

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FC
Facultad de
Construcciones

Departamento de Ingeniería Hidráulica

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Diagnóstico y rehabilitación de la planta potabilizadora de agua de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

Autor: Javier Ernesto de Armas Osorio

Tutor: Ing. Francisco Rodríguez de la Lastra
Dr. Ing. Lamberto Álvarez Gil

Santa Clara septiembre 2019
Copyright©UCLV

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FC
Facultad de
Construcciones

Academic Department of Hydraulic Engineering

DIPLOMA THESIS

Title: Diagnostic and rehabilitation of the plant potabilizadora of water of the Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Author: Javier Ernesto de Armas Osorio

Thesis Director: Ing. Francisco Rodríguez de la Lastra
Dr. Ing. Lamberto Álvarez Gil

Santa Clara September 2019
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Trabajo de Diploma Diagnóstico y rehabilitación de la planta potabilizadora de agua de la
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

DEDICATORIA

A Bernardo de Armas Colom.

AGRADECIMIENTOS

A todos los que hicieron posible este trabajo, fruto de mucho estudio y sacrificios, en especial:

A mi tutor **Francisco Rodríguez de la Lastra** quien me brindó su valioso tiempo para que pudiera terminar este trabajo

A los profesores del **Departamento de Ingeniería Hidráulica** quienes me formaron como la profesional.

A toda **mi familia** por estar pendiente a mí en cada momento, en especial a mi madre.

A todos, muchas gracias.

Resumen

En este trabajo se realiza el diagnóstico y una propuesta de rehabilitación a la planta potabilizadora de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV), con el objetivo de mejorar la calidad del agua para consumo que necesita la población universitaria y usuarios aledaños a la instalación. Se determina el estado actual de cada órgano de tratamiento de la planta potabilizadora UCLV y su función en el esquema tecnológico que tiene implementado desde su diseño inicial. A partir de la calidad del agua de la fuente (presa Minerva) y los requisitos de calidad del agua para consumo se realizan la propuesta de mejoras del proceso de tratamiento y se modifica el esquema tecnológico. Finalmente se incluye un análisis de los costos de la rehabilitación.

ABSTRACT

In this work the diagnosis is made and a proposal of rehabilitation to the water treatment plant of the Central University “Marta Abreu” of Las Villas (UCLV), with the aim of improving the quality of water for consumption needed by the university population and surrounding users to the installation. The status of each part of the treatment of the UCLV water treatment plant and its function in the technological scheme that has been implemented since its initial design is determined. From the source water quality (Minerva dam) and the water quality requirements for consumption, the proposal for improvements in the treatment process is made and the technological scheme is modified. Finally, an analysis of the costs of rehabilitation is included.

Tabla de Contenido

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
Resumen	iii
Introducción	1
Capítulo 1. Revisión bibliográfica y antecedentes del tema de investigación	5
1.1. Principales tecnologías de tratamiento de agua utilizadas en Cuba.	6
1.2. Tecnologías no convencionales en tratamiento de agua para consumo.	8
1.3. Regulaciones técnicas cubanas para el correcto diseño de plantas potabilizadoras	12
1.4. Análisis de las características físico-química y bacteriológica del agua en la UCLV	14
Capítulo 2: Población, demandas de agua y situación actual de la planta.	17
2.1 Población actual y futura	17
2.2 . Demandas de agua	18
2.3. Situación actual de la planta potabilizadora de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas	21
2.3.1. Floculador	22
2.3.2. Sedimentador	24
2.3.3. Sistema de filtración.	26
2.3.4. Filtros rápidos a presión.....	27
2.3.5. Cisterna de aguas claras.	28

Capítulo 3. Acciones a ejecutar para la rehabilitación de la planta y análisis económico.	30
3.1 Acciones para la rehabilitación de cada elemento de la planta potabilizadora. ...	32
3.1.1 Conductos internos de la planta.	32
3.1.2. Floculador.....	33
3.1.3. Sedimentador	36
3.1.4. Sistema de filtración.....	36
3.1.5. Cisterna de aguas claras.....	37
3.2. Análisis económico.	39
3.2.1. Costos de inversión.	39
3.2.2. Costos anuales.....	41
3.2.3. Valor del agua producida.....	41
Conclusiones.....	43
Recomendaciones.....	44
Referencia bibliográfica	45
Bibliografía.....	46

Introducción

A lo largo de la historia, e incluso ya antes de nuestra era, se conocía la necesidad de tratar el agua para mejorar su calidad y de esta forma evitar enfermedades y epidemias; el propio desarrollo industrial ha exigido cada vez más, una mejor calidad del agua de proceso. Paralelamente al aumento de la exigencia por la calidad de las aguas para uso industrial, humano y a la escasez de fuentes de abasto adecuadas, se han desarrollado sistemas de tratamiento que permiten la obtención de aguas que cumplan los requerimientos para cada caso; por ejemplo, hoy en día es posible potabilizar aguas residuales para su reutilización en el abasto.(Condorchem, 2019)

La potabilización del agua comprende una serie de procesos que remueven todas las materias presentes en el agua cruda y lograr así un producto final: agua potable, que se corresponda con los requisitos impuestos por las normas de calidad de agua para consumo humano. (Álvarez)

Ya en el siglo XIX comienzan a darse los primeros pasos en procesos rústicos de tratamiento y para 1806, en París, empieza a funcionar la mayor planta de tratamiento de agua hasta el momento. En la misma, el agua se sedimentaba durante doce (12) horas antes de su filtración, que se efectuaba mediante filtros de arena y carbón, basándose en el diseño, que, en 1827, realizó el inglés James Simplón, de un filtro de arena para la purificación del agua. Hoy en día se considera el primer sistema de filtración efectivo utilizado con fines de salud pública, y a partir de ese año comenzó una revolución mundial en torno al tratamiento del agua de consumo. (Condorchem, 2019)

Pero, la demanda global de agua sigue aumentando por el crecimiento poblacional y de las actividades socioeconómicas. Además, en algunos países, el acceso a agua cruda de calidad aceptable es problemático, debido a que la cantidad del recurso hídrico es limitada, y se tienen que tratar aguas de no muy buena calidad con resultados objetables.

También, en países en vías de desarrollo, las limitaciones económicas para la implantación de sistemas convencionales de potabilización y de depuración hacen que el volumen de efluentes depurados sea bastante escaso.

En resumen, para lograr un agua potable, es necesario someter el agua cruda a una serie de operaciones o procesos unitarios, convenientemente seleccionados con el fin de remover totalmente los contaminantes microbiológicos presentes en la misma y parcialmente los físicos y químicos, hasta llevarlos a los límites aceptables estipulados por las Normas para que pueda ser consumida por los seres humanos, y esta es precisamente la función que realizan las plantas de tratamiento o potabilizadoras, convirtiéndolas en una de las obras hidráulicas imprescindibles para la economía del país.

En la actualidad el tema agua sigue siendo un problema para la humanidad tal como lo demuestran los siguientes datos:

- En los últimos ocho años se produjeron 263 conflictos por el agua, casi el triple de los ocurridos en la década anterior.
- La escasez de agua afecta al 40,0 % de los habitantes del planeta.
- Unos 4 000 millones de personas, casi dos tercios de la población mundial, padecen escasez grave de agua.
- Hasta el año 2030, al menos 700 millones de personas podrían verse forzadas a desplazarse debido a la escasez de agua.
- Unos 2 100 millones de personas viven sin agua potable en sus hogares.
- El 90,0 % de los desastres naturales están relacionados con el agua.

(Bustamante, 2019)

Al triunfar la Revolución Cubana solo el 64,0 % de la población cubana tenía acceso al agua potable. A partir de este momento, Cuba ha avanzado en estos trabajos, teniendo actualmente una cobertura de más del 90,0 % de la población con agua potable. Para ello se han construido varias potabilizadoras en todo el país, aunque algunas presentan infraestructuras que tienen años prolongados de explotación y sin mantenimiento adecuado. (Brown, 2013 - 2014)

Tabla I. Cobertura de agua potable en Cuba en % (IPH Villa Clara)

Conceptos	Total	Urbano	Rural
Población	93,2	97,4	76,7
Conexión domiciliaria	73,5	85,4	37,7
Servicio públicos	13,3	9,3	25,4
Fácil Acceso	5,5	2,7	14,1
Población sin acceso a agua potable	7,7	2,6	23,3

El caso de la planta potabilizadora de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas es uno más de los tantos existentes en Cuba con mal funcionamiento por las causas antes descritas, ya que la misma está en funcionamiento desde la década de los años 50 del pasado siglo, y además fue diseñada para el tratamiento de las aguas provenientes del río Ochoa y en la actualidad la fuente de abasto es la presa Minerva.

Desde hace varios años la demanda de agua no se puede satisfacer en cantidad, debido al incremento de los usuarios, así como, tampoco garantiza la calidad debida del agua tratada debido al deterioro de la planta potabilizadora.

Por ello, en octubre de 2018 la dirección de la UCLV, toma la decisión de convocar a un grupo de expertos de la institución para afrontar la situación, entre los acuerdos que se tomaron, estaba el de desarrollar a partir de trabajos científicos, diferentes soluciones apoyándose en el trabajo de pregrado.

Este trabajo pretende realizar un análisis de la situación actual de la planta de tratamiento y de su rehabilitación.

Objeto de estudio:

Esquema tecnológico empleado para la potabilización de agua.

Campo de acción:

Tratamiento de agua para consumo humano.

Problema de investigación

La planta potabilizadora de la UCLV, a partir de la falta de mantenimiento a lo largo de todos los años de servicio, ha sufrido el deterioro del equipamiento tecnológico y de sus objetos de obra, que atentan contra la eficiencia del proceso, lo que se traduce en una mala calidad e inestabilidad en el servicio que se entrega a los usuarios del producto.

Hipótesis:

Si se identifican los problemas que presenta la planta potabilizadora de la UCLV entonces se podrán proponer las soluciones, cumpliendo con las regulaciones y normas vigentes para garantizar el funcionamiento óptimo de la misma.

Objetivo General:

Proponer una solución para la rehabilitación integral de la planta de potabilización de la UCLV, a partir de identificar las dificultades que presenta la misma, que permita recobrar su estado óptimo.

Objetivos específicos:

- Establecer los criterios del tratamiento de agua potable a partir del registro de las diferentes fuentes bibliográficas.
- Caracterizar la tecnología de la planta de tratamiento de la UCLV.
- Obtener los valores de población y demanda de los usuarios correspondientes.
- Realizar un diagnóstico de la situación actual de la planta de la UCLV.
- Proponer una solución ante cada problema detectado.
- Obtener los costos de la rehabilitación.

Tareas investigativas:

- Estudio detallado de las normas vigentes en Cuba que rigen el abasto y calidad del agua a los pobladores.
- Levantamiento del personal beneficiado con el agua de la planta.
- Análisis de las condiciones actuales de la planta.
- Obtención de cada uno de los elementos a rehabilitar.

Capítulo 1. Revisión bibliográfica y antecedentes del tema de investigación

Una planta de tratamiento de agua se define como el conjunto de operaciones unitarias que pueden ser de tipo físico, químico y/o biológico, y que tienen como fin último eliminar o, en su defecto, reducir la contaminación o los parámetros no deseables del agua a tratar para obtener una de mejor calidad y con las características deseadas, según sea el tipo de agua que se tenga como influente, ya sea aguas residuales domésticas o industriales, agua de pozo, agua de lluvia, etc., y del uso que se le vaya a dar al agua producto, ya sea para el consumo humano y/o industrial, el riego de cultivos, parques, etc. (Caminati, 2013)

Mayor eficiencia en la remoción de los contaminantes, gestionar de mejor forma las instalaciones e incluso reducir el gasto energético son algunos de los objetivos que se deben alcanzar en el diseño de las plantas de tratamiento de agua, para lograr una repercusión directa en el servicio de abastecimiento. (S.A, 2018)

A continuación, se muestran algunos aspectos importantes que se deben tener en consideración sobre el agua de consumo.

Posibles efectos perjudiciales del agua sobre la salud

Los efectos adversos en la salud humana ocasionados por el agua pueden dividirse en cinco categorías:

a) Metales pesados presentes en el agua que producen enfermedades:

- Arsénico
- Fluoruro
- Plomo
- Nitratos y nitritos

b) Enfermedades de origen biológico-infecciosas:

- Cólera
- Tifoidea
- Meningitis

c) Enfermedades con base en el agua:

- Son causadas por organismos acuáticos que pasan una parte de su ciclo vital en el agua y otra parte como parásitos de animales.

d) Enfermedades de origen vectorial relacionadas con el agua:

- Son las transmitidas por vectores, como los mosquitos y las moscas negras, que se crían y viven cerca de aguas contaminadas y no contaminadas.

e) Enfermedades vinculadas a la escasez de agua:

- Entre las enfermedades típicas vinculadas a la escasez de agua se incluye la sarna.

1.1. Principales tecnologías de tratamiento de agua utilizadas en Cuba.

En Cuba se utilizan las siguientes tecnologías de tratamiento:

- **Plantas de filtración rápida:** Estas plantas se denominan así porque los filtros que las integran operan con velocidades altas, pudiendo ser a presión o a gravedad. En Villa Clara, por ejemplo, utilizan esta tecnología las potabilizadoras de Manicaragua, con filtros a presión, y la propia de la UCLV, que inicialmente tenía filtros a gravedad, pero que posteriormente fueron sustituidos por elementos a presión
- **Plantas de filtración lenta:** Los filtros lentos operan con velocidades como cien (100) veces menores que las promedio empleadas en los filtros rápidos; de allí el nombre que tienen. Este proceso simula los procesos de tratamiento que se efectúan en la naturaleza en forma espontánea, al percolar el agua proveniente de las lluvias, ríos, lagunas, etc., a través de los estratos de la corteza terrestre, atravesando capas de grava, arena y arcilla hasta alcanzar los acuíferos o ríos subterráneos. En nuestra provincia se encuentra la planta del hotel Horizonte La Granjita.(Pedraza., 2016)

- **Desalinización.** Proceso mediante el cual se remueve la casi totalidad de los sólidos suspendidos y disueltos en el agua, así como, virus y otros patógenos presentes, y se puede realizar mediante destilación, ósmosis inversa, etc.

La ósmosis inversa es el proceso más empleado, tanto a nivel mundial como en Cuba, donde se utiliza generalmente para la desalinización de agua de mar para el abastecimiento de agua potable para polos turísticos (Cayo Largo y Cayo Coco), aunque en los últimos tiempos se han instalado pequeñas plantas para el abastecimiento de agua de consumo para beber en ciudades, incluyendo Santa Clara.

Este es un tratamiento que invierte el proceso natural que tiende a igualar concentraciones a través de una membrana semipermeable, por medio de una presión negativa al flujo natural. (S.A.S., 2019)

Tipos de procesos de potabilización de agua utilizados

La mayor parte de estos procesos originan cambios en la concentración o en el estado de una sustancia, la cual o es desplazada o es incorporada en la masa de agua. Este fenómeno recibe el nombre de **transferencia de fase.**

El principal proceso de transferencia utilizados en el tratamiento del agua para consumo humano son los siguientes:

- a) Transferencia de sólidos.
- b) Transferencia de iones.
- c) Transferencia de gases.
- d) Transferencia molecular o de nutrientes.

- Transferencia de sólidos:

Se consideran en esta clasificación los procesos de cribado, sedimentación, flotación y filtración.

- Transferencia de iones:

La transferencia de iones se efectúa mediante procesos de coagulación, precipitación química, absorción e intercambio iónico.

- Transferencia de gases:

Consiste en cambiar la concentración de un gas que se encuentra incorporado en el agua mediante procesos de aireación, desinfección y recarbonatación.

- Transferencia molecular:

Este tipo de transferencia se lleva a cabo en la filtración, en la cual los mecanismos de remoción más eficientes se deben a la actividad de los microorganismos. (Álvarez)

1.2. Tecnologías no convencionales en tratamiento de agua para consumo.

Ósmosis inversa

La ósmosis inversa es un proceso que invierte el proceso natural que tiende a igualar concentraciones a través de una membrana semipermeable, por medio de una presión negativa al flujo natural. Este proceso es muy usado para desalinizar agua. La ósmosis inversa también remueve los sólidos naturales y los minerales del agua que son sustancias beneficiosas para que el agua sea considerada potable. El resultado es agua desmineralizada y estéril. (Dominighini, 2017)



Figura 1.1 Planta desalinizadora Cayo Santa María

Ultrasonido

El funcionamiento de esta tecnología se deja explicar de la siguiente manera: Una parte de las celdas de la biomasa es abierta por los ultrasonidos, licuándose. A continuación, el material licuándose puede ser mejor. Eso significa que la putrefacción se realiza de una mejor manera, de manera que se produce hasta 50% más de biogás y por lo tanto menos sustrato restante como producto de desechos. Otro efecto positivo es el ahorro de volumen del gasómetro y una mejor deshidratabilidad de la biomasa. (GmbH, 2019)

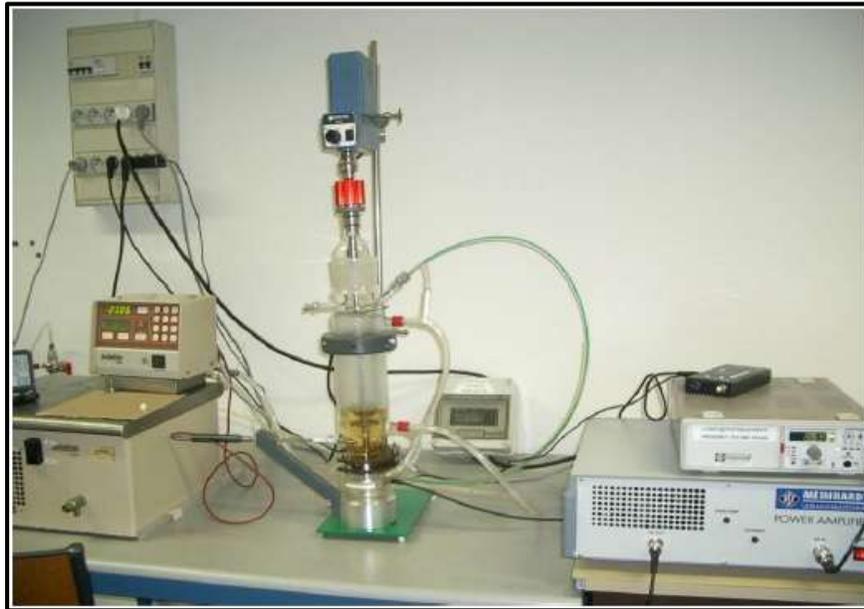


Figura 1.2 Un reactor ultrasónico.

Ozonización

La técnica se basa, fundamentalmente, en lograr un tiempo de contacto adecuado del agua, con la cantidad adecuada de ozono. Concentraciones de entre 0,5 y 0,8 mg/L de ozono durante unos tres o cuatro minutos son suficientes para conseguir una calidad de agua excepcional y desinfectada. Tras el tratamiento, el ozono se descompone en oxígeno tras varios minutos no dejando ningún tipo de residual, pero, por consiguiente, tampoco existirá ningún residual desinfectante que pudiera prevenir el crecimiento bacteriológico. En los casos en los que sea necesario asegurar que el agua de consumo ha sido recién tratada con ozono, el sistema de ozonización se realizará en un depósito

con un caudal de recirculación, en donde mediante un inyector Venturi se añadirá la producción de ozono adecuada, esta cantidad de ozono y por tanto, la concentración de ozono residual en el depósito depende, en primer lugar, de las características de producción del equipo, y en segundo lugar, del tiempo de funcionamiento y parada del mismo. Es decir, mediante el temporizador, es posible aumentar y disminuir el tiempo de producción y de parada consiguiendo en estado estacionario una mayor o menor concentración de ozono. Para sistemas más complejos de regulación y control puede instalarse una sonda de medición de ozono residual en el agua que actúe directamente sobre la producción del equipo para alcanzar el valor de consigna preestablecido como el ideal de concentración de ozono en el agua. (-, 2016) A continuación, se muestra un proceso simplificado de tratamiento de agua por ozono.

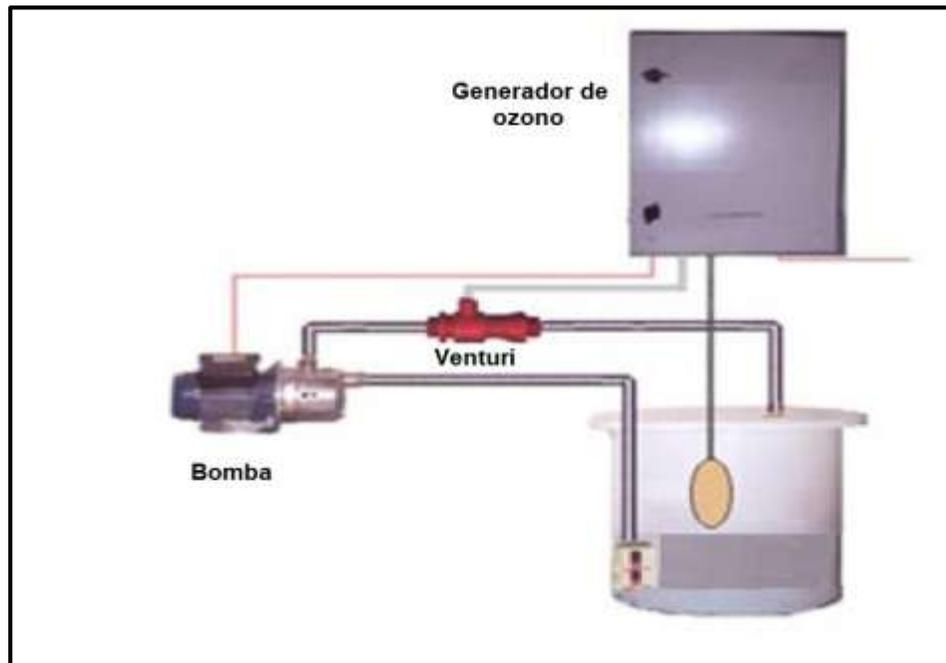


Figura 1.3 Esquema de la ozonización

Radiación ultravioleta

La desinfección de agua por radiación ultravioleta (U.V) es un procedimiento físico, que no altera ni la composición química, ni el sabor ni el olor del agua. La seguridad de la desinfección U.V. está probada científicamente y constituye una alternativa segura,

eficaz, económica y ecológica frente a otros métodos de desinfección del agua, como por ejemplo la cloración, aunque presenta el mismo problema que la ozonización, ya que no brinda protección contra posibles contaminaciones en las conductoras y redes de distribución (WebMaster, 2019)

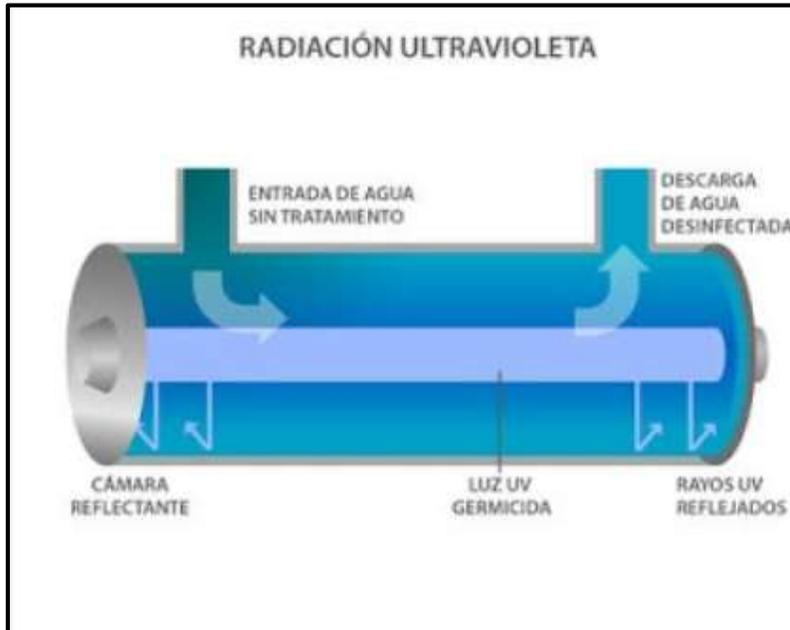


Figura 1.4 Lámpara ultravioleta

Otros procesos de potabilización de agua para consumo.

Para satisfacer las crecientes demandas de agua dulce se han desarrollado varios procesos para producir agua dulce a bajo costo.

Tres de estos procesos, caracterizados por incluir la evaporación seguida de la condensación del vapor resultante, son los siguientes: evaporación de múltiple efecto, destilación por compresión de vapor y evaporación súbita. Este último es el más utilizado; consiste en calentar el agua del mar e introducirla por medio de una bomba en tanques de baja presión, donde el agua se evapora bruscamente; al condensarse el vapor se obtiene agua pura.

La congelación es un método alternativo. Tiene como base los diferentes puntos de congelación del agua dulce y el agua salada. Los cristales de hielo se separan del agua

salobre, se lavan para extraerles la sal y se derriten, convirtiéndolos así en agua dulce. (Ambiental, 2016)

1.3. Regulaciones técnicas cubanas para el correcto diseño de plantas potabilizadoras

Para realizar la evaluación del sistema de tratamiento de agua potable deben tenerse en cuenta las normas cubanas NC 1021: 2014 Higiene Comunal – Fuentes de Abastecimiento de Agua - Calidad y Protección Sanitaria y la NC 827:2010 Agua Potable-Requisitos Sanitarios. La primera se refiere a la fuente de abastecimiento, es decir, los análisis que se le deben realizar al agua que entra de la Presa Minerva y la segunda se refiere a la calidad del agua que se distribuye al comedor y al tanque elevado. También se utilizó en este trabajo la "Resolución 287:2015 Índices de Consumo" y la NC 973:2013 "Determinación de la demanda potable de agua".

Norma Cubana 827; Agua Potable-Requisitos Sanitarios; 2012

Esta norma establece los requisitos sanitarios del agua potable. Estos requisitos se aplicarán a las aguas de consumo humano procedentes de sistemas de abastecimiento público o individual en todo el territorio nacional. Esta norma no se aplica a las aguas de bebidas envasadas, aguas minerales naturales, aguas de hemodiálisis y otras aguas especiales, cuyos requisitos de calidad son establecidos por otras Normas Cubanas.

Los requisitos sanitarios para el abasto a la población que fija esta norma se muestran en la Tabla 1.1.

Norma Cubana 1021; Higiene Comunal. Fuentes de Abastecimiento de Agua. Calidad y Protección Sanitaria; 2014

Esta Norma Cubana establece los requisitos sanitarios de los sistemas de abastecimiento público de agua desde la captación del agua en la fuente de abasto hasta su almacenamiento y distribución y se aplica a todos aquellos sistemas que sean administrados por cualquier entidad con fines de producción de agua potable, así como en los proyectos de nuevas obras, remodelaciones y ampliaciones.

Tabla 1.1 Características físicas y componentes químicos que pueden afectar la calidad organoléptica del agua potable (Normalización, 2010)

	Características	LMA
Físicas	Olor y sabor	Inodora y sabor agradable característico
	Turbiedad	5 UNT
	Color real	15 UC
Químicas	Ph	6,5-8,5
	Sólidos totales disueltos	1000 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	

INRH Resolución 287; Índices de Consumo; 2015

Aprobar y poner en vigor los índices de consumo de agua para las producciones, los servicios y el riego agrícola, incluido el sector no estatal, que aparecen en tres anexos que forman parte integrante de la resolución.

Norma Cubana 973; Determinación de la demanda potable de agua; 2013

Esta Norma Cubana establece los índices per cápita (dotación) de la demanda de agua potable en las poblaciones y los coeficientes de irregularidad diario y horario del consumo para el cálculo de los caudales a considerar en la selección de las fuentes de abastecimiento de agua, la capacidad de los conductos y la elaboración de planes de suministro de agua.

1.4. Análisis de las características físico-química y bacteriológica del agua en la UCLV

Para que el agua sea potable debe estar libre de microorganismos patógenos y de sustancias orgánicas o inorgánicas que perjudiquen la salud. En Cuba estos requisitos sanitarios para que el agua sea potable se establecen en la NC.827:2012. Por otra parte, las exigencias de calidad del agua de las fuentes de abasto están establecidas en la NC 1021:2014. A partir de estos documentos y de las funciones de cada proceso existente en la planta, se realizó una evaluación de los principales indicadores de contaminación en cada etapa como se muestra en la tabla de la 1.2 a la 1.4.

Tabla 1.2. Resultados de caracterización (correspondiente al 20 de mayo 2014)

Nº	Parámetros	UM	Entrada	Sedimentador	Filtros a presión	Filtros a gravedad	Cisterna	Comedor Central
1	Sólidos totales	mg/L	242,0	286,0	274,0	296,0	—	—
2	Sólidos totales disueltos		149,0	158,0	142,0	162,0	—	—
3	Sólidos sedimentables		0,0	0,0	0,0	0,0	—	—
4	Sólidos totales fijos		126,0	178,0	120,0	128,0	—	—
5	Sólidos totales volátiles		116,0	108,0	154,0	168,0	—	—
6	Sólidos suspendidos totales		64,0	28,0	20,0	22,0	—	—
7	Sólidos suspendidos fijos		62,0	8,0	18,0	18,0	—	—
8	Sólidos suspendidos volátiles		2,0	20,0	2,0	4,0	—	—
9	DBO ₅		1,8	—	0,3	0,2	—	—
10	DQO		12,0	21,6	24,0	21,6	—	—
11	Ph	-	7,6	7,9	7,9	8,0	—	—
12	Conductividad	µs/cm	298,0	—	284,0	323,0	—	—
13	Alcalinidad	mg/L	154,0	—	158,0	159,0	—	—
14	Cloruros		9,7	—	10,1	11,5	—	—
15	Dureza total		147,0	—	161,0	129,0	—	—
16	Dureza Ca ²⁺		100,0	—	161,0	71,0	—	—
17	Dureza Mg ³⁺		11,9	—	22,6	14,1	—	—
18	Nitrógeno total		≤5	—	≤5	≤5	—	—
19	Nitrógeno amoniacal	≤5	—	≤5	≤5	—	—	
20	Color	UC	0,0	0,0	0,0	0,0	—	—
21	Cloro residual	mg/L	—	—	—	—	1,8	3,2
22	Coliformes totales	NMP	≥23	—	≥23	≥11	≥11	—
23	Coliformes fecales		≥23	—	≥23	≥11	≥11	—
24	Coliformes termotolerantes		≥23	—	≥23	≥11	≥11	—

Tabla 1.3. Resultados de caracterización (correspondiente al 28 de mayo 2014)

Nº	Parámetros	UM	Entrada	Sedimentador	Filtros a presión	Filtros a gravedad	Cisterna	Comedor Central
1	Sólidos totales	mg/L	400,0	346,0	262,0	262,0	254,0	—
2	Sólidos totales disueltos		140,0	155,0	141,0	160,0	150,0	—
3	Sólidos sedimentables		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	—
4	Sólidos totales fijos		296,0	248,0	170,0	178,0	192,0	—
5	Sólidos totales volátiles		104,0	92,0	92,0	84,0	62,0	—
6	Sólidos suspendidos totales		22,0	30,0	52,0	44,0	54,0	—
7	Sólidos suspendidos fijos		18,0	18,0	38,0	40,0	48,0	—
8	Sólidos suspendidos volátiles		4,0	12,0	14,0	4,0	6,0	—
9	DBO ₅		2,4	—	1,6	1,5	—	—
10	DQO		22,1	25,1	22,8	34,3	29,7	—
11	Ph	-	7,7	7,7	7,9	7,9	7,9	—
12	Conductividad	µs/cm	282,0	—	283,0	320,0	—	—
13	Alcalinidad	mg/L	163,0	—	161,0	161,0	—	—
14	Cloruros		11,3	—	11,3	21,7	—	—
15	Dureza total		149,0	—	141,0	163,0	—	—
16	Dureza Ca ²⁺		42,0	—	51,0	40,0	—	—
17	Dureza Mg ³⁺		24,5	—	21,9	29,9	—	—
18	Nitrógeno total		≤5	—	—	—	—	—
19	Nitrógeno amoniacal	≤5	—	—	—	—	—	
20	Color	UC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	—
21	Cloro residual	mg/L	—	—	—	—	1,1	1,9
22	Coliformes totales	NMP	≥23	—	≥23	≥11	≥11	—
23	Coliformes fecales		≥23	—	≥23	≥11	≥11	—
24	Coliformes termotolerante		≥23	—	≥23	≥11	≥11	—

Tabla 1.4 Resultados de caracterización (correspondiente al 3 de junio 2014)

Parámetros	UM	Entrada	Tanque elevado
Sólidos totales	mg/L	350	346
Sólidos totales disueltos		141	156
Sólidos sedimentables		0	0
Sólidos totales fijos		140	136
Sólidos totales volátiles		210	210
Sólidos Suspendidos totales		52	46
Sólidos suspendidos fijos		42	36
Sólidos suspendidos volátiles		10	10
DQO		4,48	0
PH		-	8,01
Alcalinidad	mg/L	161	153
Cloruros		16,59	22,12
Dureza total		169	171
Dureza Ca ²⁺		45	48
Dureza Mg ²⁺		30,1	29,88
Color	UC	7,5	2,5

Este análisis de las características del agua a la entrada de la planta, se observa que en todos los análisis realizados se cumple con los valores establecidos por la NC 1021. 2014. No ocurre así con los resultados de los análisis microbiológicos, que en las muestras analizadas a la entrada de la planta se obtienen resultados de NMP > 23, tanto para los coliformes totales como para los coliformes fecales y coliformes termotolerantes. (Brown, 2013 - 2014).

Capítulo 2: Población, demandas de agua y situación actual de la planta.

El presente estudio corresponde a la investigación realizada en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas con el fin de rehabilitar la planta potabilizadora existente y así beneficiar a la matrícula universitaria total, así como, la población aledaña que se abastece de la potabilizadora. Para ello se contó con el apoyo de los especialistas de la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos (EIPH) de Villa Clara y con todo el material e información contenido en las bases de datos de la entidad y de la universidad.

2.1 Población actual y futura

La planta de tratamiento a remodelar debe suplir la necesidad de nueve mil quinientos ochenta y seis (9 586) personas cuya composición se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2.1. Consumidores de agua de la UCLV (personas)

Nº	Consumidores	Valor
1	Alumnos internos	3 289
2	Alumnos seminternos	1 241
3	Alumnos de cursos por encuentro	1 215
4	Alumnos de cursos a distancia	213
Total de alumnos		5 958
5	Trabajadores	3 628
Consumidores totales		9 586

Además de los consumidores mostrados anteriormente, en la UCLV se encuentran otras instalaciones que son consumidoras de agua, las cuales se muestran en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Otros consumidores de agua de la UCLV.

Nº	Consumidores	UM	Cantidad	Observaciones
1	Talleres	u	7	-
2	Laboratorios especializados		58	
3	Deportistas (educación física)	atletas	1 812	Se consideran solo los alumnos de 1er. y 2do. años; que corresponden al 40,0 % del total de 1 y 2
4	Piscinas	m ³	6 250,00	Una piscina olímpica y otra de clavados

Tabla 2.2. Otros consumidores de agua de la UCLV. Continuación

Nº	Consumidores	UM	Cantidad	Observaciones
5	Comedores (*)	comensales	14 736	Se considera el total de los alumnos y trabajadores para el almuerzo. Desayuno y cena los alumnos internos
Nota: (*) El consumo de las cocinas corresponde está incluido en el de los comedores, según la Resolución 287:2015				

Teniendo en cuenta, que la tasa de crecimiento poblacional en Cuba, y sobre todo en la provincia de Villa Clara es negativa(ONEI, 2016), y que, según las proyecciones de la población, continuarán negativas hasta al menos el año 2030, se considera que el año horizonte de funcionamiento de esta potabilizadora será el año 2046, tomando como fecha de rehabilitación de la misma el año 2021.

Por lo tanto, los consumidores a considerar en el año 2046, serán los mismos que en la actualidad, o sea, una tasa de crecimiento del 0,0 %.

2.2. Demandas de agua

A partir de las dotaciones fijadas en la NC 973:2013 y en la Resolución 287:2015, se calcularon los volúmenes y caudales requeridos por los consumidores directos de la UCLV, los cuales se muestran en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Volúmenes y caudales a consumir por la UCLV.

Nº	Consumidores	UM	Cantidad	Dotación (m ³ /u.m./d)	Volumen promedio (m ³ /d)	Caudal (L/s)
1	Alumnos internos	personas	3 289	0,10	328,90	3,81
2	Alumnos seminternos		1 241	0,03	37,23	0,43
3	Alumnos de cursos por encuentro		1 215	0,02	24,30	0,28
4	Alumnos de cursos a distancia		213	0,02	4,26	0,05
5	Trabajadores		3 628	0,03	108,84	1,26

Tabla 2.3. Volúmenes y caudales a consumir por la UCLV. Continuación.

Nº	Consumidores	UM	Cantidad	Dotación (m ³ /u.m./d)	Volumen promedio (m ³ /d)	Caudal (L/s)
6	Talleres	U	7	0,05	0,35	0,00
7	Laboratorios especializados		58	0,10	5,80	0,07
8	Deportistas (educación física)	atletas	1 812	0,05	90,60	1,05
9	Piscinas	m ³	6 250,00	3,0 % del volumen	187,50	2,17
10	Comedores (*)	comensales	14 736	0,01	147,36	1,70
11	Imprevistos	10,0 % consumo total promedio			93,51	1,08
Total					1 028,65	11,90

Pero, además de los consumidores mencionados anteriormente, se encuentran otros usuarios que consumen agua de la planta potabilizadora de la UCLV, los cuales son:

Tabla 2.4. Otros consumidores de agua de la UCLV.

No	Consumidor
1	Vaquería vitrina
2	Plantel porcino
3	CPA camilo Cienfuegos
4	Callejón de los Patos
5	Reparto 1500
6	Instituto Biotecnología de las Plantas
7	Centro Bioactivos Químicos
8	Pollera del CAN
9	Antillas
10	Unidad militar Antiguas
11	Reparto universitario

Por ello, en carta de la rectora de la UCLV, se mencionan los siguientes consumos de agua:

Tabla 2.5. Consumos de agua reales UCLV.

Nº	Mes	Consumo (m ³ /m)	Consumo (m ³ /d)	Caudal promedio (L/s)
1	Diciembre del 2018	94 151,03	3 037,13	35,15
2	Enero del 2019	120 358,00	3 882,52	44,94
Valores promedios		107 254,52	3 459,82	40,04

En la Tabla Nº 2.5 se da como valor promedio del caudal 40,04 L/s, esta planta originalmente se diseñó para un caudal de producción de agua de 55,00 L/s, se tomó un valor de 50,00 L/s como caudal promedio, para un volumen diario de 4 320,00 m³/d.

Teniendo en cuenta que entre los consumidores algunos no corresponden a consumos humanos, se determinó la población equivalente a este caudal, hallando entre otros los siguientes resultados:

- **Dotación para la población equivalente:** Volumen de agua promedio (medio) a consumir por todos los consumidores.
- **Coefficiente de irregularidad diaria:** Relación entre el consumo máximo diario (Q_{máx.d}) y el consumo medio (Q_{medio}), representándose por el término k₁.
- **Coefficiente de irregularidad horaria:** Relación entre el consumo máximo horario y el consumo del día de máxima demanda de agua, señalándose por k₂.

Para hallar la población equivalente, se toma el volumen de agua consumido por día (3 459,82 m³/d) y utilizando NC 973:2013, se divide el volumen diario entre las dotaciones para cada rango poblacional y la que de mayor población es la población equivalente.

Tabla 2.6 Resultados de la población equivalente.

Nº	Parámetro	UM	Valor
1	Volumen promedio diario abasto de agua	m ³ /d	3 459,82
2	Población equivalente para todos los consumidores	personas	14 414
3	Dotación total para la población equivalente	L/persona/d	240,00
4	Coefficiente de irregularidad diaria k ₁ para la población equivalente	-	1,55
5	Coefficiente de irregularidad horaria k ₂ para la población equivalente		1,69

Por lo tanto, los volúmenes y caudales a considerar en el cálculo se presentan en la tabla 2.7.

Tabla 2.7. Volúmenes y caudales de agua para población equivalente

Nº	Consumidor	Cantidad	Dotación (L/p/d)	Volumen promedio (m³/d)	Caudal promedio (L/s)	Caudal máximo diario (L/s)	Caudal máximo horario (L/s)
1	Población equivalente	14 414	240,00	3 459,82	40,04	62,07	104,90

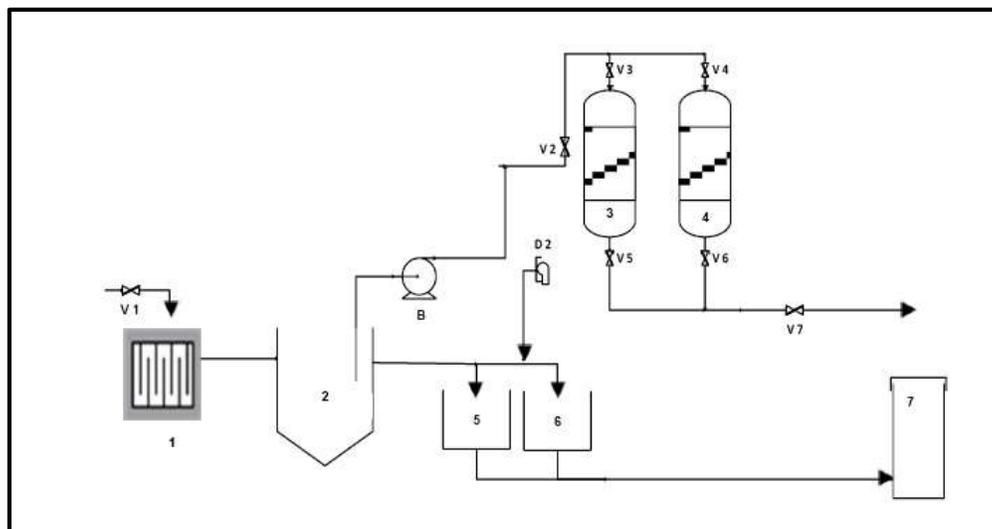
Anteriormente el caudal promedio propuesto era de 50,00 L/s y a partir del cálculo para la población equivalente aumentó 12,07 L/s, por lo tanto, se requiere que las cisternas a las que se suministra el agua, tengan el volumen suficiente para regular estos caudales cuando sea necesario.

2.3. Situación actual de la planta potabilizadora de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

El abastecimiento del agua cruda a la planta potabilizadora de la UCLV, la cual es de tratamiento convencional, se realiza desde la conductora que alimenta a Santa Clara desde la presa Minerva.

El esquema tecnológico de la planta se muestra en la figura 2.1.

Figura 2.1: Diagrama de flujo del sistema actual de potabilización



Donde:

- V1, V2, V3, V4, V7 - Válvulas de Alimentación.
- V5, V6 - Válvulas de Descarga.
- 1- Floculador.
- 2- Sedimentador.
- 3, 4- Filtros a presión
- 5, 6 - Filtros a gravedad.
- 7 – Cisterna de aguas claras.

En un diagnóstico realizado por el autor, en conjunto con la Empresa de Proyectos e Investigaciones Hidráulicas de Villa Clara (EIPH), se determinaron las deficiencias que presenta la potabilizadora, lo cual obliga que, para el correcto funcionamiento de la instalación, es necesario rehabilitar la misma.

2.3.1. Floculador

En la entrada del agua al floculador no existe sistema de medición de caudal, por lo cual es necesaria la colocación de un caudalímetro, además, la válvula de entrada, que es de accionamiento manual, está en mal estado por lo cual debe ser sustituida, al igual que el sistema de tuberías.

El agua entra al floculador de mamparas (figura 2.2), que es un depósito rectangular de hormigón armado y está dividido por una serie de tabiques (figura 2.3) que provoca cambios en el sentido del flujo favoreciendo la mezcla del coagulante con el agua y formando los flóculos.

Actualmente en la planta, el floculador no realiza su función, ya que no se adiciona ningún tipo de coagulante. El mismo solamente está homogenizando el agua que entra en la planta. Por lo tanto, también será necesario instalar un dosificador de alúmina.

En general, el estado de la construcción civil del floculador es aceptable, y presenta las siguientes dimensiones (ver tabla 2.8)

Tabla 2.8 Características del floculador.

Parámetros	UM	Cantidad
Largo	m	6,00
Ancho		4,00
Profundidad		2,38
Número de mamparas	u	5
Longitud de la mamparas	m	5,00
Separación entre tabiques		0,60
Altura de los tabiques		2,20
Volumen	m ³	52,80



Figura 2.2 Entrada de agua a la planta potabilizadora de la UCLV



Figura 2.3 Floculador en forma de laberinto.

El agua pasa del floculador al sedimentador por una ventana rectangular de 0,57 m de largo y 0,26 m de ancho, que se encuentra en una pared común a los dos elementos, a una altura de 1,95 m del fondo.

2.3.2. Sedimentador

El sedimentador que se sitúa a continuación del floculador, es de hormigón armado, y forma rectangular. Su función de remoción de sólidos es baja, debido a que como se explicó anteriormente en el floculador no se agregan coagulantes.

Actualmente no funciona el sistema de extracción de lodos, ya que las válvulas no pueden ser operadas por estar en mal estado (figura 2.5), por lo tanto, la acumulación de lodos en el mismo hace que los niveles de estos aumenten fuera del rango previsto, arrastrándose así los fuera de la estructura.



Figura 2.4 Cubierta del sedimentador

Si el sistema de extracción de lodos funcionara, los mismos se dispondrían en una laguna que se encuentra en la parte posterior de la planta en áreas del jardín botánico de la universidad, lo cual no ocurre, no solo por no poder operar las válvulas, sino también por las malas condiciones de las tuberías existentes entre la planta y la laguna.

También el estado de la construcción civil del sedimentador es aceptable, aunque deben ser repuestas las tapas de los registros de las válvulas.



Figura 2.5 Registro válvula de lodos

El sedimentador está dividido en tres (3) compartimentos separados por muros vertedores, lo cual condiciona que el agua pase por la parte superior de estos muros, depositando en el fondo los fangos. Estos compartimentos tienen diferentes longitudes, el primero tiene 9,00 m, el segundo 11,00 m y el último 2,00 m.

Tabla 2.9 Características del sedimentador.

Parámetros	UM	Cantidad
Largo	m	22,00
Ancho		8,00
Profundidad		2,37
Número de compartimientos	u	3
Altura de los muros	m	2,04
Volumen	m ³	107,33

El sedimentador tiene una cubierta con un registro de inspección. No existe un sistema de precloración, el cual debe ser instalado para evitar el crecimiento de algas en los filtros.

El agua del sedimentador pasa por reboso al filtro por gravedad mediante una canaleta de hormigón de 25 cm de ancho que forma parte de la estructura del sistema, la cual se encuentra en buenas condiciones operacionales.



Figura 2.6 Canaleta de reboso

2.3.3. Sistema de filtración.

El sistema de filtración original está integrado por dos filtros rápidos a gravedad, los cuales han perdido casi la totalidad del medio filtrante, y, además, el sistema de retrolavado (figura 2.7) de los mismos está colapsado, por lo tanto, estos filtros no están trabajando. En la siguiente tabla se muestra las dimensiones de los filtros.

Tabla 2.10 Características de los filtros rápidos a gravedad.

Parámetros	UM	Cantidad
Largo	m	11,00
Ancho		11,00
Profundidad		2,65
Número de filtros	u	2
Volumen de un filtro	m ³	320,65
Volumen total		641,30



Figura 2.7. Interior de los filtros, donde se observa el sistema de retrolavado.



Figura 2.8. Interior de los filtros con la planta en funcionamiento.

2.3.4. Filtros rápidos a presión.

Posterior a la construcción original de la planta, se le integró un sistema de filtros rápidos a presión (figura 2.9), los cuales, además de entregar a la cisterna de aguas clara, abastecen a una toma de agua (jirafa), como se observa en la figura 2.10, para entregar agua a camiones cisternas pipas.

Este sistema, que esta además compuesto por una bomba de alimentación, válvulas y conductos, no está funcionando, ya que todos sus elementos están rotos o en muy mal estado, y fueron ubicados en el interior de un local que se encuentra sobre la cubierta del sedimentador.



Figura 2.9. Filtros a presión.



Figura 2.10. Toma de agua de los camiones cisterna.

2.3.5. Cisterna de aguas claras.

El agua filtrada se almacena en una cisterna donde se efectúa el proceso de desinfección con hipoclorito de sodio de forma manual, ya que el dosificador existente no funciona (figura 2.11). El reactivo se almacena en tanques a la intemperie.



Figura 2.11. Bomba dosificadora de cloro existente.

Mediante una bomba de trabajo, ya que no existe una bomba de reserva, se envía el agua a la cisterna de 1 225,00 m³ que se encuentra debajo del tanque elevado, el cual ya no está en funcionamiento, al no estar operativo por su mal estado constructivo; por lo cual la distribución del agua a los usuarios se hace mediante bombeo directo.

También desde la cisterna de agua claras, y mediante otra tubería, se le entrega agua a la cisterna de comedor central, la cual tiene una capacidad de 169,63 m³. La cisterna de aguas claras de la potabilizadora tiene una capacidad de 760,32 m³, con una profundidad de 4,76 m, un ancho de 9,10 m y 17,50 m de largo, esta cisterna se encuentra en servicio y en buenas condiciones constructivas.

Capítulo 3. Acciones a ejecutar para la rehabilitación de la planta y análisis económico.

A continuación, se explican las acciones mínimas a ejecutar para lograr la rehabilitación de esta planta, que garantizan la calidad del agua requerida para el consumo.

Debe señalarse que estas propuestas están fundamentadas en la observación visual y en los intercambios con los operadores de la planta cuando se realizaron visitas a la instalación.

Por lo tanto, tal y como se expresó anteriormente, para una propuesta detallada será necesario al menos un estudio topográfico de la potabilizadora y de las conductoras de alimentación y entrega. Estas propuestas se harán para cada objeto de obra de la planta.

De forma general se propone eliminar el filtro rápido a gravedad, ya que en Cuba se dificulta mucho la obtención del material filtrante que cumpla las características requeridas, además de que se necesita la sustitución del sistema de retrolavado, el cual comprenderá: bombas, red de lavado con boquillas, etc.

Por ello, se plantea la utilización de filtros rápidos a presión, los cuales son muy usados en nuestro país, tanto en potabilizadoras, plantas desalinizadoras y plantas de tratamiento de residuales.

En la figura 3.1 se muestra el esquema simplificado de la propuesta, donde los elementos se presentan en la tabla 3.1. Para cada elemento, se incluyen los equipos y accesorios que se deben sustituir e instalar. Para cada caso se muestran los precios de suministros, tomados de ofertas existentes en la EIPH, los cuales incluyen los costos de instalación de los mismos, los cuales están en euros (€) y por lo tanto se pasaron a pesos cubanos convertibles (CUC) con la tasa de cambio del Banco Nacional de Cuba del día 6 de septiembre del 2019 de 1,1516 CUC por €.

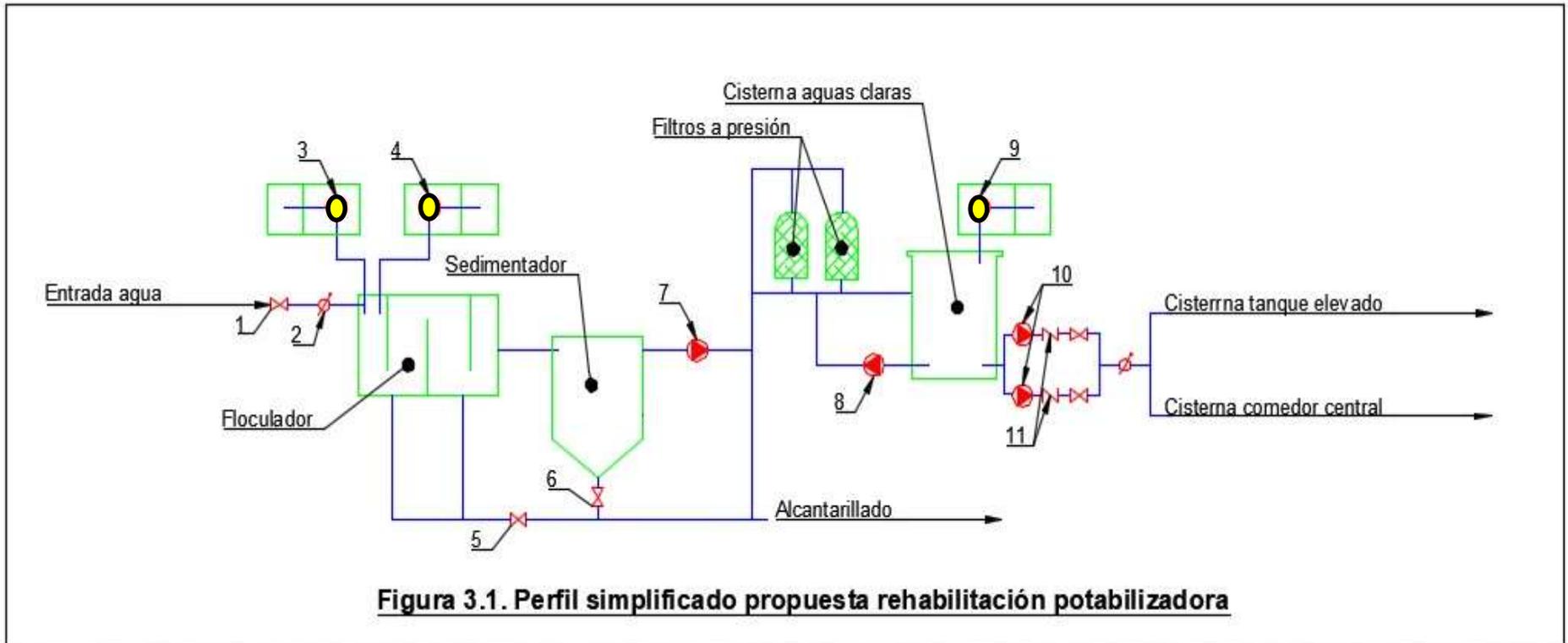


Tabla 3.1. Elementos del esquema simplificado.

Nº	Elemento	Observaciones
1	Válvula de entrada	-
2	Caudalímetro entrada	
3	Dosificador alúmina	
4	Dosificador hipoclorito (precloración)	
5	Válvula desagüe floculador	
6	Válvula desagüe sedimentador	
7	Bomba alimentación filtros	Componentes del sistema filtración
8	Bomba retrolavado filtros	
9	Dosificador hipoclorito (postcloración)	-
10	Bombas impulsión a cisternas	Una de trabajo y otra de reserva activa
11	Válvulas de retención	-
12	Válvulas de cierre	
13	Caudalímetro salida	
Nota: El sistema filtración incluye: los filtros, las bombas de alimentación y de retrolavado y las válvulas de operación, El sistema trabajará de forma automática		

3.1 Acciones para la rehabilitación de cada elemento de la planta potabilizadora.

3.1.1 Conductos internos de la planta.

Es necesario conocer cuáles serán las características de las tuberías y piezas a colocar en los conductos internos de la planta, ya que los mismos determinarán los diámetros de los otros accesorios a colocar. Para determinar este valor se consideran:

- Material a utilizar: Polietileno de alta densidad (PEAD).
- Presión nominal: 10,0 bar.
- Caudal de circulación: 50,00 L/s.
- Velocidad mínima de circulación: 0,60 m/s, ya que el agua contendrá sólidos en suspensión.
- Velocidad máxima de circulación: 2,00 m/s.
- Longitud de conductos: 100,00 m.

Utilizando el software Microsoft Excel se calcula el diámetro óptimo de la tubería a utilizar:

- Diámetro óptimo: 200 mm.
- Diámetro interior: 184,6 mm.
- Velocidad de circulación: 1,87 m/s.
- Perdidas: 0,02 m/m.
- Precio suministro: 4 451,88 pesos. Considera los tubos y piezas de montaje.
- Precio montaje: 5 458,01 pesos.
- Precio total instalación: 9 909,89 pesos.

3.1.2. Floculador

Como se dijo anteriormente, la obra civil de este elemento tiene un estado aceptable, pero siempre se ejecutarán algunas acciones de mantenimiento, como pueden ser: limpieza, resano, pintura, etc. En el análisis económico que se presenta más adelante se considerará el costo de estas actividades.

A la entrada al floculador será necesario colocar un caudalímetro para conocer los caudales y volúmenes trasvasados desde la conductora Minerva-Santa Clara, las características de este elemento serán:

- Cantidad: 1 unidad.
- Tipo: Caudalímetro electromagnético, con panel de lectura digital.
- Caudal de circulación: 50,00 L/s.
- Diámetro nominal: 200 mm.
- Presión nominal: 10,0 bar.
- Rango de trabajo: 0,90 a 300,00 L/s.
- Precio suministro: 4 716,00 pesos.



Figura 3.2. Caudalímetro electromagnético.

También será necesario instalar dos (2) bombas dosificadoras de reactivos químicos, uno para la dosificación del coagulante (alúmina) y otro para la desinfección del agua con la inyección de hipoclorito, el cual será necesario para evitar el crecimiento de microorganismos en los filtros y así evitar su colmatación.

Las características de estas bombas, tomadas de (GmbH, 2017), que deben tener cada una un depósito de mezcla y almacenamiento de reactivos químicos, serian:

- Cantidad: 2 unidades.
- Capacidad de la bomba: 0,10 L/s.
- Presión: 7,0 bar.
- Volumen depósitos reactivos: 1 500,00 L.
- Precio suministro: 1 731,00 pesos.

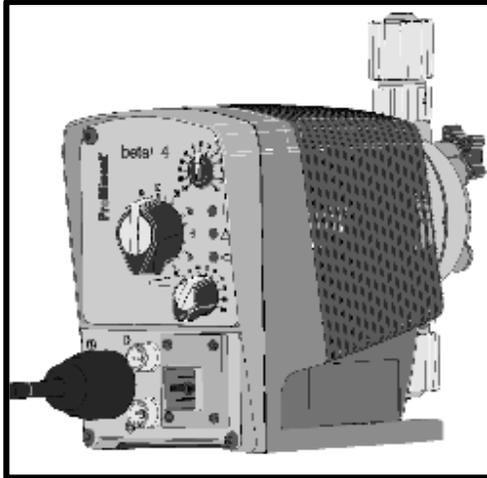


Figura 3.3. Bomba dosificadora de hipoclorito.



Figura 3.4. Depósito de reactivos químicos.

También será necesario instalar una válvula de fondo para el desagüe del floculador, las características de la misma, también tomadas de (GmbH, 2017), serán:

- Cantidad: 1 unidades.
- Tipo: Compuerta cierre elástico.
- Diámetro nominal: 200 mm.
- Presión nominal: 10,0 bar.
- Precio suministro: 294,00 pesos.



Figura 3.5. Válvula de compuerta de cierre elástico.

3.1.3. Sedimentador

También la obra civil de este elemento tiene un estado aceptable, pero siempre habrá que ejecutar algunas acciones de mantenimiento, como pueden ser: limpieza, resano, pintura, etc. En el análisis económico que se presenta más adelante se considerará el costo de estas actividades.

Pero será necesario instalar una válvula de fondo para el desagüe del sedimentador, las características de la misma, también tomadas de (GmbH, 2017), serán:

- Cantidad: 1 unidad.
- Tipo: Compuerta cierre elástico.
- Diámetro nominal: 200 mm.
- Presión nominal: 10,0 bar.
- Precio suministro: 294,00 pesos.

3.1.4. Sistema de filtración

Como se expresó anteriormente se proponen utilizar filtros rápidos a presión, que incluyen en el sistema:

- La bomba de alimentación.
- Los filtros con su material filtrante y el sistema de válvulas para su funcionamiento.
- La bomba de retrolavado.

- Manómetros.
- Panel eléctrico con autómata para el funcionamiento automático de los mismos.

También de (GmbH, 2017) se toman las características de los filtros que serán necesarios:

- Caudal de diseño: $90,00 \text{ m}^3/\text{h} = 25,00 \text{ L/s}$.
- Disposición: Vertical.
- Lecho filtrante: Arena + antracita.
- Diámetro filtro: 2 000 mm.
- Caudal filtrado: 25,00 L/s.
- Carga de filtración: 18,30 m.
- Caudal lavado: 22,22 L/s.
- Carga de lavado: 16,40 m.
- Precio suministro: 159 616,00 pesos.

3.1.5. Cisterna de aguas claras

La obra civil de este elemento está en buen estado, pero siempre habrá que ejecutar algunas acciones de mantenimiento, como pueden ser: limpieza, resano, pintura, etc. En el análisis económico que se presenta más adelante se considerará el costo de estas actividades.

Aquí se debe instalar un dosificador de hipoclorito para realizar la postcloración y garantizar la calidad del agua de consumo, las características del mismo serán similares a los que se instalarán en el floculador:

- Cantidad: 1 unidad.
- Capacidad de la bomba: 0,10 L/s.
- Presión: 7,0 bar.
- Volumen depósito reactivo: 1 500,00 L.
- Precio suministro: 866,00 pesos.

Estación de bombeo y conductoras de entrega a las cisternas

Se considera en este caso, la construcción de nuevas conductoras de entrega de agua a las dos (2) cisternas de distribución que existen en la universidad, por ello, mediante el software (CALPEAD, 2018) se calculan los diámetros óptimos de las conductoras que entregarán el agua a la cisterna del tanque elevado y a la cisterna del comedor central. Para determinar este valor se consideran para las conductoras:

- Material a utilizar: Polietileno de alta densidad (PEAD), de fabricación cubana.
- Presión nominal: 6,0 bar.
- Caudal de entrega a la cisterna del tanque elevado: 48,30 L/s, corresponde al caudal promedio.
- Caudal de entrega a la cisterna del comedor central: 1,70 L/s, corresponde al caudal promedio.
- Velocidad mínima de circulación: 0,30 m/s.
- Velocidad máxima de circulación: 3,00 m/s.
- Longitud de conductora a la cisterna del tanque elevado: 906,00 m.
- Longitud de conductora a la cisterna del comedor central: 313,00 m.

Utilizando el software (CALPEAD, 2018) se calcula el diámetro óptimo de la conductora a la cisterna del tanque elevado:

- Diámetro escogido: 200 mm.
- Presión nominal: 6,0 bar.
- Diámetro interior: 185,4 mm.
- Presión nudo inicial: 12,92 m.
- Velocidad de circulación: 1,79 m/s.
- Precio suministro: 38 890,76 pesos. Considera los tubos y piezas de montaje.
- Precio construcción y montaje: 49 449,55 pesos.
- Precio total: 88 340,31 pesos.

Para el caso de la conductora a la cisterna al comedor central se tienen los siguientes resultados:

- Diámetro óptimo: 50 mm.
- Presión nominal: 6,0 bar.
- Diámetro interior: 46,0 mm.
- Presión nudo inicial: 12,92 m.
- Velocidad de circulación: 1,02 m/s.
- Precio suministro: 925,58 pesos. Considera los tubos y piezas de montaje.
- Precio construcción y montaje: 10 714,57 pesos.
- Precio total: 11 640,14 pesos.

Las características de la estación de bombeo, calculadas con el mismo software son:

- Número de bombas: Dos (2), una de trabajo y otra de reserva activa.
- Bombas horizontales, monoetápicas y de simple succión.
- Caudal por bomba: 48,30 L/s.
- Carga bombeo: 12,90 m.
- Velocidad rotación: 3 480 min⁻¹.
- Eficiencia bomba: 76,2 %.
- Potencia absorbida: 8,02 kW.
- Potencia del motor: 11,00 kW.

Tabla 3.2. Curvas características de la bomba teórica a utilizar.

Gasto (L/s)	Carga (m)	Eficiencia (%)	Potencia (kW)	NPSHr (m)
0,00	23,51	0,0	10,13	0,00
12,08	21,39	27,5	9,21	3,36
24,15	19,11	52,4	8,63	5,33
36,23	16,27	69,0	8,37	6,99
48,30	12,90	76,2	8,02	8,46
53,13	11,16	74,1	7,85	9,02

3.2. Análisis económico.

3.2.1. Costos de inversión.

Primeramente, se calcula cual será el costo a incurrir en la reparación de la parte estructural y arquitectónica de la planta potabilizadora.

Según los presupuestos de Proyectos Ejecutivos elaborados en la EIPH, el índice de inversión de una potabilizadora convencional con filtros rápidos a presión está en alrededor de 1 100,00 pesos por volumen diario de agua producida. Este valor incluye no solo la parte civil, sino también los equipos, tecnológicos y eléctricos, a instalar, los cuales, según estos mismos presupuestos, son aproximadamente el 40,0 % del valor total de la inversión.

Por lo tanto, teniendo en cuenta el volumen de producción de la potabilizadora de la UCLV de 4 320,00 m³/d, el costo total de la ejecución de una planta nueva de similares características sería de 4 752 000,00 pesos, de los cuales 2 851 200,00 pesos corresponderían a la construcción civil.

Pero esta potabilizadora ya está construida, y su estado constructivo, tal y como se vio anteriormente, es de forma general aceptable, por lo tanto, se considera que los costos a incurrir en la reparación estructural y arquitectónica alcanzarían no más del 20,0 % del valor de la inversión constructiva de una planta nueva.

En la siguiente tabla se muestran todos los costos de inversión en que se deberán incurrir para la rehabilitación de la potabilizadora:

Tabla 3.3. Costos de inversión para la rehabilitación de la potabilizadora.

Nº	Elemento	UM	Valor	Observaciones
1	Rehabilitación estructural y arquitectónica de la potabilizadora	pesos	570 240,00	-
2	Conductos interiores		9 909,89	Solo considera la adquisición y montaje de los equipos tecnológicos y eléctricos
3	Floculador		6 741,00	
4	Sedimentador		294,00	
5	Sistema filtración		159 616,00	
6	Cisterna aguas claras		866,00	
7	Montaje tecnológico estación de bombeo		46 200,00	Valor suministros y construcción y montaje
8	Conductora a cisterna tanque elevado		73 910,28	
9	Conductora a cisterna comedor central		11 640,14	
Total			879 417,31	-

3.2.2. Costos anuales.

Los costos anuales a considerar para esta planta serán los siguientes:

- Costo de energía, la cual considera la consumida y la contratada, según las tarifas de la UNE.
- El costo de la fuerza de trabajo, para lo cual se consideró cinco (5) operadores cada uno con un salario de 500,00 pesos/mes.
- Costos de operación y mantenimiento, que incluyen los costos de reactivos químicos y otros consumibles y de mantenimiento anual, que en el INRH se considera 10 000,00 pesos por hm³ de agua producida y trasvasada.

Los costos anuales de operación de esta potabilizadora serán:

Tabla 3.4. Costos anuales de operación de la potabilizadora

Parámetro	UM	Valor
Potencia a contratar	kW	11,00
Energía consumida	MW.h/año	71,81
Costo demanda contratada	Pesos/año	660,00
Costo energía consumida		3 171,50
Costo total energía		3 831,50
Costo fuerza trabajo		30 000,00
Costo mantenimiento y operación		15 231,89
Costo depreciación inversiones		7 185,02
Costos Anuales Totales		56048,40

3.2.3. Valor del agua producida.

En este punto se calculará el valor del agua entregada a ambas cisternas, para ello, tal y como se recomienda para las inversiones hidráulicas se utilizará el Costo Anualizado Total (CAT), el cual se calcula mediante la siguiente expresión:

$$CAT = CA + (CI * (1 + r)^{n*r} / (1 + r)^{n-1})$$

Donde:

- CA: Costos Anuales= 52 248,40 pesos.

- CTI: Costo Total Inversión= 879 417,31 pesos.
- r: tasa de interés anual= 12,0 %.
- n: Tiempo análisis económico= 10 años, corresponden a la menor vida útil de las inversiones, que sería la parte tecnológica (bombas, filtros, etc.).

Por lo tanto, el CAT será 211 891,34 pesos anuales, dando como resultado un costo del agua será de 0,13 pesos/m³, lo cual resulta ser un valor aceptable.

Conclusiones

1. Se propone una variante de solución para la rehabilitación integral de la planta de potabilización de la UCLV que garantiza que la misma recobre su estado óptimo y cumpla con lo establecido en las Normas Cubanas de abasto y calidad de agua.
2. La planta potabilizadora de la UCLV presenta serios problemas de deterioro, fundamentalmente en los equipos tecnológicos (bombas, filtros, dosificadores, etc.) y en la parte eléctrica de fuerza (paneles, líneas eléctricas, etc.) que afectan su correcto funcionamiento y la calidad del agua producida.
3. El valor total de la inversión se estima en 879 417,31 pesos con unos costos anuales de 56 048,40 pesos y un Costo Anualizados Total 211 891,34 pesos.

Recomendaciones

- Para la realización del proyecto deben realizarse investigaciones relacionadas con el estado de corrosión.
- Evaluar los materiales de reparación de la superficie de hormigón en los depósitos que están en contacto con el agua.
- Identificar materiales de reparación idóneos para estar en contactos con agua de consumo.
- Monitoreo sistemático de la calidad del agua a tratar y el agua tratada, para lo cual se debe utilizar el laboratorio de la UCLV para realizar los análisis del agua.
- Elaborar un manual de operaciones para el correcto funcionamiento de la planta y una libreta de registros de los indicadores fundamentales de la calidad del agua.
- También, se debe hacer un diagnóstico de la red de distribución de agua potable a la UCLV y a las instalaciones aledañas, para solucionar cualquier problema de fugas que presente.

Referencia bibliográfica

Uncategorized References

- . 2016. *Tratamiento de agua potable con Ozono* [Online]. Available: <http://www.hidritec.com> [Accessed].
- ÁLVAREZ, F. *Tratamiento de Agua para Consumo*.
- AMBIENTAL, F. P. L. C. Y. L. E. 2016. *Tecnologías del Agua* [Online]. Available: <http://www.eambiental.org> [Accessed].
- BROWN, R. 2013 - 2014. *Análisis de alternativas para el tratamiento de agua en la Planta Potabilizadora de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.*, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- BUSTAMANTE, V. 2019. Cuba tiene voluntad hidráulica. *Granma*.
- CALPEAD 2018. Optimización sistemas con tubos de PEAD
- CAMINATI, A. 2013. Análisis y diseño de sistemas de tratamiento de agua para consumo humano y su distribución en la universidad de piura.
- CONDORCHEM. 2019. *Historia sobre el tratamiento de agua y sus orígenes* [Online]. Available: <https://blog.condorchem.com/> [Accessed].
- DOMINIGHINI, C. 2017. *Análisis de membranas de osmosis inversa*. Universidad Tecnológica Nacional Medrano.
- GMBH, P. 2017. Equipos de tratamiento de aguas.
- GMBH, S. N. 2019. *Tratamiento con ultrasonidos de biosólidos* [Online]. Available: <https://sonotronic.de> [Accessed].
- NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2010. NC 827: 2010 Agua Potable-Requisitos Sanitarios.
- ONEI 2016. Anuario estadístico de cuba.
- PEDRAZA., H. C. O. 2016. *Evaluación de las patologías en plantas potabilizadoras de la ciudad de Santa Clara*. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- S.A, E. A. 2018. *¿Para qué una planta de tratamiento de agua potable?* [Online]. Available: <http://acuatecnica.com> [Accessed].
- S.A.S., F. Y. N. D. C. 2019. *Osmosis Inversa* [Online]. Available: <https://www.fibrasynormasdecolombia.com> [Accessed].
- WEBMASTER. 2019. *Esterilizador Ultravioleta* [Online]. Available: <http://www.aguasistec.com> [Accessed].

Bibliografía

-. 2016. Tratamiento de agua potable con Ozono [Online]. Available: <http://www.hidritec.com> [Accessed].

ÁLVAREZ, F. Tratamiento de Agua para Consumo.

ÁLVAREZ, L. 2018. Análisis de las patologías en Planta Potabilizadora de la Universidad.

AMBIENTAL, E. R. Y. S. Plantas de tratamiento de agua [Online]. Available: <http://www.erysa.com> [Accessed].

AMBIENTAL, F. P. L. C. Y. L. E. 2016. Tecnologías del Agua [Online]. Available: <http://www.eambiental.org> [Accessed].

BROWN, R. 2013 - 2014. Análisis de alternativas para el tratamiento de agua en la Planta Potabilizadora de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas., Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

BUSTAMANTE, V. 2019. Cuba tiene voluntad hidráulica. Granma.

CAMINATI, A. 2013. Análisis y diseño de sistemas de tratamiento de agua para consumo humano y su distribución en la universidad de piura.

CHAPMAN, I. 2015. Resolución 287_2015 Índices de Consumo.

CONDORCHEM. 2019. Historia sobre el tratamiento de agua y sus orígenes [Online]. Available: <https://blog.condorchem.com/> [Accessed].

DESPAIGNE, R. 2016. Propuesta de Rehabilitación de la planta de tratamiento de agua residual de la Universidad Marta Abreu de las Villas., Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

DISEPROSA. Plantas de tratamiento de aguas.

DOMINIGHINI, C. 2017. Análisis de membranas de osmosis inversa. Universidad Tecnológica Nacional Medrano.

EDWARD BARUTH 1990. Water treatment plant design.

- EMPRESA PURE AQUA, I. 2012. Tratamiento de Agua y Sistemas de Ósmosis Inversa.
- ESTEBAN, H. 2015. Diseño de un sistema compacto de potabilización de agua para consumo humano en la granja la fortaleza ubicada en el municipio de Melgar- Tolima. Universidad Libre de Bogotá D.C.
- GARCÍA, A. 2001. Definición de Modelo General para el Sistema de Tratamiento de Agua en Plantas de Obtención de Agar-Agar. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- GMBH, S. N. 2019. Tratamiento con ultrasonidos de biosólidos [Online]. Available: <https://sonotronic.de> [Accessed].
- GONZÁLEZ, A. Tecnologías de tratamiento y desinfección de agua para uso y consumo humano.
- GONZÁLEZ, M. 2017. Comparación de nuevas tecnologías que se están implementando en la ptar de rio de janeiro (brasil) y paz de ariporo (casanare- colombia).
- MARTÍNEZ, M. 2013. Tecnologías para el uso sostenible del agua.
- MATEOS, F. 2014. Tendencias en tecnologías del agua.
- MÉNDEZ, M. G. 2010. Manual de operación planta potabilizadora "la bayoya".
- NORMALIZACIÓN, O. N. D. NC 973 "Determinación de la demanda potable de agua".
- NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2010. NC 827: 2010 Agua Potable-Requisitos Sanitarios.
- NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2014. NC 1021: 2014 Higiene Comunal – Fuentes de Abastecimiento de Agua - Calidad y Protección Sanitaria.
- ORTEGA, J. La ósmosis inversa como proceso de potabilización en españa.
- ORTÍZ, H. 2016. Evaluación de las patologías en plantas potabilizadoras de la ciudad de Santa Clara. Universidad Cetral "Marta Abreu" de Las Villa.
- OZOGAS, D. T. D. El ozono.
- PEDRAZA., H. C. O. 2016. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- PEÑUELA, G. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas.

PÉREZ, M. 2018. Informe sobre la disponibilidad de análisis en la UCLV y la ENAST Villa Clara

RAMÍREZ, H. 2015. Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua.

RODRÍGUEZ, J. 2008. Solicitud de Oferta Planta Potabilizadora Quintero 2.

ROMERO, J. 1999. Potabilización del agua.

S.A, E. A. 2016. Tipos de plantas de tratamiento de agua potable [Online]. Available: <http://acuatecnica.com/> [Accessed].

S.A, E. A. 2018. Características de las plantas de tratamiento de agua potable convencionales [Online]. Available: <http://acuatecnica.com> [Accessed].

S.A, E. A. 2018. ¿Para qué una planta de tratamiento de agua potable? [Online]. Available: <http://acuatecnica.com> [Accessed].

S.A.S., F. Y. N. D. C. 2019. Osmosis Inversa [Online]. Available: <https://www.fibrasynormasdecolombia.com> [Accessed].

SOLIS, M. 2017. Sistema de tratamiento de aguas mediante osmosis inversa. Universidad Nacional Autónoma de México.

VALENCIA, A. 1992. Teoría y práctica de la Purificación del agua.

WEBMASTER. 2019. Esterilizador Ultravioleta [Online]. Available: <http://www.aguasistec.com> [Accessed].

WRIGHT, H. B. Luz ultravioleta.

Rodríguez de la Lastra, Francisco; Optimización sistemas con tubos de PEAD (CALPEAD 2.2018).

GMBH, P. 2017. Equipos de tratamiento de aguas.