

Universidad de Matanzas
“Camilo Cienfuegos”
Facultad de Ingenierías
Departamento de Química e Ingeniería Química



TRABAJO DE DIPLOMA

***Título:** Análisis de la calidad del agua potable y del sistema
hidráulico de la Universidad de Matanzas “Camilo
Cienfuegos”.*

Autor: Lidielis Quintana Mandiarote

Tutor: Dr.C Josefina del C .González Hernández

Matanzas, 2014

Nota de aceptación.

Presidente del Tribunal

Tribunal

Tribunal

Ciudad

Fecha

Calificación

Declaración de autoridad.

Declaro que soy la única autora de este Trabajo de Diploma y autorizo a la Facultad de Ingenierías de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, a que haga uso parcial o total del mismo.

Lidielis Quintana Mandiarote

Pensamiento.

“La naturaleza no ha podido formular una pregunta a la que no haya de dar al fin una respuesta”.

José Martí

Dedicatoria .

A mis padres, por conducirme siempre por el buen camino y brindarme su amor incondicional en todos los momentos de mi vida.

Agradecimientos.

A mis padres por apoyarme sin límites ni condiciones y hacer realidad todos mis sueños.

A mi novio por todo el amor que me muestra a diario y apoyarme para cumplir todas mis metas.

A mi tutora Josefina González Hernández por brindarme su dedicación, apoyo y conocimientos.

A la Facultad de Ingenierías y todo el claustro de profesores que la integran por haber sido parte de mi formación como Ingeniera Química.

A Yohandra de Armas y Mariela Almeida por su valiosa colaboración.

Al compañero Osmany Martínez López por su ayuda incondicional.

A los trabajadores de la empresa de Aprovechamiento Hidráulico de la Provincia de Matanzas, en especial a María Luisa Jiménez por proporcionarme los datos y normas necesarias para la realización de este trabajo.

A mis compañeros de aula en especial, Yailenys, Yisser y Alexis quienes me apoyaron en todo momento.

A mis vecinas Midalis y Danelis por ayudarme en los momentos necesarios.

A todas las personas que involuntariamente omití y que de una forma u otra contribuyeron con la realización y culminación de este trabajo.

A todas, muchas gracias.

Resumen.

El presente trabajo de diploma se realiza con el objetivo de analizar la calidad del agua de consumo en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, a partir del estudio del sistema hidráulico y el cumplimiento de la normativa que regula la calidad de este recurso. Se determina el consumo de agua mensual por actividad, obteniendo un valor de 18 766,33 m³/mes. Se realiza un análisis físico – químico y microbiológico del agua, que demuestra que la misma se encuentra contaminada por coliformes totales y fecales, nocivos para la salud del hombre. Se analiza el funcionamiento del sistema hidráulico, donde se selecciona una bomba ITUR 1740 rpm 125/315 con un diámetro de impelente de 290, una eficiencia de 75% y una carga de 31m para el sistema principal de bombeo; para los edificios de residencia estudiantil la bomba seleccionada tiene 19 m de carga es ITUR 1740 rpm 32/200 diámetro de impelente de 212 y una eficiencia de 50%. El estudio económico refleja que se gasta 3 001,56 \$/mes por concepto de pérdidas de agua. Además se plantea un plan de acción encaminado a minimizar el impacto ambiental por concepto de pérdidas de agua.

Summary.

The objective of this term paper is to analyze the quality of the consumers' water at "Camilo Cienfuegos" University in Matanzas, starting from the hydraulic system study and the accomplishment of the regulations for the quality of this resource. The monthly consumption of water, by activity, is determined obtaining a value 18 766,33 cubics metters per day. A physical chemical and microbiological analysis of the water was carried out; it showed that the water is contaminated by total and fecal coliformes, harmful for human health. The functioning of the hydraulic system was analysis selecting an ITUR 1740 rpm 125/315force pump with a 290 diameter, a 75% of efficiency and a 31m charge for the main pumping system; for the students' residence buildings the selected force pump was an ITUR 1740 rpm 32/200, 50% of efficiency a 212 diameter and a 19m charge. The economical study showed that 3 001,56 pesos are spent monthly, because of the waste of water. Also a plan of action was stated with the purpose of reducing the environmental impact because of the waste of water.

Índice.

Contenido	Pág.
Introducción.....	1
Capítulo I: Análisis bibliográfico.....	4
1.1 El Agua: definición y características.....	4
1.2 Calidad del agua potable.	6
1.3 Característica del agua de consumo.....	7
1.4 Principales contaminantes del agua.....	8
1.4.1 Causas de la contaminación del agua.	10
1.5 Tratamientos que mejoran la calidad del agua.	11
1.5.1 Método cal-soda.	11
1.5.2 Método de intercambio iónico.	12
1.5.3 Cloración.....	14
1.6 Estrategias internacionales para el manejo sustentable del agua.	15
1.6.1 Alternativas de gestión para el recurso agua.....	16
1.7 Situación actual del agua potable en Cuba.....	17
Conclusiones parciales del capítulo.	20
Capítulo II: Materiales y métodos.	21
2.1 Análisis del consumo de agua en la Universidad de Matanzas“Camilo Cienfuegos” (UMCC).....	22
2.1.1 Diagnóstico sobre el uso del agua en la UMCC.	22
2.1.2 Análisis de la red hidráulica de la UMCC.....	23
2.1.3 Análisis del Decreto Ley del INRH del 20 de noviembre de 1991.....	23
2.2 Análisis físico-químico y microbiológico en estudio.....	24
2.3 Cálculos hidráulicos para la selección de la bomba.....	25

2.3.1 Cálculo del flujo de agua para los edificios de residencia estudiantil.....	25
2.3.2 Selección de la bomba.....	26
2.4 Consideraciones económicas.	28
Capítulo III: Análisis de los resultados.....	31
3.1 Valoración del consumo de agua en la UMCC.	31
3.1.1 Resultado del diagnóstico sobre el uso del agua en la UMCC.	31
3.1.2 Resultado de la aplicación del Decreto Ley del INRH del 20 de noviembre de 1991.	32
3.2 Resultados del análisis físico-químico y microbiológico del agua de consumo en la UMCC.	34
3.3 Cálculos hidráulicos para la selección de la bomba.....	40
3.3.1 Cálculo del flujo de agua para los edificios de residencia.....	40
3.3.2 Selección de la bomba.....	41
3.4 Análisis económico.	49
3.5 Plan de acción.....	51
Conclusiones parciales del capítulo.....	54
Conclusiones.....	55
Recomendaciones.....	56
Bibliografía.	57
Anexos.	61

Introducción.

El agua es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. Es el medio en el cual evolucionaron de forma simple todas las especies del planeta, las plantas, los animales y el hombre.

El agua en su estado natural forma parte de los ríos, lagos y acuíferos. El resto está como agua salada que constituye los océanos en forma de disolución salina, lo cual la hace no útil para la actividad humana. La misma se encuentra en la corteza terrestre en un 97 % en mares y océanos y el 3 % en agua dulce. El agua salada sirve de medio para la vida marina y participa en el ciclo térmico de regulación de la temperatura en la Tierra. El agua dulce es la fuente de agua para el consumo humano. A pesar de la gran cantidad de agua, escasea el agua pura o útil para el hombre. La desalinización del agua salada se ha planteado como solución a esta escasez (El agua, 2005).

Para el hombre el agua tiene un valor económico, ecológico y cultural muy importante porque brinda diversos servicios. El acceso al agua potable se incrementa sustancialmente durante las últimas décadas. Sin embargo se estima que uno de cada cinco países en vías de desarrollo tendrá problemas de escasez de agua antes del 2030 (Crisis mundial del agua, 2005).

El agua es el recurso natural más importante para el desarrollo de la vida en la tierra, si ella enfrenta una crisis, ello también repercutirá en el desarrollo de la humanidad. El agua representa una parte esencial de cualquier ecosistema, tanto en cantidad como en calidad, la reducción del agua disponible puede traer efectos devastadores, para el medio ambiente natural, como también lo tiene la contaminación debido a las aguas residuales.

La calidad de las aguas es de suma importancia para la vida del hombre, en el aspecto higiénico-sanitario, económico, ambiental, social, estético o cultural. El consumo de las aguas contaminadas representa un riesgo para la salud de los seres humanos por lo que es necesario se regule el vertimiento de residuales a los cuerpos receptores.

En Cuba se identifican como problemas ambientales los siguientes: degradación de los suelos, afectaciones a la cobertura forestal, contaminación, pérdida de la diversidad biológica y carencia de agua. En tal sentido la política ambiental de cada territorio valora la implementación de acciones dirigidas a solucionar estos problemas, específicamente con relación al agua.

La Ley 81 en su artículo 8 define la política ambiental como las proyecciones y directivas principales que identifiquen las vías idóneas para preservar y desarrollar los logros ambientales alcanzados por la Revolución, superar los errores e insuficiencias detectadas e identificar los principales problemas del medio ambiente en el país, que requieren de una mayor atención en las condiciones actuales, sientan las bases para un trabajo más efectivo, en aras de alcanzar las metas de un desarrollo económico y social sostenible (Fernández-Rubio, 1999).

El presente trabajo de diploma, está encaminado a mejorar la calidad del agua de consumo en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” a partir del estudio del sistema hidráulico y el cumplimiento de la normativa que regula la calidad de este recurso.

En la comunidad universitaria recientemente se presentaron casos aislados diagnosticados por el personal de salud de la institución como Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA) siendo ello motivo de inquietud y preocupación para los estudiantes del centro. Una de las causas que pudiera estar incidiendo, en este sentido, es la calidad del agua de consumo. Es de señalar que en la regulación vigente no está estipulado que el agua, una vez que llega a la universidad, reciba ningún tipo de control por las entidades encargadas del mismo en la provincia.

Según la problemática que se deriva de la insatisfacción que se produce en la comunidad universitaria, por la insuficiente calidad del agua de consumo, el problema científico de la presente investigación se redacta en los términos siguientes:

Problema científico

¿Cómo mejorar la calidad del agua de consumo en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”?

Hipótesis

Si se conoce la composición físico-química y microbiológica del agua de consumo y el estado de la red hidráulica, se podrán proponer medidas para mejorar la calidad de este recurso.

Objetivo General

- Analizar la calidad del agua potable y evaluar el funcionamiento del sistema hidráulico de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.

Objetivos específicos

- Determinar la composición físico-química y microbiológica del agua potable de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.
- Analizar el funcionamiento del equipamiento asociado al sistema hidráulico de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.
- Proponer alternativas operacionales que garanticen el buen funcionamiento del sistema hidráulico de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.

Capítulo I: Análisis bibliográfico.

El medio ambiente es un sistema complejo y dinámico de interrelaciones ecológicas, socioeconómicas y culturales, que evoluciona a través del proceso histórico de la sociedad, abarca la naturaleza, la sociedad, el patrimonio histórico-cultural, lo creado por la humanidad, la propia humanidad, y como elemento de gran importancia las relaciones sociales y la cultura. El agua es uno de los recursos naturales fundamentales que integran el medio ambiente y es uno de los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo, junto con el aire, la tierra y la energía.

En el presente capítulo se abordan aspectos relacionados sobre la definición y características del agua. Es de gran utilidad que se conozca a través de una revisión bibliográfica aspectos referentes a la calidad del agua potable, tipos de contaminantes y tratamientos que se utilizan para su posterior utilización.

1.1 El Agua: definición y características.

Según Ramírez (2005) el agua es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. En su uso más común, se encuentra en estado líquido, pero la misma puede hallarse en forma sólida llamada hielo, y en forma gaseosa como vapor.

El agua cubre el 71% de la superficie de la corteza terrestre. En el planeta, se localiza principalmente en los océanos donde se concentra el 96,5% del agua total, los glaciares y casquetes polares tiene el 1,74%, los depósitos subterráneos en (acuíferos), los *permafrost* y los glaciares continentales suponen el 1,72% y el restante 0,04% se reparte en orden decreciente entre lagos, la humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos. Es posible encontrar agua principalmente en forma de hielo; de hecho, es el material base de los cometas, y el vapor compone la cola de ellos. (Berovidez, 2007)

Se considera que un agua potable es aquella que puede ser consumida en las cantidades deseadas, sin que ello implique ningún efecto contrario a la salud. La

Organización Mundial de la Salud (OMS) define la calidad para el agua destinada al consumo humano de la siguiente manera:

El agua para el consumo humano debe ser tan agradable como las circunstancias lo permitan. No debe contener microorganismos ni sustancias químicas a concentraciones que puedan amenazar la salud del hombre. Debe ser fresca, transparente e incolora y carecer de sabores u olores desagradables. (Díaz, 2006) Seoáñez (1999) plantea que el análisis de cualquier agua revela la presencia de gases, elementos minerales y elementos orgánicos en disolución o en suspensión. Estos elementos tienen un origen natural, rocas, suelo y aire, al que hay que añadir el procedente de las actividades de producción y consumo humano, que originan una serie de productos de desecho que son vertidos, depurados o no, a las aguas para su eliminación. Son precisamente la naturaleza y la cantidad de estos elementos constituyentes los que definen un agua y precisan o limitan su empleo para los diversos usos: agua potable, de uso doméstico, industrial, agrícola o recreativo.

El agua químicamente pura no es favorable al desarrollo de la vida; además, las aguas naturales tienen un grado de pureza muy variable que va desde las aguas procedentes de la fusión del hielo químicamente puras hasta las aguas pantanosas, muy cargadas de materia orgánica. (Diccionario de términos ambientales, 2008)

El agua potable tiene dos orígenes desde los cuales se suministran a las poblaciones: uno es de las aguas superficiales, como los ríos, lagos y embalses y el otro es de las aguas subterráneas a través de pozos y fuentes. (Custodio y Llamas, 2006)

Las aguas potables de consumo público son aquellas aguas no envasadas destinadas al consumo humano directo o incorporadas a productos alimenticios industriales. Han de cumplir los requisitos sanitarios de ausencia de contaminación microbiológica, parasitológica y química. Una de las principales formas de

obtención es por medio de fuentes superficiales o del subsuelo. Normalmente se somete a procesos de potabilización con cloro y ozono entre otros. (NC 827:2012) La autora considera que el agua es potable cuando cumple con los requisitos necesarios para su utilización y no ofrezca peligro, para la salud del hombre, por sus características físicas, químicas y biológicas.

1.2 Calidad del agua potable.

Existen dos conceptos implícitos en la definición de la calidad del agua:

- Calidad natural
- Calidad útil

La calidad natural es el conjunto de características físico – químicas y bacteriológicas que presenta el agua en su estado natural (temperatura, cantidad y tipos de sales en disolución, gases disueltos, contenido de microorganismos).

La calidad útil se define por las características físico – químicas y biológicas que exigen los diferentes usos del agua y que proporcionan un beneficio económico, social o psicológico al hombre. (Seoáñez, 1999)

La naturaleza físico-química del agua, así como su abundancia y distribución hacen de este compuesto químico, el más importante de todos los conocidos hasta el momento. El agua juega un papel primordial en el desarrollo de los seres vivos, es imprescindible para la higiene, tanto de los individuos como de un hábitad, así como para el desarrollo de los vegetales, además de estar asociado a una gran cantidad de minerales y rocas. Por lo que se puede decir que es el agua determinante de muchas de las características físicas, químicas y biológicas que imperan en el globo terráqueo, se puede afirmar que la misma es la base de la vida ya que sin su presencia y propiedades singulares, no sería posible la vida sobre la Tierra. (Mayol, 2008)

Las aguas superficiales y subterráneas adquieren una determinada composición física, química y bacteriológica natural, que depende de la fuente de origen, de la composición de las lluvias, la nieve o los ríos que las alimentan, de las rocas que constituyen los terrenos por donde discurren y de la actividad humana que se

desarrolla a lo largo de sus cursos. Esta calidad de las aguas, sin embargo, puede deteriorarse tanto por causas naturales como por el manejo inadecuado. Por ejemplo, un incremento en las concentraciones de nitratos pudiera resultar útil en la agricultura y no en el abastecimiento doméstico. Por ello existen normas, estándares y regulaciones, que expresan los límites tolerables o admisibles de un cierto componente para el medio ambiente, la industria, la agricultura o el hombre. (López, 2006)

Según los criterios anteriores, la autora de la presente investigación, considera que la calidad del agua se refiere a las condiciones en las que se encuentra respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano. El agua es de buena calidad cuando puede ser usada sin causar daño.

1.3 Característica del agua de consumo.

Según Hill (2006) el agua para que sea de consumo debe tener una serie de características; de ellas las más importantes desde el punto de vista higiénico son las físicas, las químicas y las biológicas. A continuación se detallan las mismas:

Características físicas:

- **Temperatura:** influye en su aceptación por el consumidor, puede afectar las reacciones químicas del tratamiento en épocas de temperaturas extremas.
- **Turbiedad:** es el contenido de gran cantidad de materia en suspensión, aparece fangosa o sucia, el material que provoca la turbiedad incluye arcilla, cuarzo, limo, materia orgánica finamente dividida y otras pequeñas partículas en suspensión.
- **Color:** se debe exclusivamente a las sustancias que están en disolución en el agua. De forma sencilla se define el color como la tonalidad más clara o más oscura que presenta el agua después de eliminarle toda la materia en suspensión.
- **Olor y Sabor:** son características que dependen de efectos subjetivos que ejercen sobre los órganos sensitivos del olfato y del gusto.

Características químicas:

Los elementos minerales que el agua obtiene en su recorrido, según el ciclo hidrológico, pueden alterar mucho su composición y hacerla incluso dañina a la salud.

Según las características químicas del agua de consumo, Hill (2006) clasifica las sustancias en:

1. Relacionadas con la potabilidad.
2. Causantes de perjuicios económicos. Se pueden considerar aquellas que provocan dureza y las que hacen corrosiva el agua.
3. Indicadores de contaminación, entre ellos se cita: cloruro, nitrato y nitrito, amonio, oxígeno consumido y otros.

Características biológicas:

Las bacterias que se pueden encontrar en las aguas son de muy diversos géneros, pero interesan en especial las patógenas, las coliformes y los estreptococcus, empleados como indicadores de contaminación.

1.4 Principales contaminantes del agua.

Se define como contaminación la presencia de uno o más contaminantes, o cualquier combinación de ellos que perjudiquen o resulte nocivo para uno o varios de los factores o componentes del medio. También se define como contaminante aquellas sustancias químicas, biológicas o radiológicas, en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o encontrarse por encima de sus concentraciones normales en cualquier elemento del medio ambiente altera su composición y condición natural. (Urbieta, 2005)

Gómez (2004) y Serrano (2006) plantean que los principales contaminantes de las aguas superficiales y subterráneas son:

- Materia orgánica.
- Nutrientes.
- Sólidos suspendidos.
- Metales pesados.

- Hidrocarburos.
- Sales.
- Sustancias químicas de diversa índole.
- Calor.
- Organismos patógenos.

Su comportamiento en las aguas depende, entre otras cuestiones, de sus características y las del cuerpo receptor. También las condiciones climáticas pueden tener una importante influencia, por ejemplo, la temperatura ambiente es un factor de alta incidencia en las reacciones químicas y procesos de biodegradación que tienen lugar en las aguas superficiales, así como en la estratificación y mezcla de las zonas superior e inferior de la columna de agua en los cuerpos receptores. (Manso, 2008)

Por su parte, las precipitaciones juegan un papel importante en el arrastre hacia las aguas de los contaminantes retenidos en el suelo, y contribuyen a la resuspensión en los cuerpos superficiales de aquellos acumulados en los sedimentos del fondo. (Ramos, 2009)

Los principales contaminantes del agua referidos por Ramos (2009) son:

- Agentes patógenos; bacterias, virus, protozoarios y parásitos que entran al agua proveniente de desechos orgánicos.
- Desechos que requieren oxígeno: los desechos orgánicos pueden ser descompuestos por bacterias que usan oxígeno para biodegradarlos. Si hay poblaciones grandes de estas bacterias, pueden agotar el oxígeno del agua y matar así las formas de vida acuática.
- Sustancias químicas inorgánicas: ácidos, compuestos de metales tóxicos (mercurio, plomo) que envenenan el agua.
- Nutrientes vegetales que pueden ocasionar el crecimiento excesivo de plantas acuáticas que después mueren y se descomponen, agota el oxígeno del agua y causan la muerte de las especies marinas.

- Sustancias químicas orgánicas: petróleo, plástico, plaguicidas y detergentes que amenazan la vida.
- Sedimentos o materia suspendida: partículas insolubles de suelo que enturbian el agua y constituyen la mayor fuente de contaminación.
- Sustancias radioactivas que pueden causar defectos congénitos y cáncer.
- Calor: ingresos de agua caliente disminuyen el contenido de oxígeno y hace a los organismos acuáticos muy vulnerables.

Después de analizados los principales contaminantes de las aguas la autora plantea que la contaminación de las aguas, ya sean superficiales o subterráneas, no es más que la presencia de contaminantes en cantidad y tiempo suficientes para provocar efectos adversos a la salud humana y a la calidad ambiental de los ecosistemas. Señala que la disponibilidad de agua potable para el consumo humano, para la agricultura, la ganadería y la industria requiere que se adopte una actitud responsable.

En este sentido, Iturralde (2011) refiere algunas medidas adecuadas entre las que resalta el ahorro de agua, evitar la contaminación de las aguas de ríos y embalses con residuos líquidos o basura orgánica e inorgánica, evitar la fuga de combustibles y productos químicos desde los tanques y contenedores soterrados entre otras.

1.4.1 Causas de la contaminación del agua.

La contaminación del agua se debe al crecimiento demográfico, desarrollo industrial y urbanización. Estos tres factores evolucionaron rápidamente y se dan uno en función de otro. En décadas recientes los lagos, ríos y mares, se contaminan más debido a las actividades humanas. Las fuentes de contaminación del agua pueden ser naturales o artificiales, la contaminación natural la genera el medio ambiente, y la artificial el ser humano. (Castro De Doens, 2006)

El agua contaminada es aquella agua a la que se le incorporaron materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales o de

otros tipos, o aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos. (Jorrín, 2012)

Es criterio de la autora que las fuentes de contaminación de las aguas más importantes son la agricultura, la ganadería, la industria y los residuales urbanos y domésticos. Los cambios demográficos y la carga contaminante derivada de la concentración de la población en las ciudades, resulta en la actualidad uno de los problemas más graves de contaminación de las aguas.

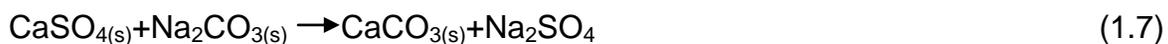
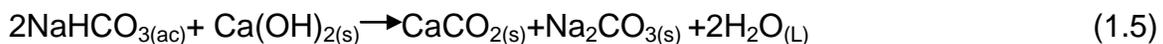
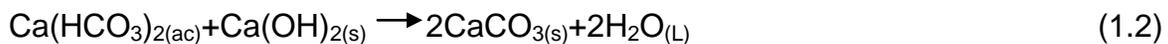
1.5 Tratamientos que mejoran la calidad del agua.

El agua potable no es más que el agua bebible en el sentido que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades. Por lo cual es de suma importancia realizar un tratamiento de potabilización al agua antes del consumo. Los principales tratamientos que se utilizan son precipitación química, intercambio iónico y tratamientos con la utilización de membranas. (Aguamarket, 2010)

1.5.1 Método cal-soda.

Díaz (2006) refiere que el ablandamiento del agua por el proceso cal-soda es el método más antiguo que se conoce, se basa en la precipitación del calcio y el magnesio presentes mediante formación de carbonato de calcio (CaCO_3) y de hidróxido de magnesio $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Este proceso se puede realizar en medio caliente o frío, donde el calor actúa como catalizador.

Las reacciones químicas que tienen lugar durante el proceso son las siguientes:



Como se aprecia, el objetivo es transformar todo el calcio y el magnesio a carbonato de calcio e hidróxido de magnesio, muy poco solubles.

Después del ablandamiento lo que quedará fundamentalmente en disolución será sulfato y cloruro de sodio en concentraciones no objetables.

En la práctica se suele añadir un exceso de hidróxido de calcio para aumentar el pH hasta valores superiores a 10,4 y de esta manera facilitar la precipitación posterior del hidróxido de magnesio ($Mg(OH)_2$). El proceso de cal-soda se realiza en la industria usualmente en tanques con agitación o reactores. (Harvey, 2005)

Existen mecanismos de origen natural que contribuyen a disminuir la dureza del agua, un ejemplo de ello es el uso de plantas acuáticas, cuyo sistema radicular contribuye a disminuir el contenido de calcio y magnesio. (González, 2010)

1.5.2 Método de intercambio iónico.

El intercambio iónico es un proceso donde los cationes que se mantienen unidos en grupos funcionales sobre la superficie de un sólido por fuerzas electrostáticas se intercambian por iones de una especie diferente en disolución. Este procedimiento ha llegado a ser notablemente importante en el campo del tratamiento del agua (Díaz, 2006).

Existen dos tipos básicos de intercambiadores iónicos, catiónicos y aniónicos:

Intercambiadores catiónicos: las resinas de intercambio catiónico intercambian los cationes de una disolución, por iones sodio (ciclo del sodio) o por iones hidrógeno (ciclo del hidrógeno).

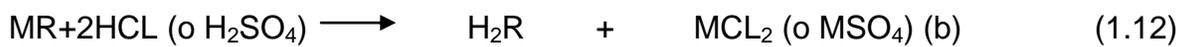
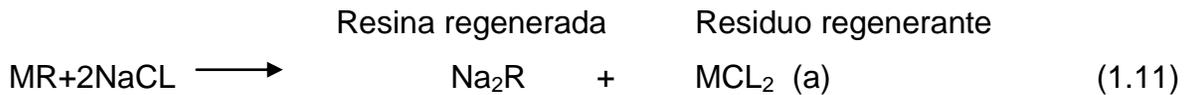


Los cationes cobre(Cu^{2+}), níquel(Ni^{2+}), calcio(Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) quedan retenidos por la resina y se produce un efluente. Este efluente contiene principalmente sales de sodio (si se emplea el ciclo del sodio) o ácido (si se emplea el ciclo de hidrógeno).

Cuando la capacidad de intercambio de la resina se agota, la resina debe regenerarse. Antes de la regeneración la columna debe lavarse a contracorriente

para eliminar los depósitos de sólidos. La regeneración consiste en el paso a través de la columna de una disolución de salmuera (NaCl para el ciclo del sodio) o una disolución ácida, normalmente ácido sulfúrico (H₂SO₄) o ácido clorhídrico (HCl) (para el ciclo del hidrógeno).

Las reacciones de regeneración que se producen en ambos ciclos se presentan a continuación:



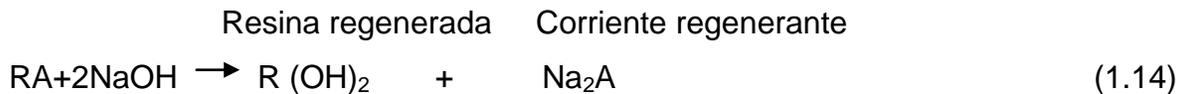
Las concentraciones típicas del regenerante son del 2-5 % en masa con caudales de 40-81 L/min como se indica en la ecuación (a), el residuo regenerante está formado por sales catiónicas. Esta corriente residual supone del 10-15% del volumen de afluente tratado antes de la ruptura. A continuación de la regeneración el lecho del intercambiador se lava con agua para separar el regenerante del residual. (Díaz, 2006)

Intercambiadores aniónicos: las resinas intercambiadoras aniónicas separan aniones de una disolución por aniones hidroxilo. La separación se representa por:



De esta forma aniones tales como SO₄²⁻, CrO₄²⁻ se eliminan de la disolución.

La regeneración se hace después de la ruptura, normalmente precedida por lavado a contracorriente para eliminar los depósitos de sólido. Los regenerantes normalmente usados son hidróxido de sodio y amoníaco. Las reacciones de regeneración se presentan a continuación:



Normalmente los intercambiadores catiónicos y aniónicos se emplean en serie.

1.5.3 Cloración.

Según Pizzi (2007) la desinfección del agua en las plantas de tratamiento se realiza con cloro y, por ello, el término desinfección comúnmente se sustituye por cloración.

La desinfección es una medida que se debe adoptar en todos los sistemas de abastecimiento, bien con carácter correctivo, bien preventivo. Esto se debe a que toda agua pura o purificada en una estación de tratamiento puede tener un largo recorrido hasta el momento en que se consume. Del mismo modo, los reservorios pueden ocasionar su contaminación.

La cloración se puede realizar con:

- a) cloro líquido.
- b) hipoclorito de diferente naturaleza.

En los días tempranos del sistema público de purificación de agua, el cloro fue empleado como protección contra la fiebre tifoidea, en las áreas donde el cloro fue usado se logró un alto incremento en el nivel general de la salud. Otros estudios confirman que había una reducción considerable en el contenido de bacterias en las aguas. (Macián *et al*, 2007)

El proceso más sencillo y barato de esterilización es la cloración, la acción del cloro es de poca profundidad y las partículas en suspensión la dificultan. El cloro, a partir de su utilización para el tratamiento de las aguas en 1899, ha sido acreditado como el más eficaz de los desinfectantes utilizados en el tratamiento de agua para consumo humano.

Entre los agentes químicos empleados con mayor frecuencia para la cloración se encuentran el hipoclorito de sodio (NaClO) y el hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$), utilizados en instalaciones pequeñas y medianas. En plantas de mayor tamaño se utiliza el cloro gaseoso.

La reacción de cloro sobre microorganismos usualmente es fatal, algunos organismos son más resistentes que otros al cloro. Un residual de cloro libre de

0,3 mg/L puede ser en agua potable, letal a la mayoría de las bacterias, pero no tiene efecto en el ser humano.

Para conocer la dosis adecuada de cloro a utilizar es necesario determinar la curva de demanda de cloro que se obtiene al hacer la correlación de las concentraciones de cloro residual (libre y disponible) que se obtiene en un agua con las distintas dosis de cloro añadidas en cualquiera de sus formas activas. La forma de la curva depende de si en el agua hay presente agentes reductores en mayor o menor medida y de si existen aminos o iones amonio (en mayor o menor medida). (Díaz, 2006)

La autora considera necesario la utilización de tratamientos que garanticen la potabilización del agua destinada al consumo humano, sin embargo se enfatiza que una dosis inadecuada de cloro puede ocasionar enfermedades a la salud del ser humano, por lo que es de suma importancia la determinación de la curva de demanda de cloro para conocer la dosis óptima que se debe utilizar, aspecto importante a tener en cuenta durante la presente investigación.

1.6 Estrategias internacionales para el manejo sustentable del agua.

Rojas (2002) establece que la calidad del agua de consumo es una interrogante que inquieta a gran parte de la sociedad a nivel mundial por lo cual en Perú se creó una guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano donde su principal objetivo es la definición de estrategias que puedan hacer posible la detección, predicción y prevención de la contaminación del agua de bebida con el fin de minimizar la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua. Esta guía, conjuntamente con las guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS), está dirigida a la protección de la salud pública y a la elaboración de directivas, normas, planes o programas nacionales, regionales o locales sobre el tema, así como a las personas e instituciones vinculadas o comprometidas con el servicio de abastecimiento de agua.

Siendo el agua indispensable para la vida, es necesario que los consumidores dispongan de un abastecimiento de agua satisfactorio, por lo que el abastecedor debe realizar el mayor esfuerzo posible para suministrar agua de la mejor calidad de acuerdo con las circunstancias. Por ello, la primera línea de defensa es la evaluación de la calidad física, química y microbiológica del agua suministrada a través de la realización de determinaciones analíticas y la vigilancia y el control de los procesos de tratamiento.

La vigilancia y el control de la calidad microbiológica del agua para consumo humano deben ser actividades rutinarias y de primordial importancia. Se reconoce que los mayores riesgos de enfermedades causadas por microorganismos patógenos están relacionados con la ingestión de agua contaminada con heces humanas o de animales. Sin embargo, esos riesgos no pueden eliminarse por completo porque esas enfermedades también pueden difundirse por contacto personal, aerosoles y alimentos. La importancia de la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano es que la inocuidad del agua abastecida reducirá la posibilidad de difusión de las enfermedades por las vías antes indicadas, al facilitar prácticas de higiene personal y doméstica.

En el mundo otro país que otorga gran importancia al manejo sustentable del agua es México, donde se establece un Programa Hidráulico Regional que considera la problemática actual y la trascendencia del recurso en el bienestar y el desarrollo del país, establece el valor esencial que tiene el agua como recurso indispensable para el bienestar social, su importancia como elemento estratégico en el desarrollo de las diferentes actividades productivas, así como el derecho que tienen las futuras generaciones a contar con el agua que requieran para su bienestar y desarrollo, y el reconocimiento del medio ambiente como un usuario del agua. (Programa Hidráulico Regional, 2006)

1.6.1 Alternativas de gestión para el recurso agua.

Una de las soluciones para hacer frente a la escasez de agua es el aprovechamiento eficiente del agua de lluvia, tradición milenaria que se practica

desde hace 5000 años. A lo largo de distintas épocas, culturas en todo el mundo desarrollaron métodos para recoger y utilizar el recurso pluvial, sin embargo con el progreso de los sistemas de distribución entubada, estas prácticas se sumergieron en el olvido. (Problemática del agua en el mundo, 2011)

Hoy ante el reto que supone el aumento de la población y la escasez del suministro, tanto en las zonas urbanas como rurales, la captación de agua de lluvia y nuevos sistemas para su correcta gestión, vuelven a verse como una solución para ahorrar y aumentar las reservas de agua.

En países como Inglaterra, Alemania, Japón o Singapur, el agua de la lluvia se aprovecha en edificios que cuentan con el sistema de recolección, para después utilizarla en los baños o en el combate a incendios, lo cual representa un ahorro del 15% del recurso. (Pichs, 2008)

En la India se utiliza principalmente para regadío, pero cada vez se desarrollan más políticas encaminadas a la captación en ciudades como Bangalore o Delhi.

En la República Popular de China se resolvió el problema de abastecimiento de agua a cinco millones de personas con la aplicación de tecnologías de captación de agua de lluvia en 15 provincias después del proyecto piloto aplicado en la región de Gainsu. (Montalvo, 2000)

En Bangladesh se detuvo la intoxicación por arsénico con la utilización de sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico.

Brasil tiene un programa para la construcción de un millón de cisternas rurales para aumentar el suministro en la zona semiárida del noreste.

En los Estados Unidos y Australia, la captación de agua de lluvia se aplica principalmente para abastecer de agua a la ganadería y al consumo doméstico. En algunos estados de ambos países se desarrollan regulaciones e incentivos que invitan a implementar estos sistemas. (De la Madrid, 2008)

1.7 Situación actual del agua potable en Cuba.

Sánchez (2014) plantea que la disponibilidad de agua en Cuba es limitada, entre otras cuestiones porque los recursos hidráulicos dependen de las precipitaciones,

cuyo promedio anual oscila entre los 1 335 mm, según datos del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH).

Cuba por sus características geográficas, es una isla estrecha y alargada donde los ríos discurren rápidamente al mar, en tanto, gran parte de las reservas de agua dulce pueden agotarse. En ocasiones debido al impacto de la naturaleza, a los eventos extremos de lluvia y sequía, el recurso no se aprovecha del todo. A lo anterior se le suma el mal estado en que se encuentra una parte de la infraestructura para almacenar y explotar este líquido en algunas regiones. Aun cuando en la actualidad se desarrolle un programa de rehabilitación de las redes de distribución de agua potable en La Habana, Santiago de Cuba, Trinidad, Camagüey, Las Tunas, Holguín, Bayamo, entre otras, todavía hoy de acuerdo con datos del INRH se pierde el 58% del agua en conducción. (Sánchez, 2014)

Paradójicamente y dadas las condiciones actuales del servicio de acueducto que no alcanza a toda la población, en varias regiones del país miles de personas reciben este recurso una vez cada dos días, otras una vez a la semana, mientras hay quienes no cuentan con éste y se les proporciona mediante camiones destinados a estas tareas.

Ante esta situación el gobierno cubano implementa acciones dirigidas al uso racional del recurso y establece políticas y estrategias para su control. A tales efectos el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente orienta a las instituciones sobre la elaboración, ejecución y evaluación de la estrategia ambiental.

La Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, como institución educativa, posee su estrategia ambiental vigente para el período 2015-2017 y en ella se contemplan las medidas para solucionar los problemas detectados en el diagnóstico ambiental. (Estrategia Ambiental de la UMCC, 2015-2017)

Desde el punto de vista educacional en la formación integral de los estudiantes se implementa la estrategia formativa de medio ambiente en la cual se incluyen

acciones que se materializan a través de las diferentes formas de enseñanza en asignaturas y disciplinas en todos los años académicos.

La Facultad de Ingenierías desarrolla un proyecto de investigación con el propósito de diseñar e implementar el sistema de gestión ambiental de forma tal que se fortalezca y consolide el trabajo de todos los actores en pos de proteger y conservar el medio ambiente, mejorar la calidad de vida en el campus universitario y lograr la distinción que avala el Reconocimiento Ambiental Nacional.

En este sentido el Departamento de Química e Ingeniería Química realiza estudios sobre las causas que deterioran las áreas verdes, la generación de residuos sólidos, la generación de gases contaminantes y la calidad de las aguas entre otros. La investigación que se presenta se integra a las problemáticas que se abordan como parte del desarrollo de este proyecto.

Conclusiones parciales del capítulo.

1. El agua se define como una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, la cual es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida.
2. El agua potable presenta características físicas, químicas y biológicas importantes para la salud del hombre.
3. Los principales contaminantes que presenta el agua son materia orgánica, nutrientes, sólidos suspendidos, metales pesados, hidrocarburos, sales, organismos patógenos y sustancias químicas de diversa índole.
4. El método cal – soda se utiliza para transformar todo el calcio y el magnesio a carbonato de calcio e hidróxido de magnesio.
5. El cloro es el proceso más sencillo y barato que se utiliza para la desinfección del agua potable.
6. La Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, posee una estrategia ambiental vigente para el período 2015-2017, en cuyas problemáticas de estudio se incluye la calidad del agua potable.

Capítulo II: Materiales y métodos.

En el presente capítulo se exponen los materiales y métodos empleados para dar solución al problema propuesto. La investigación comprende la evaluación del sistema hidráulico, análisis de calidad del agua potable y el diseño de un plan de acciones que garanticen la calidad del agua potable de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” (UMCC).

La presente investigación consta de las siguientes etapas:

Etapas 1: Valoración del consumo de agua.

Etapas 2: Análisis físico – químico y microbiológico del agua potable.

Etapas 3: Cálculos hidráulicos para la selección de la bomba.

Etapas 4: Consideraciones económicas.

Etapas 5: Diseño de un plan de acciones que garantizan que el agua de consumo de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” cumple con los índices establecidos para la salud y bienestar del hombre.

Características del área de estudio.

La Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, radica en el km 3½ de la Autopista a Varadero. Se encuentra ubicada dentro de las áreas del Jardín Botánico de Matanzas, único en la provincia. Está constituida por cinco facultades docentes: Ingenierías, Ciencia Sociales y Humanidades, Ciencias Económicas e Informáticas, Agronomía, y Cultura Física. En la misma se implementan 13 carreras que son Ingeniería Civil, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica, Licenciatura en Periodismo, Ingeniería Industrial, Licenciatura en Derecho, Licenciatura en Lengua Inglesa, Ingeniería Agrónoma, Licenciatura en Economía, Licenciatura en Contabilidad y Finanzas, Licenciatura en Sociocultural, Licenciatura en Turismo y Licenciatura en Cultura Física.

La integran dos Centros de Estudios en las temáticas de: Anticorrosivos y Tensoactivos y Biotecnología. Además posee una planta piloto para la producción de anticorrosivos y tensoactivos y la producción de alcoholes. Existen otras áreas

de apoyo a la docencia y servicios tales como: cafeterías, cocina, comedores, residencias estudiantiles, hotel y hospital (Anexo 1).

El centro universitario cuenta con un total de 6 021 estudiantes, de los cuales 1279 son internos y 4742 son seminternos. La plantilla de trabajadores en la sede central asciende a 1882.

2.1 Análisis del consumo de agua en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” (UMCC).

2.1.1 Diagnóstico sobre el uso del agua en la UMCC.

Se utiliza como método científico para la obtención de información primaria en la investigación la observación directa.

La técnica de observación se realizó en dos momentos; en un primer momento con el objetivo de observar el comportamiento de la comunidad universitaria y detectar cómo es el uso y manejo del agua en su cotidianidad. En un segundo momento para diagnosticar el estado de la red de distribución y frecuencia de bombeo. Los resultados del diagnóstico se encuentran en el capítulo 3, epígrafe 3.1.1.

La guía de observación utilizada se encuentra en el anexo 2.

García (2005) plantea que la entrevista se realiza como método empírico de investigación que puede definirse de la siguiente forma: es una conversación de carácter planificado entre el entrevistador y el (los) entrevistado (s) en la que se establece un proceso de comunicación en el que interviene de manera fundamental los gestos, las posturas y todas las diferentes expresiones no verbales tanto del que entrevista como del que se encuentra en el plano de entrevistado.

La entrevista puede clasificarse según diferentes criterios (García, 2005) en: entrevista centrada o directa y entrevista no directa según la estructura, entrevista individual o grupal según el número de entrevistados, entrevista informativa u orientada según el objetivo y entrevista exploratoria, informal o introductoria o de control según la función que cumplimentan.

Según la clasificación ofrecida por este autor, se asume la utilización de la entrevista centrada por ser esta a fin con las necesidades investigativas de la autora. La misma se realiza con el objetivo de conocer las opiniones que tienen las diferentes personas entrevistadas con respecto a cómo influye la utilización del recurso agua en la calidad de vida de la comunidad universitaria. La guía de la entrevista utilizada se encuentra en el anexo 3.

Las entrevistas se realizaron de forma independiente en situación de abierta comunicación, bajo el principio de voluntariedad, con flexibilidad y libertad de expresión.

La muestra seleccionada para la aplicación de la entrevista fue intencional, se entrevistaron:

- El 100% de los directivos implicados en el manejo del agua en la UMCC.
- Especialistas y trabajadores del área de mantenimiento de la UMCC.
- El 100% de los trabajadores encargados del bombeo de agua en la UMCC.
- El 50% de las técnicas educativas de las residencias estudiantiles.
- El 90% de los estudiantes asociados al edificio de beca de mayor dificultad.
- El 2% de los estudiantes seminternos del centro.

La relación de estudiantes y trabajadores entrevistados se encuentra en el anexo 4.

2.1.2 Análisis de la red hidráulica de la UMCC.

La confección del plano de la red hidráulica de la UMCC se realizó utilizando el *software Autocat 2007*. Los resultados se muestran en el anexo 5.

Se determinan las pérdidas de agua por concepto de salideros y tuberías rotas mediante el aforo de llaves, duchas defectuosas e inodoros con salideros. (Inastrilla y Quero, 2012)

Los resultados obtenidos se muestran en el anexo 6 y anexo 7

2.1.3 Análisis del Decreto Ley del INRH del 20 de noviembre de 1991.

Para analizar la calidad del agua de consumo es necesario conocer la cantidad de agua consumida para lo cual se consulta El Decreto Ley del INRH del 20 de

noviembre de 1991 y se realiza el cálculo de la demanda de agua mensual/actividad de la Universidad “Camilo Cienfuegos” de Matanzas. El resultado del cálculo de la demanda de agua aparece en la tabla 1 del capítulo 3, epígrafe 3.1.2.

2.2 Análisis físico-químico y microbiológico en estudio.

Para el análisis físico-químico se toman las muestras de agua en frascos plásticos con tapas de 1.5L. En los casos en que las determinaciones no se realizan al momento las muestras se preservaron a una temperatura de congelación y ausencia de luz. Para el análisis se tomaron un total de catorce muestras y se analizaron por triplicado.

Para el análisis microbiológico las muestras se tomaron en frascos de 120mL previamente esterilizados y se analizan inmediatamente. Para realizar este análisis se tomaron doce muestras. (NC 93-01-128: 1988)

Se realizan determinaciones analíticas que responden a la metodología que aparece en: (Awwa APHA, 2004 y Manual de normas ISO, 1999)

- pH: método potenciométrico directo, donde se utiliza un pHmetro digital MV 870 con electrodo de vidrio combinado.
- Conductividad eléctrica: método conductimétrico directo, donde se utiliza un conductímetro marca HANNA modelo EC 251 España.
- Dureza total: método volumétrico por complexometría, donde se utiliza la complexona EDTA como agente valorante, eriocromo negro T como indicador y solución buffer amoniacal para ajustar el pH.
- Dureza de calcio: método volumétrico por complexometría, donde se utiliza la complexona EDTA como agente valorante, murexida como indicador y se adiciona hidróxido de sodio para ajustar el pH.
- Dureza de magnesio: Es determinada por la diferencia entre la dureza total y la dureza de calcio.
- Análisis microbiológico de la muestra de agua: método de fermentación en tubos múltiples, donde se emplean series de tres tubos. Para la prueba

presuntiva y confirmatoria de coliformes totales se utilizó el caldo lactosado y el caldo bilis verde brillante, respectivamente, se incuban a 37 °C durante 24 a 48 h. Los coliformes fecales se confirman con caldo EC, mediante la incubación de los tubos a 44,5 °C durante 24 h. Los resultados se expresaron mediante el número más probable (NMP) por 100 mL, el cual se calcula cuando se valora el número de tubos positivos en la prueba confirmativa para tres diluciones consecutivas. (NC 93-01-128:1988)

Los resultados obtenidos en el análisis físico- químico y microbiológico se encuentran en la tabla 2 y tabla 3 del capítulo 3, epígrafe 3.2.

Los resultados obtenidos en el análisis físico- químico y microbiológico fueron procesados estadísticamente mediante el *software Start Graph 5.0* para estudiar el comportamiento de parámetros que facilitan valoraciones y finalmente proponer recomendaciones. Los resultados del análisis estadístico se encuentran en el anexo 8.

2.3 Cálculos hidráulicos para la selección de la bomba.

Para realizar la selección del sistema de bombeo es necesario calcular el flujo de agua que se utiliza en los edificios de residencia estudiantil.

2.3.1 Cálculo del flujo de agua para los edificios de residencia estudiantil.

El cálculo del flujo depende fundamentalmente de la demanda de agua, que es requerida por una población para satisfacer sus necesidades en todos los tipos de consumo. Su determinación está basada en normas del consumo actual y prospectivo, en el cálculo se tuvo en cuenta la (NC XX: 2007).

Determinación de la dotación

$$\text{Dotación} = P * C \quad (2.1)$$

Términos de la ecuación:

Norma de consumo $P = 150$ L/alumnos/día

Cantidad máxima de alumnos por edificios (C)

Dotación = volumen medio probable de consumo de agua por una población (L/hab.d)

Determinación del consumo medio

$$Q_{medio} = \frac{D}{86400} \quad (2.2)$$

Términos de la ecuación:

Q medio = consumo medio (L/s)

Determinación del consumo máximo diario

$$Q_{máx.diario} = Q_{medio} * K_1 \quad (2.3)$$

Términos de la ecuación:

Q máx. diario = consumo máximo diario (L/s). Corresponde al consumo que se produce en el día de mayor consumo del año.

$K_1 = 1,5$ coeficiente de variación horaria (NC XX: 2007).

Los coeficientes de variación horaria se encuentran en el anexo 9.

Determinación del consumo máximo horario.

$$Q_{máx.horario} = Q_{máx.diario} * K_2 \quad (2.4)$$

Términos de la ecuación:

Q máx. horario = consumo máximo horario (L/s). Es el consumo máximo que se presenta en la hora de mayor consumo dentro del día de máxima demanda.

$K_2 =$ coeficiente de variación horaria (NC XX: 2007).

Los coeficientes de variación horaria se encuentran en el anexo 9.

El resultado del cálculo de flujo de agua para los edificios de residencia se encuentra en el capítulo 3 epígrafe 3.3.1.

2.3.2 Selección de la bomba.

La selección de la bomba responde a la metodología propuesta por Rosabal, 2006, a partir del balance de energía mecánica; los criterios de Pávlov, 1981 y Mc. Cabe, 2002. El diagrama de flujo utilizado en el procedimiento de selección de la bomba se representa en el anexo 10 y anexo 11.

A continuación se encuentran las ecuaciones más generales:

- Balance de energía mecánica:

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + H = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + H_f \quad (2.5)$$

Términos de la ecuación:

α = factor de correlación de la energía

$\alpha = 1$ régimen laminar

$\alpha = 2$ régimen turbulento

H= carga de la bomba (m)

H_f= pérdidas por fricción (m)

- Pérdidas de energía por fricción:

$$H_{f_{total}} = H_{f_{tubería}} + H_{f_{accesorio}} \quad (2.6)$$

$$H_{f_{tubería}} = f \frac{L}{d} * \frac{v^2}{2g} \quad (2.7)$$

Términos de la ecuación:

f= factor de fricción (m)

L= longitud de la tubería (m)

d= diámetro de la tubería (m)

v= velocidad (m/s)

g= gravedad (m/s²)

El factor de fricción depende de la rugosidad del material de la tubería y del Reynolds:

$$Re = \frac{\rho * v * d}{\mu} \quad (2.8)$$

Términos de la ecuación:

ρ = densidad (kg/m³)

μ = viscosidad (Pa*s)

d= diámetro de la tubería (m)

v= velocidad (m/s)

$$E = \frac{e}{d} \quad (2.9)$$

Términos de la ecuación:

e= rugosidad absoluta (mm)

d= diámetro (m)

$$Hf_{\text{accesorio}} = \sum \frac{k_i V^2}{2g} \quad (2.10)$$

k_i = coeficiente de resistencia local para flujo turbulento

v= velocidad (m/s)

g= gravedad (m/s^2)

- Criterio de Pávlov para la selección del diámetro de tubería:

$$d = \sqrt{\frac{q}{0,785 * v}} \quad (2.11)$$

Términos de la ecuación:

q= flujo (m^3/s)

v= velocidad (m/s)

Se calcula la potencia de la bomba mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{Hb * q * \rho * g}{\eta} \quad (2.12)$$

Términos de la ecuación:

Hb= Carga (m)

q= flujo (m^3/s)

ρ =densidad (kg/m^3)

g = gravedad (m/s^2)

η = eficiencia (%)

El resultado del cálculo para la selección de la bomba se encuentra en el capítulo 3 epígrafe 3.3.2.

2.4 Consideraciones económicas.

Se realiza el análisis económico para la instalación de bombas, la compra de reactivos químicos para realizar el proceso de cloración, el costo relacionado con el consumo energético y las pérdidas de agua a partir de las alternativas

operacionales analizadas, para ello se estima el costo de inversión (Portuondo, 2006).

- $\text{Costo}_{2013} = \text{costo}_{2008} \cdot \text{IC}_{2013} / \text{IC}_{2008}$ (2.13)

- Costo de las bombas (CT).

- Costo de instalación y montaje (CIM).

$$\text{CIM} = (10\% \text{ del CT}) \quad (2.14)$$

- Costo instrumentación del proceso tecnológico (CIPT).

$$\text{CIPT} = \text{CAI} + \text{CIM} \quad (2.15)$$

- Costo de adquisición (CAI).

$$\text{CAI} = (15\% \text{ del CT}) \quad (2.16)$$

- Costo de instalación y montaje (CIM).

$$\text{CIM} = (50\% \text{ del CAI}) \quad (2.17)$$

- Costo de adquisición y montaje de tuberías (CAMT).

$$\text{CAMT} = \text{Materiales} + \text{Mano de obra} \quad (2.18)$$

- Materiales = (35% del CT) (2.19)

- Mano de obra = (26% del CT) (2.20)

- Costo de instalaciones eléctricas (CIE).

$$\text{CIE} = (10\% \text{ del CT}) \quad (2.21)$$

- Costo del proyecto (CP).

$$\text{CP} = \text{Obreros} + \text{Materiales} + \text{Gastos Generales} + \text{Ganancia económica y Organización del proyecto} \quad (2.22)$$

Obreros (\$ 287)

Materiales (\$150)

Gastos generales (\$100)

Ganancia económica y organización del proyecto (\$150)

- Costo de inversión (CI).

$$\text{CI} = \text{CT} + \text{CIM} + \text{CIPT} + \text{CAMT} + \text{CIE} + \text{CP} \quad (2.23)$$

- Costo de energía eléctrica = $C \cdot U_E \cdot P$ (2.24)

Términos de la ecuación:

C.U_E= Costo del kwatt

P= Potencia de la bomba

- Consumo de hipoclorito de sodio=N*precio (NaCLO) (2.25)

Términos de la ecuación:

N= cantidad de hipoclorito de sodio

Los resultados obtenidos se encuentran en el capítulo 3 epígrafe 3.4.

Capítulo III: Análisis de los resultados.

En el presente capítulo se realiza un análisis de los resultados obtenidos luego de la aplicación de los diferentes métodos y procedimientos investigativos lo que permitió diagnosticar la calidad del agua del consumo en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” y se propone un plan de acción para minimizar el impacto ambiental por concepto de pérdidas de agua.

3.1 Valoración del consumo de agua en la UMCC.

3.1.1 Resultado del diagnóstico sobre el uso del agua en la UMCC.

En el recorrido por las diferentes áreas de la UMCC se puede observar que el abastecimiento de agua se realiza desde la fuente Acueducto Forestal, conocido como Camilito, ubicada en el km 115 de la carretera central. Se monitorea mensualmente por la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de la ciudad de Matanzas. Pertenece a la cuenca M-1-2 subterránea con coordenadas al norte de 353,20⁰ y al sur de 447,80⁰. El diámetro del pozo es de 5 m, su nivel estático de 56,10 m y nivel dinámico de 56,20 m. El tiempo medio de servicio es 21h y el volumen promedio diario es 5 506 m³.

Como resultado de las entrevistas con los directivos implicados en el manejo del recurso agua se puede constatar que el sistema hidráulico está compuesto principalmente por una cisterna-fuente de 750 m³ de capacidad, un tanque de almacenamiento de agua de 300 m³ de capacidad, una bomba y las numerosas tuberías de acero y de hierro fundido que conducen el agua potable hacia los edificios docentes, las cafeterías, la cocina, los comedores, los edificios de residencia de tres plantas (A, B, C, D y E), el hotel universitario y el hospital. De la cisterna-fuente hasta la bomba, la tubería posee 5 m de longitud; a la salida de la bomba existe una tubería de 7 m de longitud y finalmente otra hasta el tanque de almacenamiento de 28 m; existen 5 válvulas de compuerta. Los edificios de residencia A, B y E tienen cada uno una cisterna que recibe el agua que proviene del tanque de almacenamiento. La red hidráulica de distribución del centro está en malas condiciones, existen salideros en todas las tuberías que conducen el agua

potable hacia los diferentes edificios lo cual evidencia que el recurso no se utiliza de forma racional.

El intercambio con los operarios encargados del bombeo de agua en la UMCC permitió conocer los diferentes horarios de bombeo en el centro. El bombeo de agua se realiza de la siguiente forma: el agua proveniente del acueducto llega a la cisterna, la cual abastece el tanque hasta llenarlo; a partir de 6:30 a.m a 8:00 a.m, se bombea hacia todos los edificios de residencia; a partir de las 8:00 a.m, se procede a llenar la cisterna sin dejar de bombear agua hacia la cocina. En el horario de las 12:00 p.m a las 1:00 p.m, según el volumen de agua almacenado, se bombea el agua nuevamente hacia los edificios de residencia. El último bombeo que se realiza en el día se produce de las 4:30 p.m a las 6:30 p.m.

Las entrevistas realizadas a los estudiantes corroboran que los mismos no se sienten satisfechos con el aspecto que en ocasiones presenta el agua, ya que han detectado en ocasiones ligera turbidez en la misma.

De acuerdo con los entrevistados y los involucrados con la investigación, el agua en la UMCC no presenta la calidad deseada y se proponen acciones encaminadas a la solución rápida y efectiva de este problema.

3.1.2 Resultado de la aplicación del Decreto Ley del INRH del 20 de noviembre de 1991.

El análisis del cálculo estimado de la demanda de agua mensual por actividad fundamentada en la Resolución 58/95 del INRH, se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Cálculo estimado de la demanda de agua mensual /actividad en la UMCC.

Dependencia y actividades	U/M	Cantidad	Índice de consumo diario (m ³)	Días/mes	Consumo mensual estimado (m ³)
Escuela	Internos	1 279	0,13	26	4 323,02

	Seminternos	4 742	0,06	24	6 828,48
Centro de trabajo	Trabajador	1 882	0,05	24	3 387,60
Comedor	Comensal	3 162	0,012	26	986,23
Caldera de vapor	Hp-h	1 860	0,016	26	774,00
Hospital	Camas	4	0,34	24	34
Clínica estomatológica	Sillón	1	2	24	48
Posta médica	Usuario	40	0,015	24	14
Motel	Habitación	20	0,6	30	360
Cafeterías(2)	Usuario	900	0,006	26	140
Fregado de equipos rodantes	Unidades	5	1	24	120
Limpieza de pisos	m ³	48 651	0,0015	24	1 751
Total					18 766,33

Fuente: Elaboración propia, febrero 2014

La tabla 1 corrobora que el volumen total de agua asignado a la UMCC debe ser 18 766,33 m³/mes, se pierden 3 001,56 m³/mes por conceptos de salideros por lo que, sólo se utilizan 15 764,77 m³/mes.

3.2 Resultados del análisis físico-químico y microbiológico del agua de consumo en la UMCC.

Tabla 2: Análisis físico – químico del agua de consumo.

	D _{Total}	D _{Calcio}	D _{Magnesio}	pH	Conductividad	D _{Permanente}	D _{Temporal}
Cisterna - Fuente	260mg/L	140mg/L	120mg/L	8,00	-	95mg/L	165mg/L
	190mg/L	79mg/L	110mg/L	6,70	-	98mg/L	92mg/L
	245mg/L	50mg/L	195mg/L	7,80	1016mS/cm	231mg/L	14mg/L
Docente	266mg/L	102,20mg/L	186,90mg/L	7,70	1201mS/cm	210mg/L	56mg/L
	212mg/L	88,20mg/L	123,80mg/L	7,25	-	179mg/L	33mg/L
	200mg/L	81,20mg/L	118,80mg/L	7,24	1103mS/cm	105mg/L	95mg/L
	196mg/L	42mg/L	154mg/L	7,60	1201mS/cm	176mg/L	20mg/L
Edificio A	200mg/L	170mg/L	30mg/L	8,00	-	170mg/L	30mg/L
	168mg/L	46,90mg/L	121mg/L	7,20	-	105mg/L	163mg/L
	271mg/L	100mg/L	171mg/L	7,70	1029mS/cm	254mg/L	17mg/L
	179,20mg/L	60,20mg/L	119mg/L	7,40	1277mS/cm	168mg/L	11,20mg/L

Edificio B	196 mg/L	16,10mg/L	169,9mg/L	7,10	1045mS/cm	105mg/L	91 mg/L
	189 mg/L	4,41 mg/L	144 mg/L	7,60	-	98 mg/L	91 mg/L
	219 mg/L	28 mg/L	191 mg/L	7,50	1077 mS/cm	142 mg/L	77 mg/L

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos indican que:

- Cisterna Principal:

La dureza total se encuentra entre 190 mg/L- 260 mg/L, por debajo de la concentración máxima permisible de 400 mg/L que indica la NC:827:2012.

La dureza de calcio en el agua se encuentra entre 50mg/L -140 mg/L, por debajo de 200 mg/L que indica la NC:827:2012.

La dureza de magnesio se encuentra entre 110mg/L- 195mg/L, en este caso por encima del valor normado que es de 150 mg/L.

El pH se encuentra entre 6,7 – 8, mientras que la norma indica que debe estar entre 6,5 – 8,5.

La dureza permanente se encuentra entre 95 mg/L – 231 mg/L.

La dureza temporal se encuentra entre 14 mg/L – 165 mg/L.

- Edificios de Docencia:

La dureza total se encuentra entre 196 mg/L- 266 mg/L, por debajo de la concentración máxima permisible que indica la NC:827:2012, que es de 400 mg/L.

La dureza de calcio se encuentra entre 50 mg/L -140 mg/L, por debajo de 200 mg/L que es valor normado.

La dureza de magnesio se encuentra entre 118,8mg/L- 186,9mg/L, la norma indica que el mismo debe encontrarse por debajo de 150mg/L.

El pH se encuentra entre 7,24 – 7,7, mientras que la norma indica que debe estar entre 6,5 – 8,5.

La dureza permanente se encuentra entre 105 mg/L – 210 mg/L.

La dureza temporal se encuentra entre 20 mg/L – 56 mg/L.

- Edificio de Residencia A:

La dureza total se encuentra entre 168 mg/L- 200 mg/L, por debajo de la concentración máxima permisible que indica la NC:827:2012, que es de 400 mg/L.

La dureza de calcio se encuentra entre 46,9 mg/L -170 mg/L, por debajo del valor normado que es 200 mg/L.

La dureza de magnesio se encuentra entre 30 mg/L- 171 mg/L, mientras que el valor normado es 150 mg/L.

El pH se encuentra entre 7,2 – 8, mientras que la norma indica que debe estar entre 6,5 – 8,5.

La dureza permanente se encuentra entre 105 mg/L – 256 mg/L.

La dureza temporal se encuentra entre 11,2 mg/L – 163 mg/L.

- Edificio de Residencia B:

La dureza total se encuentra entre 189 mg/L- 219 mg/L, por debajo de la concentración máxima permisible que indica la NC:827:2012, que es de 400 mg/L.

La dureza de calcio se encuentra entre 4,41 mg/L -28 mg/L, por debajo del valor normado que es 200 mg/L.

La dureza de magnesio se encuentra entre 144 mg/L- 191mg/L, siendo el valor normado de 150 mg/L.

El pH se encuentra entre 7,1 – 7,6, mientras que la norma indica que debe estar entre 6,5 – 8,5.

La dureza permanente se encuentra entre 98 mg/L – 105 mg/L.

La dureza temporal se encuentra entre 77 mg/L – 91 mg/L.

Los resultados obtenidos del análisis físico – químico demuestran que el agua potable se encuentra dentro de los límites máximos admisibles, no contiene evidencias que indiquen un riesgo para la salud humana.

Tabla 3: Análisis microbiológico del agua de consumo.

	Fecha	CT	CF	Fecha	CT	CF
Cisterna- Fuente(entrada)	28/4/2014	ND	ND	12/5/2014	ND	ND
Cisterna - Fuente(dentro)	28/4/2014	<2	<2	12/5/2014	240	0
Docente	28/4/2014	<2	<2	12/5/2014	240	2
Residencia estudiantil A	28/4/2014	ND	ND	12/5/2014	240	4
Residencia estudiantil B	28/4/2014	<2400	<2400	12/5/2014	140	0
Cisterna de Residencia estudiantil B	28/4/2014	-	-	12/5/2014	240	8

Fuente: Elaboración propia

El primer análisis microbiológico que se realizó indica que el agua proveniente del edificio de residencia B contiene más de 2 400 coliformes totales y fecales por cada 100 mL de agua. Por estas razones se decide continuar el estudio y analizar las muestras en el laboratorio de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Matanzas para verificar el resultado.

Los resultados del análisis evidencian que el agua de consumo no posee la calidad requerida al estar contaminada por coliformes totales en todos los puntos de muestreo y por coliformes fecales en dos de los puntos de muestreo. Se plantea que existe dentro de la universidad una fuente de contaminación que puede ser el recorrido del agua desde la cisterna - fuente hasta los diferentes puntos de muestreo que han sido analizados, debido a las roturas que posee la red hidráulica de la universidad. A continuación la autora expone diferentes alternativas operacionales para mejorar la calidad del agua y lograr un uso racional de la misma.

Una de las alternativas propuestas para mejorar la calidad del agua es llevar a cabo un proceso de cloración. De esta forma es necesario realizar la curva de demanda de cloro para conocer la dosis óptima a utilizar para tratar el agua.

- Curva de demanda de cloro para la cisterna principal.

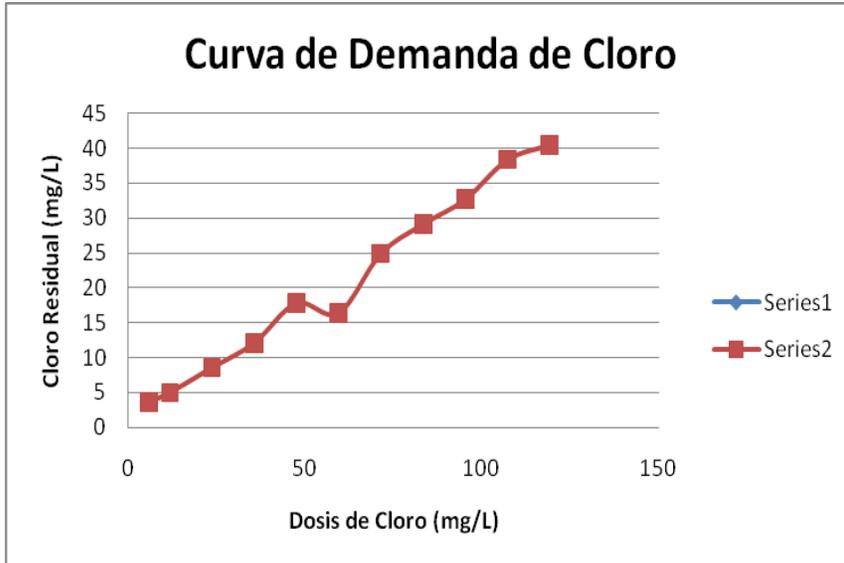


Figura 1: Curva de demanda de cloro

A partir de 60 mg/L es la dosis de cloro necesaria para realizar el proceso de cloración en la cisterna principal.

- Curva de demanda de cloro para el edificio de residencia estudiantil.

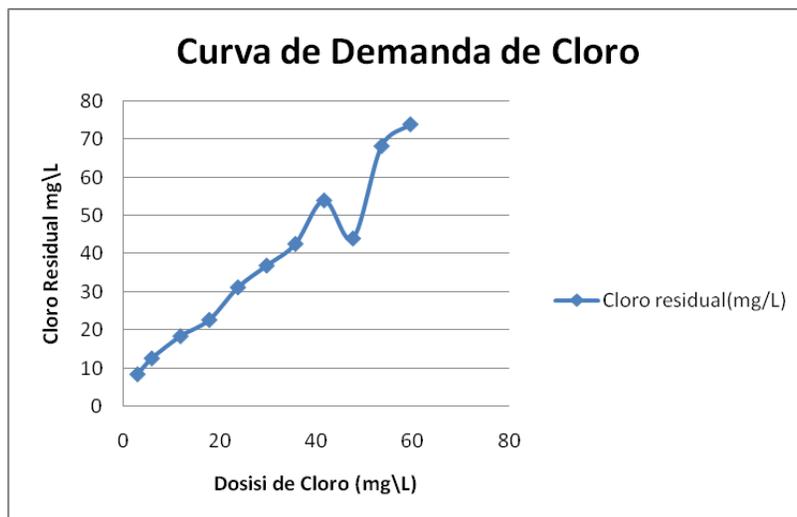


Figura 2: Curva de demanda de cloro

En el edificio de residencia estudiantil A la dosis de cloro a utilizar es a partir de 48mg/L .

- Curva de demanda de cloro para el edificio de residencia estudiantil B.

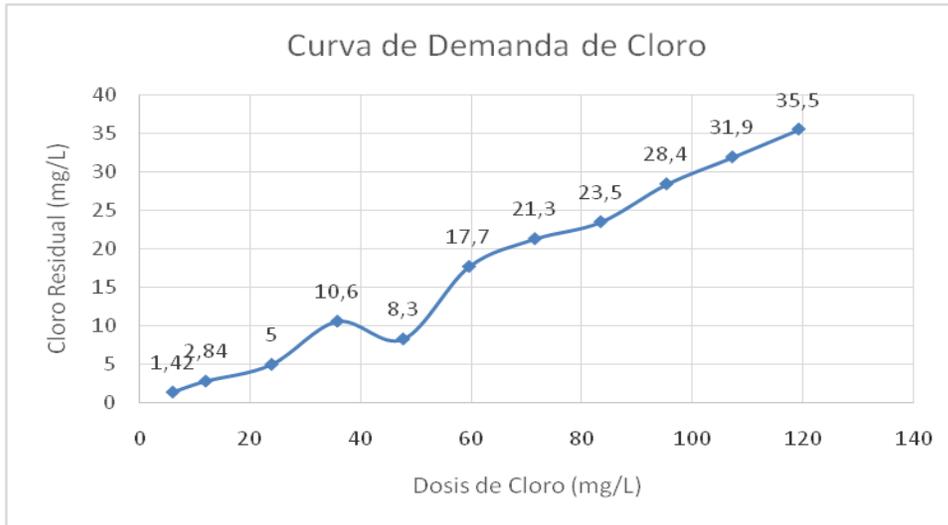


Figura 3: Curva de demanda de cloro

Es necesario utilizar una dosis de cloro a partir de 48mg/L en el el edificio de residencia estudiantil B.

El análisis estadístico realizado arroja que las pruebas de normalidad en alguna de las variables presenta una distribución normal como son dureza total, dureza de calcio, pH, dureza permanente, dureza temporal y conductividad, en estos casos las variables de asimetría estandarizada *skewness* y *kurtosis* están dentro del rango esperado (entre -2 y 2). Estos resultados indican que para asegurar el comportamiento anual de cada variable en la cuantificación el tamaño de la muestra tomada resulta suficiente.

En el caso de los valores de dureza de magnesio, coliformes totales y coliformes fecales no se aprecia una distribución normal ya que las variables estandarizadas *skewness* y *kurtosis* están fuera del rango esperado (entre -2 y 2).

El coeficiente de variación presenta diferentes rangos:

- < 4 excelente
- 4-8 buena

- 8-12 aceptable
- >12 grande

Se puede apreciar mediante los resultados obtenidos que se encuentran en el anexo 8 que todas las variables se comportan inestables, y por tanto presentan dispersión con respecto a su media.

Todas las muestras presentan elevados coeficientes de variación a no ser el pH que cumple con el intervalo de 4 – 8 lo que demuestra que la muestra es buena y la conductividad que cumple con el intervalo de 8 - 12 lo que indica que la misma es aceptable.

Los valores de coeficiente de variación más elevados los presentan los coliformes totales y fecales, una de las causas posibles es la contaminación existente en el agua potable de la universidad producto a las malas condiciones que presenta la red hidráulica.

3.3 Cálculos hidráulicos para la selección de la bomba.

3.3.1 Cálculo del flujo de agua para los edificios de residencia.

- Determinación de la dotación

Cantidad máxima de alumnos por edificios (C)=540

$$\text{Dotación} = P * C \quad (3.1)$$

$$\text{Dotación} = 81000L / \text{día}$$

- Determinación del consumo medio

$$Q_{\text{medio}} = \frac{D}{86400} \quad (3.2)$$

$$Q_{\text{medio}} = 0,93L / s$$

- Determinación del consumo máximo diario

$$Q_{\text{máx.diario}} = Q_{\text{medio}} * K_1 \quad (3.3)$$

$$Q_{\text{máx.diario}} = 1,40L / s$$

- Determinación del consumo máximo horario

$$Q_{\text{máx.horario}} = Q_{\text{máx.diario}} * K_2 \quad (3.4)$$

$$Q_{\text{máx.horario}} = 7812L / h$$

El flujo de agua potable que se necesita en los edificios de residencia estudiantil es 7 812 L/h.

3.3.2 Selección de la bomba.

- Sistema principal de bombeo

Para determinar la carga de la bomba se utiliza el balance de energía mecánica:

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + H = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + Hf \quad (3.5)$$

Donde:

$$Z_2 = 30m$$

$$q = 313,2 \frac{m^3}{h}$$

$$P_1 = P_2 = 101325 Pa$$

$Z_1 = 0$ el punto 1 se encuentra ubicado en el nivel del líquido

$V_1 = 0$ se considera tanque de gran dimensión y por lo tanto la velocidad es tan pequeña que se desprecia.

$P_1 = P_2 = 0$ es un tanque abierto a la atmósfera

Los valores de densidad y viscosidad del líquido se buscan a 30°C en la tabla 5 pág. 277 (Rosabal, 2006)

$$\rho = 995,7 kg/m^3$$

$$\mu = 0,8 cP$$

La ecuación del balance de energía para determinar la carga de la bomba queda de la siguiente manera:

$$H = Z_2 + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + H$$

Selección del diámetro de tubería:

Cuando no se conoce ni el diámetro, ni la velocidad se utilizan los siguientes criterios:

Criterio de Pávlov, 1981 para seleccionar el diámetro.

$$d = \sqrt{\frac{q}{0,785 * V}} \quad (3.6)$$

La velocidad se selecciona según criterio de Mc Cabe (2002).

En la Tabla 8.1 pág. 193, para líquido poco viscoso:

- Velocidad de entrada de la bomba 0,30 - 0,90 m/s
- Velocidad de salida de la bomba 1,2 - 3,0 m/s

Se escoge como velocidad de entrada de la bomba 0,8 m/s y como velocidad de salida de la bomba 2,5 m/s

$$d_1 = 0,37m = 370mm$$

$$d_2 = 0,21m = 210mm$$

Se estandarizan los diámetros, tabla 10 (Rosabal, 2006).

$$d_1=382mm \quad d_2=245mm$$

Se rectifica la velocidad:

$$V = \frac{q}{A} \quad (3.7)$$

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} \quad (3.8)$$

$$V_1 = 0,759m/s$$

$$V_2 = 1,85m/s$$

Las velocidades cumplen con el criterio de Mc Cabe, 2002.

$$Re = \frac{\rho * V * d}{\mu} \quad (3.9)$$

$$Re_1 = 28993,8(turbulento)$$

$$Re_2 = 45325(turbulento)$$

Como el Reynolds es turbulento $\alpha = 1$.

Pérdidas por fricción en tuberías y accesorios en la succión:

Existen en el sistema hidráulico desde la cisterna fuente hasta el tanque de almacenamiento diez codos, de los cuales cinco no son estándares sino realizando soldaduras entre las tuberías entre sí. Para calcular las pérdidas por

fricción causadas por ellos, fue necesario medirlos y se utilizó una escuadra universal. Las limitaciones del instrumento no permitieron medir el ángulo del quinto codo, lo cual ha sido detectado de ser mayor de 160°, y las rugosidades de las soldaduras en las tuberías no permitieron medir el ángulo del sexto codo cuyo valor será asumido para los cálculos.

$$H_f = f \frac{L}{d} \frac{V_1^2}{2g} + \sum \frac{k \cdot V_1^2}{2g} \quad (3.10)$$

El factor de fricción depende del Re y e/D.

La rugosidad absoluta (e) se determina por tabla 9 pág. 281 (Rosabal, 2006).

e= 0,2 para tubos de acero sin costura y tubos soldados no corroídos.

$$\frac{e}{D_1} = 0,52m = 0,00052mm \quad (3.11)$$

Con el valor de Re y e/D se busca f en la figura 3.9 pág.89 (Rosabal, 2006).

f=0,017

L= 5m

Tabla 4: Coeficientes de resistencia local para la succión.

	Grado	Coeficiente de fricción(k)
Codo estándar	90	0,75
Codo estándar	90	0,75
Codo estándar	90	0,75
Válvula de compuerta	-	0,17
Válvula de retención	-	2,0

Fuente: Tabla 3.1 pág. 102 (Rosabal, 2006)

Se sustituyen los valores obtenidos en la ecuación 3.10 y las pérdidas por fricción que se obtiene en tuberías y accesorios para la succión son de:

$$H_f = 0,137m$$

Las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios en la descarga se determinan por la ecuación 3.10.

El factor de fricción depende del Re y e/D.

La rugosidad absoluta (e) se determina por la tabla 9 pág. 281 (Rosabal, 2006).

$e = 0,2$ para tubos de acero sin costura y tubos soldados no corroídos.

$$\frac{e}{D_1} = 0,816m = 0,000816mm$$

Con el valor de Re y e/D se busca f en la figura 3.9 pág.89 (Rosabal, 2006).

$$f = 0,019$$

$$L = 35m$$

Tabla 5: Coeficientes de resistencia local para la descarga.

	Grado	Coeficiente de fricción(k)
Codo	158	0,136
Codo	165	0,068
Codo	150	0,136
Codo	105	0,680
Codo	105	0,680
Codo de gran radio	90	0,600
Codo de gran radio	90	0,600
Válvula de compuerta	-	0,170
Válvula de compuerta	-	0,170
Válvula de compuerta	-	0,170

Fuente: Tabla 3.1 pág. 102 (Rosabal, 2006)

$$H_f = 1,07m$$

Pérdidas por fricción totales:

$$H_{f_{totales}} = H_{f_{tubería}} + H_{f_{accesorio}} \tag{3.12}$$

$$H_f = 1,20m$$

Después de realizados todos los cálculos la carga de la bomba se determina por la ecuación 3.5 obteniendo como resultado:

$$H = 31,37m$$

Determinación del NPSH del sistema:

$$NPSH_{sistema} = \frac{P_2 - P_{vapor}}{\rho g} \quad (3.13)$$

Para calcular la presión de entrada de la bomba se plantea un balance de energía mecánica ubicando el primer punto en el nivel del líquido en el tanque y el punto 2 en la entrada de la bomba.

$$Z_2 = 1m$$

$$P_2 = \rho g \left(\frac{P_1}{\rho g} - Hf_{succión} - Z_2 - \frac{\alpha V_2^2}{2g} \right)$$

$$P_2 = 89817 Pa$$

La presión de vapor del líquido se busca en la tabla 16 pág. 290 (Rosabal, 2006) Pv a 30^oc es 4248 Pa.

$$NPSH_{sistema} = 8,7m$$

Determinación de la potencia de la bomba:

$$P = \frac{Hb * Q * \rho * g}{\eta} \quad (3.14)$$

$$P = 350 \text{ watt}$$

En estos momentos la bomba que se encuentra instalada presenta una carga de 71 m y es utilizada para llenar un tanque de 30 m. Lo cual significa que existe un sobre consumo de energía ya que su carga es casi el triple de la altura del tanque. Se puede ahorrar energía si se sustituye esta bomba por otra de menor carga.

La bomba seleccionada presenta 31m de carga es ITUR 1740 rpm 125/315 cuyo diámetro de impelente es 290 mm y una eficiencia del 75%. El NPSH de la bomba es 6,1 m y el del sistema es 8,7 m por lo que no ocurrirá cavitación.

- Sistema secundario de bombeo (Edificios de Residencia).

Para determinar la carga de la bomba se utiliza la ecuación 3.5.

Donde:

$$Z_2 = 17m$$

$$q = 7,8 \frac{m^3}{h}$$

$$P_1 = P_2 = 101325 Pa$$

$Z_1 = 0$ el punto 1 se encuentra ubicado en el nivel del líquido

$V_1 = 0$ se considera tanque de gran dimensión y por lo tanto la velocidad es tan pequeña que se desprecia.

$P_1 = P_2 = 0$ es un tanque abierto a la atmósfera

Los valores de densidad y viscosidad del líquido se buscan a $30^\circ C$ en la tabla 5 pág. 277 (Rosabal, 2006)

$$\rho = 995,7 kg/m^3$$

$$\mu = 0,8 cP$$

La ecuación del balance de energía para determinar la carga de la bomba queda de la siguiente manera:

$$H = Z_2 + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + H_f$$

Selección del diámetro de tubería:

Cuando no se conoce ni el diámetro, ni la velocidad se utiliza el criterio de Pávlov, 1981 para seleccionar el diámetro por la ecuación 3.6.

La velocidad se selecciona según Mc Cabe, 2002.

En la Tabla 8.1 pág. 193, para líquido poco viscoso:

- Velocidad de entrada de la bomba 0,30 - 0,90 m/s
- Velocidad de salida de la bomba 1,2 - 3,0 m/s

La velocidad de entrada de la bomba seleccionada es 0,8 m/s y la velocidad de salida de la bomba es 2,5 m/s.

$$d_1 = 0,052m = 52mm$$

$$d_2 = 0,031m = 31mm$$

Se estandarizan los diámetros por la tabla 10 (Rosabal, 2006).

$$d_1 = 59mm \quad d_2 = 35,5mm$$

Se rectifica la velocidad por la ecuación 3.7 y 3.8.

$$V_1 = 0,8m/s$$

$$V_2 = 2,2m/s$$

Las velocidades cumplen con el criterio de Mc Cabe, 2002.

Se determina el Reynolds por la ecuación 3.9.

$$Re_1 = 47200(turbulento)$$

$$Re_2 = 78100(turbulento)$$

Como el Reynolds es turbulento $\alpha = 1$.

Las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios en la succión se determinan por la ecuación 3.10.

El factor de fricción depende del Re y e/D.

La rugosidad absoluta (e) se determina por la tabla 9 pág. 281 (Rosabal, 2006).

e= 0,2 para tubos de acero sin costura y tubos soldados no corroídos.

$$\frac{e}{D_1} = 3,3m = 0,0033mm$$

Con el valor de Re y e/D se busca f en la figura 3.9 pág.89 (Rosabal, 2006).

$$f=0,026$$

$$L= 2m$$

Tabla 6: Coeficientes de resistencia local para la succión.

	Grado	Coeficiente de fricción(k)
Codo	90 ⁰	0,75
Válvula de compuerta	-	0,17

Fuente: Tabla 3.1 pág. 102 (Rosabal, 2006).

$$H_f = 0,057m$$

Las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios en la descarga se determinan por la ecuación 3.10:

El factor de fricción depende del Re y e/D.

La rugosidad absoluta (e) se determina por la tabla 9 pág. 281 (Rosabal, 2006).

e= 0,2 para tubos de acero sin costura y tubos soldados no corroídos.

$$\frac{e}{D_2} = 6,45m = 0,0064mm$$

Con el valor de Re y e/D se busca f en la figura 3.9 pág.89 (Rosabal, 2006).

$$f=0,031$$

$$L= 27m$$

Tabla 7: Coeficientes de resistencia local para la descarga.

	Grado	Coeficiente de fricción(k)
Codo	90 ⁰	0,7
Codo	90 ⁰	0,7
Codo	90 ⁰	0,7
Válvula de compuerta	-	0,17
Válvula de retención	-	2

Fuente: Tabla 3.1 pág. 102 (Rosabal, 2006).

$$H_f = 6,85m$$

Las pérdidas por fricción totales se determinan por la ecuación 3.12.

$$H_f = 6,7m$$

$$H = 19,05m$$

El NPSH del sistema se determina por la ecuación 3.13.

Para calcular la presión de entrada de la bomba se plantea un balance de energía mecánica ubicando el primer punto en el nivel del líquido en el tanque y el punto 2 en la entrada de la bomba.

$$Z_2 = 1m$$

Despejando la presión de entrada de la bomba, P₂:

$$P_2 = \rho g \left(\frac{P_1}{\rho g} - H_f - Z_2 - \frac{\alpha V_2^2}{2g} \right)$$

$$P_2 = 90561Pa$$

La presión de vapor del líquido se busca en la tabla 16 pág. 290 (Rosabal, 2006)

P_v a 30⁰c es 4248 Pa.

$$NPSH_{sistema} = 8,8m$$

La potencia de la bomba se determina por la ecuación 3.14.

$$P = 8watt$$

En estos momentos la bomba que se encuentra ubicada en el edificio de residencia "A" trabaja en parámetros aceptables, sin embargo no es la bomba adecuada para las necesidades de esta edificación, puesto que entrega un caudal de 3,6 m³/h y se necesita un caudal de 7,8 m³/h. Como consecuencia la bomba trabaja mucho más tiempo del recomendado, lo que disminuye la vida útil del equipo.

La bomba que se encuentra instalada en el edificio de residencia "B" presenta un punto de operación que se encuentra ubicado a 36 m de carga donde entrega un caudal de 2,8m³/h, sin embargo el punto real de operación se encuentra ubicado a 19m para entregar un caudal de 7,8m³/h que es el necesario para esta edificación. Esto provoca efectos y fenómenos indeseables desde el punto de vista mecánico e hidráulico, lo cual disminuye considerablemente la vida útil del equipamiento y puede provocar daños irreversibles. El consumo de corriente se dispara al requerir del motor la máxima potencia, lo que puede provocar que se caliente y pierda su aislamiento térmico. Se recomienda no continuar el uso de esta bomba para este tipo de edificación. Por lo que es necesario sustituir inmediatamente el equipo por otro que garantice las condiciones de explotación del inmueble.

La bomba seleccionada para los edificios de residencia presenta 19 m de carga es una bomba ITUR 1740 rpm 32/200 cuyo diámetro de impelente es 212 mm y una eficiencia del 50%. El NPSH de la bomba es 2,8 m y el del sistema es 8,8 m por lo que no ocurrirá cavitación.

3.4 Análisis económico.

Se realiza el análisis económico para obtener el costo de la alternativa de solución propuesta para mejorar la calidad del agua de consumo en la UMCC.

Tabla 8: Índices de costo

Año	Índice de costo
2 008	\$575,4
2 013	\$583,6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Costo del equipamiento tecnológico del proceso (CETP).

Equipo	Cantidad	Costo 2008	Costo 2013	Total
Bomba	3	\$4 900	\$4 969,82	\$14 909,48

Fuente: Elaboración propia

- Costo de instalación y montaje (CIM).

$$\text{CIM} = (10\% \text{ del CT}) \quad (3.15)$$

$$\text{CIM} = \$1 490,94$$

- Costo de instrumentación del proceso tecnológico (CIPT).

$$\text{CIPT} = \text{CAI} + \text{CIM} \quad (3.16)$$

- Costo de adquisición (CAI) = (15% del CT) (3.17)

$$\text{CAI} = \$2 236,42$$

- Costo de instalación y montaje (CIM) = (50% del CAI) (3.18)

$$\text{CIM} = \$ 1 118, 21$$

$$\text{CIPT} = \$3 354,63$$

- Costo de adquisición y montaje de tuberías (CAMT).

$$\text{CAMT} = \text{Materiales} + \text{Mano de obra} \quad (3.19)$$

- Materiales = (35% del CT) (3.20)

$$\text{Materiales} = \$ 5 218,32$$

- Mano de obra = (26% del CT) (3.21)

$$\text{Mano de obra} = \$ 3 876,46$$

$$\text{CAMT} = \$ 7 752,92$$

- Costo instalaciones eléctricas (CIE).

$$\text{CIE} = (10\% \text{ del CT}) \quad (3.22)$$

$$\text{CIE} = \$ 1 490,94$$

- Costo del proyecto (CP).

$$CP = \text{Obrero} + \text{Materiales} + \text{Gastos Generales} + \text{Ganancia económica y Organización del proyecto} \quad (3.23)$$

$$CP = \$650$$

- Costo de inversión (CI).

$$CI = CT + CIM + CIPT + CAMT + CIE + CP \quad (3.24)$$

$$CI = \$ 29 648,91$$

Para realizar la instalación de las bombas propuestas se necesitan \$29 648,91.

Tabla 10: Costo de materiales utilizados.

Materiales	Costo
Hipoclorito de sodio (NaClO)	0,008169\$/mg
Agua	1\$/m ³
Kwat	\$/h 0,9

Fuente: Tomado de Harvey, 2005

- Costo de energía eléctrica=Potencia*costo del kw h*hora de trabajo (3.25)

$$\text{Costo de energía eléctrica}=3,97 \text{ \$/h}$$

El costo de energía eléctrica de las bombas propuestas es de 3,97 \$/h.

- Consumo de hipoclorito de sodio= N*precio (NaClO) (3.26)

$$\text{Consumo de hipoclorito de sodio}=1,27\$/L$$

- Pérdidas de agua=N*precio del agua (3.27)

$$\text{Pérdidas de agua}=3 001,56 \text{ \$/ mes}$$

3.5 Plan de acción.

Se plantea un plan de acción para minimizar el impacto ambiental por concepto de pérdidas de agua.

Tabla 11: Plan de acción propuesto

Nº	Actividad	Fecha de ejecución	Participantes	Responsables
1	Presentar los resultados obtenidos en la dirección	Septiembre	Directivos de la Facultad de	Tutora del trabajo de

	de la Facultad de Ingeniería.		Ingeniería.	Diploma
2	Informar al departamento de inversiones del estado de la red hidráulica de la UMCC.	Septiembre	Trabajadores del departamento de inversiones.	Decana de la Facultad de Ingenierías.
3	Capacitar a los operadores del sistema de bombeo sobre el proceso de cloración de la cisterna principal, la cisterna de los edificios de residencia, y los tanques de almacenamiento de agua.	Septiembre	Operadores del sistema de bombeo.	Trabajadores del departamento de inversiones.
4	Establecer como frecuencia de cloración los lunes y jueves. Intervalo de mayor consumo de agua en la universidad.	Septiembre	Operadores del sistema de bombeo.	Trabajadores del departamento de inversiones.
5	Monitorear la calidad del agua con frecuencia semanal.	Septiembre	Operadores del sistema de bombeo.	Trabajadores del departamento de inversiones.

6	Hacer uso de las actividades prácticas de laboratorio de la asignatura de Tratamiento de Aguas y Aguas residuales para analizar el agua de consumo en la universidad.	Septiembre	Estudiantes de la carrera de Ingeniería Química.	Profesores de la asignatura de Tratamiento de Aguas y Aguas residuales.
8	Establecer jornada de saneamiento en las áreas internas y externas, con apoyo de las tareas de impacto.	Septiembre	Estudiantes del centro.	Profesores principales de año.
9	Impartir charlas en las residencias estudiantiles sobre educación ambiental y educación para la salud, particularmente en lo que se relaciona con las medidas higiénicas para el consumo del agua así como en lo concerniente al ahorro de este recurso.	Septiembre	Estudiantes becados.	Técnica educativa.

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones parciales del capítulo.

1. El diagnóstico sobre el uso del agua arrojó que la red hidráulica de distribución del centro está en malas condiciones, existen salideros en el 100% de las tuberías lo que evidencia que el recurso no se utiliza de forma racional.
2. El cálculo estimado de la demanda de agua mensual por actividad asignado a la UMCC es de 18 766,33m³/mes.
3. El análisis físico – químico del agua potable demuestra que el agua se encuentra dentro de los límites máximos admisibles, mientras que el análisis microbiológico evidencia que el agua se encuentra contaminada por coliformes totales y fecales, nocivos para la salud del hombre.
4. La bomba seleccionada para el sistema principal de bombeo es una bomba ITUR de 31m de carga con una eficiencia de 75% y un diámetro de impelente de 290 mm, la seleccionada para el sistema de bombeo de los edificios de residencia es una bomba ITUR de 19m de carga con una eficiencia de 50% y un diámetro de impelente de 212mm.
5. Se plantea un plan de acción para minimizar el impacto ambiental por concepto de pérdidas de agua.

Conclusiones.

1. El estudio de la composición físico-química del agua permite afirmar que esta cumple con la norma de calidad para su consumo según lo establecido en la NC:827:2012 mientras que el análisis microbiológico arrojó que contiene elevados niveles de coliformes totales y fecales por lo que no es posible su consumo sin que se someta a un tratamiento de desinfección. El estado de deterioro de la red hidráulica contribuye notablemente a que estos niveles se mantengan por lo que son aspectos que constituyen fundamentos básicos de las alternativas operacionales que se proponen en la presente investigación.
2. El análisis del sistema hidráulico arrojó que existen pérdidas de agua del 16%. La bomba seleccionada para el sistema principal de bombeo es una bomba ITUR de 31m de carga con una eficiencia de 75% y un diámetro de impelente de 290 mm mientras que la seleccionada para el sistema de bombeo de los edificios de residencia es una bomba ITUR de 19m de carga con una eficiencia de 50% y un diámetro de impelente de 212mm.
3. La cloración es el método de desinfección más sencillo y barato, constituye una alternativa operacional que propicia el mejoramiento de la calidad del agua potable. El análisis económico reflejó que se necesitan 1,27\$/L de hipoclorito de sodio para realizar el proceso de cloración en el agua potable de la UMCC.

Recomendaciones.

Presentar los resultados obtenidos en el presente trabajo investigativo al departamento de inversiones y a la dirección de la Universidad “Camilo Cienfuegos” de Matanzas.

Bibliografía.

1. Aguamarket. (2010). Productos y servicios para la industria del agua latinoamericana [on-line]. Disponible en World Wide.
2. Awwa APHA,WPCP.(2004). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
3. Berovidez, V. (2007). Diversidad de la vida y su conservación. Instituto cubano del libro. Editorial Científico-Técnica. Ciudad de La Habana, Cuba.
4. Castro De Doens, L; Reyes, e. e: De Simonovia,H.L;Young,R.N y Ramírez, A.L. (2006). Guía de prevención de la contaminación de recurso hídrico, caracterización y tratamiento de aguas residuales para el sector de tuberías, Autoridad Nacional del Ambiente.
5. Crisis mundial del agua. (2005). Eco Portal. [en línea]. [Consulta Mayo 26, 2014]. Disponible en <http://www.ecoportal.net/noti02.n922.htm>.
6. Custodio, E y Llamas, M.R. (2006). Hidrología subterránea. Ed. Omega.2 vol.B23.
7. Decreto Ley No. del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Noviembre (1991).
8. De la Madrid Trueba, Alejandro. (2008). Fundación Salvemos el Agua. [en línea]. [Consulta Mayo 26, 2014]. Disponible en: [www.salvemosel agua. Org.](http://www.salvemoselagua.org)
9. Díaz Betancourt, Raúl. (2006). Tratamiento de aguas y aguas residuales. Ciudad de La Habana. Editorial ISPJAE.
10. Diccionario de términos ambientales. (2008). [en línea]. [Consulta Marzo 26, 2014]. Disponible en [http:// www.medioambiente.cu/diccionario.asp?letra=c](http://www.medioambiente.cu/diccionario.asp?letra=c).
11. El agua. Infoagua. (2005). [en línea]. [Consulta Noviembre 15, 2013]. Disponible en <http://www.infoagua.org>.
12. Estrategia Ambiental de la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". (2015-2017). CITMA. Cuba.

13. Fernández-Rubio Legrá, Ángel. (1999). Ley 81 del Medio Ambiente de la República de Cuba. Ministerio de Educación Superior. Centro coordinador de estudios de dirección. La Habana. Cuba.
14. García Dihigo, J. (2005). Metodología de la investigación para las ciencias administrativas. 2^{da}ed. Cuba. 231p.
15. Gómez, A. 2004. Contaminación del agua. [en línea]. [Consulta Marzo 15, 2014]. Disponible en <http://eureca.ya.com/ecositio/cont/agua.htm>.
16. González J. (2010). Uso de plantas en el tratamiento del agua. Revista Ingeniería Química. No 482 España.
17. Harvey Henry, Brandon. (2005). Calidad del agua y obtención de agua mineral en fuentes naturales de la Ciudad de Matanzas. Tesis de Diploma en opción al título de Ingeniero Químico.
18. Hill, Dennis. (2006). Microbiology for drinking water personnel: American Water Works Association. Editorial AWWA. Estados Unidos.
19. Inastrilla Armayor, Orlando y Quero Quero, David. (2012). Servicio de Asistencia Técnica. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
20. Iturralde Vinent, Manuel A. (2011). Protege a tu familia de las aguas contaminadas. Derechos reservados. La Habana, Cuba.
21. Jorrín Palmero, Lisber. (2012). Tecnología limpia para el envasado de agua mineral natural en el municipio de Yaguajay. Tesis presentada en opción al grado académico de Máster en Control y Tratamiento de Contaminación Ambiental.
22. López Cabrera, Carlos M. et al. (2006). Universidad para todos. Introducción al conocimiento del Medio Ambiente. Suplemento Especial. Cuba. Editorial Academia.
23. Macián Cervera, V. J; Monforte Monleony, L; Riberta Orts, R. (2007). Reducción de trihalometanos en agua potable. Revista Ingeniería Química. N^o448. España.

24. Manso, R. (2008). Medio Ambiente. Flora. Radio Habana Cuba. [en línea]. [Consulta Marzo 15, 2014]. Disponible en <http://www.radiohc.cu/español/medioambiente/flora/.htm>
25. Manual de Normas ISO. (1993). Calidad del agua. Universidad de Matanzas.
26. Mayol Milián, José Francisco. (2008). Sistema de tratamiento para reducir el alto contenido de dureza en el agua de consumo en los Hoteles Laguna Mangón. Tesis en opción al título académico de Máster en Contaminación Ambiental.
27. Mc. Cabe, H. S. (2002). Operaciones Unitarias de Ingeniería Química. Editorial McGraw-Hill/ Interamerican Editores, S. A. de C.V, España.
28. Montalvo J. (2000). Técnicas Analíticas para Agua y Sedimentos Marinos. Protocolos de Trabajo. Instituto de Oceanología. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
29. NC 827:2012 : Agua Potable. Requisitos sanitarios.
30. NC 93-01-128:1988. Determinación del número Más Probable de Coliformes Totales y Fecales. Vig. Julio 1989.
31. NC XX: 2007 Proyecto de Normas. Determinación de la demanda de agua potable en poblaciones.
32. Pávlov, F. K. (1981). Problemas y ejemplos para el curso de Operaciones Básicas y Aparatos en tecnología química. Editorial Mir Moscú.
33. Pichs Madruga, Ramón. (2008). Cambio Climático. Globalización y subdesarrollo. Editorial Científico-Técnica. La Habana. Cuba.
34. Pizzi, Nicholas. (2007). Pre-Treatment Field Guide: American Water Works Association. Editorial AWWA. Estados Unidos.
35. Portuondo, Pichardo, Fernando M. (2006). Economía de empresas industriales. Editorial Félix Varela. La Habana.
36. Programa Hidráulico Regional. Infoagua. (2006). [en línea]. [Consulta Noviembre 15, 2013]. Disponible en <http://www.infoagua.org>.

37. Problemática del agua en el mundo. (2011). [Consulta Abril 10, 2014]. Disponible en <http://www.pnuma.org/recnat/esp/documentos/cap1.pdf>
38. Ramírez Quiróz, Francisco. (2005). Tratamiento de Desinfección del Agua Potable, Canal Isabel II. ISBN 84-933694-3-8.
39. Ramos Guadalupe, Luis. (2009). Huracanes. Desastres naturales en Cuba. Editorial Academia.
40. Rojas, Ricardo. (2002). Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. [Consulta Febrero 5, 2014]. Disponible en <http://www.cepis.ops-oms.org>.
41. Rosabal Vega, Julio. (2006). Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas. La Habana. Editorial Pueblo y educación.
42. Sánchez García, Lorena. (2014). Reservas acuíferas: un dilema del día a día. Periódico Granma. La Habana. Edición Única.
43. Seoáñez, M. (1999). Aguas residuales urbanas: tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. 2da ed. Madrid: Mundi-Prensa.
44. Serrano, J. H. (2006). Universidad para todos. "Protección ambiental y producción más limpia". Suplemento especial. Parte 1. Cuba. Editorial Academia. 16 p.
45. Urbietta, J. (2005). Contaminación y purificación del agua. [en línea]. [Consulta Marzo 15, 2014]. Disponible en <http://www.monografia.c>

Anexos.

Anexo 1: Reseña fotográfica.

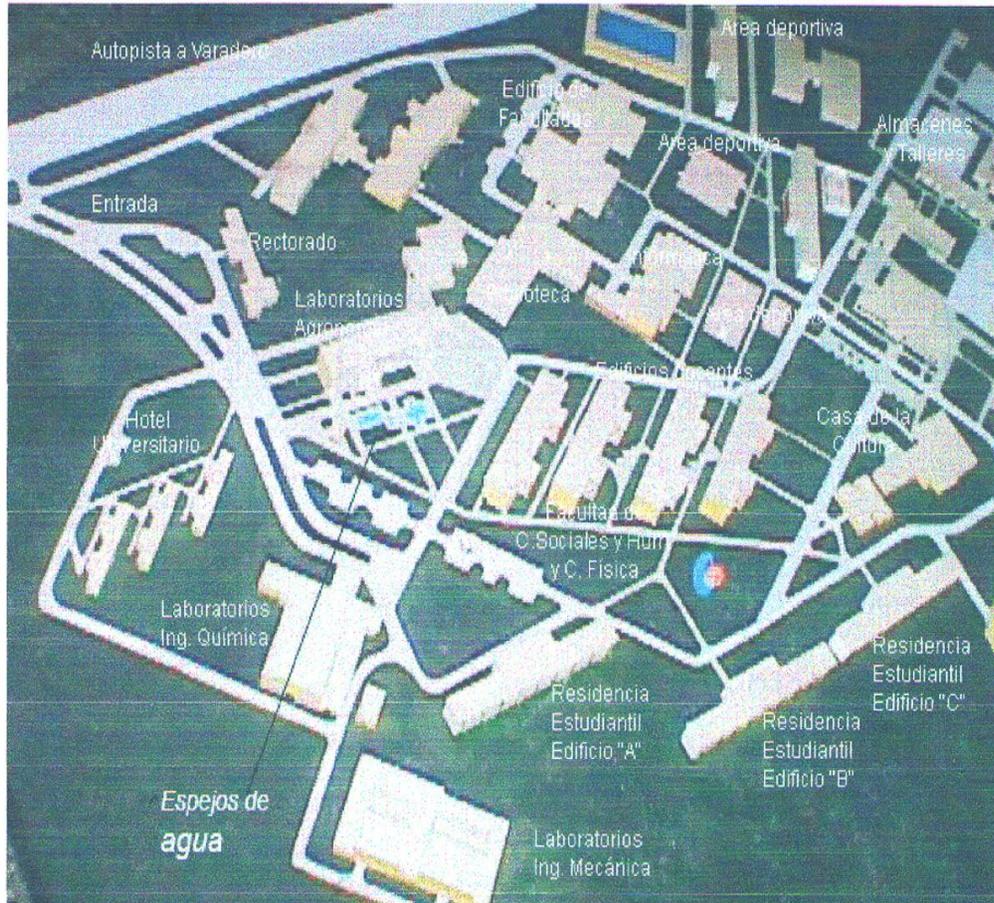


Figura 1: Foto de la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos".

Anexo 2: Guía de observación para el diagnóstico.

Objetivo: Observar cómo se utiliza el agua en la UMCC.

Acciones:

- Observar cómo es el comportamiento de los estudiantes y trabajadores con respecto a la existencia y uso del agua en la UMCC.
- Observar las manifestaciones de complacencia o rechazo que pueden producirse ante la presencia o no del recurso agua en UMCC.
- Revisar si la frecuencia de bombeo de agua garantiza la disponibilidad del recurso.
- Observar las condiciones de la red conductora y evaluar su estado.
- Percibir si los estudiantes y trabajadores se interesan por conocer los resultados del diagnóstico y por participar en el proceso de toma de decisiones.

Anexo 3: Guía de la entrevista realizada a estudiantes y trabajadores de la UMCC.

Objetivo: Conocer a través de la opiniones de estudiantes y trabajadores de la UMCC cómo influye la utilización del recurso agua en la calidad de vida de la comunidad universitaria.

Aspectos a tratar:

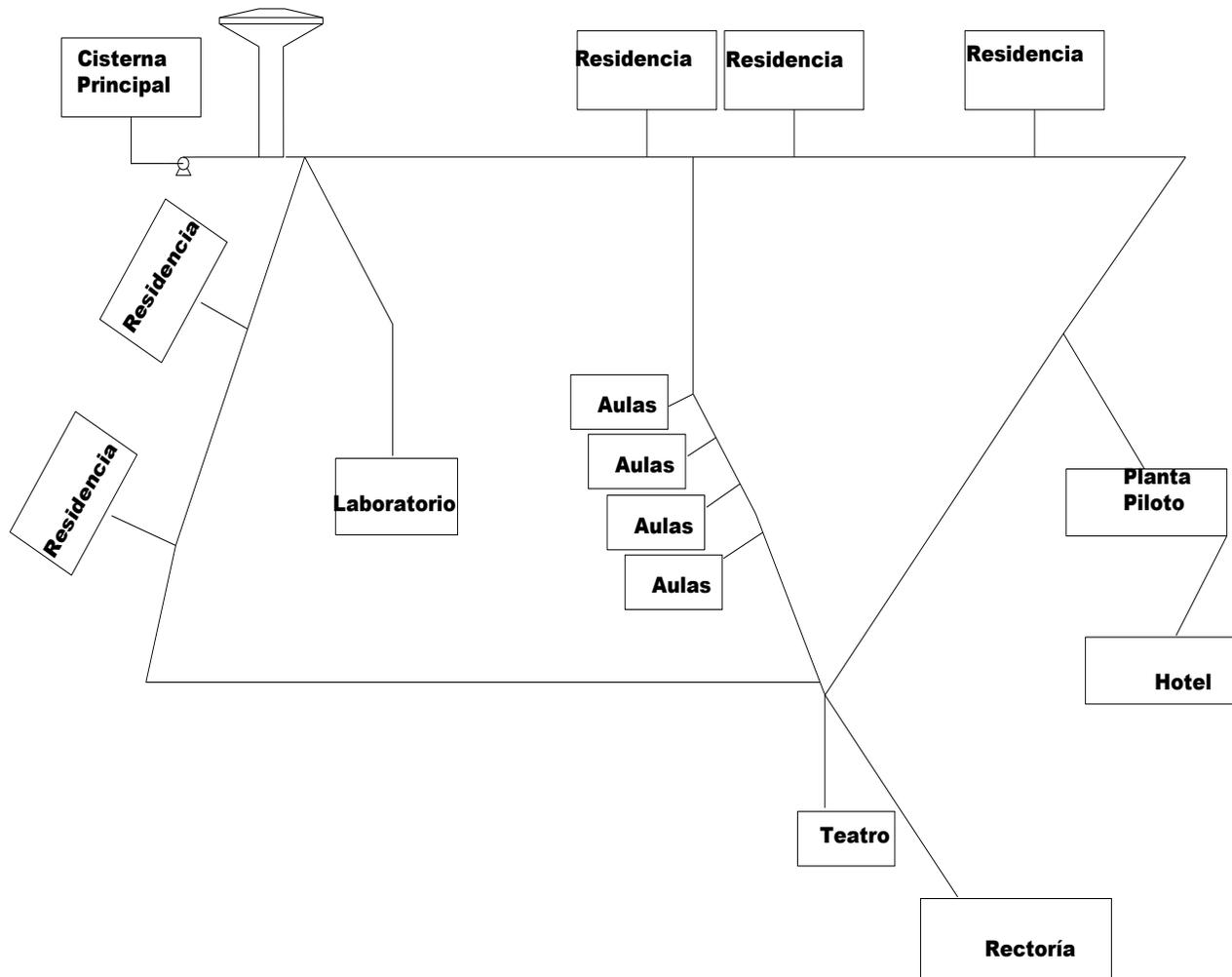
- Forma en que se realiza el bombeo y distribución del agua.
- Horario de permanencia del agua en los edificios de residencia estudiantil.
- Valoración cualitativa de la calidad del agua.
- Valoración sobre las pérdidas de agua en las instalaciones sanitarias.
- Papel que juegan los directivos de la UMCC y las diferentes organizaciones políticas y de masa en la solución del problema.

Anexo 4:

Tabla 12: Relación de trabajadores y estudiantes entrevistados.

Nombre y Apellidos	Labor que realizan	Fecha	Hora
Emilio Duarte	Director de Inversiones	20/2/2014	10:00 a.m
Alberto García	Jefe de Beca	24/2/2014	10:00 a.m
Liurbis Silva	Técnica educativa	24/1/2014	11:00 a.m
Osmany Martínez	Trabajador del área de mantenimiento	10/3/2014	1:00 p.m
Julio Ángel Álvarez	Turbinero	12/3/2014	8:00 a.m
Yadiel Ruiz	Estudiante de ingeniería Química	18/3/2014	10:00 a.m
Manuel A. Tamayo	Estudiante de ingeniería Química	18/3/2014	11:00 a.m
Lianet León	Estudiante de Licenciatura en Derecho	19/3/2014	12:00 p.m
Katia Medina	Estudiante de Lengua Inglesa	19/3/2014	1:00 p.m
Alexis González	Estudiante de ingeniería Química	20/3/2014	10:00 a.m

Anexo 5: Plano hidráulico de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.



Anexo 6: Reseñas fotográficas.



Figura 2: Salideros en llaves de paso



Figura 3: Salideros en tuberías rotas

Anexo 7:

Tabla 13: Diagnóstico sobre las pérdidas de agua en la UMCC.

Edificios	Pérdidas de agua por salideros (m ³ /año)
Residencia A	368,10
Residencia B	481,31
Residencia C	41,47
Residencia E	491,72
Docente 1	414,72
Docente 2	57,60
Informática	2 592,00
Salideros en áreas exteriores	31 572,08
Total	36 018,72

Fuente: Inastrilla y Quero (2012).

Estos datos representan 3 001,56 m³/mes pérdidas de agua mensuales.

Anexo 8:

Tabla 14: Resultados del análisis estadístico.

	D _{Total}	D _{Calcio}	D _{Magnesio}	D _{Permanente}	D _{Temporal}	pH	Conductividad	CT	CF
Cantidad	14	16	16	14	14	14	8	8	7
Average	139,6	74,64	220,125	152,571	68,2286	7,485	1118,63	438,0	345,429
Media	133,9	69,6	200	155	66,5	7,55	1090	240	2
Moda	-	-	-	105	91,	-	1202	240	2
Varianza	1908,02	2455,17	2029,72	2899,8	2672,12	0,132073	9233,84	639322	820808
Desviación Estándar	43,6809	49,5496	45,0524	53,8498	51,6925	0,366419	96,0773	799,576	905,984
Mínimo	30	4,41	168	95	11,2	6,7	1016,	2	0
Máximo	195	170	340	254	165	8	1277	2400	2400
Rango	165	165,59	172	159	153,8	1,3	261	2398	2400
Skewness	-1,48793	0,93583	2,30122	0,80377	1,1129	-0,75655	0,698017	3,15351	2,85769

Kurtosis	1,40589	-0,42490	1,59785	-0,71504	-0,250488	0,1216	-0,6705	4,38922	3,78034
Coeficiente de variación	31,29%	20,46%	20,466%	35,2948%	75,7637%	4,85529%	8,588%	182,55%	262,778%

Fuente: Elaboración propia

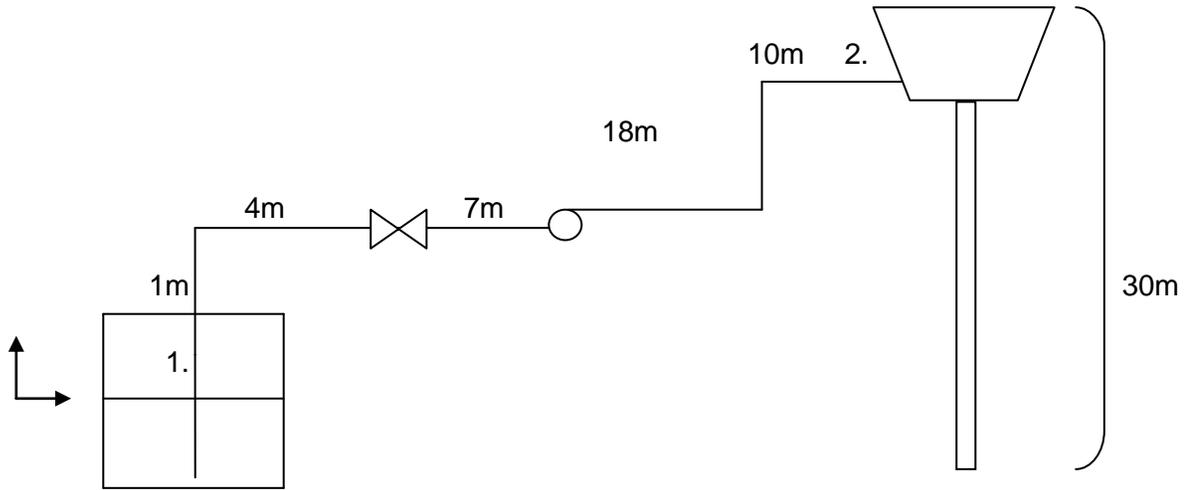
Anexo 9:

Tabla 15: Coeficientes de irregularidad.

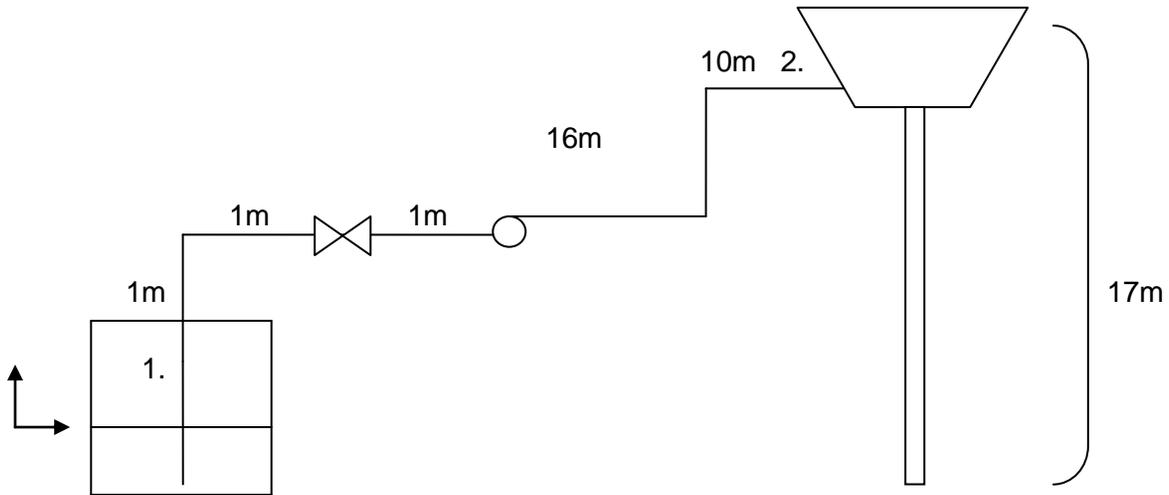
Población (miles de habitantes)	Diario (k_1)	Horario (k_2)
Menos de 2.0	1,5	1,9
2.0 a 10.0	1,5	1,8
10 a 25.0	1,5	1,7
25 a 50	1,4	1,6
50a 100	1,4	1,5
100 a 150	1,4	1,4
150 a 300	1,3	1,4
300 a 500	1,3	1,3
Más de 500	1,2	1,3

Fuente: NC XX: 2007.

Anexo 10: Diagrama de flujo del sistema principal de bombeo.



Anexo 11: Diagrama de flujo del sistema de bombeo de los edificios de residencia.



Anexo 12: Normas Cubanas. NC 827:2012. "Agua Potable". Requisitos sanitarios.

Tabla 16: Características físicas y componentes químicos que pueden afectar la calidad organoléptica del agua potable.

Tipo	Características	LMA
Físicas	Olor y sabor	Inodora y sabor agradable
	Turbiedad	5 UNT
	Color real	15 UC
Químicas	pH	6,5 - 8,5
	Sólidos totales disueltos	1 000 mg/L
	Dureza total (como carbonato de calcio)	400 mg/L
	Cloruros	250 mg/L
	Sustancias activas al azul de metileno	0,5 mg/L
	Compuestos fenólicos (referidos al fenol)	0,002 mg/L
	Aluminio	0,2 mg/L
	Cobre	2,0 mg/L

	Hierro	0,3 mg/L
	Sodio	200 mg/L
	Sulfatos	400 mg/L
	Zinc	5 mg/L

Tabla 17: Componentes inorgánicos que influyen sobre la salud

Componentes	LMA (mg/L)
Amoniaco	No presencia
Arsénico	0,05
Cadmio	0,005
Calcio	200
Cianuro	0,07
Cloro libre	2,0
Cromo total	0,05
Fluoruro	1,5
Magnesio	150
Manganeso	0,1
Mercurio total	0,001
Níquel	0,02
Nitrato	45
Nitrito	0,01
Plomo	0,05
Selenio	0,01

El LMA para el fluoruro se permitirá cuando el agua lo contenga en forma natural. Cuando se requiera la adición de fluoruro en sistemas de abastecimiento público, la concentración media diaria en al agua tratada ha de ser $(0,7 \pm 0,1)$ mg/L.

Tabla 18: Componentes orgánicos que influyen sobre la salud.

Contaminante	LMA (µg/L)
Alaclor	20
Aldrin y dieldrín (suma de ambos)	0,03
Atrazina	2
Benceno	10
Benzo (a) pireno	0,7
Bromodiclorometano	60
Bromoformo	100
Dibromoclorometano	100
Cloroformo	200
Clorpirifos	30
2,4 - D	30
DDT y sus metabolitos (suma)	1
Dimetoato	6
Endrin	0,6
Lindano	2
Simazine	2
Tetracloruro de carbono	4
Trifluralin	20
Trihalometanos (suma de las razones de las concentraciones de bromodiclorometano, bromoformo, dibromoclorometano y cloroformo entre sus respectivos valores de referencia)	1

Los LMA de las sustancias consideradas cancerígenas, como el Alaclor, el Benceno y el Benzo (a) pireno, refieren la concentración en el agua de bebida asociada con un límite superior de riesgo adicional de cáncer durante toda la vida

de 10⁻⁵ (un caso adicional de cáncer por cada 100 000 personas que ingieren agua de bebida con una concentración de la sustancia igual al valor de referencia durante 70 años). Las concentraciones asociadas con límites superiores estimados de riesgo adicional de cáncer de 10⁻⁴ y 10⁻⁶ pueden calcularse multiplicando y dividiendo, respectivamente, el valor de referencia por 10.

Tabla 19: Requisitos microbiológicos de la calidad sanitaria del agua potable de acuerdo con las técnicas empleadas para su determinación.

Parámetro	Técnica		
	Tubos múltiples de fermentación	Filtración por membrana	Ausencia/ Presencia
<i>Escherichia coli</i>	< 2 NMP / 100 mL	0 UFC / 100 mL	Ausencia / 100 mL
Coliformes termotolerantes	< 2 NMP / 100 mL	0 UFC / 100 mL	Ausencia / 100 mL