d - (a+b)}{tb} \quad \text{Ec 3.2}$$

Despejando de esta expresión se obtiene que:

$$V_c = V_d \left(1 - \frac{tb}{24} \right) \quad \text{Ec 3.3}$$

donde:

V_c = volumen de compensación m^3 .

V_d = volumen del depósito m^3 .

T_b = tiempo de bombeo en horas.

Considerando esta expresión y para un tiempo de bombeo de 6 horas, el volumen del depósito es de $945 m^3$, (Considerando: Población de 6000 habitantes, dotación de 210 lppd según lo establecido en tabla 1 de la NC 973 – 2003, la demanda es de $1260 m^3$) por lo que solo se garantiza agua aproximadamente para medio (1/2) día, sin tener en cuenta reservas para operaciones como incendio o el abastecimiento a las instalaciones deportivas. Este resultado se

corresponde con el comportamiento real del sistema, cuando ocurren interrupciones con el suministro de la fuente Minerva-Ochoita no hay reserva para más de un día.

Tabla 3.1. Dotación en litros por habitantes al día (lppd).

Tamaño de la población en miles de habitantes	Según su uso				Total
	Doméstico	Comercial y público	Industrias locales	Propio del sistema	
Menos de 2.0	130	20	3	3	155
2.0-10.0	145	55	7	2	210
10.0-25.0	165	62	8	5	240
25.0-50.0	175	77	8	5	265
50.0-100.0	185	90	9	6	290
100.0-250.0	195	95	20	10	320
250.0-500.0	205	105	25	10	345
Más de 500.0	210	110	30	10	360

Nota: Esta tabla se corresponde con la NC 973-2003.

3.4 Sistema de abasto de agua en la residencia estudiantil de ciencias agropecuarias.

A continuación, se realiza el diseño de la bomba del sistema de abasto de agua del edificio C2 y C3 de la residencia estudiantil, que como se plantea en el capítulo 1 no logra abastecer de agua el 2do y 3er nivel, independientemente del llenado inicial de los tanques elevados.

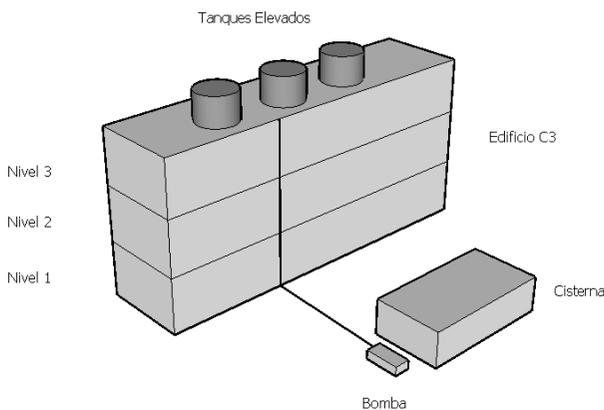


Figura 3.3. Esquema de abasto de agua a edificio C3.

Diseño de la bomba de la residencia en área de Ciencias Agropecuarias:

Paso 1: Cálculo de la demanda de agua (Según la NC 176:2002):

Tabla 3.2. Dotaciones.

Organismo	Actividad	Dotación(l/d)
MINED	Alumnos internos	180 l/d

Tabla 3.3. Cantidad de estudiantes en los edificios de beca.

Edificio	Cantidad de estudiantes
C2	300
C3	300
Total	600

Q_b =Cantidad de estudiantes x dotación

Donde:

Q_b =caudal de la bomba en l/d

Dotación=l/d

$Q_b=600 \times 180$

$Q_b=108000$ l/d

$Q_b=1.25$ l/s

Paso 2: Cálculo del caudal de la bomba en función del tiempo de bombeo:

-En 24 horas $Q_b=1.25$ l/s

-En 12 horas $Q_b=2.5$ l/s

-En 6 horas $Q_b=5$ l/s

Se tomó el caudal de 5 l/s y se realizó en un tiempo de 6 horas.

Paso 3: Cálculo de la tubería de succión:

Para tuberías de diámetro hasta 250 mm y la velocidad de flujo recomendada es de 0.7m/s -1m/s (Klimov 1984)

Para $v=0.7$ m/s

$$d = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times v}} \quad \text{Ec 3.3}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0.005}{\pi \times 0.7}} d = 0.095 \text{ m} = 95 \text{ mm}$$

Para $v=1$ m/s

$$d = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times v}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0.005}{\pi \times 1}} d = 0.075 \text{ m} = 79 \text{ mm}$$

Tubería de diámetro de 89 mm con espesor de 5 mm.

Paso 4. Cálculo de las pérdidas en los accesorios de la tubería de succión:

Válvula de retención de pie DN80 ($\phi 3in$).

$K=8$ k =coeficiente de pérdida (tomado del manual de Diseño de Tuberías Hídricas 2007).

Q =caudal en m^3/s .

V =velocidad en m/s .

D =diámetro en metros.

$$h = k \times \frac{v^2}{2 \times g} \quad \text{Ec 3.4}$$

$$h = 8 \times \frac{1^2}{2 \times 9.81} = 0.41m$$

$$v = \frac{4Q}{\pi \times d^2} \quad \text{Ec 3.5}$$

$$v = \frac{4 \times 0.055}{\pi \times 0.08^2} v = \frac{0.995m}{s} = 1m/s$$

Paso 5. Cálculo de las pérdidas:

Cálculo de las pérdidas del codo 90° .

$\Phi 89mm$ espesor de $5mm$ ($\Phi 3in$)

$K=0.14$

$$h = k \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

$$h = 0.14 \times \frac{1^2}{2 \times 9.81} = 0.007m$$

Diámetro de entrada de la bomba= $DN65$

Cálculo de las pérdidas del reducido $DN80$ a $DN65$:

$K=0.11$

$$v = \frac{4 \times 0.005}{\pi \times 0.065^2} = 1.51m/s$$

$$h = 0.11 \times \frac{1.51^2}{19.62} = 0.013m$$

Cálculo de las pérdidas por longitud en la tubería de succión utilizando la ecuación Williams-Hazen.

Longitud total= $4m$

$$h = \left(\frac{279064.57 \times Q}{C \times d^{2.63}} \right)^{1.85} \times L \quad \text{Ec 3.6}$$

$$h = \left(\frac{279064.57 \times 5}{100 \times 79^{2.63}} \right)^{1.85} \times 4 = 0.11m$$

Las pérdidas totales de la tubería de succión = $0.54m$

Cálculo de las pérdidas en la tubería de descarga:

Para las tuberías de diámetro hasta 250 mm y velocidad recomendada de 1m/s - 1.5m/s

Para $v=1\text{m/s}$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times v}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0.005}{\pi \times 1}} = 0.08\text{m} = 80\text{mm}$$

Para $v=1.5\text{m/s}$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times v}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0.005}{\pi \times 1.5}} = 0.065\text{m} = 65\text{mm}$$

Tubería de 2 pulgadas DN76 Y espesor de 5mm.

Cálculo de las pérdidas en la válvula de retención:

$$K=1.4$$

$$v = \frac{4 \times 0.005}{\pi \times 0.05^2} = 2.55\text{m/s}$$

$$h = 1.4 \times \frac{2.55^2}{19.62} = 0.46\text{m}$$

Cálculo de las pérdidas en la válvula de cierre de cuña:

$$K=0.11$$

$$h = 0.11 \times \frac{2.55^2}{19.62} = 0.036\text{m}$$

Cálculo de las pérdidas en la TE 90°:

$$K=1.5$$

$$h = 1.5 \times \frac{2.55^2}{19.62} = 0.5\text{m}$$

Cálculo de las pérdidas por longitud hasta la TE:

$$\text{Longitud total}=10\text{m}$$

$$h = \left(\frac{279064.57 \times Q}{C \times d^{2.63}} \right)^{1.85} \times L$$

$$h = \left(\frac{279064.57 \times 5}{100 \times 50^{2.63}} \right)^{1.85} \times 10 = 2.52\text{m}$$

A partir de este paso se divide el caudal hacia dos edificios (C2 y C3) y se continúa con la secuencia de pasos que se muestra.

Cálculo de las pérdidas en los codos de 90°:

$$k=0.14$$

$$v = \frac{4 \times 0.0025}{\pi \times 0.05^2} = 1.27\text{m/s}$$

$$h = 0.14 \times \frac{1.27^2}{19.62} = 0.012\text{m}$$

Cálculo de las pérdidas por longitud:

Longitud total =21m

$$h = \left(\frac{279064.57 \times Q}{C \times d^{2.63}} \right)^{1.85} \times L$$

$$h = \left(\frac{279064.57 \times 2.5}{100 \times 50^{2.63}} \right)^{1.85} \times 21 = 1.46m$$

Cálculo de las pérdidas a la salida de la tubería:

$$k=1$$

$$h = 1.0 \times \frac{1.27^2}{19.62} = 0.082m$$

Las pérdidas totales en la tubería de descarga=1.566m

Cálculo de la carga hidráulica de la bomba:

$$H_b = z + h_{ts} + h_{td}$$

donde:

H_b = carga hidráulica de la bomba en m.

H_{ts} = pérdidas totales en la tubería de succión en m.

H_{td} = pérdidas totales en la tubería de descarga en m.

Z = altura del agua en m.

$$H_b = 15m + 0.54 + 1.566m = 17.106m$$

Luego con las características se procede a escoger la bomba teórica.

- Q=5 l/s
- H_b=17.106m
- $\eta_b=70\%$
- η_b =eficiencia de la bomba teórica en %.
- n=3480 rpm
- N_b=3.7 KW
- N_b=potencia de la bomba en KW.

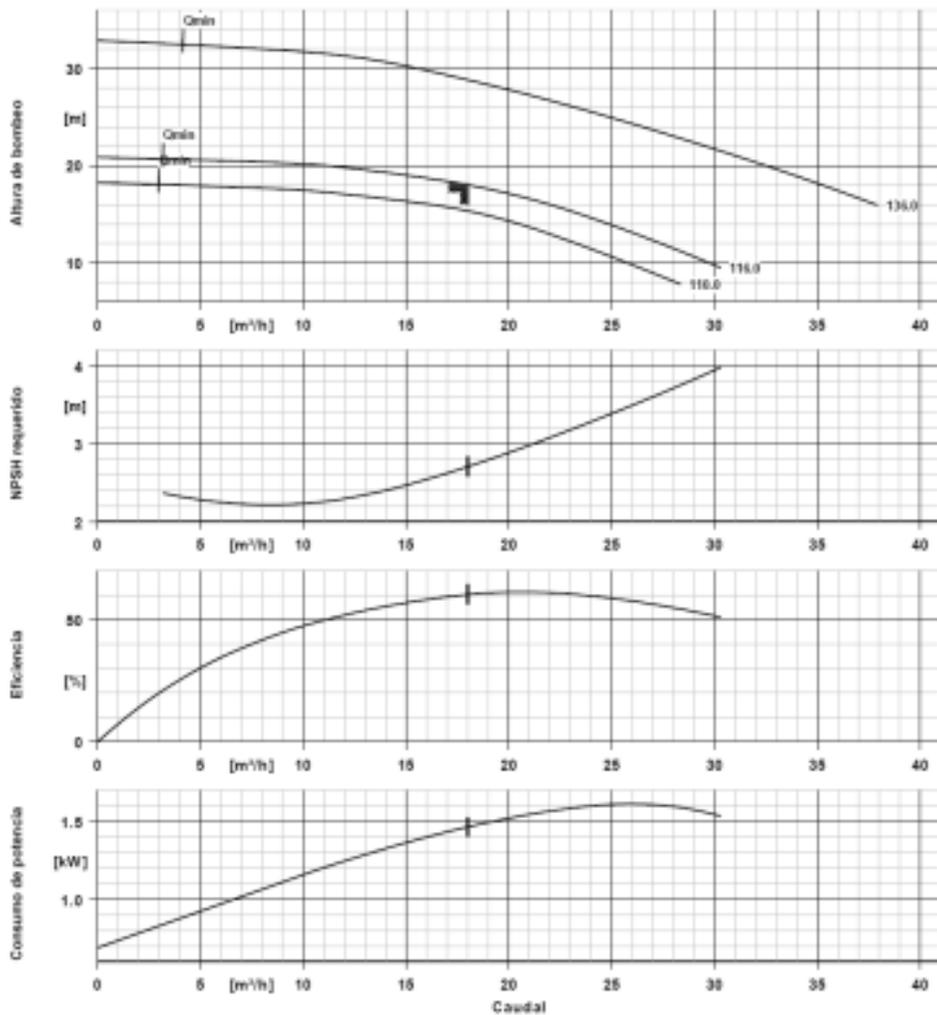


Figura 3.4. Datos de las curvas.

Tabla 3.4. Datos de la Bomba Seleccionada(Calpeda KSB 2012).

Velocidad de giro	3440 rpm
Densidad del fluido	998 kg/m^3
Viscosidad	1.00 mm^2/s
Corriente volumétrica	18.00 m^3/h
Caudal bombeado requerido	18.00 m^3/h
Altura de bombeo	18.04 m
Altura de bombeo requerida	18.0 m
Eficiencia	60%
Absorción de la potencia	1.47 kW
NPSH requerida	2.71
Número de la curva	K1212:400
Diámetro efectivo del rodete	116,0 mm

Modelo de la bomba: Etachorm BC 032-125.1/152 C10

Bomba monoblock KSB

3.5 Sistema de información geográfica para la Red de abasto de agua

La aparición de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha supuesto un avance importante dentro de los procesos innovadores en el ámbito de la gestión de las redes de distribución de agua y más en concreto en el tratamiento masivo de información ligada a un abastecimiento y los sistemas relacionados con la operación y explotación de la propia red de distribución.

Los SIG se han convertido en el núcleo de toda la información relacionada con las redes de suministro de las empresas que gestionan los abastecimientos de agua. La capacidad de los SIG para combinar la información geográfica con la información alfanumérica hace de éstos el soporte ideal para tareas de consulta, inventario, gestión de acometidas, gestión de averías, análisis de la demanda, etc.

En los últimos años se han realizado progresos muy importantes en el campo de la integración de los modelos matemáticos de las redes hidráulicas en el SIG, enriqueciendo así la información meramente inventariada para que pueda ser utilizada también en el proceso de toma de decisiones. Sin embargo, la información requerida en un SIG para llevar a cabo las tareas de gestión no es la misma que se necesita para confeccionar un modelo. De hecho, hay elementos que nunca se reflejarán en el modelo, como válvulas de corte, ventosas, purgas, etc., y en cambio puede faltar otro tipo de información relevante para los modelos como la rugosidad de las tuberías. Tampoco conviene reflejar en el modelo todas las tuberías almacenadas en el SIG, para evitar un exceso de información que pueda llegar a confundir posteriormente. Por otra parte, válvulas, bombas y otros elementos de regulación, representados de una forma simple en el SIG como elementos puntuales, resultan ser críticos para la confección de un modelo, siendo además sus características hidráulicas de funcionamiento a la entrada, distintas a las de salida.

El problema actual para la utilización de los modelos no reside tanto en la capacidad de simulación de éstos, como en la disponibilidad de los datos de partida, y en el filtrado y verificación de los mismos. La labor de toma y verificación de los datos en la construcción de los modelos ha sido siempre la más costosa, y por desgracia, tanto esfuerzo no ha servido, en general, más que para resolver los problemas más acuciantes en ese momento, ya que una red de distribución es algo dinámico y cambiante, y los datos tomados hoy quedan obsoletos en

pocos meses. En efecto, los elementos de regulación modifican su estado continuamente, la demanda varía día a día, el estado de las tuberías depende de las operaciones de mantenimiento y rehabilitación de las redes y pueden cambiar en cuestión de semanas, e incluso los trazados cambian también con el tiempo, aunque a más largo plazo, debido a la continua ampliación y mejora de las redes.

Para el caso objeto de estudio el SIG confeccionado como se analizó en el capítulo 2, contiene fundamentalmente información de las redes hidráulicas e instalaciones de la UCLV. Para el caso de los elementos de la Red los parámetros que los caracterizan son constante, no así para la población de las edificaciones que puede variar en los diferentes cursos académicos.

A continuación, se detallan las diferentes instalaciones de la UCLV y los valores nominales y reales de población, los que se deben actualizar con frecuencia anual.

Tabla 3.5. Edificios de Beca.

Edificio	Capacidad Nominal	Capacidad Real	Estado Constructivo	Observaciones
U1	320	400	Bien	Reparado 2010
U2	320	400	Mal	
U3	320	400	Regular	
U 9	500	0	Mal	
U 10	500	600	Regular	
U 11	500	500	Regular	Reparado 2011
900	900	1000	Regular	
C2	200	300	Regular	
C3	200	300	Regular	
C4	200	300	Regular	
C5	200	200	Bien	Reparado TCP
Totales	4160	4400		

Tabla 3.6. Edificios de Docentes.

	Edificio Docentes	Capacidad Nominal	Capacidad Real
1	Facultad Mat. Física y Computación.	700	800
2	Facultad Ciencias Sociales	1000	1200
3	Edificio de Tecnología	1000	1200

4	Facultad Construcciones	800	800
5	Facultad Ciencias Empresariales	600	800
6	Facultad Ciencias Agropecuarias	1000	1000
7	Facultad Eléctrica	800	1000
Totales		5900	6800

Tabla 3.7. Cocina – Comedor.

	Comedores	Capacidad Nominal	Capacidad Real
1	Comedor Central	4000	5500
2	Comedor Agropecuario	1200	1500
Totales		5200	7000

Tabla 3.8. Instalaciones no docentes.

	Área	Capacidad Nominal	Capacidad Real
1	Soldadura		
2	Hotel Los Sauces		
3	Almacenes		
4	Fundición		
5	Mecanización Agrícola		
6	Plantel Avícola		
7	Vaquería		
8	Plantel Porcino		
9	Planta Piloto		
10	Botánico		
11	Mantenimiento		
12	Nave Pienso		
13	Calderas		
14	Casa Bombas		
15	Cisterna		
16	Correo		
17	Planta Tratamiento		
18	Transporte		
19	Gasolinera		
20	Carpintería		

Nota: No se incluye la capacidad nominal y real por la fluctuación de personal y cambio de las funciones.

Tabla 3.9. Oficinas y otros.

	Área	Capacidad Nominal	Capacidad Real
1	Biblioteca	1000	4000
2	CBQ		
3	BP		
4	SEDER	4000	5000
5	CIAP	100	100
6	CEI	40	40
7	Relaciones Internacionales	20	20
8	Rectorado	100	100
9	Teatro	1000	1000
Totales		6260	10260

Como se puede apreciar la diversidad de instalaciones en la UCLV se asemeja a una ciudad con toda su infraestructura, debiéndose agregar un policlínico y más de 10 instalaciones de elaboración y venta de alimentos, lo que sin duda alguna complejiza el cálculo de la demanda. Por tal motivo se realizaron consultas con especialistas del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de Villa Clara, los que recomendaron para el caso de la modelación de red trabajar con valores globales y refinar los cálculos con valores que tengan en cuenta el valor puntual de la dotación.

Para caso de la red principal se trabajará con la siguiente estructura de datos:

Red Principal

Identificador	Diámetro	Material	Profundidad	Fecha Colocación	Estado técnico
I_D_ Tubería 1					

Red Secundaria

Identificador	Diámetro	Material	Profundidad	Fecha Colocación	Estado técnico
I_D_ Tubería 1					

Edificio Residencia Beca

Identificador	Población	Dotación	Altura	Cisterna	Tanque elevado
I_D_Nombre					

Edificio Docente

Identificador	Población	Dotación	Altura	Cisterna	Tanque elevado
I_D_Nombre					

Edificio no Docente

Identificador	Población	Dotación	Altura	Cisterna	Tanque elevado
I_D_Nombre					

Edificio Otros

Identificador	Población	Dotación	Altura	Cisterna	Tanque elevado
I_D_Nombre					

Edificio Cocina Comedor

Identificador	Población	Dotación	Altura	Cisterna	Tanque elevado
I_D_Nombre					

Edificio Planta

Identificador	UM	Dotación	Altura	Cisterna	Tanque elevado
I_D_Nombre					

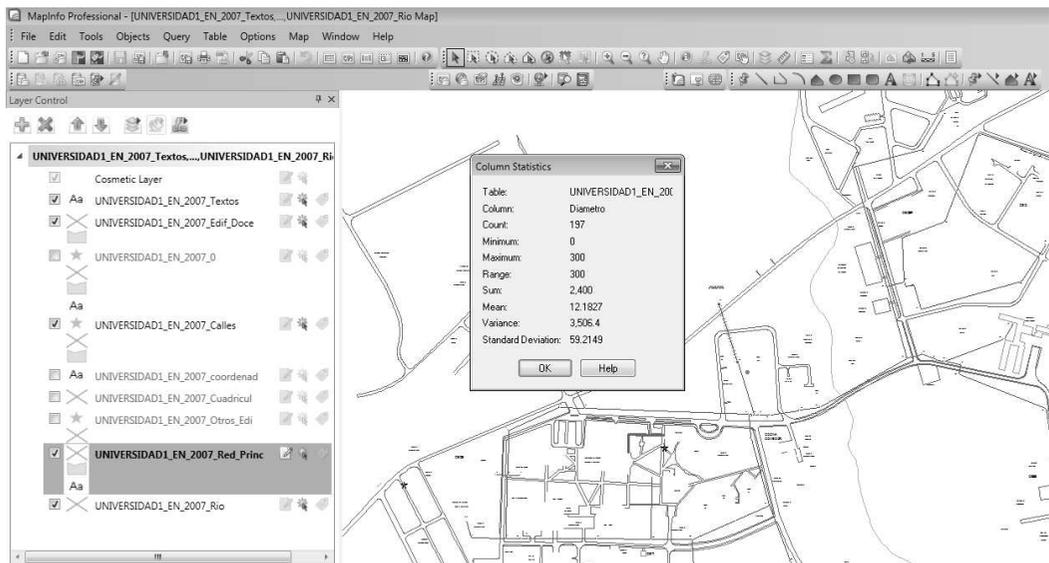


Figura 3.5. Resultados estadísticos de las tuberías.

Una vez elaborado el SIG con la información principal de las redes hidráulicas de la UCLV y las edificaciones, se puede exportar a EPANET la red hidráulica para modelar su comportamiento.

3.6 Simulación con el EPANET de la red de abasto de agua.

En el desarrollo de esta investigación se tuvo la posibilidad de trabajar con el Software WateGens vi8, que sin duda alguna reúne un grupo de potencialidades superiores al EPANET, sin embargo, para los objetivos del trabajo con el empleo de EPANET se puede resolver todos los casos, por lo que se utilizará el WateGens para verificar algunos resultados.

EPANET es un programa que puede, entre otras cosas:

- Crear Modelos Matemáticos de Sistemas de Distribución de Agua Potable de cierta complejidad (sin limitaciones en el tamaño), con miras no sólo al diseño de sus componentes sino también al estudio de condiciones operativas como el fallo de bombas, rotura de tuberías y calidad del agua.
- Facilitar la realización de cálculos iterativos que, de forma manual, tomarían una cantidad importante de tiempo, además de requerir de métodos o programas para la resolución de las ecuaciones hidráulicas. Igualmente, el programa se aplica para cualquier topología de red: Abierta, Cerrada o Mixta.
- Ofrecer resultados que pueden ser utilizados para el dimensionado y selección de componentes como Estanques, Válvulas de Control o regulación y Equipos de Bombeo en los Sistemas de Distribución de Agua Potable.
- Considerar diversas condiciones de demanda en la red, como en los casos de evaluar demandas máximas horarias o demandas máximas por incendio.

Para la simulación del comportamiento de la red de abasto de agua es necesario definir las regiones de la UCLV para definir la demanda base en los diferentes puntos.



Figura 3.6. Foto aérea de la UCLV (Google)

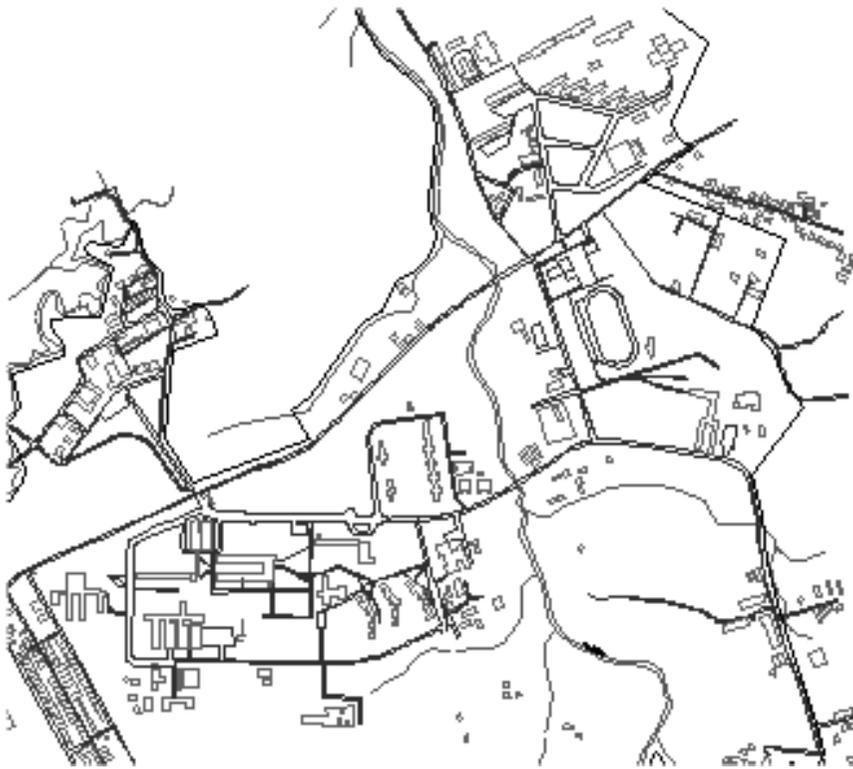


Figura 3.7. Plano de la UCLV.

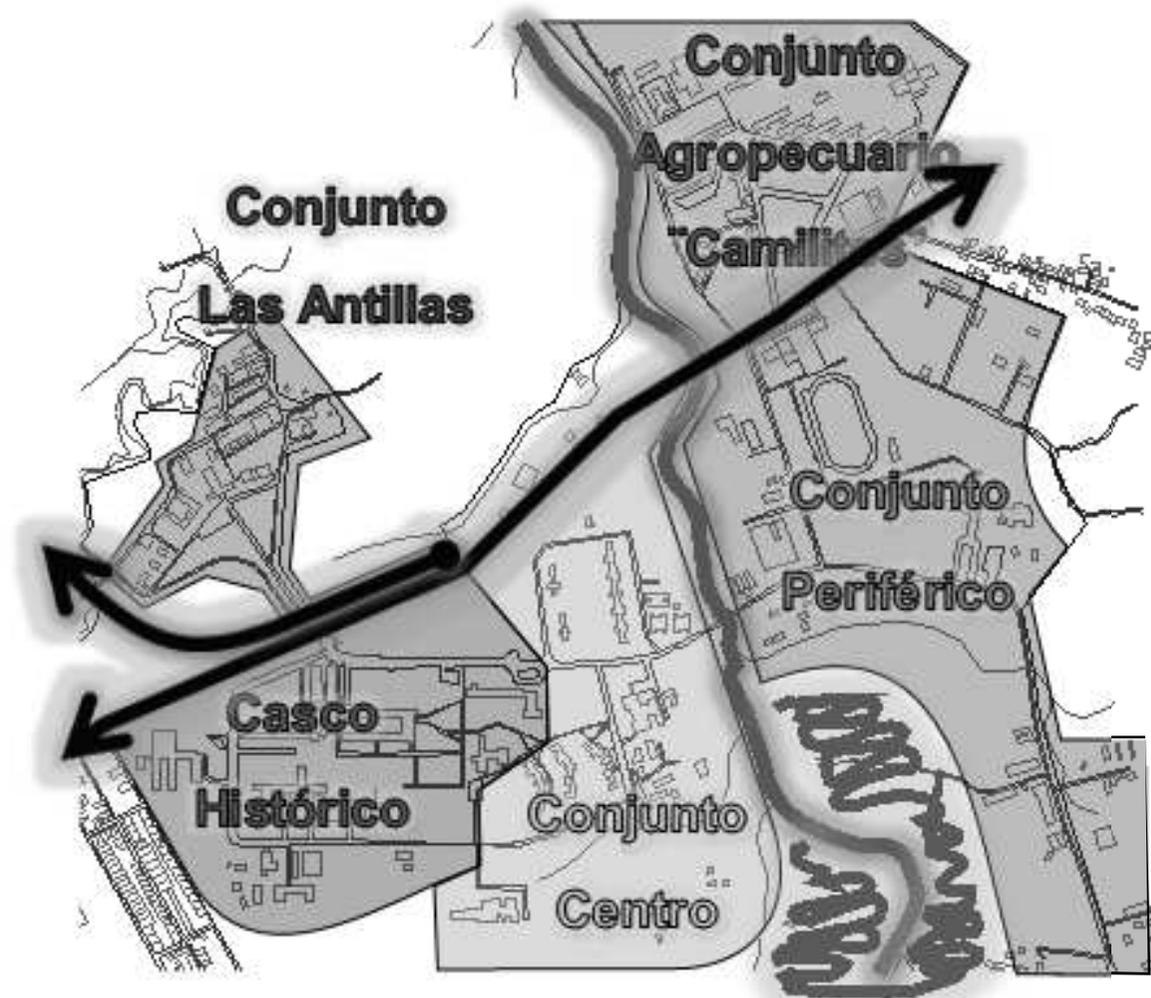


Figura 3.8. Sectorización Arquitectónica de la UCLV.

A partir de esta sectorización Arquitectónica procedemos al cálculo de las demandas, utilizando los valores propuestos por Norma Cubana 973-2003.

Tabla 3.10. Demanda de la UCLV.

Determinación de Demandas					
Sector	Unidades	Población	Dotación (lppd) NC 973 - 2003	Demanda (l)	Q (l/s)
Conjunto las Antillas	Casa 1	10	130	1300	0.02
	Casa 2	10	120	1200	0.01
	Conjunto 1	100	155	15500	0.18
					0.21

Casco Histórico	MFC	1000	13	13000	0.15
	Policlínico	6000	3	18000	0.21
	Policlínico/Sillón	3	200	600	0.01
	Transporte	50	50	2500	0.03
	CBQ	120	300	36000	0.42
	Sala Historia	100	5	500	0.01
	Facultades Zona Central	2500	13	32500	0.38
					1.19
Conjunto Centro	Rectorado	150	13	1950	0.02
	Teatro	1000	5	5000	0.06
	Comedor	4500	40	180000	2.08
	Becas	2500	100	250000	2.89
	Biblioteca	4000	0.6	2400	0.03
	Eléctrica	1200	13	15600	0.18
	Otros	400	13	5200	0.06
					5.33
Conjunto Periférico	Construcciones	900	13	11700	0.14
	Casa FEU	6000	27	162000	1.88
	CQA	50	200	10000	0.12
	Otros	100	13	1300	0.02
					2.14
Conjunto "Camilitos"	Comedor	1500	40	60000	0.69
	Becas	1500	100	150000	1.74
	Facultad	1000	13	13000	0.15
	Sauces	100	50	5000	0.06
	Edificios	200	90	18000	0.21
	IBP	200	300	60000	0.69
	Otros	100	13	1300	0.02
					3.56
	Cafeterías	6000	15	90000	1.04
	Restaurantes	6000	4	24000	0.28

	Casa Infantil	40	7.5	300	0.00
					1.32
Totales				1187850	13.74

Si comparamos el valor de demanda calculado, 1187857 litros (1187.85 m³) con la demanda determinada en el epígrafe 3.3, que se estimó en 1260 m³ (Según la NC 973 – 2003, para una población entre 2000 y 10000 habitantes), podemos apreciar que la diferencia es de 6%. Este resultado válido la propuesta de esta norma que estima la demanda de 210 lppd para esta población e indica que los datos a utilizar en el EPANET son correctos.

3.6.1 Simulación del sistema actual.

Para calibrar el modelo en base a una serie de medidas de caudal y presión tomadas en diversos puntos de la red en determinados instantes de tiempo, se recomienda primeramente llevar a cabo una '*macro calibración*' del modelo de forma manual, para obtener una mayor fiabilidad a la hora de interpretar y asumir resultados tras una simulación hidráulica. Los parámetros que se suelen ajustar a este fin son, fundamentalmente, rugosidades de tuberías, siempre y cuando aceptemos como válidos los datos de las cotas interpoladas y el reparto espacial de consumos. Con todo, el resultado final, será un modelo que nos permitirá efectuar un primer diagnóstico del estado de la red, así como llevar a cabo estudios posteriores sobre situaciones de emergencias y ampliaciones necesarias a corto, medio y largo plazo con ciertas garantías. (Bartolini 2013)

Para la simulación del sistema actual de redes hidráulicas de la UCLV, se parte de un grupo de datos generales, los cuales tienen los valores más cercanos a la realidad, obtenidos de consultas con especialistas, teniendo en cuenta la falta de datos de proyecto.

A partir de los datos que caracterizan la red presente en epígrafe 2.5, se puede crear el fichero de datos de entrada para que EPANET calcule la red. Será necesario que los siguientes datos se encuentren especificados:

Depósito

- cota a la que está situado (m)

Nodos de consumo:

- cota del nodo (m)

- caudal consumido (l/s)

Líneas o tuberías:

- nodos inicial y final de la línea
- longitud de la tubería (m)
- diámetro de la tubería (mm)
- rugosidad de la tubería (mm)

Bomba

- nodos inicial y final (m)
- Curva característica (Caudal (l/s))

Se parte de los siguientes datos generales:

Diámetros = 300 mm

Altura de los nodos de demanda = 12.5m

Demandas (en función de la sectorización arquitectónica)

Bomba: 48 l/s

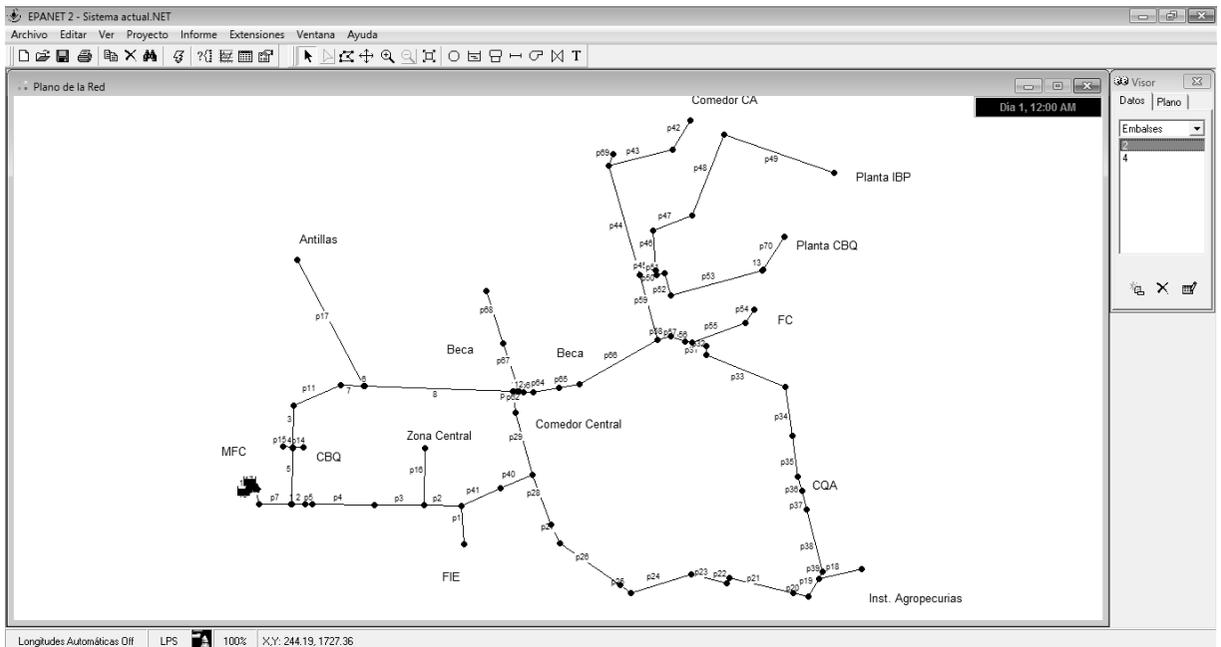


Figura 3.9. Vista del modelo de la red actual.

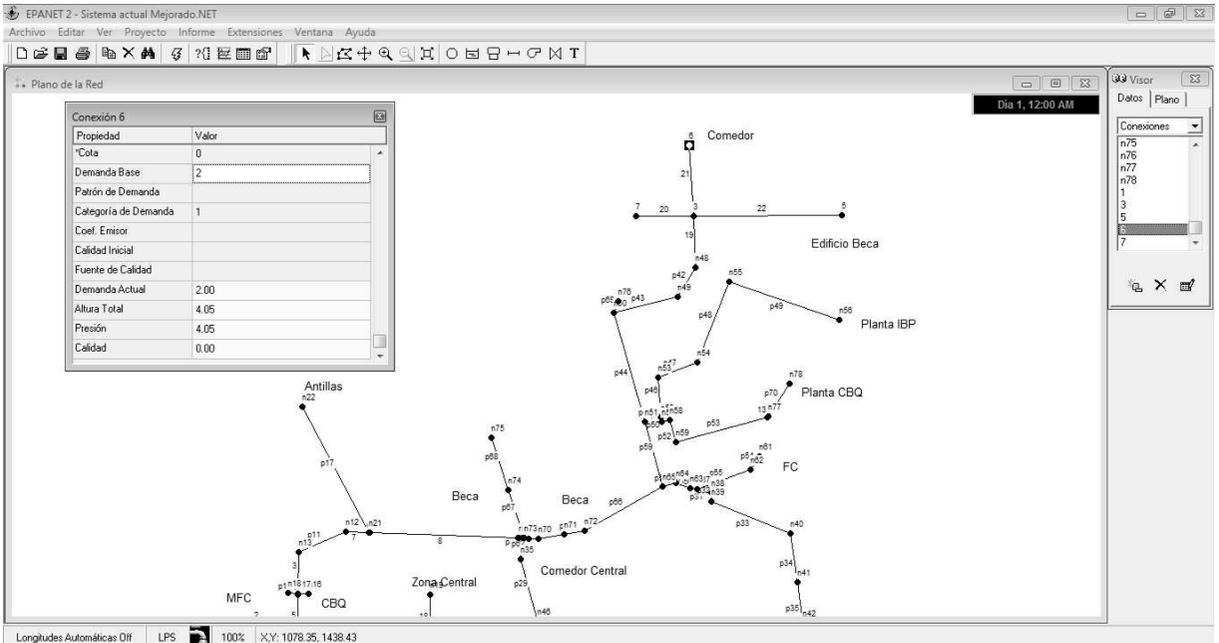


Figura 3.10 Entrada de datos. Valores característicos en los nodos.

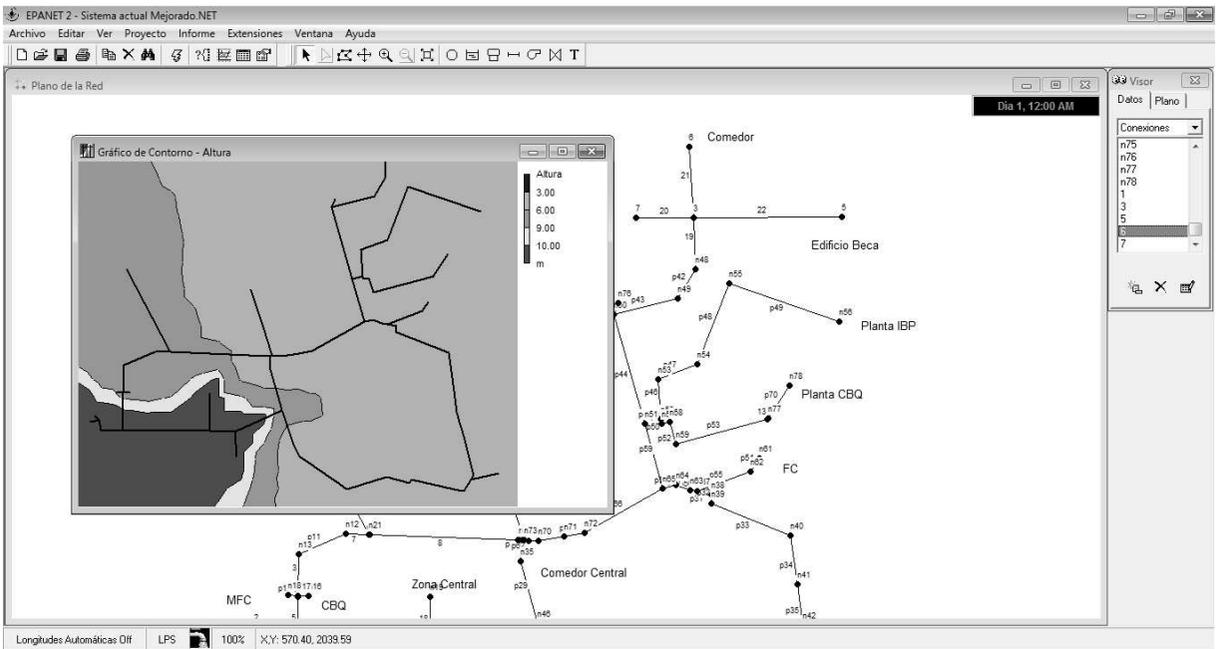


Figura 3.11. Isolneas que representan la altura del agua en los nodos.

Como se aprecia en la figura anterior en la medida en que nos alejamos de estación de bombeo la presión del agua disminuye lo que se corresponde con el comportamiento actual de la red. De todos es conocido que en la zona de Ciencias Agropecuarias y Construcciones no llega por gravedad el agua al 2do nivel por lo que es necesario utilizar bombas. No obstante, en consulta

con especialistas de Recursos Hidráulicos se propone tener en cuenta las posibles fugas de agua tanto en las redes como en el interior de las instalaciones.

En los últimos meses con la reparación de la red principal en la zona central han aumentado las presiones, sin embargo, el número de salideros en Construcciones y Ciencias Agropecuarias se ha incrementado.

En la realización de este trabajo se tuvo la oportunidad de trabajar con el software WaterGens que interactúa con el EPANET al permitir importar y exportar ficheros en formato de EPANET. A manera de ejemplo se representan algunos resultados de este software que son similares a los obtenidos con el EPANET.

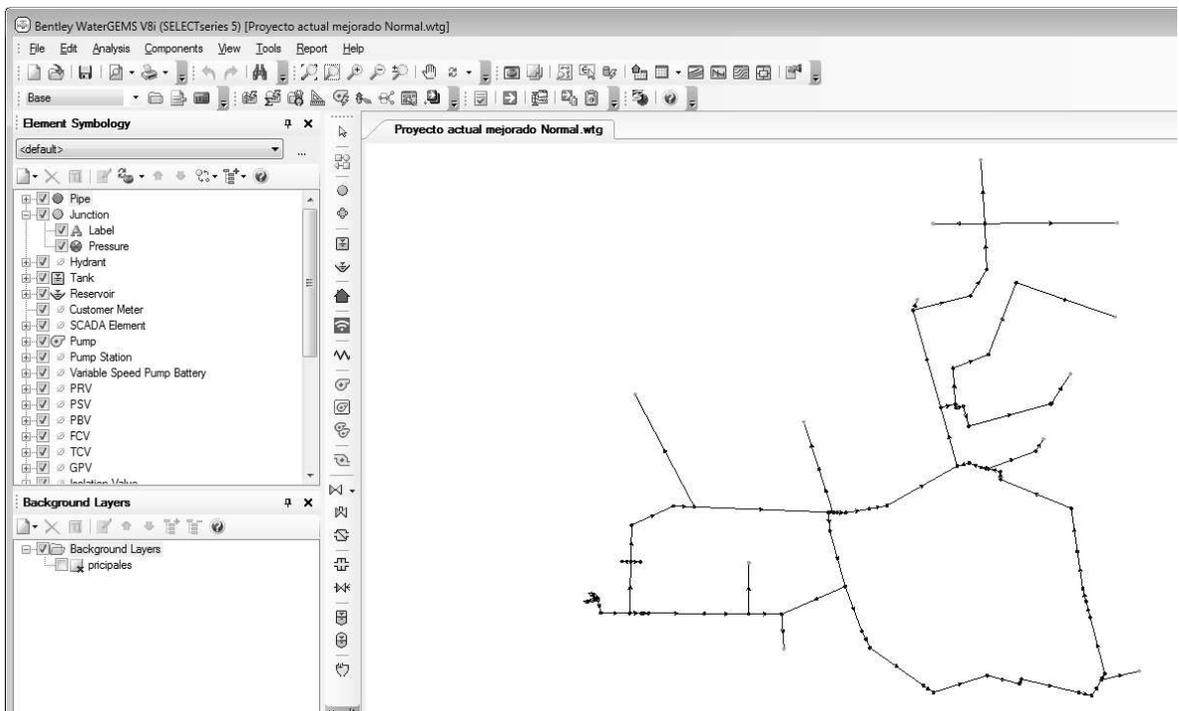


Figura 3.12. Modelo con el software WaterGens

3.6.2 Simulación del sistema con el funcionamiento del tanque elevado

Durante muchos años en el sistema funcionaba un tanque elevado tipo hongo el cual garantizaba de manera estable el abasto a todas las instalaciones de la UCLV durante más de 20 horas. Por razones de falta de mantenimiento y años de explotación dicho tanque elevado hoy no funciona

y se bombea el agua directamente a la red. El objetivo de este epígrafe es evaluar el comportamiento de la red si este tanque funcionara y el sistema de bombeo lograra satisfacer la demanda.

Para la modelación de este problema se colocó un tanque elevado en el nodo 29 a partir de este paso se comprueba la variación de los principales parámetros en el sistema. Destacar en este análisis que varios nodos no cumplen las recomendaciones de las normas que fijan que en los edificios la presión debe ser mayor que 24 metros y que 14 metros en otras instalaciones.

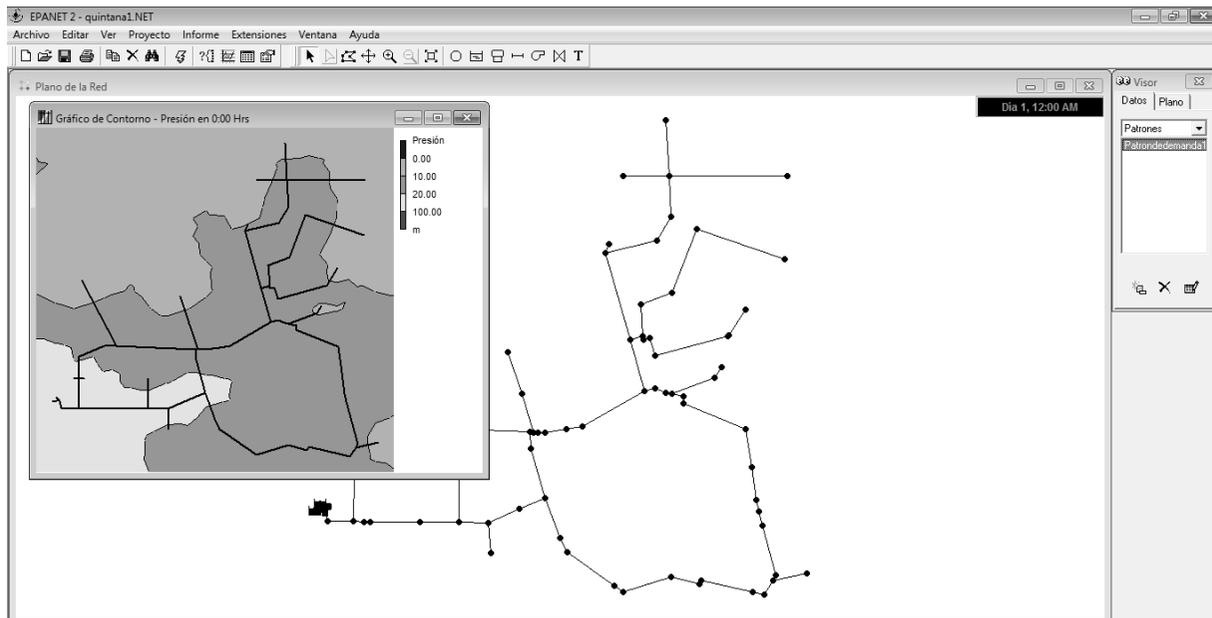


Figura 3.13. Isolíneas que representan la altura del agua.

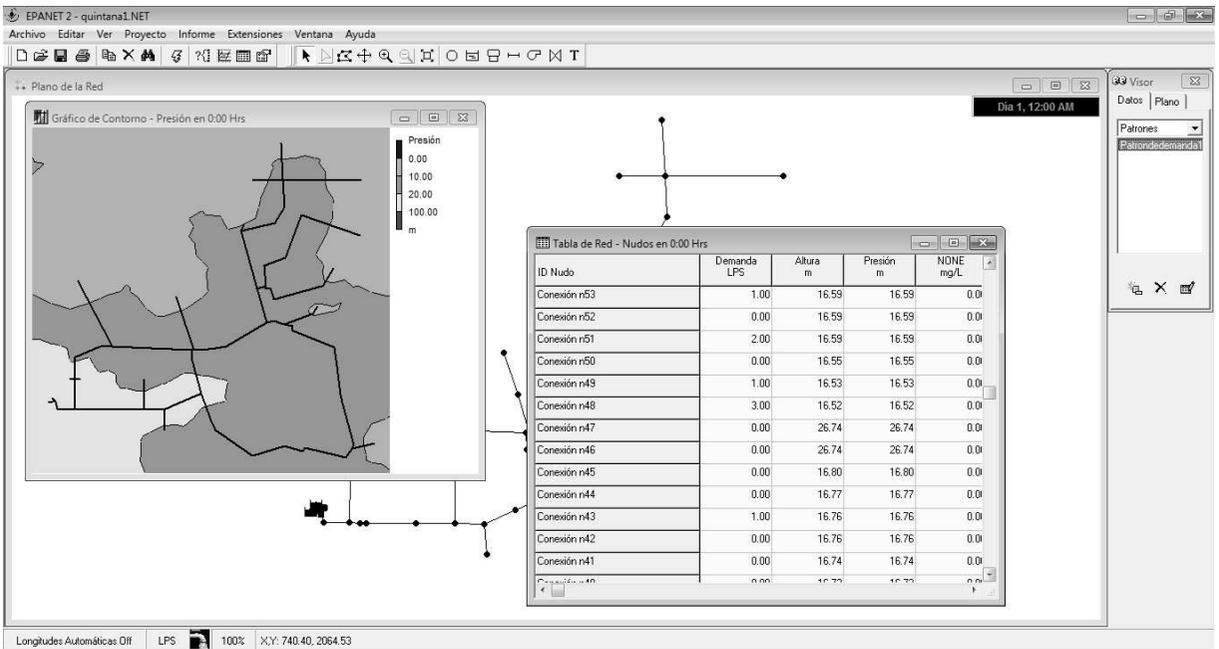


Figura 3.14. Resultados en los nodos.

En figura 3.14 los valores de presión se duplican prácticamente y se logra que por gravedad llegue el agua a todas las instalaciones de la UCLV. Este resultado está en correspondencia con el comportamiento de la red cuando el tanque elevado cumplía su función y no era necesario utilizar bombas en la zona de Ciencias Agropecuarias. Evidentemente debido a las grandes fugas de agua que existen en la actualidad es necesario evaluar esta situación para obtener resultados fiables.

3.6.3 Simulación del sistema con régimen extendido.

En este último modelo se determina el régimen de funcionamiento en periodo extendido (a lo largo de 24 horas) de la red ya estudiada en los epígrafes anteriores. Se aprovechará entonces la posibilidad que ofrece EPANET de variar determinadas magnitudes, en este caso los consumos en los nodos, asociando una curva de modulación o patrón, es decir, una curva de carga diaria.

En términos generales, las características iniciales de la red se verán alteradas de la siguiente manera:

- La demanda de los nudos deja de ser un valor constante, siendo multiplicada por el coeficiente modulador de la demanda según la curva de modulación. De este modo el consumo adoptará valores distintos según la hora del día.

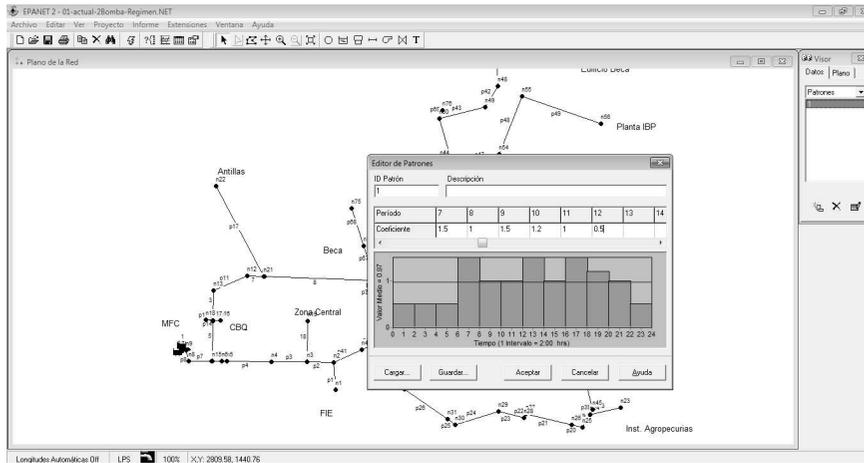


Figura 3.15. Modelación del régimen extendido en el EPANET

EPANET 2 - 01-actual-2Bomba-Regimen.inp - [Tabla de Evolución - Nudo n

Tiempo Horas	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad
0:00	1.50	58.98	58.98	0.00
1:00	1.50	58.98	58.98	0.00
2:00	1.50	58.98	58.98	0.00
3:00	1.50	58.98	58.98	0.00
4:00	1.50	58.98	58.98	0.00
5:00	1.50	58.98	58.98	0.00
6:00	4.50	51.10	51.10	0.00
7:00	4.50	51.10	51.10	0.00
8:00	3.00	56.00	56.00	0.00
9:00	3.00	56.00	56.00	0.00
10:00	3.00	56.00	56.00	0.00
11:00	3.00	56.00	56.00	0.00
12:00	4.50	51.10	51.10	0.00
13:00	4.50	51.10	51.10	0.00
14:00	3.00	56.00	56.00	0.00
15:00	3.00	56.00	56.00	0.00
16:00	4.50	51.10	51.10	0.00
17:00	4.50	51.10	51.10	0.00
18:00	3.60	54.27	54.27	0.00
19:00	3.60	54.27	54.27	0.00
20:00	3.00	56.00	56.00	0.00
21:00	3.00	56.00	56.00	0.00
22:00	1.50	58.98	58.98	0.00
23:00	1.50	58.98	58.98	0.00

Longitudes Automáticas Off LPS 100% X,Y: 1292.71, 1452.41

Comedor Central

EPANET 2 - 01-actual-2Bomba-Regimen.NET - [Tabla de Evolución - Nudo r

Tiempo Horas	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad
0:00	0.45	58.94	58.94	0.00
1:00	0.45	58.94	58.94	0.00
2:00	0.45	58.94	58.94	0.00
3:00	0.45	58.94	58.94	0.00
4:00	0.45	58.94	58.94	0.00
5:00	0.45	58.94	58.94	0.00
6:00	1.35	50.85	50.85	0.00
7:00	1.35	50.85	50.85	0.00
8:00	0.90	55.88	55.88	0.00
9:00	0.90	55.88	55.88	0.00
10:00	0.90	55.88	55.88	0.00
11:00	0.90	55.88	55.88	0.00
12:00	1.35	50.85	50.85	0.00
13:00	1.35	50.85	50.85	0.00
14:00	0.90	55.88	55.88	0.00
15:00	0.90	55.88	55.88	0.00
16:00	1.35	50.85	50.85	0.00
17:00	1.35	50.85	50.85	0.00
18:00	1.08	54.11	54.11	0.00
19:00	1.08	54.11	54.11	0.00
20:00	0.90	55.88	55.88	0.00
21:00	0.90	55.88	55.88	0.00
22:00	0.45	58.94	58.94	0.00
23:00	0.45	58.94	58.94	0.00

Longitudes Automáticas Off LPS 100% X,Y: 740.49, 1720.37

Facultad de Construcciones

Figura 3.16. Resultados del EPANET

En la figura 3.16 aparecen listados los resultados para un régimen extendido de 24 horas. Podemos señalar que de comportarse el sistema de esta manera solo en el horario pico existe una sobredemanda en algunos nodos, pudiéndose refinar los cálculos ya que no necesariamente todas las instalaciones responden al mismo patrón de demanda (el comedor, la beca y los edificios docentes).

3.5 Conclusiones parciales

Una vez realizada un análisis de varios elementos que componen el sistema de abasto de agua de la UCLV, la confección de un SIG y la modelación de la red se arriban a las siguientes conclusiones parciales:

1. Existe un número de soluciones técnicas que pueden mejorar el funcionamiento de la planta potabilizadora de agua, abalado por los diferentes trabajos precedentes (Albert (2014) y Osorio (2009))
2. El empleo de la bomba KSB Etachorm BC 032-125.1/152 C10 en la residencia de Ciencias Agropecuarias garantiza el abasto de agua a los 3 niveles.
3. Lograr el funcionamiento del tanque elevado de UCLV garantizaría el abasto por gravedad a todos los nodos de la misma.
4. El sistema de información geográfica elaborado constituye una potente herramienta computacional, no solo para problemas hidráulicos sino también para la infraestructura de UCLV.
5. La aplicación de softw ares profesionales para la modelación de la red de abasto de agua es una herramienta efectiva que puede caracterizar el sistema.

*Conclusiones y
Recomendaciones.*

Conclusiones

En este trabajo se ha realizado un profundo estudio del sistema de abasto de agua de la UCLV. A continuación, se hace énfasis en aquellas conclusiones, que contienen el aporte más significativo del tema objeto de estudio:

1. Como resultado del levantamiento del sistema de abasto de agua se destaca un marcado deterioro en el sistema de abasto de agua en la UCLV.
2. A través de un grupo de soluciones técnicas pudiera mejorarse el sistema de abasto de agua, lo que aparece reflejado en el Capítulo 3 del trabajo.
3. Se elaboró un sistema de información geográfica de la UCLV con la base de datos de las redes hidráulicas y las principales instalaciones, que constituye una herramienta para permite la toma de decisiones para el mantenimiento de las redes hidráulicas y el sistema de abasto.
4. Con el empleo de herramientas computacionales como el EPANET / WateGens se modelo de manera detallada las redes de abasto de agua de la UCLV para su estudio y evaluación.

Recomendaciones

No obstante, los resultados obtenidos en esta investigación, todavía quedan varios aspectos del análisis y diseño del sistema de abasto de agua a la UCLV que deben ser trabajados con mayor profundidad. Como recomendaciones y futuras líneas de investigación que continúen la presentada en este trabajo se pueden destacar las siguientes:

1. Perfeccionar el SIG con la actualización de todos los campos de los diferentes objetos.
2. Realizar una modelación de red de abasto de agua de la UCLV con datos más precisos que incluya la red secundaria.
3. Evaluar la posibilidad de impartir a nivel de pregrado software como el EPANET o el WateGens por las potencialidades de los mismos.

Bibliografía

Bibliografía

1. ACEVEDO A., Antonio Caso (1976). Manual de Hidráulica. Prensa Técnica S.A. México X. Págs. 482-485.
2. AGBAR (2004): «Manuales de aplicaciones GIS de la División de Agua y Saneamiento», Grupo Aguas Barcelona, Barcelona, España.
3. Albert Brown, Robert (2014), "Análisis de alternativas para el tratamiento de agua en la Planta Potabilizadora de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas". Trabajo de Diploma. UCLV. 86 paginas
4. Amorós, M. N. (2012). Gestión de acueducto y alcantarillado mediante sistemas de información geográfica. Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Versión impresa ISSN 1680-0338. RIHA vol.33 no.3 La Habana sep.-dic. 2012
5. Auli, J (1990) «Elección del tipo de tubería más adecuado. Análisis de los factores que condicionan esta decisión», PP. 149 a 164 del libro Sistemas hidráulicos a presión. Ed. Generalitat Valenciana. Cancillería de Arquitectura y Pesca. Valencia.
6. Barranco, A., (2011), "Caracterización geotécnica del subsuelo de la zona sur del valle de México con aplicación a una obra de infraestructura", tesis de licenciatura FI-UNAM, México D.F.
7. Barredo, C. J. I. (1997) «Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación territorial». Editorial RAMA, Madrid, España, 1996.
8. Bartolini Ayala (2013). CONFECCIÓN DE MODELOS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA DESDE UN SIG Y DESARROLLO DE HERRAMIENTAS DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. 130 paginas
9. Belmonte y Núñez, (2006), "Desarrollo de modelos hidrológicos con herramientas SIG GeoFocus (Informes y comentarios), nº 6, pp.15 -27.
10. Bosch Fuentes, Patricia et al (2014). Calibración y simulación del sistema fuente para el abasto de agua del acueducto el Gato. Revista Ingeniería Hidráulica y ambiental
11. Bosque, J. (2000). «Sistemas de Información Geográfica», Ediciones Rialp, S.A, Madrid.
12. Cabrera, E. y García Serra, J. (1997): «Problemática de los abastecimientos urbanos. Necesidad de su modernización», Edición Unidad Docente Mecánica de Fluidos, Universidad Politécnica de Valencia, España.
13. Calpeda (2012). Catálogo de Bombas KSB. España.
14. Catedra de Mecánica de Fluidos (1987), Curso de ingeniería hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua, Ed. Instituto de Estudios de Administración Local (Madrid).
15. Colectivo de Autores (2005): «Manual de Caracterización de un GIS con aplicación en el registro de establecimientos industriales, suelos industriales y artesanía», Edición Fundación Instituto Tecnológico de Canarias, España.

16. Colectivo de Autores. Manual de diseño de Tuberías Hidráulicas (2007) CONAGUA. «Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento». Comisión Nacional del Agua, México, 2007.
17. CONAGUA. «Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento». Comisión Nacional del Agua, México, 2003.
18. CONAGUA. «Manual para el levantamiento de las redes hidráulicas en áreas urbanas». Comisión Nacional de Agua, Subdirección General de Construcción, Coordinación de Asuntos Fronterizos, México, 2005.
19. Conesa, C., (2005), “Tecnologías de la información geográfica: territorio y medio ambiente”, Murcia, España, Carmelo Conesa García (editor), primera edición, pp. 33-43.
20. CVIA (Centro Virtual de Información del Agua). (2010). Agua. Guía para Organismos Operadores. Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. IMTA. Disponible en: http://www.irta.gob.mx/compaps/images/stories/pdf/guia_para_organismos_operadores.pdf (acceso febrero 2013).
21. Gámez Pérez, Isidoro (2015) Análisis energético de la operación de redes hidráulicas en Matlab. Ciencia & Futuro V. 5 No. 3 Año 2015 ISSN 2306-823X
22. Gutiérrez, J., (1994), “Sistemas de información geográfica”, Madrid, España, Editorial Síntesis, 13-39, 225-234.
23. Herrera, M. (2011a). Improving Water Networks Management by Efficient Division into Supply Clusters. PhD Thesis, Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, España.
24. Huxhold, W.E. y Levinsohn, M. A. (2001): «Sistemas de Información Geográfica», Edición Universidad de Oxford, Nueva York.
25. Kingdom, B., Liemberger, R. and Marin, P. M. (2006). The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries. How the Private Sector Can Help: A look at Performance-Based Service Contracting. Washington, DC: The World Bank Group.
26. Klimov, B. (1984). Diseño de estaciones de bombeo.». Ediciones Rialp S.A., Segunda edición corregida, Madrid, España, 1997.
27. Lantada, Z. N. y Núñez, A. M.A. (2005) «Sistemas de Información Geográfica, Prácticas con Arc/View 3.2». Ediciones UPC, Editorial Alfaomega. Cantabria, España, 2005.
28. Lima (2004). Parámetros de diseño de infraestructura de agua y saneamiento para centros poblados rurales.
29. López Rodríguez, Abraham Segundo (2009). Metodología para evaluar los índices en un sistema complejo de un sistema de abastecimiento de agua.
30. López-Vázquez. Carlos M. et al (2013). Uso de aguas de segunda calidad en ciclo urbano para las condiciones cubanas. Revista Ingeniería Hdráulica y ambiental

31. Martínez F. B. y Sancho H. (2003) «Obtención de modelos hidráulicos de redes de suministro de agua desde SIG. Conexión ArcView - EPANET 2». XXIII Jornadas Técnicas de la AEAS. Salamanca, España. Actas de las Jornadas, PP. 293-310, 2003.
32. Martínez Rodríguez, José Bienvenido (2008). Comparación entre confiabilidad y tolerancia en las redes de abasto. Revista Ingeniería Hidráulica y ambiental
33. Martínez Rodríguez, José Bienvenido (2011). Demanda de diseño y confiabilidad en las redes malladas de abasto. Revista Ingeniería Hidráulica y ambiental
34. Martínez Rodríguez, José Bienvenido (2012). La economía de las redes cerradas de abasto (3ra parte). Revista Ingeniería Hidráulica y ambiental
35. Martínez Rodríguez, José Bienvenido (2013). Aplicación de modelo para la gestión ambiental de aguas subterráneas en la cuenca de Holguín. Revista Ingeniería Hidráulica y ambiental
36. Martínez, F. (2001) «Manual de Epanet 2.0 en español». Distribuido por internet. <http://es.scribd.com/doc/7751741/EPANET-2.0-en-español-Manual> , 2001.
37. Martins Alves, Carlos (2012). Dimensionamiento óptimo comparativo de red mallada de abasto. Revista Ingeniería Hidráulica y ambiental
38. Mayol, J.M (1981) Tuberías, Tomo I. Editores Técnicos Asociados. Barcelona.
39. Mayol, J.M (1983) Tuberías, Tomo III. Editores Bellisco. Madrid.
40. Mayol, JM (1983) Tuberías, Tomo II. Editores Técnicos Asociados, Barcelona.
41. MELGUZO B., Samuel (1994). Fundamentos de Hidráulica e Instalaciones de abasto en las edificaciones. Centro de Publicaciones Universidad Nacional Medellín. Quinta edición, primera parte, pág. 165, 318-326.
42. MÉNDEZ, M.V. (1995). "Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de agua". Universidad Católica Andrés Bello. Caracas. Venezuela.
43. Monzón Sánchez, Antonio, Hernández Pérez, Gilberto and Hernández Oro, Reina Maylin (2015) Gestión de innovación en empresas de base tecnológica del sector hidráulico cubano. RIHA, Abr 2015, vol.36, no.1, p.3-15. ISSN 1680-0338
44. Morales, D (2008). Metodología para abastecimiento de agua en regiones rurales, dentro del proceso inversionista. Tesis de Maestría. UCLV
45. Moreno, P., Molina, I. y Ormeño, S. (2002): «Sistemas de Información Geográfica», Edición UPM-CEPADE, Universidad Politécnica de Madrid, España.
46. Morrison, J., Stephen, T. and Rogers, D. (2007). District metered areas: Guidance notes. London: Water Loss Task Force. International Water Association (IWA).
47. NC 1021-2014: HIGIENE COMUNAL — FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA — CALIDAD Y PROTECCIÓN SANITARIA.
48. NC 176: Sistema de Abasto de agua en Edificios. Requisitos de Proyecto. Cuba. (2002)

49. NC 53-91 Determinación de la Demanda de Agua Potable en Poblaciones, Cuba. (1983)
50. NC 827: HIGIENE COMUNAL — FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA — CALIDAD Y PROTECCIÓN SANITARIA. 2012
51. NC: 93-02:85 Higiene Comunal. Agua potable. Requisitos sanitarios y muestreo.
52. NC: 93-11:86 Higiene Comunal. Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad y protección sanitaria.
53. NC 827:2012 Agua Potable — Requisitos Sanitarios (Obligatoria)
54. NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN S.200. Perú 2012
55. Normas de Diseño de Sistemas de Abastecimiento y Potabilización del Agua, Nicaragua 2008
56. Normas oficiales para la calidad del agua México (2004) NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO - LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION"
57. Odet Caridad Herrera Betancourt, Haydee Llanusa Ruiz (2016). Impacto del abasto a la desalinizadora de una planta de gas sobre un acuífero subterráneo. Revista Ingeniería Hidráulica y ambiental
58. Osorio Valero, Yaité (2013). Diagnóstico a la planta potabilizadora de la UCLV con vistas a mejorar la calidad del agua. Trabajo de Diploma. Facultad de Química – Farmacia. UCLV
59. Parra et al. (1997), "Sistemas de información geográfica base de la gestión ambiental", Medellín, Colombia, Primera edición.
60. Peña, J., (2006), "Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio" San Vicente Alicante, España, Editorial Club Universitario, tercera edición, pp. 1-6, 77-91.
61. Pilcher, R., Hamilton, S., Chapman, H., Field, D., Ristovski, B. and Stapely, S. (2007). Leak Location and Repair Guidance Notes. Londres: Operation and Management. IWA.
62. Pineda, J. (2012). Uso de los sistemas de información geográfica en la Ingeniería Civil. Tesis de Grado. Universidad Nacional autónoma de México, pp.68. México.
63. Purschel. W. (1981). Calidad de las aguas y su tratamiento.
64. Rajesh Gupta, Jitesh Vyas, Pramod R. Bhave. (2012). Comparación entre redes cerradas para varios modelos de distribución de flujo.
65. Rossman, L. (2000), «Epanet 2 User's Manual». USEPA. Cincinnati, USA.
66. SALDARRIAGA, J. G. 1998: Hidráulica de tuberías. D°VINNIL TDA, Colombia, 564 p.
67. Sánchez Cruz, Yoany and Amorós Núñez, Magaly (2012) Gestión del agua urbana mediante Análisis Espacial en los SIG. RIHA, Dic 2012, vol.33, no.3, p.58-71. ISSN 1680-0338
68. STREETER, V (1980).; BENJAMIN, E & BEDFORD, K. 2000: Mecánica de Fluidos. Novena ed. McGraw -Hill, Best Seller International, S.A., Santafé de Bogotá.

69. Thornton, J., Sturm, R. and Kunkel, G. (2008). Water Loss Control. New York: McGraw Hill.
70. Triviño, A. (2001), "Sistemas de información geográfica y modelizaciones hidrológicas, una aproximación a las ventajas y dificultades de su aplicación", boletín de la A.G.E, España, Nº 31, pp. 23-47.
71. Valls, J. (2002): «Sistemas de Información en Aguas de la Habana», Revista Aguas de la Habana, Número Especial, pp. 20, Empresa Aguas de la Habana, Cuba.

Fuentes de internet

http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guia/calde/2sas/d23/043_dise%C3%B1o_de_redes_de_distribuci%C3%B3n/dise%C3%B1o_de_redes_de_distribuci%C3%B3n.pdf

<http://personales.upv.es/rperez/C3-Fund.pdf>

https://instalacioneshs.files.wordpress.com/2008/08/manual_agua_potable.pdf

<http://www.waterlinks.org/sites/default/files/District%20Metered%20Areas%20Guidance%20Notes.pdf> (acceso agosto 3 - 2012).

<https://www.google.com.cu/#q=linea+conduccion+agua+potable>

http://www.imacmexico.org/ev_es.php?ID=23822_208&ID2=DO_TOPIC

http://www.imacmexico.org/ev_es.php?ID=27890_201&ID2=DO_COMMUNITY

Red de abastecimiento de agua potable - Wikipedia.

https://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_abastecimiento_de_agua_potable

La red de abastecimiento de agua potable es un sistema de obras de ingeniería, concatenadas que permiten llevar hasta la vivienda

Origen del agua · Impacto ambiental

[PDF]instrucciones técnicas para redes de abastecimiento - Emasesa

www.emasesa.com/.../Instrucciones-tecnicas-y-planos-para-redes-de-abastecimiento. Del Servicio de Abastecimiento Domiciliario de Agua Potable y Otras actividades. Apartado 4.1.- Se elimina la referencia a que su regulación se halla en.

Red de abastecimiento de agua potable - Arquitectura y construcción
www.arqhys.com/contenidos/red-agua.html

Sistema de abastecimiento de agua - Arquitectura y construcción
www.arqhys.com/contenidos/agua-sistema.html

El sistema de abastecimiento de agua se clasifica dependiendo del tipo de usuario, Red de Distribución: Es el conjunto de tuberías y accesorios [PDF]Criterios de Diseño para Redes de Agua - v6 Final - AySA

https://www.aysa.com.ar/Media/archivos/.../Guias_Criterios_Disenio_Redes_Agua.pdf

El abastecimiento de agua a cada consumidor se realiza por dos caminos como mínimo

[PDF]Normas para redes de abastecimiento. Versión 2012
https://www.canalgestion.es/es/.../Normas_redes_abastecimiento2012_CYIIG.pdf

[PDF]guía para el diseño de redes de distribución en sistemas - BV SDE
www.bvsde.paho.org/bvsacg/...de_redes.../diseño_de_redes_de_distribución.pdf

SISTEMAS RURALES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA. Objetivo: Establecer criterios para el diseño de redes de distribución de sistemas de agua.

[PDF]proyecto de un sistema de abastecimiento de agua potable
e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/5469/PFC_Jesus_Serrano_Alonso.pdf.

Proyecto de un sistema de abastecimiento de agua potable en Togo.
[PDF]Abastecimiento de Agua y Saneamiento. - Universidad de Castilla
www.uclm.es/profesorado/igarrido/tecnocooperacion/Modulo_4_ISF_vdef.pdf

Abastecimiento de Agua y Saneamiento. Tecnología para el Desarrollo Humano y acceso a los servicios básicos. Ignasi Salvador Villà (coord.) Eisenda Realp.

RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE
www.guadalajara.es/recursos/doc/normas/.../12519_3183182010124442.pdf

Elementos de la red de abastecimiento de agua. 2.3.1.-Tubos. 2.3.2.-Elementos de maniobra y control. 2.3.2.1.-Desagües. 2.3.2.2.-Ventosas.

Abastecimiento de Agua Potable - Scribd
<https://es.scribd.com/doc/53617183/Abastecimiento-de-Agua-Potable>

Abastecimiento de Agua Potable - Free download as Pow erpoint Presentation (.ppt), Se emplea un sistema de distribución de agua a través de redes

[PDF]Redes de Abastecimiento de Agua: Componentes Fundamentales
aulavirtual.usal.es/aulavirtual/demos/redes/modubs/Libros/.../transporte.PDF

Redes de Abastecimiento de Agua: Componentes Fundamentales en las Redes. Página 1 de 9.
SECCIÓN 3: TRANSPORTE, MANIPULACIÓN Y MONTAJE [PDF]diseño de la red de suministro de agua a una población . - RiuNet
https://riunet.upv.es/.../TFG%20COMPLETO_140433773645647957507040740453...

Origen del Agua potable para el abastecimiento urbano, tuberías que definen la red de Abastecimiento de Agua de la población.

[PDF]Equipos para control de redes de agua - Mejoras Energéticas
www.mejoras-energeticas.com/...redes/GENERAL%20ABASTECIMIENTO.pdf

Equipos para control de redes de agua. Servicio post-venta. Redes de abastecimiento o saneamiento, tuberías metálicas, etc.

[PDF]Redes de distribución.pdf
nanacamilpa.gob.mx/.../EspecificZTecnicaMANUALZDEZAGUAZPOTABLEZRedesZ...

El funcionamiento de las redes de distribución de agua potable. El abastecimiento de agua que en nuestros días conlleva el proveer a las localidades.

PROYECTOS DE ABASTO DE AGUA POTABLE - Eumed.net
www.eumed.net › Revistas › CCCSS

Se denomina sistema de abastecimiento de agua potable al conjunto de obras Redes. Conexiones domiciliarias. Tipologías de Proyectos de Agua Potable.

[PDF]manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado
www.uv.mx/ingenieriacivil/files/.../Manual-de-Diseño-para-Proyectos-de-Hidráulica.p..

Sistema de Alcantarillado: Red de atarjeas, Subcolectores

Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable

<https://prezi.com/.../diseno-del-sistema-de-abastecimiento-de-agua-potable-para-el/>

Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable.

[PDF]Recomendaciones para las instalaciones de abastecimiento de agua

<https://www.emalsa.es/.../12-recomendaciones-instalaciones-abastecimiento-agua-pota...>