



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

**TITULACIÓN DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**Diseño y fabricación de un sistema para potabilización de agua en
escenarios de emergencia, con provisión híbrida de energía**

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTORES: Ortiz Ludeña, Edgar Eduardo

Palacios Reyes, María Gabriela.

DIRECTOR: Jaramillo Pacheco, Jorge Luis, Ing.

LOJA - ECUADOR

2014

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Ingeniero.
Jorge Luis Jaramillo Pacheco
DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: Diseño y fabricación de un sistema para potabilización de agua en escenarios de emergencia, con provisión híbrida de energía realizado por Ortiz Ludeña Edgar Eduardo y, Palacios Reyes María Gabriela, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, enero de 2014

F:

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“ Nosotros, Ortiz Ludeña Edgar Eduardo y, Palacios Reyes María Gabriela declaramos ser autores del presente trabajo de fin de titulación: Diseño y fabricación de un sistema para potabilización de agua en escenarios de emergencia, con provisión híbrida de energía, de la Titulación de Electrónica y Telecomunicaciones siendo Jorge Luis Jaramillo Pacheco director del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaramos conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.
Autor: Edgar Eduardo Ortiz Ludeña
Cédula: 1103388847

f.
Autor: María Gabriela Palacios Reyes
Cédula: 1104746092

DEDICATORIA

A Dios, por todo lo bueno y lo malo que ha puesto en mi camino, siempre agradecido por lo aprendido día a día.

A mis padres, por el apoyo, constancia y ánimos cada día durante el transcurso de mi carrera, gracias a ellos que fueron la razón e inspiración de este título.

A mis hermanas, mi hermano, mis cuñados, por sus consejos, por su apoyo, por esa orientación que he recibido de ellos al ser el menor de todos.

A mis sobrinos por alegrar mis días e inspirarme a ser un ejemplo para ellos.

A mis abuelitos que forman una parte importante en mi vida y en mi formación como persona, esto va dedicado a ellos, sé que estarán orgullosos.

Finalmente a mis amigos, por todos los buenos momentos que hemos pasado durante esta etapa de mi vida.

Edgar Eduardo Ortiz Ludeña

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida, a todas las personas que tengo a mi lado, la paciencia y perseverancia para alcanzar esta meta.

A mis padres y hermanos, por haber estado en todo momento y en cada uno de los retos que he logrado. Por su ejemplo y apoyo incondicional es que ahora puedo culminar una etapa más de mi vida.

A mi esposo y a mi hijo, por ser la inspiración para lograr esta meta, por su apoyo, por su amor y paciencia es que ahora puedo ser una profesional.

A mis amigos, por brindarme tantas alegrías y palabras de motivación para alcanzar este reto, y estar ahí incondicionalmente en los momentos más difíciles.

A mis tíos y primos, por ser mi mano derecha cuando más los necesite. Es gracias a ellos que pude dedicarle el máximo tiempo a mis estudios.

María Gabriela Palacios Reyes

AGRADECIMIENTO

Nuestro principal agradecimiento es a nuestros padres, por su paciencia, consejos, ánimos cada día durante toda la duración de nuestros estudios. A ellos les debemos nuestros valores y principios, que siempre nos llevarán a ser mejores personas y mejores profesionales.

A nuestros amigos y compañeros, que compartieron con nosotros largas horas de estudio, momentos tan alegres y a veces momentos tan amargos, a la final quedan esas buenas amistades y anécdotas que siempre recordaremos con mucho cariño.

A los docentes que formaron parte importante de este logro, en especial al Ingeniero Jorge Luis Jaramillo, por las horas brindadas a nuestro trabajo, por sus palabras de ánimo, sus regaños, su infinita paciencia y sobretodo la constancia para hacer que este trabajo nos llene de orgullo.

A todos los que formaron parte de una forma u otra de este logro, ¡va por ustedes!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----|
| CARATULA..... | I |
| APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN | II |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS | III |
| DEDICATORIA..... | III |
| DEDICATORIA..... | V |
| AGRADECIMIENTO..... | VI |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | VII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | X |
| LISTA DE TABLAS..... | XII |
| RESUMEN | 1 |
| ABSTRACT | 2 |
| INTRODUCCIÓN | 3 |
| CAPÍTULO I: 1. ESTADO DEL ARTE DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR PARA POTABILIZACIÓN DE AGUA EN ESCENARIOS DE EMERGENCIA Y DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS DE UN SISTEMA DE DISEÑO PROPIO | 4 |
| 1.1 Introducción..... | 5 |
| 1.2 Análisis de las opciones disponibles en el mercado para potabilización de agua. | 5 |
| 1.2.1 Generalidades. | 5 |
| 1.2.2 Descripción de algunas de las iniciativas disponibles en el mercado para potabilización emergente de agua. | 9 |
| 1.2.2.1 Aqua Sun International. | 9 |
| 1.2.2.2 Sistema de purificación de agua survivor..... | 10 |
| 1.2.2.3 Solvatten..... | 11 |
| 1.2.2.4 Bolsa portátil para potabilización de agua..... | 12 |
| 1.2.2.5 Botella para potabilizar agua en dos minutos. | 12 |
| 1.2.3 Análisis comparativo de las iniciativas disponibles en el mercado para potabilización emergente de agua..... | 13 |

| | | |
|---|---|----|
| 1.3 | Algunas referencias sobre la calidad del agua de consumo humano y de uso doméstico en la zona de Loja. | 14 |
| 1.4 | Definición de requerimientos para el diseño de un sistema emergente de potabilización de agua..... | 15 |
| | | |
| CAPÍTULO II: 2. ...PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA PARA POTABILIZACIÓN DE AGUA EN ESCENARIOS DE EMERGENCIA, POTENCIADO CON APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR | | 17 |
| 2.1 | Introducción..... | 18 |
| 2.2 | Generalidades del diseño del sistema propuesto..... | 18 |
| 2.2.1 | Escenario de operación del sistema. | 18 |
| 2.2.2 | Arquitectura sugerida para el sistema..... | 19 |
| 2.3 | Preselección de dispositivos y componentes del sistema propuesto..... | 20 |
| 2.3.1 | Sobre la provisión de energía fotovoltaica. | 20 |
| 2.3.2 | Sobre la bomba de agua y la lámpara UV. | 21 |
| 2.3.3 | Sobre la demanda de energía y potencia del sistema. | 22 |
| 2.3.4 | Sobre otros componentes del esquema eléctrico del sistema proyectado..... | 23 |
| 2.3.5 | Sobre los componentes del esquema hidráulico del sistema proyectado. | 24 |
| | | |
| CAPÍTULO III: 3. ..INGENIERÍA DE DETALLE DE UN SISTEMA PARA POTABILIZACIÓN DE AGUA EN ESCENARIOS DE EMERGENCIA, CON PROVISIÓN HÍBRIDA DE ENERGÍA | | 26 |
| 3.1 | Introducción..... | 27 |
| 3.2 | Selección de componentes..... | 27 |
| 3.2.1 | Selección de la batería..... | 27 |
| 3.2.2 | Selección de la lámpara UV..... | 28 |
| 3.2.3 | Selección de la bomba..... | 29 |
| 3.2.4 | Selección del inversor..... | 29 |
| 3.2.5 | Selección de elementos para el control de carga de la batería..... | 30 |
| 3.2.6 | Selección de los filtros..... | 33 |
| 3.3 | Diseño de esquemas constructivos y construcción del prototipo | 34 |
| 3.3.1 | Arquitectura y diagrama de bloques del sistema | 34 |
| 3.3.2 | Construcción del sistema..... | 36 |
| | | |
| CAPITULO IV: 4. ...ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE UN EQUIPO PARA POTABILIZACIÓN DE AGUA EN ESCENARIOS DE EMERGENCIA POTENCIADO CON ENERGÍA SOLAR | | 41 |
| 4.1 | Introducción..... | 42 |
| 4.2 | Características generales y de operación del equipo implementado..... | 42 |
| 4.3 | Análisis del desempeño del equipo implementado..... | 44 |
| 4.3.1 | Análisis del consumo de energía en el equipo..... | 44 |
| 4.3.1.1 | Carga de la batería desde láminas solares..... | 44 |

| | |
|--|----|
| 4.3.1.2Carga de la batería desde la red eléctrica pública..... | 45 |
| 4.3.1.3Demanda de potencia del equipo durante su operación..... | 46 |
| 4.3.2 Análisis de la efectividad en el procesamiento de agua cruda | 48 |
| CONCLUSIONES..... | 52 |
| RECOMENDACIONES | 54 |
| REFERENCIAS..... | 55 |
| ANEXO A | 58 |
| ANEXO B | 74 |
| ANEXO C | 76 |
| ANEXO D..... | 85 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Fig. 1.1. Arquitectura del sistema de producción continua..... | 6 |
| Fig. 1.2. Arquitectura de un sistema de producción por lotes..... | 6 |
| Fig. 1.3. Desinfección de agua por rayos solares. | 7 |
| Fig. 1.4. Filtros de sedimentos..... | 8 |
| Fig. 1.5. Filtros de carbón activado..... | 8 |
| Fig. 1.6. Lámpara Rayos UV para desinfección..... | 9 |
| Fig. 1.7. Vista del embalaje del sistema Responder S..... | 9 |
| Fig. 1.8. Vista del embalaje del sistema outpost S..... | 10 |
| Fig. 1.9. Vista del embalaje del sistema purificador de agua Survivor. | 11 |
| Fig. 1.10. Contenedor Solvatten. | 11 |
| Fig. 1.11. Bolsa portátil para potabilización del agua..... | 12 |
| Fig. 1.12. Botella para potabilizar agua..... | 12 |
| Fig. 1.13. Arquitectura propuesta para el sistema de potabilización de agua en escenarios de emergencia. | 15 |
| Fig.2.1. Arquitectura sugerida para el sistema propuesto | 19 |
| Fig.2.2. Arquitectura propuesta para el módulo de control del sistema propuesto | 20 |
| Fig. 3.1. Arquitectura propuesta para el sistema de potabilización de agua en condiciones emergentes..... | 27 |
| Fig. 3.2. Lámpara Sterilight S2Q-PA UV Sterilizer | 28 |
| Fig. 3.3. Bomba Flojet 12V. | 29 |
| Fig. 3.4. Inversor Phoenix Inverter 12/180. | 30 |
| Fig. 3.5. Controlador de carga Phocos CX-20. | 32 |
| Fig. 3.6. Régimen de carga de la batería proporcionado por cargador de pared tipo Mean Well PB-360-12..... | 32 |
| Fig. 3.7. Mean Well PB-360-12..... | 33 |
| Fig. 3.8. Gama de filtros de sedimentos y carcacas de la empresa INDUPAK S.A..... | 33 |
| Fig. 3.9. Filtro de 10 pulgadas carbón activado con su carcasa..... | 34 |
| Fig. 3.10. Diagrama de flujo eléctrico e hidráulico del sistema a implementar | 35 |
| Fig. 3.11. Vista frontal del sistema a implementar | 36 |
| Fig. 3.12. Vista lateral del módulo de tratamiento. | 36 |
| Fig. 3.13. Construcción de la estructura metálica. | 37 |
| Fig. 3.14. Construcción de las cajas metálicas | 38 |
| Fig. 3.15. Acabados de las cajas metálicas | 38 |
| Fig. 3.16. Montaje de los componentes del módulo de tratamiento | 39 |

| | |
|---|----|
| Fig. 3.17. Montaje de los componentes del módulo de Control..... | 39 |
| Fig. 3.18. Montaje final del módulo de control..... | 40 |
| Fig. 3.19. Montaje final del módulo de tratamiento | 40 |
| Fig. 3.20. Montaje final de los módulos..... | 41 |
| Fig. 3.21. Montaje final de los módulos, vista interior..... | 41 |
| Fig. 3.22. Filtro de la manguera de captación | 42 |
| Fig. 4.1. Interruptor principal del sistema | 45 |
| Fig. 4.2. Interruptor de la bomba de agua..... | 45 |
| Fig. 4.3. Conexión de las láminas solares al equipo | 47 |
| Fig. 4.4. Controlador solar en funcionamiento | 47 |
| Fig. 4.5. Cargador utilizado para alimentar la batería desde la red eléctrica pública..... | 48 |
| Fig. 4.6. Dinámica de la demanda de energía en la bomba | 49 |
| Fig. 4.7. Traslado del equipo a la zona de evaluación | 51 |
| Fig. 4.8. Esterilización del equipo e implementos | 52 |
| Fig. 4.9. Toma de muestras de agua cruda | 52 |
| Fig. 4.10. Toma de muestras a la salida del equipo..... | 53 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1.1: Análisis comparativo de los equipos de potabilización emergente de agua, con producción por lotes | 13 |
| Tabla 1.2: Análisis comparativo de los equipos de potabilización emergente de agua, con producción continua..... | 14 |
| Tabla 2.1: Características técnicas de las láminas solares PowerFilm Solar | 20 |
| Tabla 2.2: Características técnicas de algunas bombas de agua (motores) disponibles en el mercado..... | 21 |
| Tabla 2.3: Características técnicas de algunas lámparas UV disponibles en el mercado. ... | 21 |
| Tabla 2.4: Aproximación de la demanda de energía en el sistema propuesto. | 22 |
| Tabla 2.5: Principales características del filtro de sedimentos preseleccionado | 24 |
| Tabla 2.6: Principales características del filtro de carbón activado preseleccionado | 25 |
| Tabla 3.1: Principales características técnicas de las baterías seleccionadas..... | 28 |
| Tabla 3.2: Características técnicas lámpara UV Sterilight S2Q-PA UV Sterilizer..... | 29 |
| Tabla 3.3: Características técnicas de la bomba de agua Flojet 12V..... | 29 |
| Tabla 3.4: Principales características técnicas del inversor Phoenix Inverter 12/180 | 30 |
| Tabla 3.5: Principales características técnicas del controlador de carga Phocos CX-20 | 31 |
| Tabla 3.6: Principales características técnicas del cargador de pared Mean Well PB-360-12 | 33 |
| Tabla 3.7: Principales características del filtro de sedimentos..... | 34 |
| Tabla 3.8: Principales características del filtro de carbón activado..... | 34 |
| Tabla 4.1: Características técnicas del equipo implementado..... | 44 |
| Tabla 4.2: Demanda de energía en la bomba de agua. Elaboración de autores..... | 49 |
| Tabla 4.3: Demanda de energía en la lámpara UV. Elaboración de autores. | 50 |
| Tabla 4.4: Extracto de los resultados de los análisis del agua cruda. | 53 |
| Tabla 4.5: Extracto de los resultados de los análisis del agua tratada por el equipo..... | 54 |

RESUMEN

En este trabajo se presenta los resultados obtenidos en las etapas de prediseño, ingeniería de detalle, e, implementación de un sistema para potabilización de agua en escenarios de emergencia, con provisión híbrida de energía. Se describe el dimensionamiento del sistema, el diseño del equipo, la selección de componentes, y, el ensamblaje del equipo. Además, se describe las pruebas realizadas para evaluar el desempeño y la eficiencia del sistema.

Palabras claves— potabilización de agua, escenarios emergentes, provisión híbrida de energía.

ABSTRACT

In this research work, the results are shown which were obtained in different stages of predesign, detailed engineering and implementation of a system for manufacture of purification water system in emergency scenarios with hybrid energy supply. Furthermore, it is described the dimensioning system, the equipment design, the selection of components; and the equipment manufacturer. Also, the test performed is described in order to evaluate performance and efficiency of the system.

Key words: manufacture of purification water, emergency scenarios, hybrid energy supply.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la demanda de agua potable en el medio urbano y rural, ha provocado el apareamiento de tecnología cada vez más eficiente. En este marco, una referencia especial merece el diseño e implementación de sistemas para potabilización de agua en escenarios de emergencia.

En un escenario de emergencia, los servicios básicos suelen fallar, y, se requiere de tiempo para restablecerlos. Dentro de los servicios críticos, la provisión de agua bebible a la población y/o a los rescatistas es crucial. El sistema de provisión emergente de agua, deberá operar en forma independiente de las redes habituales de provisión de energía, y, deberá entregar agua de alta seguridad y confiabilidad.

El estudio de los componentes de cada uno de los sistemas ofertados, mostró que todos ellos manejan (con ciertas variantes) un proceso de purificación del agua de 3 etapas: filtro de sedimentos, filtro de carbón activo, y, lámpara UV; suficientes para procesar el agua disponible para potabilización, en la zona sur del Ecuador.

En este trabajo, se describe la ingeniería de detalle del sistema propuesto, incluyendo la selección definitiva de componentes del sistema y la construcción del prototipo.

En el primer capítulo se describen los equipos existentes en el mercado para potabilización de agua en zonas remotas.

En el segundo capítulo se realiza el prediseño de un sistema para potabilización de agua en escenarios de emergencia, potenciado con aprovechamiento de energía solar.

En el tercer capítulo se muestra la ingeniería de detalle de un sistema para potabilización de agua en escenarios de emergencia, con provisión híbrida de energía.

En el cuarto capítulo se presenta el análisis de desempeño de un equipo para potabilización de agua en escenarios de emergencia potenciado con energía solar.

CAPÍTULO I

- 1. ESTADO DEL ARTE DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR PARA POTABILIZACIÓN DE AGUA EN ESCENARIOS DE EMERGENCIA Y DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS DE UN SISTEMA DE DISEÑO PROPIO**

1.1 Introducción.

El crecimiento de la demanda de agua potable en el medio urbano y rural, ha provocado el apareamiento de tecnología cada vez más eficiente. En este marco, una referencia especial merece el diseño e implementación de sistemas para potabilización de agua en escenarios de emergencia.

En un escenario de emergencia, los servicios básicos suelen fallar, y, se requiere de tiempo para restablecerlos. Dentro de los servicios críticos, la provisión de agua bebible a la población y/o a los rescatistas es crucial. El sistema de provisión emergente de agua, deberá operar en forma independiente de las redes habituales de provisión de energía, y, deberá entregar agua de alta seguridad y confiabilidad.

En el mercado actual es posible encontrar aplicaciones para potabilización de agua en escenarios de emergencia, basadas en procesos muy similares, con un elemento común: la utilización de rayos UV para eliminar los microorganismos del agua.

En este documento, se describen las diferentes tecnologías existentes en el mercado, se analiza su potencial aplicación para potabilización de agua en escenarios de emergencia en el área de Loja, y, se propone un diseño experimental a implementar.

1.2 Análisis de las opciones disponibles en el mercado para potabilización de agua.

1.2.1 Generalidades.

Se conocen como sistemas de producción continua a aquellos que constan de un mecanismo de purificación de agua, capaz de producir en forma continua. Por lo general, estos sistemas dependen del abastecimiento regular de energía para alimentar bombas de agua o lámparas UV, y, contienen varios tipos de filtros. La Fig.1.1 muestra la arquitectura típica de un sistema de tratamiento continuo. El agua cruda se capta de cualquier fuente disponible, mediante una bomba eléctrica. Inmediatamente pasa al bloque de pre-tratamiento (por lo general compuesto de filtros de sedimentos y carbón activo), para luego ser expuesta a radiación UV (en una lámpara UV) para lograr su desinfección.

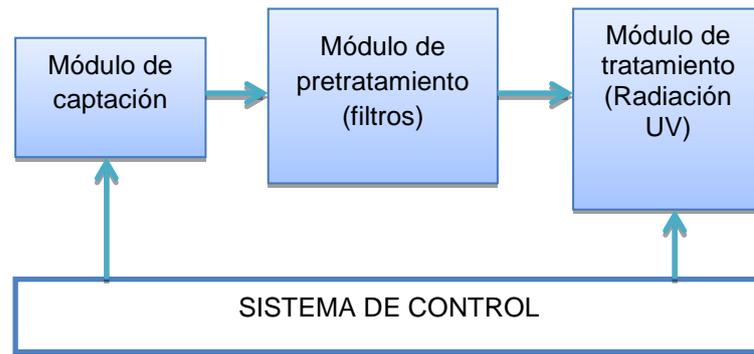


Fig. 1.1. Arquitectura del sistema de producción continua.
Fuente: Diseño de los autores.

Los sistemas de producción por lotes son capaces de entregar ciertos volúmenes de agua tratada por intervalo de tiempo. La Fig.1.2 muestra una típica arquitectura de procesamiento por lotes. El agua cruda se capta de cualquier fuente disponible; pasa al módulo de tratamiento, en donde es almacenada, y, expuesta a radiación UV.

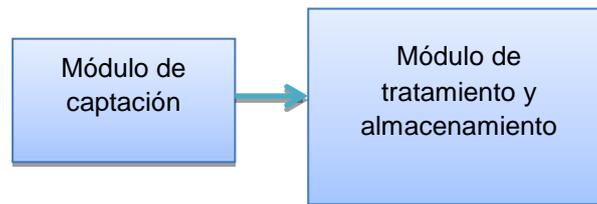


Fig. 1.2. Arquitectura de un sistema de producción por lotes.
Fuente: Diseño de los autores.

Especial interés merecen las aplicaciones experimentales de potabilización basadas en energía solar, que emplean el proceso denominado desinfección solar o SODIS (por sus siglas en inglés, solar water disinfection) [1]. La Fig.1.3 muestra un modelo referencial de este tipo de tecnología, descrita a detalle en la bibliografía [1], [2].



Fig. 1.3. Desinfección de agua por rayos solares

Fuente: <http://rainforestradio.com/2011/04/11/tips-para-purificar-el-agua/>

Los sistemas de potabilización emergente de agua, emplean filtros de sedimentos, que retienen cualquier partícula sólida transportada por el fluido (partículas derivadas de la corrosión de las tuberías de agua, granos de arena, pequeñas partículas de materia orgánica, partículas arcillosas, u, otras partículas pequeñas) [3]. Un filtro de sedimentos remueve partículas, pero no reduce la cantidad de químicos o metales pesados en el agua, ni elimina olores ni sabores del agua [3]. La Fig.1.4 muestra distintos tipos de filtros de sedimentos utilizados en la industria.

Un tipo especial de filtro, es del denominado filtro de carbón activado. El carbón activado proviene de cualquier clase de carbón vegetal o de hueso, sometido a un proceso de pulverización o granulación. El carbón activado adhiere o retiene en su superficie, uno o más componentes (átomos, moléculas, iones) del líquido que está en contacto. Esta característica se denomina poder adsorbente. La adsorción es responsable de purificar, desodorizar, y decolorar el agua, principio que se extiende a otros sólidos, líquidos, o gases en contacto con un elemento adsorbente [4] (ver Fig.1.5). La superficie del filtro de carbón activado se caracteriza por una infinita cantidad de poros muy finos. Estos poros son los que retienen (adsorben) ciertos componentes que están presentes en el agua [5].



Fig. 1.4. Filtros de sedimentos.

Fuente:

<http://www.reefzone.com.mx/v3/index.php/tienda/product/view/8/26>



Fig. 1.5. Filtros de carbón activado.

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/cto-sintered-activated-carbon-filter-with-any-size-for-water-treatment-system-592117824.html>.

La desinfección de agua por radiación ultravioleta (UV) es un procedimiento físico, que no altera la composición química, ni el sabor ni el olor del agua. La irradiación con rayos UV, provoca en los gérmenes y bacterias una serie de daños en su molécula de ADN, que impiden la división celular y causan su muerte [6] (ver Fig.1.6).



Fig. 1.6. Lámpara Rayos UV para desinfección.

Fuente: <http://aquaflash.blogspot.com/2009/04/34-luz-ultravioleta-tratamiento.html>

1.2.2 Descripción de algunas de las iniciativas disponibles en el mercado para potabilización emergente de agua.

En el marco de este proyecto, se decidió estudiar las iniciativas de potabilización emergente de agua disponibles en el mercado, en función de su autonomía, peso y volumen (portabilidad), facilidad de operación, capacidad de potabilización (l/s), y, confiabilidad.

1.2.2.1 Aqua Sun International.

Esta empresa oferta en el mercado dos productos para purificación de agua en aplicaciones remotas, potenciados por energía solar: responder S, y, outpost S [7].



Fig. 1.7. Vista del embalaje del sistema Responder S.

Fuente: www.aqua-sun-intl.com/portable-water-purification-systems/fresh-water-systems/responder-s

El sistema responder S (ver Fig. 1.7.) trabaja con un filtro de sedimentos de 5µm, un filtro de

carbón activo, y, un purificador con luz ultravioleta. El equipo se abastece a través de un panel solar con storage en una batería. La capacidad de procesamiento del sistema es de 1 galón (3,7 l) por minuto.

El sistema outpost S contiene un prefiltro lavable o reusable, un filtro de sedimentos, un filtro de carbón de 0.5 μm , y una lámpara para desinfección UV. El equipo se monta sobre una estructura de aluminio con 3 ruedas. La capacidad del sistema es de 1000 galones (3740 l) por día, en un lapso de 3 a 4 horas [8] (ver Fig.1.8.).



Fig. 1.8. Vista del embalaje del sistema outpost S.

Fuente: www.aqua-sun-intl.com/portable-water-purification-systems/fresh-water-systems/responder-s

1.2.2.2 Sistema de purificación de agua survivor.

Este sistema es fabricado por Portable Solar Power Biz [12]. Tiene una capacidad de procesamiento de 2 galones (7,4 l) por minuto. Posee una pantalla de prefiltrado lavable para reducir la captación de sedimentos, un filtro de 10 μm , un filtro de 0,5 μm , un filtro de carbón activado, y, la desinfección germicida es en base a UV (ver Fig. 1.9.)



Fig. 1.9. Vista del embalaje del sistema purificador de agua Survivor.

Fuente: <http://www.portablesolarpower.biz/products/12v-portable-survivor-water-purification-system>

1.2.2.3 Solvatten.

En el mercado actual, se ofertan diversas aplicaciones solares portables capaces de proveer de energía eléctrica en diversas situaciones, que emplean módulos solares rígidos o flexibles. Estas aplicaciones actúan como fuentes de energía en corriente directa o alterna.

Solvatten es un contenedor portátil de 11 l, diseñado por Petra Wadström, que aprovecha el sol para calentar y tratar el agua para el consumo en los hogares (ver Fig. 1.10.) [13].



Fig. 1.10. Contenedor Solvatten

Fuente: <http://www.solvatten.se>.

1.2.2.4 *Bolsa portátil para potabilización de agua.*

La bolsa solar creada por Ryan Lynch y Marcus Triestes, es una bolsa que se lleva cruzada sobre el cuerpo. En ella el agua se desinfecta por radiación solar UV, a medida que el usuario camina (ver Fig.1.11.). La bolsa solar puede potabilizar 2,5 galones (9,4 l) de agua en 6 horas [14].



Fig. 1.11. Bolsa portátil para potabilización del agua.

Fuente: [http://www.rwlwater.com/design-students-create-portable-water-purification-system/?lang=es%20\(mochila\)](http://www.rwlwater.com/design-students-create-portable-water-purification-system/?lang=es%20(mochila))

1.2.2.5 *Botella para potabilizar agua en dos minutos.*

La botella para potabilizar agua en dos minutos fue creada por James Dyson. El agua (1/2 l) pasa por un filtro, y, se esteriliza durante 2 min con una lámpara UV [15] (ver Fig. 1.12).



Fig. 1.12. Botella para potabilizar agua.

Fuente: <http://www.jamesdysonaward.org/Projects/Project.aspx?ID=1096&RegionId=19&Winindex=3>

1.2.3 Análisis comparativo de las iniciativas disponibles en el mercado para potabilización emergente de agua.

En los equipos de producción por lotes (ver Tabla 1.1), los requerimientos mínimos se relacionan con el peso, el nivel de portabilidad, y, la complejidad de operación. Estos equipos fueron diseñados para operar en zonas desérticas, en las que el agua proviene de fuentes remotas, la radiación solar es intensa, y, las fuentes de energía convencional no están al alcance.

Tabla 1.1: Análisis comparativo de los equipos de potabilización emergente de agua, con producción por lotes. Elaboración de autores.

| | Autonomía (h) | Peso (libras) | Nivel de portabilidad | Complejidad de operación | Productividad (l/h) | Complejidad de mantenimiento | Confiabilidad |
|--|-------------------------------|---------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------|---------------|
| SOLVATTEN | Mientras haya radiación solar | 3 | Alto | Bajo | 3.7 | Baja | Media |
| Bolsa portátil para potabilización de agua | Mientras haya radiación solar | 1 (aprox) | Alto | Bajo | 1.6 | Baja | Media |
| Botella para potabilizar agua en dos minutos | Total | 2 | Alto | Medio | 15 | Alta | Media |

Fuente: Elaboración de autores.

En los equipos de producción continua (ver Tabla 1.2), los requerimientos mínimos son la capacidad de producción, la confiabilidad, y, la complejidad de operación. Estos sistemas fueron creados para escenarios de emergencia en los que se requiere la mayor capacidad de producción en el menor tiempo posible. La productividad de cada sistema aumenta con la robustez (mientras más complejo y pesado es el sistema mayor es su productividad), mientras que la portabilidad se reduce.

Tabla 1.2: Análisis comparativo de los equipos de potabilización emergente de agua, con producción continua.

| | Autonomía (h) | Peso (libras) | Nivel de portabilidad | Complejidad de operación | Productividad (l/min) | Complejidad de mantenimiento | Confiabilidad |
|--|---------------|---------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------|
| Responder S | 10 | 50 | Alto | bajo | 3.7 | Media | Alta |
| Outpost S | 3-4 | 280 | Bajo | medio | 18 | Alta | Alta |
| Sistema de purificación de agua de 12 V SURVIVOR | 1.8 | 40 (aprox) | Medio | medio | 7.4 | Baja | Alta |

Fuente: Elaboración de autores.

1.3 Algunas referencias sobre la calidad del agua de consumo humano y de uso doméstico en la zona de Loja.

Se entiende por agua apta para el consumo humano y uso doméstico, a aquella que se emplea para ser bebida y para preparación de alimentos; para la satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios; y, para la fabricación o procesamiento de alimentos en general.

La bibliografía [16] describe los criterios de calidad que debe cumplir, durante la captación, el agua a ser utilizada para consumo humano y uso doméstico. Cumplidos los límites máximos permisibles de los parámetros de calidad en la captación, el agua requerirá de un tratamiento convencional (filtrado, cloración, y, almacenamiento).

Según el Departamento de Cuencas y Microcuencas del GADM de Loja, las vertientes y demás fuentes de captación de agua en la provincia de Loja, cumplen con los parámetros, y, se consideran aptas para ser potabilizadas con un tratamiento convencional. Estudios realizados por la UMAPAL, confirman que en las captaciones de la ciudad de Loja, los parámetros del agua cruda están dentro de los rangos permitidos [17].

1.4 Definición de requerimientos para el diseño de un sistema emergente de potabilización de agua.

El análisis comparativo de las aplicaciones para potabilización emergente de agua, existentes en el mercado, permitió sugerir que, en el marco de este proyecto, se implementara un sistema de producción continua, que cumpla con todos los requerimientos mínimos de la producción por lotes y de la producción continua; que, a diferencia de los sistemas investigados, incluya la capacidad de almacenamiento de agua purificada; y, que permita la potabilización desde una lámpara UV, o, con la radiación directa del Sol.

La comparación de un sistema de potabilización emergente de 3 etapas (filtro de sedimentos, filtro de carbón activo, y, lámpara UV), con el tratamiento convencional, muestra un mejor desempeño del primero, razón por la cual se puede afirmar que este sistema puede garantizar la calidad requerida del agua.

La arquitectura propuesta para el sistema a implementar se muestra en la Fig. 1.13.

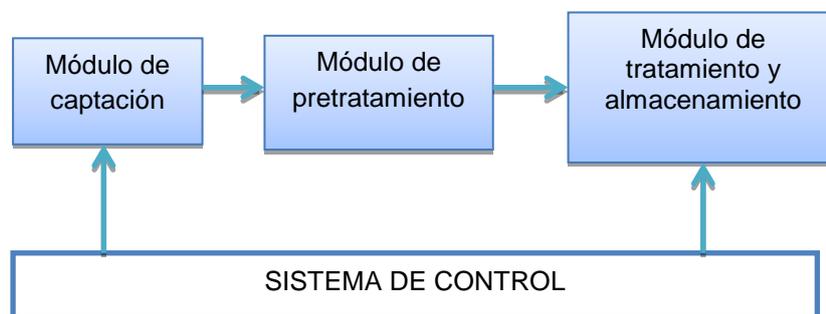


Fig. 1.13. Arquitectura propuesta para el sistema de potabilización de agua en escenarios de emergencia.

Fuente: Elaboración de autores.

El agua a potabilizar será captada manualmente a través de un circuito accionado por una bomba, que también proporcionará la energía para que el agua circule a través de los filtros. El filtrado del agua se realizará con la ayuda de un filtro de sedimentos (para eliminar partículas flotando en el agua), y, un filtro de carbón activado (para eliminar olores, sabores, y, ciertos químicos dañinos para la salud). El agua filtrada se someterá a radiación UV, y, luego será almacenada.

El funcionamiento del sistema será asistido a través de un módulo de control, que permitirá seleccionar el régimen de trabajo (energía solar o energía desde el storage).

Para la desinfección UV, los diseñadores elegirán entre lámparas UV germicidas de 254 nm, o, lámparas fluorescentes comunes o de baja presión. El sistema incluirá la opción de desinfección por exposición solar para casos de extrema emergencia.

CAPÍTULO II

2. PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA PARA POTABILIZACIÓN DE AGUA EN ESCENARIOS DE EMERGENCIA, POTENCIADO CON APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR

2.1 Introducción.

En un estudio previo, se analizó la oferta del mercado en cuanto a sistemas de potabilización de agua en condiciones de emergencia, determinando la prevalencia de dos tipos de sistemas: los de producción continua, y, los de producción por lotes.

El estudio de los componentes de cada uno de los sistemas ofertados, mostró que todos ellos manejan (con ciertas variantes) un proceso de purificación del agua de 3 etapas: filtro de sedimentos, filtro de carbón activo, y, lámpara UV; suficientes para procesar el agua disponible para potabilización, en la zona sur del Ecuador.

En este capítulo se describe la propuesta de un sistema de diseño propio, orientado a la potabilización de agua en escenarios de emergencia, y, potenciado con aprovechamiento de energía solar.

2.2 Generalidades del diseño del sistema propuesto.

En el marco de este proyecto, se decidió diseñar el sistema de provisión de agua potable en condiciones de emergencia, de acuerdo a las características de los equipos ofertados en el segmento medio de mercado, con una población objetivo de alrededor de 500 personas.

2.2.1 Escenario de operación del sistema.

El sistema deberá ser capaz de proveer de agua potabilizada a una población usuario (n_p) de 500 personas. El sistema será empleado para atender a la población de zonas frías y cálidas, cuya demanda de agua (d_a) por persona se estima en 5 l/día [20].

Para garantizar la provisión requerida, el sistema deberá operar con una tasa de potabilización de agua (t_p) de 4 a 11 l/min, trabajando el número de horas (N_h) determinado por la expresión (1):

$$N_h = (n_p * d_a) / t_p \quad (1)$$

En dónde,

N_h , es el número de horas de trabajo por día, h.

n_p , es el número de personas, personas

d_a es la demanda de agua por persona, l/día.

tp es la tasa de potabilización de agua, l/h.

2.2.2 *Arquitectura sugerida para el sistema.*

La Fig. 1 muestra la arquitectura sugerida para el sistema a implementar. En el módulo de captación, el agua a potabilizar será captada de la fuente manualmente, a través de un circuito hidráulico accionado por una bomba.

La bomba también proporcionará la energía requerida para que el agua circule a través del sistema de filtros del módulo de pretratamiento. El agua será filtrada en un filtro de sedimentos (para la eliminación de partículas flotando en el agua), y, en un filtro de carbón activado (para la eliminación de olores, sabores, y, ciertos químicos dañinos para la salud).

En el módulo de tratamiento y almacenamiento, el agua filtrada se someterá a radiación UV, y, luego será almacenada.

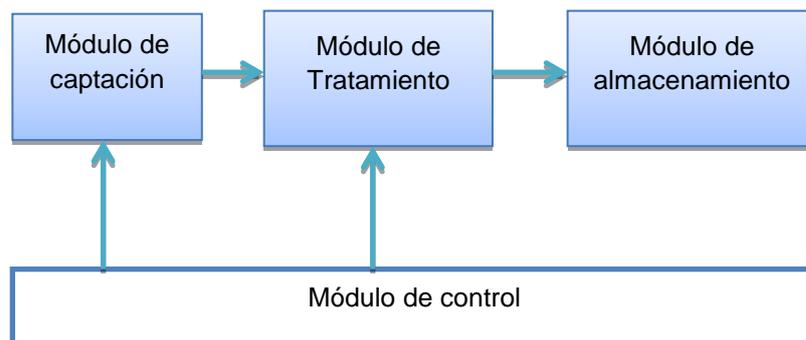


Fig.2.1. Arquitectura sugerida para el sistema propuesto.
Fuente: Elaboración de autores.

Un *módulo de control* gestionará la alimentación y operación del sistema (ver Fig. 2.1.), permitiendo optar por uno de dos potenciales regímenes de trabajo: alimentación desde el sistema fotovoltaico, o, alimentación desde un cargador de pared.

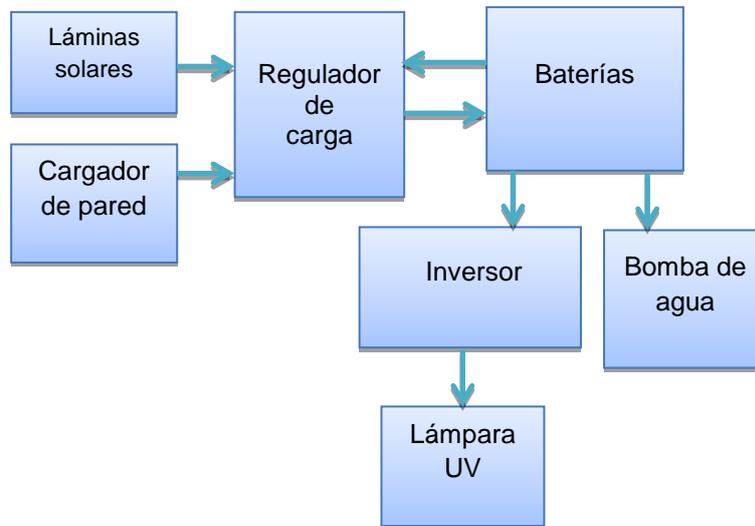


Fig.2.2. Arquitectura propuesta para el módulo de control del sistema propuesto.
Fuente: Elaboración de autores

2.3 Preselección de dispositivos y componentes del sistema propuesto.

2.3.1 Sobre la provisión de energía fotovoltaica.

En el marco de este proyecto, se decidió reutilizar las láminas solares disponibles en la Sección de Energía y Electrónica SEE del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica DCCE de la UTPL.

Las láminas solares flexibles fueron fabricadas por PowerFilm, sobre una base de sustrato de plástico [21], y, poseen las características técnicas detalladas en la Tabla 1. Se planteó la utilización de las láminas en un arreglo en paralelo, con lo que se espera que la corriente entregada sea de 3,6 A.

Tabla 2.1: Características técnicas de las láminas solares PowerFilm Solar.

| | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Modelo | PF 28 Watt Rollable Solar Charge |
| Voltaje de operación | 15 VDC |
| Corriente de operación | 1.8 A |
| Dimensión enrollado | 36,83 cm |
| Dimensión abierto | 36,83 cm x 202.5 cm |

Fuente: Elaboración de autores

2.3.2 Sobre la bomba de agua y la lámpara UV.

La bomba de agua (el motor) y la lámpara UV, deben ser dimensionadas en función del caudal requerido para sostener la tasa de potabilización, y, seleccionadas de entre las disponibles en el mercado (ver Tabla 2.2 y 2.3).

Tabla 2.2: Características técnicas de algunas bombas de agua (motores) disponibles en el mercado.

| Modelo | 12V seaflo | flojet 12V | shurflo |
|---------------------------|------------|------------|---------|
| Voltaje de operación, VDC | 12 | 12 | 12 |
| Corriente, A | 1,7 | 4,4 | 7,5 |
| Potencia, W | 20,4 | 52,8 | 90 |
| Caudal, l/min | 4,3 | 11 | 11,3 |

Fuente: Elaboración de autores

Tabla 2.3: Características técnicas de algunas lámparas UV disponibles en el mercado.

| Fabricante / modelo | indupak 1 | indupak 2 | Sterilight |
|---------------------------|--------------|--------------|------------|
| Voltaje de operación, VAC | 110 | 110 | 110 |
| Corriente, A | 0,1 | 0,13 | 0,2 |
| Potencia, W | 11 | 15 | 22 |
| Caudal, l/min | 4 | 7 | 11 |

Fuente: Elaboración de autores

Con el objetivo de reducir el tiempo de operación del sistema, y, aprovechar de manera eficiente el recurso solar, se decidió fijar la tasa de potabilización en 11 l/min. Con esta tasa, de acuerdo a la expresión (1), el sistema debería operar 3,7 h por día para cumplir con el volumen requerido de agua potabilizada.

Con la tasa de potabilización dada, la selección final recayó en la bomba modelo flojet 12V; y, en la lámpara UV modelo sterilight.

2.3.3 Sobre la demanda de energía y potencia del sistema.

La Tabla 2.4 resume el cálculo de la demanda de energía en el sistema propuesto, estimada en 28,675 Ah/día, incluyendo un 25 % de reserva para cubrir eventualidades en la operación del sistema.

Tabla 2.4: Aproximación de la demanda de energía en el sistema propuesto..

| Nro. | Dispositivo | Consumo DC, A | Uso diario, h | Total, Ah/día | 25% de reserva, Ah/día |
|--------------|---------------|------------------|---------------|---------------|---------------------------|
| 1 | Bomba de agua | 4,4 | 3,7 | 16,28 | 20,35 |
| 1 | Lámpara UV | 1,8 | 3,7 | 6,66 | 8,325 |
| TOTAL | 22,94 | 28,675 | | | |

Fuente: Elaboración de autores.

En un sistema de 12V, la potencia requerida es del orden de los 344,1 Wh/día. Considerando la eficiencia del sistema, la potencia requerida en el sistema (E_d), se calcula a través de la expresión (2):

$$E_d = \frac{P_d}{\eta_{reg} \cdot \eta_{inv}} \quad (2)$$

En dónde,

E_d , es el potencia requerida en el sistema, Wh/día

P_d , es el requerimiento diario de potencia, Wh/día

η_{reg} es la eficiencia del regulador, %

η_{inv} es la eficiencia del inversor,

En el marco de este proyecto, se decidió considerar la eficiencia del inversor en el orden del 85%, y, la del regulador en el 90% [4]. Con estos valores, la potencia requerida en el sistema se estimó en:

$$E_d = \frac{344,10}{0,9 * 0,85}$$

$$E_d = 449,72 \text{ Wh/día}$$

2.3.4 Sobre otros componentes del esquema eléctrico del sistema proyectado.

En el anexo C se muestra el esquema general eléctrico del sistema propuesto, en el que constan inversor, batería, cargador de pared, y, controlador de carga.

El dimensionamiento del *inversor* considerará la potencia total requerida por la carga AC del sistema (la lámpara UV), con una reserva de 20% [23].

Al dimensionar la *batería*, se considerará el consumo diario de corriente (28,6 Ah/día), la autonomía, la profundidad de descarga, y, la capacidad útil [24]. La *capacidad de la batería* (C_n), se estima mediante la ecuación (3):

$$C_n = \frac{1,1 * Ahd * A}{PDmáx} \quad (3)$$

En dónde,

- C_n , es la capacidad de la batería, Ah.
- Ahd , es el consumo diario de corriente, Ah/día.
- A , es la autonomía del sistema, días.
- $PDmax$, es la profundidad de descarga de la batería.

Para una profundidad de descarga de 0,8; y, una autonomía del sistema proyectada de 2 días, la capacidad de la batería se aproxima a:

$$C_n = \frac{1,1 * 28,6 \text{ Ah/día} * 2}{0,8}$$

$$C_n = 78,85 \text{ Ah}$$

Entonces, la *capacidad útil* (C_{util}) de la batería se calcula mediante la expresión (4):

$$C_{util} = C_n * PDmáx \quad (4)$$

En dónde,

Cutil, es la capacidad útil de la batería, Ah.
 Cn, es la capacidad de la batería, Ah.
 PDmax, es la profundidad de descarga de la batería.

$$C_{util} = 78,85 * 0,8$$

$$C_{util} = 63,08 \text{ Ah}$$

En este proyecto se ha planteado que, como condición inicial para la operación del sistema, la batería este cargada al 100%. Por esta razón, se decidió incorporar al sistema, un cargador de pared que facilite la carga de la batería, previo a la salida al campo.

El controlador de carga gestiona el nivel de tensión en la batería, para protegerla contra una probable sobrecarga, y, aumentar la vida útil. En el marco de este proyecto, se propuso emplear un controlador de carga tipo PWM, que reduce el volumen de energía transferida a la batería en función de la proximidad del nivel de carga máxima [25].

2.3.5 Sobre los componentes del esquema hidráulico del sistema proyectado.

El Anexo C muestra el esquema general hidráulico del sistema propuesto, en el que consta un filtro de sedimentos y un filtro de carbón activado.

El filtro de sedimentos retendrá las partículas en suspensión en el agua cruda. Las principales características técnicas del filtro preseleccionado se describen en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5: Principales características del filtro de sedimentos preseleccionado.

| Parámetro | Descripción |
|------------------------------|--------------------|
| Material | Polipropileno |
| Dimensiones | 25 cm |
| Diámetro | 60 mm |
| Capacidad de filtrado | 5 µm |

Fuente: Elaboración de autores.

El *filtro de carbón activado* eliminará olores, sabores, y, algunos químicos presentes en el agua cruda. Las principales características técnicas del filtro preseleccionado se describen en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6: Principales características del filtro de carbón activado preseleccionado.

| Parámetro | Descripción |
|------------------------------|--------------------|
| Dimensiones | 25 cm |
| Diámetro | 60 mm |
| Capacidad de filtrado | 5 μ m |

Fuente: Elaboración de autores.

Los filtros a utilizar tendrán una carcasa plástica, y, se montarán en porta filtros. Los filtros, porta filtros, y, carcasas son accesibles en el mercado local, a través de la empresa INDUPAK.

CAPÍTULO III

3. INGENIERÍA DE DETALLE DE UN SISTEMA PARA POTABILIZACIÓN DE AGUA EN ESCENARIOS DE EMERGENCIA, CON PROVISIÓN HÍBRIDA DE ENERGÍA

3.1 Introducción.

En un trabajo anterior se explicó el prediseño de un sistema para potabilización de agua para escenarios de emergencia, potenciado con aprovechamiento de energía solar, a través de una arquitectura híbrida fotovoltaica – red eléctrica pública.

En este trabajo, se describe la ingeniería de detalle del sistema propuesto, incluyendo la selección definitiva de componentes del sistema y la construcción del prototipo.

3.2 Selección de componentes.

En la fase de prediseño [26], se describió la arquitectura de bloques funcionales para el sistema propuesto (ver Fig. 3.1). En la fase de ingeniería de detalle, la selección final de componentes se decidió en función de los requisitos definidos para cada elemento, y, de su disponibilidad en el mercado.

3.2.1 Selección de la batería.

En la fase de prediseño, se estableció el consumo del sistema en 344,04 Wh/día, provisto desde una batería de 12V a razón de 28,67 Ah/día. Al prever una autonomía del sistema de 2 días, se requiere entonces, de un almacenamiento total de 57,34 Ah/día [27].

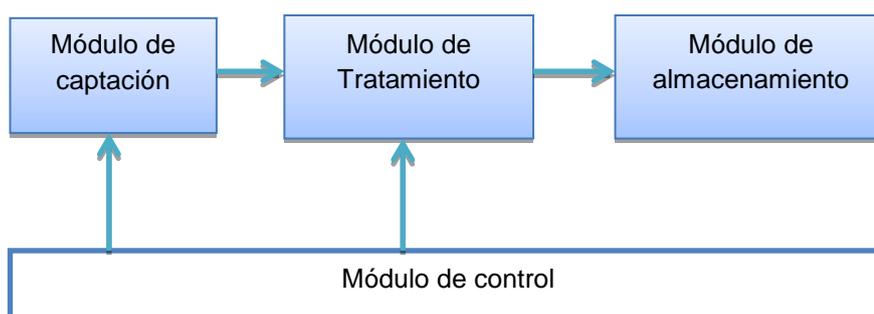


Fig. 3.1. Arquitectura propuesta para el sistema de potabilización de agua en condiciones emergentes.

Fuente: Elaboración de autores.

Considerando que los elementos discriminadores habituales para las baterías (peso, volumen y el costo), no son relevantes para la aplicación atendida en este proyecto, la selección se centró en la capacidad y profundidad de descarga. Al comparar las

características de las baterías disponibles en el mercado, se decidió utilizar una batería de gel, marca Aplhacell, de 85 Ah/día de capacidad. Esta batería posee un ciclo de descarga profundo de 0.8, por lo que tendrá la capacidad de entregar alrededor de 68 Ah/día, suficientes para cubrir la demanda y mantener un margen de seguridad (ver Tabla 3.1).

Tabla 3.1: Principales características técnicas de las baterías seleccionadas

| | |
|-------------------------|---------------------------|
| Tipo | Alphacell, batería de gel |
| Capacidad (Ah) | 85 |
| Voltaje (V) | 12 |
| Peso (kg) | 27,1 |
| Dimensiones (cm) | 21,54 x 34,09 x 17,27 |

Fuente: Elaboración de autores.

3.2.2 Selección de la lámpara UV.

En la fase de prediseño, se estableció que para la selección de la lámpara UV, se debería exigir el máximo caudal procesado posible, ante un mínimo de demanda de energía.

Con esta fundamentación, y, considerando las prestaciones de las lámpara UV disponibles en el mercado, se escogió una lámpara UV Sterilight S2Q-PA UV Sterilizer , cuyas principales características técnicas se muestran en la Tabla 3.2.



Fig. 3.2. Lámpara Sterilight S2Q-PA UV Sterilizer.

Fuente: <http://www.h2odistributors.com/s2q-pa-sterilight-silver-series-3-gpm-uv-system>

Tabla 3.2: Características técnicas lámpara UV Sterilight S2Q-PA UV Sterilizer.

| | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| Fabricante / modelo | Sterilight S2Q-PA UV Sterilizer |
| Voltaje de operación, V | 110 |
| Corriente, A | 0,2 |
| Potencia, W | 22 |
| Caudal, l/min | 11 |

Fuente: <http://www.h2odistributors.com/s2q-pa-sterilight-silver-series-3-gpm-uv-system>

3.2.3 Selección de la bomba.

La bomba de agua se dimensionó en función del caudal requerido en el sistema, para sostener la tasa de potabilización. Un aspecto adicional importante a considerar, está relacionado a que la demanda de energía de la bomba condicionará la autonomía del sistema, a través de la descarga de la batería.

La selección recayó sobre la bomba Flojet 12V (ver Figura 3.3), cuyas principales características se muestran en la Tabla 3.3



Fig.3.3. Bomba Flojet 12V.

Fuente: <http://www.ebay.com/itm/FloJet-Triplex-12-V-RV-Camper-Marine-Demand-Water-Pump-03526-144A-/38079934459>

Tabla 3.3: Características técnicas de la bomba de agua Flojet 12V.

| | |
|--------------------------------|------------|
| Modelo | Flojet 12V |
| Voltaje de operación, V | 12 |
| Corriente, A | 4,4 |
| Potencia, W | 52.8 |
| Caudal, l/min | 11 |

Fuente: <http://www.ebay.com/itm/FloJet-Triplex-12-V-RV-Camper-Marine-Demand-Water-Pump-03526-144A-/380799344592>

3.2.4 Selección del inversor.

La selección del inversor se basó en la demanda de la única carga AC del sistema, la lámpara UV. De entre los inversores disponibles en el mercado, se seleccionó el inversor Phoenix Inverter 12/180, de onda senoidal pura, cuyas características técnicas se detallan en la Tabla 4 y una vista frontal se muestra en la Fig. 3.4

Tabla 3.4: Principales características técnicas del inversor Phoenix Inverter 12/180.

| | |
|-----------------------------|---|
| Inversor | Phoenix Inverter 12/180 |
| Potencia (W) | 174 |
| Salida | 110 VAC / 60 Hz |
| Alarma batería baja | 11 VDC |
| Apagado batería baja | 10,5 VDC |
| Eficiencia | 87 % |
| Protecciones | <ul style="list-style-type: none"> • Corto circuito en la salida • Sobrecarga • Voltaje de batería demasiado baja • Voltaje de batería demasiado alta • Temperatura demasiado alta |

Fuente: <http://www.%20Phoenix%20Inverter%20180VA%20-%201200VA%20-%20rev%2007%20-%20ES.pdf>



Fig. 3.4. Inversor Phoenix Inverter 12/180.

Fuente: <http://www.%20Phoenix%20Inverter%20180VA%20-%201200VA%20-%20rev%2007%20-%20ES.pdf>

3.2.5 Selección de elementos para el control de carga de la batería.

En la fase de prediseño de este proyecto, se definió una arquitectura híbrida de provisión de energía. En este contexto, la batería almacena la energía provista por láminas solares y por la red eléctrica pública.

Para gestionar el almacenamiento de energía, en los 2 casos, se requiere establecer un régimen tal que extienda la vida útil de la batería, a la vez que se garantice la carga desde una sola fuente a la vez.

Considerando que los cálculos preliminares muestran que, desde las láminas solares se espera un amperaje de 3.6 A, y, en función de la oferta en el mercado, se decidió utilizar un controlador Phocos CX-20, con lo que se garantiza la reserva suficiente por corriente. La Tabla 5 resume las principales características técnicas del equipo, mientras que la Fig. 3.5 muestra una vista frontal del equipo.

Tabla 3.5: Principales características técnicas del controlador de carga Phocos CX-20

| | |
|-----------------------------|---------------------------|
| Especificación | Regulador solar Phocos CX |
| Voltaje de operación | 12 / 24 V |
| Tipo de carga | PWM |
| Potencia máxima | 240W |
| Corriente máxima | 10A |

Fuente: Regulador solar Phocos CX, Phocos <http://www.codeso.com/Solar-Energia/Phocos-Controlador-Carga-CX.html>



Fig. 3.5. Controlador de carga Phocos CX-20.

Fuente: Regulador solar Phocos CX, Phocos <http://www.codeso.com/Solar-Energia/Phocos-Controlador-Carga-CX.html>

La red eléctrica pública abastecerá de energía a la batería, a través de un cargador de pared tipo Mean Well PB-360-12, que proporciona un régimen de carga para la batería, compuesto por 3 etapas (ver Fig. 3.6). En la primera, el cargador suministra la máxima corriente posible para un voltaje de carga en incremento. En la segunda fase, el amperaje decrece gradualmente con un voltaje máximo de carga constante. En la etapa 3, la

corriente disminuye a los valores mínimos, para un voltaje de carga mínimo [29]. La Tabla 3.6 resume las prestaciones técnicas más relevantes del cargador, mientras que la Fig.3.7 muestra una panorámica del dispositivo.

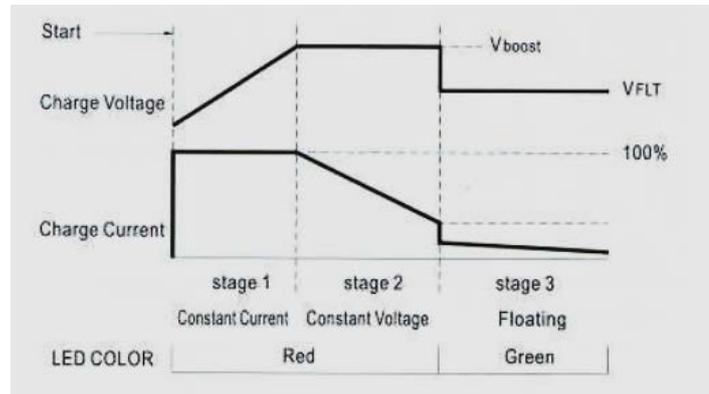


Fig. 3.6. Régimen de carga de la batería proporcionado por cargador de pared tipo Mean Well PB-360-12.

Fuente: <http://www.connexio220.com/manuales/baterias/manual-cargador.pdf>

Tabla 3.6: Principales características técnicas del cargador de pared Mean Well PB-360-12

| Especificación | Mean Well PB-360-12 |
|-----------------------|------------------------------------|
| Voltaje de entrada | 115/230VAC seleccionado por switch |
| Corriente de entrada | 7 A (115 VAC) |
| Voltaje de regulación | 14,4 V |
| Voltaje de salida | Boost: 14,4 VDC Float: 13,6 VDC |
| Corriente de salida | 24,3 A |

Fuente: <http://www.meanwell.com/search/PB-360/PB-360-spec.pdf>



Fig. 3.7. Mean Well PB-360-12.

Fuente: <http://www.meanwell.com/search/PB-360/PB-360-spec.pdf>

3.2.6 Selección de los filtros.

Como *filtro de sedimentos* se utilizará un filtro genérico de 10 pulgadas, ubicado dentro de una carcasa contenedora (ver Fig. 3.8). Las principales características técnicas del filtro, se describen en la Tabla 3.7.



Fig. 3.8. Gama de filtros de sedimentos y carcasas de la empresa INDUPAK S.A.

Fuente: <http://www.indupaksa.com>

Tabla 3.7: Principales características del filtro de sedimentos.

| Parámetro | Descripción |
|-----------------------|---------------|
| Material | Polipropileno |
| Dimensiones | 25 cm |
| Diámetro | 60 mm |
| Capacidad de filtrado | 1 μ m |

Fuente: Elaboración de autores.

Como *filtro de carbón activado* se empleará un filtro genérico de 10 pulgadas, ubicado dentro de una carcasa contenedora (ver Fig. 3.9). Las principales características técnicas del filtro se describen en la Tabla 3.8.



Fig. 3.9. Filtro de 10 pulgadas carbón activado con su carcasa.

Fuente: <http://www.indupaksa.com>

Tabla 3.8: Principales características del filtro de carbón activado.

| Parámetro | Descripción |
|-----------------------|-------------|
| Dimensiones | 25 cm |
| Diámetro | 60 mm |
| Capacidad de filtrado | 0,5 μ m |

Fuente: Elaboración de autores.

3.3 Diseño de esquemas constructivos y construcción del prototipo

3.3.1 Arquitectura y diagrama de bloques del sistema

Seleccionados los componentes del sistema, se ratificó la arquitectura propuesta inicialmente para el sistema, ajustando los esquemas eléctrico, hidráulico, y, mecánico.

La Fig. 3.10 muestra el diagrama de flujo eléctrico (flechas azules) e hidráulico (flechas rojas) del sistema.

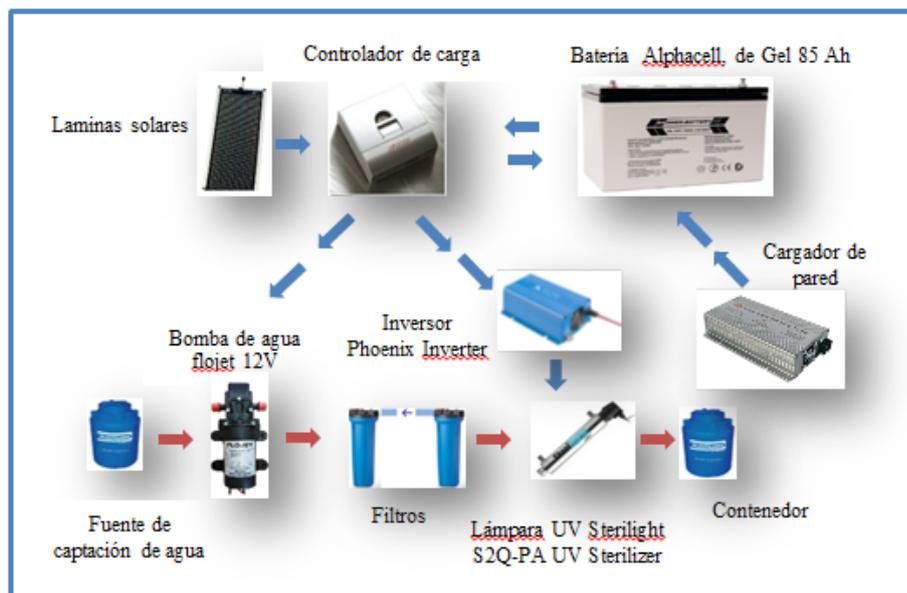


Fig. 3.10. Diagrama de flujo eléctrico e hidráulico del sistema a implementar.

Fuente: Elaboración de autores.

Utilizando los recursos del software SketchUp Pro, se diseñó el soporte mecánico del sistema, bajo la premisa de que los componentes se encuentren adecuadamente distribuidos y aislados (ver Fig. 3.11 y 3.12). El anexo C muestra el diagrama eléctrico corregido, considerando un interruptor para el encendido y apagado de la bomba de agua.

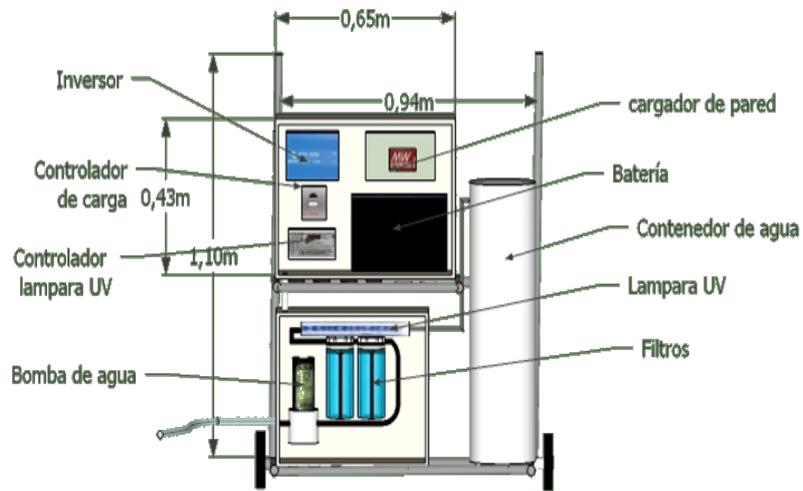


Fig. 3.11. Vista frontal del sistema a implementar.
Fuente: Elaboración de autores.

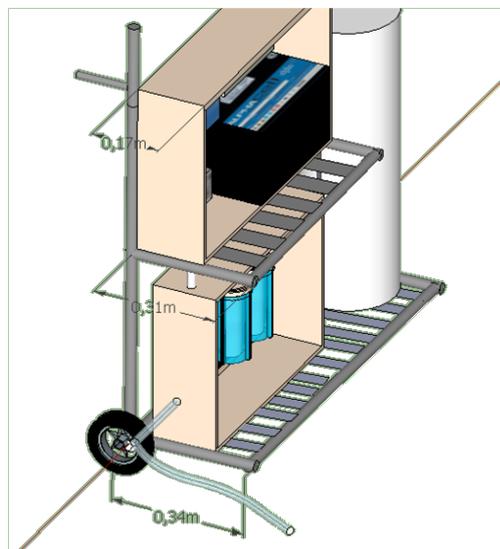


Fig. 3.12. Vista lateral del módulo de tratamiento
Fuente: Elaboración de autores.

3.3.2 Construcción del sistema.

Los componentes del sistema están dentro de cajas metálicas, son dos cajas metálicas de tol negro de 1/25 pulgadas montada sobre una estructura hecha de tubo estructural de 1 pulgada, montado sobre dos ruedas para facilitar la movilidad del mismo.

En la figura 3.17 se ve la construcción de la estructura metálica cuyas dimensiones son 1.10 m de alto, 0,94m de ancho y con las bases para las cajas de 0,34m de profundidad.



Fig. 3.13. Construcción de la estructura metálica.
Fuente: Fotografía de autores.

En la figura 3.14 se observa la construcción de las cajas metálicas donde van a colocarse los diferentes componentes del sistema. El módulo de control y el módulo de tratamiento estarán colocados en dos cajas diferentes.

La caja superior (módulo de control) tiene las dimensiones 0,43m de alto, 0,65m de ancho y 0,19m de profundidad incluida la tapa. Además tiene un doble fondo para que todas las conexiones eléctricas se hagan por detrás de la placa donde están montados los componentes.



Fig. 3.14. Construcción de las cajas metálicas.
Fuente: Fotografía de autores.



Fig. 3.15. Acabados de las cajas metálicas.
Fuente: Fotografía de autores.

La caja del módulo de tratamiento (figura 3.16) tiene las dimensiones, alto 0.41m, ancho 0.55 y 0.19m de profundidad incluida la tapa.

Para realizar las conexiones de agua desde la captación, a los filtros, a la lámpara UV y, al módulo de almacenamiento se han utilizado mangueras de abasto de ½ pulgada debido a su flexibilidad y facilidad para conectar los diferentes componentes.



Fig. 3.16. Montaje de los componentes del módulo de tratamiento.
Fuente: Fotografía de autores.



Fig. 3.17. Montaje de los componentes del módulo de Control.
Fuente: Fotografía de autores.

Luego de montar todos los componentes del sistema, que las cajas y la estructura estén con buenos acabados y pintura, de haber colocado las cerraduras de las cajas, el montaje final del sistema se describe en las figuras 3.18, 3.19, 3.20, 3.21 y 3.22.

El módulo de almacenamiento se construyó en base a un tubo de PVC de 10 pulgadas al cual se le colocó un fondo, una tapa y la entrada y salida de agua.

En la figura 3.17 se puede observar que la ubicación del cargador de pared cambió con respecto al diseño previo debido a que el espacio junto al inversor no daba lugar para conectar el cable de alimentación del cargador.



Fig. 3.18. Montaje final del módulo de control.
Fuente: Fotografía de autores.



Fig. 3.19. Montaje final del módulo de tratamiento.
Fuente: Fotografía de autores.



Fig. 3.20. Montaje final de los módulos.
Fuente: Fotografía de autores.



Fig. 3.21. Montaje final de los módulos, vista interior.
Fuente: Fotografía de autores.



Fig. 3.22. Filtro de la manguera de captación.
Fuente: Fotografía de autores.

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE UN EQUIPO PARA POTABILIZACIÓN DE AGUA EN ESCENARIOS DE EMERGENCIA POTENCIADO CON ENERGÍA SOLAR

4.1 Introducción.

En el marco de este proyecto, se diseñó y construyó un equipo de potabilización de agua en escenarios de emergencia, potenciado con energía solar.

Como última fase del proyecto, se planificó evaluar el desempeño del equipo, tanto desde la perspectiva de consumo de energía, como de la efectividad en el procesamiento de agua cruda. Este documento describe la metodología utilizada, y, explica los resultados obtenidos.

4.2 Características generales y de operación del equipo implementado.

El equipo se diseñó e implementó para ser móvil [29], y, posee las características técnicas descritas en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Características técnicas del equipo implementado

| Componente | Descripción |
|----------------------------|---------------------|
| Batería | 85 Ah |
| Inversor | 180 VA |
| Controlador de carga solar | 20 A AC |
| Cargador de pared (110V) | 23,5 A AC de salida |
| Bomba de agua | 11 l/min |
| Lámpara UV | 11 l/min |
| Filtro de sedimentos | 1 micrón |
| Filtro de carbón activado | 0,5 micrón |

Fuente: Elaboración de autores.

El equipo posee tres interruptores. El interruptor principal (Fig. 4.1) regula la operación del equipo en 2 regímenes: encendido del sistema y modo cargador de pared. En el régimen de **encendido del sistema**, desde la batería se proporciona la energía almacenada, a todos los componentes del equipo para su funcionamiento. Durante la operación del sistema, la batería sigue recibiendo energía desde el cargador solar.



Fig. 4.1. Interruptor principal del sistema.
Fuente: Fotografía de autores.

En el régimen de **modo cargador**, la batería se carga desde la red pública de energía eléctrica, mientras los demás componentes permanecen aislados eléctricamente para evitar sobrecargas.



Fig. 4.2. Interruptor de la bomba de agua.
Fuente: Fotografía de autores.

En el régimen de encendido del sistema, se puede controlar el funcionamiento de la bomba, a través de un segundo interruptor (Fig. 4.2). La operación de la lámpara UV, se controla a través del interruptor del inversor.

4.3 Análisis del desempeño del equipo implementado.

Para evaluar el desempeño del equipo, se decidió analizar dos dimensiones: el consumo de energía y la efectividad en el procesamiento de agua cruda.

4.3.1 Análisis del consumo de energía en el equipo.

Para aproximar un juicio de valor sobre el desempeño energético del equipo, se evaluó la carga de la batería desde láminas solares, la carga de la batería desde la red pública de abastecimiento eléctrico, y, la demanda de potencia en el equipo durante su operación.

Las pruebas se realizaron al aire libre, entre las 9h00 y las 12h00 del día lunes 16 de diciembre de 2013.

4.3.1.1 Carga de la batería desde láminas solares.

En el régimen de encendido del sistema, el equipo recibe energía desde las láminas solares a través del cargador solar.

Durante la prueba realizada, al equipo se conectó una lámina solar (ver Fig. 4.3), pudiendo constatar el funcionamiento del cargador solar (ver Fig. 4.4). Dadas las condiciones climáticas del día en que se realizó la prueba, la carga de la batería se convirtió en un proceso lento. Por esta razón, se decidió que, el régimen de carga solar, el equipo se alimente de una arreglo de láminas solares en paralelo.



Fig. 4.3. Conexión de las láminas solares al equipo.

Fuente: Fotografía de autores.

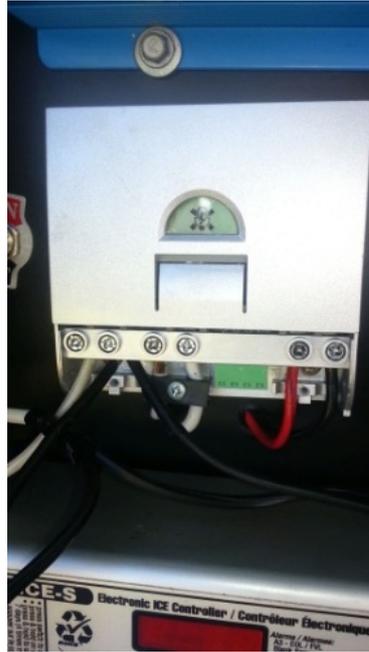


Fig. 4.4. Controlador solar en funcionamiento.
Fuente: Fotografía de autores.

4.3.1.2 *Carga de la batería desde la red eléctrica pública*

En el modo de cargador, la batería se alimenta de la red eléctrica pública de 110 VAC, a través del cargador Mean Well PB-360-12 (ver Fig. 4.5). Con la batería totalmente descargada, el controlador proporciona energía a la máxima corriente posible (aproximadamente 24 A). En aproximadamente 2 horas y 54 minutos, la batería se carga totalmente, y, el cargador entra en modo float.



Fig. 4.5. Cargador utilizado para alimentar la batería desde la red eléctrica pública.

Fuente: Fotografía de autores.

4.3.1.3 Demanda de potencia del equipo durante su operación

La Tabla 4.2 muestra los resultados obtenidos al determinar el *consumo de energía en la bomba de agua* instalada en el equipo.

Tabla 4.2: Demanda de energía en la bomba de agua.

| Corriente de la bomba (A) | Voltaje de bomba (V) | Potencia (W) |
|---------------------------|----------------------|--------------|
| 5,1 | 12,1 | 61,71 |
| 5,5 | 12,1 | 66,55 |
| 6,1 | 12,1 | 73,81 |
| 6,6 | 12,1 | 79,86 |
| 6,8 | 12,1 | 82,28 |
| 6,9 | 12,1 | 83,49 |
| 6,9 | 12,1 | 83,49 |
| 6,8 | 12,1 | 82,28 |
| 6,8 | 12,1 | 82,28 |
| 6,8 | 12,1 | 82,28 |
| 6,8 | 12,1 | 82,28 |
| 6,8 | 12,1 | 82,28 |

Fuente: Elaboración de autores.

De acuerdo a las especificaciones del fabricante, la bomba debe operar con una potencia nominal de 62.4 W, pero la dinámica de la demanda de energía en la bomba, muestra que esta llega a operar con 82.28 W, lo que equivale a una sobrecarga del 30.7 %, que, según recomendación del fabricante, debería compensarse restringiendo el funcionamiento a no más de una hora, lo que repercutiría en la performance del equipo. Se asoció la sobrecarga en la bomba, con la variación del micraje de los filtros, respecto al diseño original.

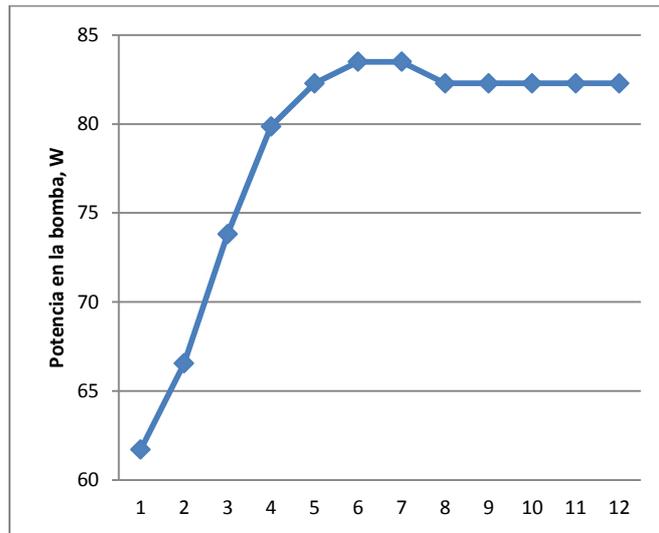


Fig. 4.6. Dinámica de la demanda de energía en la bomba.
Fuente: Fotografía de autores.

La Tabla 4.3 muestra los resultados obtenidos al determinar el *consumo de energía en la lámpara UV*. El consumo se mantiene constante en el tiempo, y, corresponde a las especificaciones del fabricante.

Tabla 4.3: Demanda de energía en la lámpara UV. Elaboración de autores.

| Intensidad de la lámpara(A) | Voltaje de lámpara (V) | Potencia (W) |
|-----------------------------|------------------------|--------------|
| 0,2 | 110 | 22 |
| 0,2 | 110 | 22 |
| 0,2 | 110 | 22 |
| 0,2 | 110 | 22 |
| 0,2 | 110 | 22 |
| 0,2 | 110 | 22 |
| 0,2 | 110 | 22 |
| 0,2 | 110 | 22 |
| 0,2 | 110 | 22 |
| 0,2 | 110 | 22 |

Fuente: Elaboración de autores.

La *potencia total demandada por el equipo*, corresponde a la suma de la potencia en la bomba y de la potencia en la lámpara, tal como lo muestra la expresión (5):

$$P_{Total} = P_{Bomba} + P_{Lámpara} \quad (5)$$

En dónde,

P_{Total} , es la potencia total, W

P_{Bomba} , es la potencia en la bomba, W

$P_{Lámpara}$, es la potencia en la lámpara, W

Entonces, la demanda total de energía en el equipo, se calculó en 104.28W.

Desde la perspectiva de provisión de energía desde las láminas solares, se requiere de un arreglo paralelo de 5 láminas operando a 25W cada una, para proveer en directo de la energía requerida.

La *corriente directa total* en el equipo, se estimó en 8.6 A. Esto significa que, la batería de 85 Ah, totalmente cargada, podría abastecer al equipo durante 9.8 h de manera autónoma. Esta disponibilidad de respaldo, corresponde plenamente al objetivo planteado en [26], en el sentido de que el equipo sea capaz de operar 3.7 h diarias, tomando en cuenta los intervalos de trabajo de 1 hora.

4.3.2 Análisis de la efectividad en el procesamiento de agua cruda

Para medir esta efectividad, se decidió realizar un análisis físico-químico básico del agua cruda que ingresa al equipo, y, del agua tratada en el equipo. El análisis de agua, se realizó en los Laboratorios de Ingeniería Ambiental de la UTPL, de acuerdo a los protocolos establecidos.

El equipo fue trasladado a las riveras del río Zamora, a la altura del barrio Zamora Huayco (ver Fig. 4.7). Durante 15 min se activó el equipo, con la intención de eliminar restos de agua de experiencias anteriores. Transcurrido este tiempo, el equipo se limpió, y, se esterilizó los implementos a utilizar en el análisis (ver Fig. 4.8). Finalmente, se tomó muestras de agua

cruda y de agua tratada por el equipo (ver Fig. 4.9 y 4.10). Las muestras de agua tratada, fueron tomadas directo de la salida de la lámpara UV.



Fig. 4.7. Traslado del equipo a la zona de evaluación.
Fuente: Fotografía de autores.



Fig. 4.8. Esterilización del equipo e implementos.
Fuente: Fotografía de autores.



Fig. 4.9. Toma de muestras de agua cruda.
Fuente: Fotografía de autores.



Fig. 4.10. Toma de muestras a la salida del equipo.
Fuente: Fotografía de autores.

Los resultados obtenidos en el análisis de las muestras, se presentan en las Tablas 4.4 y 4.5.

Tabla 4.4: Extracto de los resultados de los análisis del agua cruda.

| DETERMINACIÓN | UNIDAD | RESULTADOS | U (incertidumbre) | REQUISITOS DE LA NORMA | |
|------------------------------|--------|------------|----------------------|------------------------|------|
| | | | | Mín. | Máx. |
| Oxígeno disuelto | mg/l | 8,17 | n/a | 6 | - |
| % de Saturación | % | 110,90 | n/a | - | - |
| Temperatura in situ del Agua | °C | 15,00 | n/a | - | - |
| pH | | 6,31 | 0,107 | 6 | 9 |
| Turbiedad | mg/l | 2,01 | 1,1 | - | 10 |
| Sólidos totales disueltos | mg/l | 13,35 | n/d | - | 500 |
| Dureza Total | mg/l | 10,50 | n/d | - | - |
| Conductividad Eléctrica | uS/cm | 26,24 | 0,8667 uS/cm | - | 500 |
| Nitrito | mg/l | 0,009 | n/d | - | 1 |
| Nitrato | mg/l | 1,60 | 0,378 mg/l | - | 10 |
| Nitrógeno amoniacal | mg/l | 0,190 | n/d | - | - |
| Coliformes totales | UFC | 30 | 6% | - | 79 |
| Coliformes fecales | UFC | 0 | 14% | - | - |

Fuente: Elaboración de autores.

Tabla 4.5: Extracto de los resultados de los análisis del agua tratada por el equipo.

| DETERMINACIÓN | UNIDAD | RESULTADOS | U (incertidumbre) | REQUISITOS DE LA NORMA | |
|------------------------------|--------|------------|----------------------|------------------------|------|
| | | | | Mín. | Máx. |
| Oxígeno disuelto | mg/l | 8,87 | n/a | 6 | - |
| % de Saturación | % | 121,20 | n/a | - | - |
| Temperatura in situ del Agua | °C | 15,50 | n/a | - | - |
| pH | | 6,36 | 0,107 | 6 | 9 |
| Turbiedad | mg/l | 0,23 | 1,1 | - | 10 |
| Sólidos totales disueltos | mg/l | 13,00 | n/d | - | 500 |
| Dureza Total | mg/l | 10,50 | n/d | - | - |
| Conductividad Eléctrica | uS/cm | 26,26 | 0,8667 uS/cm | - | 500 |
| Nitrito | mg/l | 0,008 | n/d | - | 1 |
| Nitrato | mg/l | 0,60 | 0,378 mg/l | - | 10 |
| Nitrógeno amoniacal | mg/l | 0,160 | n/d | - | - |
| Coliformes totales | UFC | 10 | 6% | - | 79 |
| Coliformes fecales | UFC | 0 | 14% | - | - |

Fuente: Elaboración de autores.

Los resultados obtenidos, muestran que el agua tratada en el equipo, según la norma, tiene características que la convierten en apta para el consumo humano

CONCLUSIONES

- En un escenario de emergencia, los servicios básicos suelen fallar, y, se requiere de tiempo para restablecerlos. Dentro de los servicios críticos, la provisión de agua bebible a la población y/o a los rescatistas es crucial. El sistema de provisión emergente de agua, deberá operar en forma independiente de las redes habituales de provisión de energía, y, deberá entregar agua de alta seguridad y confiabilidad.
- El método de desinfección UV es el más utilizado en los sistemas de potabilización de agua en escenarios de emergencia. Este es un procedimiento físico, que no altera la composición química, ni el sabor, ni el olor del agua.
- El proceso de desinfección solar a pesar de ser un método extremadamente sencillo, es un proceso poco eficiente en escenarios de emergencia en relación al periodo de exposición requerido para que el material absorba el calor, y, los rayos UV realicen el proceso de desinfección.
- El análisis comparativo de las aplicaciones para potabilización emergente de agua, existentes en el mercado, permitió sugerir que, en el marco de este proyecto, se implementara un sistema de producción continua, que cumpla con todos los requerimientos mínimos de la producción por lotes y de la producción continua; que, a diferencia de los sistemas investigados, incluya la capacidad de almacenamiento de agua purificada; y, que permita la potabilización desde una lámpara UV, o, con la radiación directa del Sol.
- Para potabilización de agua en escenarios de emergencia, las etapas de filtro de sedimentos, filtro de carbón activo, y, lámpara UV, son eficientes, fiables, y, permiten construir sistemas compactos y portables.
- En el marco de este proyecto, se decidió diseñar un sistema de provisión de agua potable en condiciones de emergencia, en correspondencia a las características técnicas de los equipos ofertados en el segmento medio de mercado.
- El sistema a implementar deberá ser capaz de proveer de agua potabilizada a una población usuario de 500 personas, bajo la premisa de satisfacer una demanda de 5 litros de agua por persona al día.
- Para el sistema a implementar, se sugirió una arquitectura conformada por un módulo de captación, un módulo de pretratamiento, un módulo de tratamiento y almacenamiento, y, un módulo de control.
- Para la preselección de dispositivos y componentes del sistema, se consideró las posibilidades de provisión de energía fotovoltaica, el consumo de corriente en la

bomba de agua y en la lámpara UV, y, la demanda de energía y potencia total del sistema.

- En base a la información disponible, se preseleccionó una batería, un controlador de carga, y, un inversor.
- Finalmente, se propuso que el agua a potabilizar sea captada manualmente, a través de un circuito hidráulico accionado por una bomba, que también proporcionará la energía requerida para la circulación a través del sistema de filtros, hasta la lámpara UV, y, su posterior almacenamiento en un contenedor.
- El sistema se diseñó para ser un sistema robusto y confiable, para abastecer las necesidades en un escenario de emergencia.
- El funcionamiento del equipo está totalmente aislado del cargador de pared para evitar cualquier sobrecarga dentro de los equipos, debido a que la corriente de salida del cargador es alta y podría causar daños en los equipos.
- Se colocó un interruptor para el encendido y apagado de la bomba para que el sistema se pueda estar cargando con energía solar con la bomba y la lámpara desconectada ya que la bomba puede sufrir desperfectos si se enciende sin agua circulando.
- Desde una perspectiva energética, el equipo cumple con las especificaciones de diseño.
- El análisis de muestras de agua, confirma que el agua tratada en el equipo es apta para el consumo humano

RECOMENDACIONES

Para proyectos futuros se recomienda dimensionar la bomba de agua teniendo en cuenta el micraje de los filtros, para evitar un mayor consumo de corriente lo que deriva en una sobrecarga en la bomba de agua.

Así mismo, se recomienda usar láminas o paneles solares de mayor potencia para sostener la carga en la batería, y evitar arreglos de láminas.

Revisar constantemente que los filtros se mantengan limpios para que la calidad del agua no se vea afectada. El fabricante recomienda cambiar de filtros una vez al año, o dependiendo del uso que se le dé al equipo.

Tener siempre en cuenta la vida útil de la lámpara UV, revisando el contador de horas que se encuentra en el módulo de control para tener lista la lámpara de reemplazo.

Se recomienda que la batería este totalmente cargada antes de poner en uso el sistema, y estar pendiente del medidor de nivel de batería que se encuentra en el controlador de carga.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Paco Casal Garcia, "Purificación del agua; método SODIS", accedido Abril 25 [Online]. Disponible en: http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com_content&view=article&id=21799:purificacion-del-agua-metodo-sodis&catid=1487:dispositivos-y-tecnologia-alternativas&Itemid=300077
- [2] Gabriel Nueman, "Energía solar para purificar el agua", accedido Abril 25 [Online]. Disponible en: <http://www.bi2green.com/energia-solar-para-purificar-el-agua/>
- [3] [4] Water Treatment Solutions, "Filtro de Sedimentos", accedido Abril 24 [Online]. Disponible en: <http://www.lenntech.es/filtros-y-filtracion/filtro-de-sedimentos.htm>
- [5] Roberto Petracino, "El carbón Activo", accedido Abril 24 [Online]. Disponible en: <http://www.elacuarista.com/secciones/filtrado6.htm>
- [6] Revista Ambientum, "Carbón Activo en el tratamiento de aguas", accedido Abril 24 [Online]. Disponible en: http://www.ambientum.com/revista/2003_03/CARBON.htm
- [9] SEMARNAT, "Purificador solar de agua y esterilizador ultravioleta", accedido Abril 25 [Online]. Disponible en: <http://www.scribd.com/doc/37309421/Manual-para-hacer-un-purificador-de-agua-con-luz-ultravioleta-y-condensacion>
- [10] [11] RESPONDER S, "Filtration and Ultraviolet Light Disinfection", accedido Abril 20 [Online]. Disponible en: <http://www.aqua-sun-intl.com/portable-water-purification-systems/fresh-water-systems/responder-s>
- [12] OUTPOST S, "Filtration and Ultraviolet Light Disinfection", accedido Abril 20 [Online]. Disponible en: <http://www.aqua-sun-intl.com/portable-water-purification-systems/fresh-water-systems/outpost-s>
- [13] 12V PORTABLE SURVIVOR WATER PURIFICATION SYSTEM, accedido Abril 18 [Online]. Disponible en: <http://www.portablesolarpower.biz/products/12v-portable-survivor-water-purification-system>
- [14] SOLVATTEN, "Safe wáter sistem", accedido Abril 18 [Online]. Disponible en: <http://www.solvatten.se>
- [15] Linda Dailey Paulson, "DESIGN STUDENTS CREATE PORTABLE WATER PURIFICATION SYSTEM", accedido Abril 25 [Online]. Disponible en: [http://www.rwlwater.com/design-students-create-portable-water-purification-system/?lang=es%20\(mochila\)](http://www.rwlwater.com/design-students-create-portable-water-purification-system/?lang=es%20(mochila))

- [16] James Dyson, "Water bottle uses UV light to sterilize water in just 2 minutes", accedido Abril 25 [Online]. Disponible en: <http://www.jamesdysonaward.org/Projects/Project.aspx?ID=1096&RegionId=19&Winindex=3>
- [17] PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, "Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua", LIBRO VI ANEXO 1", accedido Junio 12 [Online]. Disponible en: <http://cdam.minam.gob.pe/publielectro/calidad%20ambiental/normasrecursoagua.pdf>
- [18] UMAPAL, Dr. Adalberto Gallo, Ing. Cristina Velez, Ing. Rocío Minchala S., Químicos UMAPAL, 2012 "ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUA CRUDA"
- [19]. Ortiz Edgar, Palacios Maria Gabriela, Jaramillo Jorge, ESTADO DEL ARTE DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR PARA POTABILIZACIÓN DE AGUA EN ESCENARIOS DE EMERGENCIA Y DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS DE UN SISTEMA DE DISEÑO PROPIO
- [20]. El agua en situaciones de emergencia (OMS, OPS; 1999). [en línea]. Disponible en: <http://helid.digicollection.org/es/d/Jwho92s/10.html>
- [21]. PowerFilm Solar. [en línea]. Disponible en: <http://www.powerfilmsolar.com/>
- [22]. Sánchez Maza Miguel Ángel, "ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA", pág. 151-155.
- [23]. El inversor. [en línea]. Disponible en: <http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com/2006/01/el-inversor.html>
- [24]. Harper Enríquez, Primera edición 2010 México DF, "INSTALACIONES ELÉCTRICAS DOMÉSTICAS CONVENCIONALES Y SOLARES FOTOVOLTAICOS", pág 363-365
- [25]. Selección del regulador [en línea]. Disponible en: http://www.steca.com/index.php?Seleccion_de_los_reguladores
- [26]. Ortiz Edgar, Palacios Maria Gabriela, Jaramillo Jorge, Propuesta de diseño de un sistema para potabilización de agua en escenarios de emergencia, potenciado con aprovechamiento de energía solar
- [27]. BATTCOMPANY, Bateria RPower GEL 12v 85Ah [en línea]. Disponible en: <http://www.battcompany.com/es/bateria-nautica/baterias-barcos/bateriasnauticas/tienda/details/84/8/bater%C3%ADas-rpower-gel-12v/bateria-rpower-gel-12v-85ah.html>
- [28]. H2O Distributors, sterilight silver [en línea]. Disponible en: <http://www.h2odistributors.com/s2q-pa-sterilight-silver-series-3-gpm-uv-system>
- [29]. MeanWell 360W Single Output Battery Charger [en línea]. Disponible en: <http://www.meanwell.com/search/PB-360/PB-360-spec.pdf>
- [30]. Ortiz Edgar, Palacios María Gabriela, Jaramillo Jorge, Ingeniería de detalle de un

sistema para potabilización de agua en escenarios de emergencia, con provisión híbrida de energía

ANEXO A

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SISTEMA PARA POTABILIZACIÓN DE AGUA EN
ESCENARIOS DE EMERGENCIA, CON PROVISIÓN HÍBRIDA DE ENERGÍA

Diseño y fabricación de un sistema para potabilización de agua en escenarios de emergencia, con provisión híbrida de energía

^{#1}Edgar Ortiz, ^{#2}María Gabriela Palacios, ^{#3}Jorge Luis Jaramillo

^{#1, #2} Profesional en formación IET, Universidad Técnica Particular de Loja

^{#3} Docente investigador SEE DCCE, Universidad Técnica Particular de Loja
Loja, Ecuador

¹eortiz@utpl.edu.ec, ²mgpalacios@utpl.edu.ec, ³jorgeluis@utpl.edu.ec

Resumen- Se describe el diseño, implementación, y evaluación de un sistema para potabilización de agua en escenarios de emergencia, con provisión híbrida de energía.

Índice de términos- potabilización de agua, potabilización de agua en escenarios emergentes, sistemas híbridos de provisión de energía.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la demanda de agua potable en el medio urbano y rural, ha provocado el apareamiento de tecnología cada vez más eficiente. Una referencia especial, merece el diseño e implementación de sistemas para potabilización de agua en escenarios de emergencia.

En un escenario de emergencia, los servicios básicos suelen fallar, y, se requiere de tiempo para restablecerlos. Dentro de los servicios críticos, la provisión de agua bebible a la población y/o a los rescatistas es crucial. El sistema de provisión emergente de agua, deberá operar en forma independiente de las redes habituales de provisión de energía, y, deberá entregar agua de alta seguridad y confiabilidad.

El estudio de los componentes de cada uno de los sistemas ofertados, mostró que todos ellos manejan (con ciertas variantes) un proceso de purificación del agua de 3 etapas: filtro de sedimentos, filtro de carbón activo, y, lámpara UV; suficientes para procesar el agua disponible para potabilización, en la zona sur del Ecuador.

En este trabajo, se describe el diseño, implementación, y, evaluación de un sistema para potabilización de agua en escenarios de emergencia, con provisión híbrida de energía.

II. OPCIONES DISPONIBLES EN EL MERCADO PARA POTABILIZACIÓN DE AGUA

Se conocen como *sistemas de producción continua* a aquellos que constan de un mecanismo de purificación de agua, capaz de producir en forma continua. Por lo general, estos sistemas dependen del abastecimiento regular de energía para alimentar bombas de agua o lámparas UV, y, contienen varios tipos de filtros. El agua cruda se capta de cualquier fuente disponible, mediante una bomba eléctrica. Inmediatamente pasa al bloque de pre-tratamiento (por lo general compuesto de filtros de sedimentos y carbón activo), para luego ser expuesta a radiación UV (en una lámpara UV) para lograr su desinfección.

Los *sistemas de producción por lotes* son capaces de entregar ciertos volúmenes de agua tratada por intervalo de tiempo. El agua cruda se capta de cualquier fuente disponible; pasa al módulo de tratamiento, en donde es almacenada, y, expuesta a radiación UV

En los equipos de producción por lotes (ver Tabla 1), los requerimientos mínimos se relacionan con el peso, el nivel de portabilidad, y, la complejidad de operación. Estos equipos fueron diseñados para operar en zonas desérticas, en las que el agua proviene de fuentes remotas, la radiación solar es intensa, y, las fuentes de energía convencional no están al alcance.

Tabla 1.

Análisis comparativo de los equipos de potabilización emergente de agua, con producción por lotes. Elaboración de autores.

| | Autonomía (h) | Peso (libras) | Nivel de portabilidad | Complejidad de operación | Productividad (l/h) | Complejidad de mantenimiento | Confiabilidad |
|--|-------------------------------|---------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------|---------------|
| SOLVATTEN | Mientras haya radiación solar | 3 | Alto | Bajo | 3.7 | Baja | Media |
| Bolsa portátil para potabilización de agua | Mientras haya radiación solar | 1 (aprox) | Alto | Bajo | 1.6 | Baja | Media |
| Botella para potabilizar agua en dos minutos | Total | 2 | Alto | Medio | 15 | Alta | Media |

En los equipos de producción continua (ver Tabla 2), los requerimientos mínimos son la capacidad de producción, la confiabilidad, y, la complejidad de operación. Estos sistemas fueron creados para escenarios de emergencia en los que se requiere la mayor capacidad de producción en el menor tiempo posible. La productividad de cada sistema aumenta con la robustez (mientras más complejo y pesado es el sistema mayor es su productividad), mientras que la portabilidad se reduce.

Tabla 2.

Análisis comparativo de los equipos de potabilización emergente de agua, con producción continua. Elaboración de autores.

| | Autonomía (h) | Peso (libras) | Nivel de portabilidad | Complejidad de operación | Productividad (l/min) | Complejidad de mantenimiento | Confiabilidad |
|--|---------------|---------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------|
| Responder S | 10 | 50 | Alto | bajo | 3.7 | Media | Alta |
| Outpost S | 3-4 | 280 | Bajo | medio | 18 | Alta | Alta |
| Sistema de purificación de agua de 12 V SURVIVOR | 1.8 | 40 (aprox) | Medio | medio | 7.4 | Baja | Alta |

III. DISEÑO DEL EQUIPO

En el marco de este proyecto, se decidió diseñar el sistema de provisión de agua potable en condiciones de emergencia, de acuerdo a las características de los equipos ofertados en el segmento medio de mercado, con una población objetivo de alrededor de 500 personas.

A. Escenario de operación del sistema

El sistema deberá ser capaz de proveer de agua potabilizada a una *población usuario* (np) de 500 personas. El sistema será empleado para atender a

la población de zonas frías y cálidas, cuya *demanda de agua* (da) por persona se estima en 5 l/día [1].

Para garantizar la provisión requerida, el sistema deberá operar con una *tasa de potabilización de agua* (tp) de 4 a 11 l/min, trabajando el *número de horas* (Nh) determinado por la expresión (1):

$$Nh = \frac{np * da}{tp} \quad (1)$$

En dónde,

Nh, es el número de horas, h.
 np, es el número de personas, personas
 da es la demanda de agua por persona, l/día.
 tp es la tasa de potabilización de agua, l/h.

B. Arquitectura del sistema

La Fig. 1 muestra la arquitectura del sistema a implementar. En el *módulo de captación*, el agua a potabilizar será captada de la fuente manualmente, a través de un circuito hidráulico accionado por una bomba.

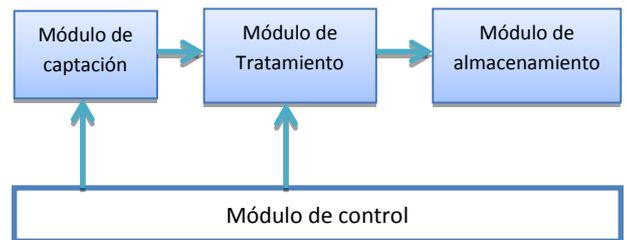


Fig. 1. Arquitectura propuesta para el sistema de potabilización de agua en condiciones emergentes. Diseño de los autores.

La bomba también proporcionará la energía requerida para que el agua circule a través del sistema de filtros del *módulo de tratamiento*. El agua será filtrada en un filtro de sedimentos (para la eliminación de partículas flotando en el agua), y, en un filtro de carbón activado (para la eliminación de olores, sabores, y, ciertos químicos dañinos para la salud), luego el agua filtrada se someterá a radiación UV y finalmente será almacenada en el *módulo de almacenamiento*. Un *módulo de control* gestionará la alimentación y operación del sistema, permitiendo optar por uno de dos potenciales regímenes de trabajo: alimentación desde el sistema fotovoltaico, o, alimentación desde un cargador de pared.

C. Dimensionamiento de dispositivos y componentes del sistema propuesto

Sobre la provisión de energía fotovoltaica

En el marco de este proyecto, se decidió reutilizar las láminas solares disponibles en la Sección de Energía y Electrónica SEE del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica DCCE de la UTPL.

Las láminas solares flexibles fueron fabricadas por PowerFilm, sobre una base de sustrato de plástico [2], y, poseen las características técnicas detalladas en la Tabla 3. Se planteó la utilización de las láminas en un arreglo en paralelo, con lo que se espera que la corriente entregada sea de 3,6 A.

Tabla 3.

Características técnicas de las láminas solares PowerFilm Solar. Elaboración de autores

| | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Modelo | PF 28 Watt Rollable Solar Charge |
| Voltaje de operación | 15 V |
| Corriente de operación | 1.8 A |
| Dimensión enrollado | 36,83 cm |
| Dimensión abierto | 36,83 cm x 202.5 cm |

Sobre la bomba de agua y la lámpara UV

La bomba de agua (el motor) y la lámpara UV, deben ser dimensionadas en función del caudal requerido para sostener la tasa de potabilización, y, seleccionadas de entre las disponibles en el mercado (ver Tabla 4 y 5).

Tabla 4.

Características técnicas de algunas bombas de agua (motores) disponibles en el mercado. Elaboración de autores

| | | | |
|--------------------------------|------------|------------|---------|
| Modelo | 12V seaflo | flojet 12V | shurflo |
| Voltaje de operación, V | 12 | 12 | 12 |
| Corriente, A | 1,7 | 4,4 | 7,5 |
| Potencia, W | 20,4 | 52,8 | 90 |
| Caudal, l/min | 4,3 | 11 | 11,3 |

Tabla 5.

Características técnicas de algunas lámparas UV disponibles en el mercado. Elaboración de autores

| | | | |
|--------------------------------|-----------|-----------|------------|
| Fabricante / modelo | indupak 1 | indupak 2 | sterilight |
| Voltaje de operación, V | 110 | 110 | 110 |
| Corriente, A | 0,1 | 0,13 | 0,2 |
| Potencia, W | 11 | 15 | 22 |
| Caudal, l/min | 4 | 7 | 11 |

Con el objetivo de reducir el tiempo de operación del sistema, y, aprovechar de manera eficiente el recurso solar, se decidió fijar la tasa de potabilización en 11 l/min. Con esta tasa, de acuerdo a la expresión (1), el sistema debería operar 3,7 h por día para cumplir con el volumen requerido de agua potabilizada.

Con la tasa de potabilización dada, la selección final recayó en la bomba modelo flojet 12V; y, en la lámpara UV modelo sterilight.

Sobre la demanda de energía y potencia en el sistema

La Tabla 6 resume el cálculo de la demanda de energía en el sistema propuesto, estimada en 28,675

Ah/día, incluyendo un 25 % de reserva para cubrir eventualidades en la operación del sistema.

Tabla 6.

Aproximación de la demanda de energía en el sistema propuesto. Elaboración de autores.

| Nro. | Dispositivo | Consumo DC, A | Uso diario, h | Total, Ah/día | 25% de reserva, Ah/día |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------------|
| 1 | Bomba de agua | 4,4 | 3,7 | 16,28 | 20,35 |
| 1 | Lámpara UV | 1,8 | 3,7 | 6,66 | 8,325 |
| TOTAL | | | | 22,94 | 28,675 |

En un sistema de 12V, la potencia requerida es del orden de los 344,1 Wh/día. Considerando la eficiencia del sistema, la *potencia requerida en el sistema* (E_d), se calcula a través de la expresión (2):

$$E_d = \frac{P_d}{\eta_{reg} \cdot \eta_{inv}} \quad (2)$$

En dónde,

E_d , es el potencia requerida en el sistema, Wh/día

P_d , es el requerimiento diario de potencia, Wh/día

η_{reg} es la eficiencia del regulador, %

η_{inv} es la eficiencia del inversor,

En el marco de este proyecto, se decidió considerar la eficiencia del inversor en el orden del 85%, y, la del regulador en el 90% [4]. Con estos valores, la potencia requerida en el sistema se estimó en:

$$E_d = \frac{344,10}{0,9 * 0,85}$$

$$E_d = 449,72 \text{ Wh/día}$$

Sobre otros componentes del esquema eléctrico del sistema proyectado

El dimensionamiento del *inversor* considerará la potencia total requerida por la carga AC del sistema (la lámpara UV), con una reserva de 20% [3].

Al dimensionar la *batería*, se considerará el consumo diario de corriente (28,6 Ah/día), la autonomía, la profundidad de descarga, y, la capacidad útil [4]. La *capacidad de la batería* (C_n), se estima mediante la ecuación (3):

$$C_n = \frac{1,1 * Ahd * A}{PD_{m\acute{a}x}} \quad (3)$$

En dónde,

C_n , es la capacidad de la batería, Ah.

Ahd , es el consumo diario de corriente, Ah/día.

A es la autonomía del sistema, días.

PD_{max} es la profundidad de descarga de la batería.

Para una profundidad de descarga de 0,8; y, una autonomía del sistema proyectada de 2 días, la capacidad de la batería se aproxima a:

$$C_n = \frac{1,1 * 28,6 \text{ Ah/día} * 2}{0,8}$$

$$C_n = 78,85 \text{ Ah}$$

Entonces, la *capacidad útil* (C_{util}) de la batería se calcula mediante la expresión (4):

$$C_{util} = C_n * PD_{m\acute{a}x} \quad (4)$$

En dónde,

C_{util}, es la capacidad útil de la batería, Ah.

C_n, es la capacidad de la batería, Ah.

PD_{max} es la profundidad de descarga de la batería.

$$C_{util} = 78,85 * 0,8$$

$$C_{util} = 63,08 \text{ Ah}$$

En este proyecto se ha planteado que, como condición inicial para la operación del sistema, la batería este cargada al 100%. Por esta razón, se decidió incorporar al sistema, un *cargador de pared* que facilite la carga de la batería, previo a la salida al campo.

El *controlador de carga* gestiona el nivel de tensión en la batería, para protegerla contra una probable sobrecarga, y, aumentar la vida útil. En el marco de este proyecto, se propuso emplear un controlador de carga tipo PWM, que reduce el volumen de energía transferida a la batería en función de la proximidad del nivel de carga máxima [5].

Sobre los componentes del esquema hidráulico del sistema proyectado

El *filtro de sedimentos* retendrá las partículas en suspensión en el agua cruda, el *filtro de carbón activado* eliminará olores, sabores, y, algunos químicos presentes en el agua cruda. Los filtros a utilizar tendrán una carcasa plástica, y, se montarán en porta filtros. Los filtros, porta filtros, y, carcasas son accesibles en el mercado local, a través de la empresa INDUPAK.

IV. SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA

En la fase de diseño, se describió la arquitectura de bloques funcionales para el sistema propuesto. En la fase de ingeniería de detalle, la selección final de componentes se decidió en función de los requisitos definidos para cada elemento, y, de su disponibilidad en el mercado.

A. Selección de batería

En la fase de diseño, se estableció el consumo del sistema en 344,04 Wh/día, provisto desde una batería de 12V a razón de 28,67 Ah/día. Al prever una autonomía del sistema de 2 días, se requiere entonces, de un almacenamiento total de 57,34 Ah/día.

Considerando que los elementos discriminadores habituales para las baterías (peso, volumen y el costo), no son relevantes para la aplicación atendida en este proyecto, la selección se centró en la capacidad y profundidad de descarga. Al comparar las características de las baterías disponibles en el mercado, se decidió utilizar una batería de gel, marca Alphacell, de 85 Ah/día de capacidad. Esta batería posee un ciclo de descarga profundo de 0,8, por lo que tendrá la capacidad de entregar alrededor de 68 Ah/día, suficientes para cubrir la demanda y mantener un margen de seguridad (ver Tabla 7).

Tabla 7

Principales características técnicas de las baterías seleccionadas [6].

| | |
|-------------------------|---------------------------|
| Tipo | Alphacell, batería de gel |
| Capacidad (Ah) | 85 |
| Voltaje (V) | 12 |
| Peso (kg) | 27,1 |
| Dimensiones (cm) | 21,54 x 34,09 x 17,27 |

B. Selección de la lámpara UV

En la fase de prediseño, se estableció que para la selección de la lámpara UV, se debería exigir el máximo caudal procesado posible, ante un mínimo de demanda de energía.

Con esta fundamentación, y, considerando las prestaciones de las lámpara UV disponibles en el mercado, se escogió una lámpara UV Sterilight S2Q-PA UV Sterilizer [7], cuyas principales características técnicas se muestran en la Tabla 8.



Fig. 2. Lámpara Sterilight S2Q-PA UV Sterilizer Disponible en: <http://www.h2odistributors.com/s2q-pa-sterilight-silver-series-3-gpm-uv-system>

Tabla 8
Características técnicas lámpara UV Sterilight S2Q-PA UV Sterilizer [7].

| | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| Fabricante / modelo | Sterilight S2Q-PA UV Sterilizer |
| Voltaje de operación, V | 110 |
| Corriente, A | 0,2 |
| Potencia, W | 22 |
| Caudal, l/min | 11 |

C. Selección de la bomba

La bomba de agua se dimensionó en función del caudal requerido en el sistema, para sostener la tasa de potabilización. Un aspecto adicional importante a considerar, está relacionado a que la demanda de energía de la bomba condicionará la autonomía del sistema, a través de la descarga de la batería.

La selección recayó sobre la bomba Flojet 12V (ver Figura 3), cuyas principales características se muestran en la Tabla 9.



Fig. 3. Bomba Flojet 12V Disponible en: <http://www.ebay.com/itm/FloJet-Triplex-12-V-RV-Camper-Marine-Demand-Water-Pump-03526-144A-/380799344592>

Tabla 9.
Características técnicas de la bomba de agua Flojet 12V. [8]

| | |
|--------------------------------|------------|
| Modelo | Flojet 12V |
| Voltaje de operación, V | 12 |
| Corriente, A | 4,4 |
| Potencia, W | 52.8 |
| Caudal, l/min | 11 |

D. Selección del inversor

La selección del inversor se basó en la demanda de la única carga AC del sistema, la lámpara UV. De entre las lámparas disponibles en el mercado, se seleccionó el inversor Phoenix Inverter 12/180, de onda senoidal pura, cuyas características técnicas se detallan en la Tabla 10 y una vista frontal se muestra en la Fig.4.

Tabla 10
Principales características técnicas del inversor Phoenix Inverter 12/180 [9]

| | |
|-----------------------------|---|
| Inversor | Phoenix Inverter 12/180 |
| Potencia (W) | 174 |
| Salida | 110 VAC / 60 Hz |
| Alarma batería baja | 11 VDC |
| Apagado batería baja | 10,5 VDC |
| Eficiencia | 87 % |
| Protecciones | <ul style="list-style-type: none"> • Corto circuito en la salida • Sobrecarga • Voltaje de batería demasiado baja • Voltaje de batería demasiado alta • Temperatura demasiado alta |



Fig. 4. Inversor Phoenix Inverter 12/180 Disponible en: <http://www.victronenergy.com/es/upload/documents/Datasheet%20-%20Phoenix%20Inverter%20180VA%20-%201200VA%20-%20rev%2007%20-%20ES.pdf>

E. Selección de elementos para el control de carga de la batería

En la fase de diseño de este proyecto, se definió una arquitectura híbrida de provisión de energía. En este contexto, la batería almacena la energía provista por láminas solares y por la red eléctrica pública.

Para gestionar el almacenamiento de energía, en los 2 casos, se requiere establecer un régimen tal que extienda la vida útil de la batería, a la vez que se garantice la carga desde una sola fuente a la vez.

Considerando que los cálculos preliminares muestran que, desde las láminas solares se espera un amperaje de 3.6 A, y, en función de la oferta en el mercado, se decidió utilizar un controlador Phocos CX-20, con lo que se garantiza la reserva suficiente por corriente. La Tabla 11 resume las principales características técnicas del equipo,

mientras que la Fig.5 muestra una vista frontal del equipo.

Tabla 11

Principales características técnicas del controlador de carga Phocos CX-20 [10]

| Especificación | Regulador solar Phocos CX |
|----------------------|---------------------------|
| Voltaje de operación | 12 / 24 V |
| Tipo de carga | PWM |
| Potencia máxima | 240W |
| Corriente máxima | 10A |



Fig.5 Controlador de carga Phocos CX-20. Disponible en: <http://www.hmsistemas.es/shop/catalog/regulador-phocos-cxn20-pi-30.html>

La red eléctrica pública abastecerá de energía a la batería, a través de un cargador de pared tipo Mean Well PB-360-12, que proporciona un régimen de carga para la batería, compuesto por 3 etapas (ver Fig. 6). En la primera, el cargador suministra la máxima corriente posible para un voltaje de carga en incremento. En la segunda fase, el amperaje decrece gradualmente con un voltaje máximo de carga constante. En la etapa 3, la corriente disminuye a los valores mínimos, para un voltaje de carga mínimo [11]. La Tabla 12 resume las prestaciones técnicas más relevantes del cargador, mientras que la Fig.7 muestra una panorámica del dispositivo.

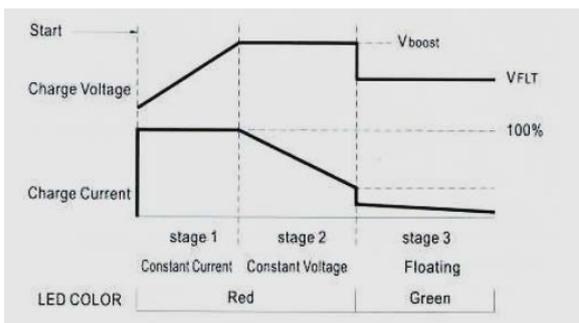


Fig.6. Régimen de carga de la batería proporcionado por cargador de pared tipo Mean Well PB-360-12. [12]

Tabla 12

Principales características técnicas del cargador de pared Mean Well PB-360-12 [12]

| Especificación | Mean Well PB-360-12 |
|-----------------------|------------------------------------|
| Voltaje de entrada | 115/230VAC seleccionado por switch |
| Corriente de entrada | 7 A (115 VAC) |
| Voltaje de regulación | 14,4 V |
| Voltaje de salida | Boost: 14,4 VDC Float: 13,6 VDC |
| Corriente de salida | 24,3 A |



Fig.7. Mean Well PB-360-12 Disponible en: <http://www.meanwell.com/search/PB-360/PB-360-spec.pdf>

F. Selección de los filtros

Como *filtro de sedimentos* se utilizará un filtro genérico de 10 pulgadas, ubicado dentro de una carcasa contenedora (ver Fig. 8). Las principales características técnicas del filtro, se describen en la Tabla 13.



Fig. 8. Gama de filtros de sedimentos y carcasas de la empresa INDUPAK S.A. Disponible en: <http://www.indupaksa.com>

Tabla 13

Principales características del filtro de sedimentos. Elaboración de autores

| Parámetro | Descripción |
|-----------|---------------|
| Material | Polipropileno |

| | |
|------------------------------|-------|
| Dimensiones | 25 cm |
| Diámetro | 60 mm |
| Capacidad de filtrado | 1 µm |

Como *filtro de carbón activado* se empleará un filtro genérico de 10 pulgadas, ubicado dentro de una carcasa contenedora (ver Fig.9). Las principales características técnicas del filtro se describen en la Tabla 14.



Fig. 9. Filtro de 10 pulgadas carbón activado con su carcasa. Disponible en <http://www.indupaksa.com>

Tabla 14.

Principales características del filtro de carbón activado. Elaboración de autores

| Parámetro | Descripción |
|------------------------------|-------------|
| Dimensiones | 25 cm |
| Diámetro | 60 mm |
| Capacidad de filtrado | 0,5 µm |

V. DISEÑO DE ESQUEMAS CONSTRUCTIVOS Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

A. *Arquitectura y esquemas constructivos*

Seleccionados los componentes del sistema, se ratificó la arquitectura propuesta inicialmente para el sistema, ajustando los esquemas eléctrico, hidráulico, y, mecánico.

La Fig. 10 muestra el diagrama de flujo eléctrico (flechas azules) e hidráulico (flechas rojas) del sistema.



Fig.10 Diagrama de flujo eléctrico e hidráulico del sistema a implementar. Elaboración de autores.

Utilizando los recursos del software SketchUp Pro, se diseñó el soporte mecánico del sistema, bajo la premisa de que los componentes se encuentren adecuadamente distribuidos y aislados (ver Fig. 11 y 12). En la Fig. 13 se muestra el diagrama eléctrico corregido, considerando un interruptor para el encendido y apagado de la bomba de agua.

En la figura 14 se muestra el diagrama hidráulico del sistema a implementar.

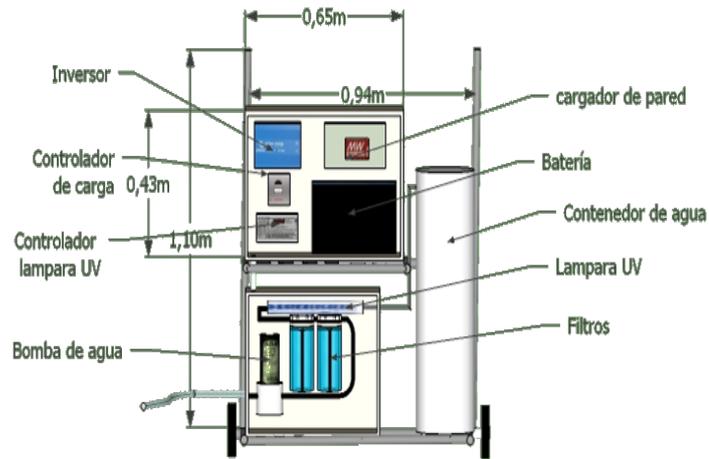


Fig.11 Vista frontal del sistema a implementar. Elaboración de autores.

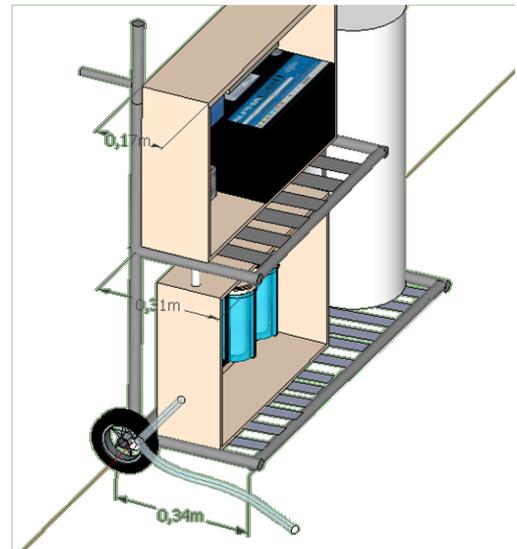


Fig.12 Vista lateral del sistema a implementar. Elaboración de autores.

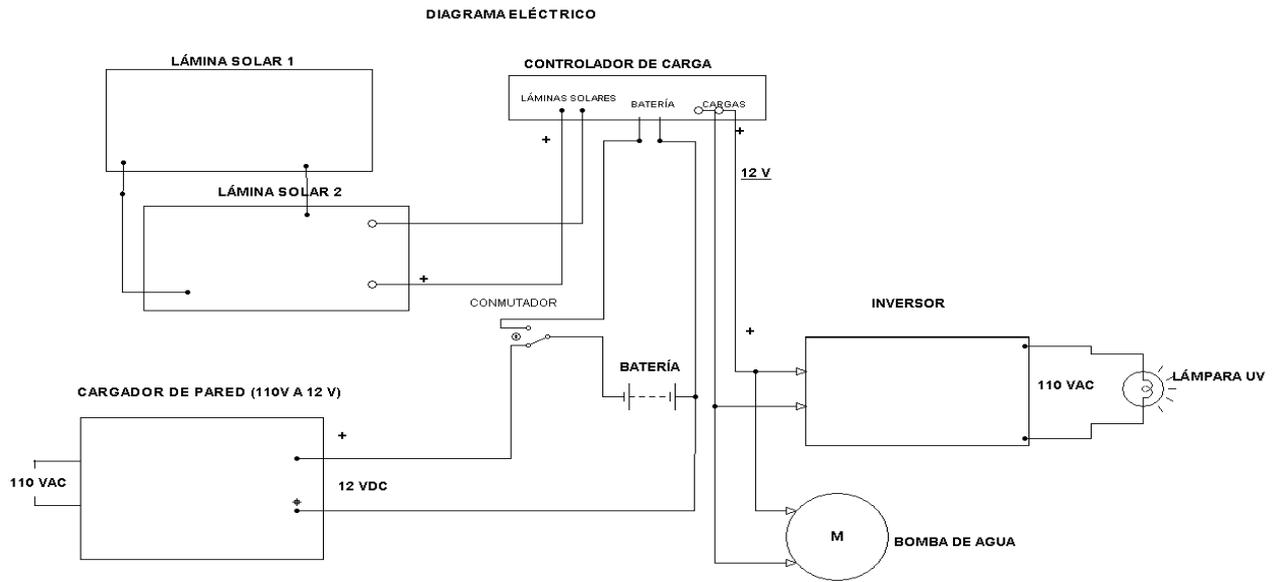


Fig.13 Diagrama eléctrico corregido del sistema a implementar. Elaboración de autores.

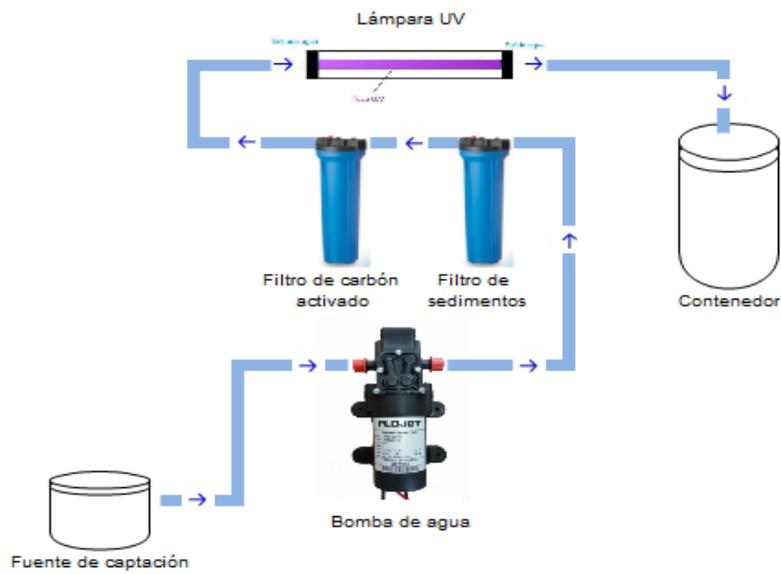


Fig. 14. Esquema hidráulico del sistema propuesto. Elaboración de autores

B. Construcción del prototipo

Se decidió colocar los componentes del sistema a implementar, dentro de cajas metálicas montadas sobre un armazón que incluye dos ruedas para facilitar la movilidad (ver Fig. 11 y 12).

El módulo de control y el módulo de tratamiento del sistema, se colocaron en diferentes cajas metálicas, construidas de tol negro de 1/25 de pulgada. La caja superior, para el módulo de control, se construyó de 0.43 x 0.65 x 0.19 m. La caja posee doble fondo para ubicar las conexiones eléctricas (ver Fig.15).



Fig.15 Montaje de los componentes del módulo de control en la caja metálica. Fotografía de autores.

La caja para el módulo de tratamiento, se fabricó de 0.41 x 0.55 x 0.19 m (ver Fig. 16).



Fig.16 Montaje de los componentes del módulo de tratamiento en la caja metálica. Fotografía de autores.

El armazón se construyó de 1.10 x 0.94 x 0.34 m, con tubo estructural de 1 pulgada (ver Fig.17).



Fig.17 Construcción del armazón metálico para soportar al sistema. Fotografía de autores.

Para habilitar el flujo de agua, desde la captación hacia los filtros, lámpara UV, módulo de almacenamiento, se decidió utilizar mangueras de abasto de 1/2 pulgada, gracias a su flexibilidad y facilidad para conectar diferentes componentes.

El módulo de almacenamiento de agua potabilizada, se construyó con un tubo PVC de 10 pulgadas, al cual se adaptó un fondo, una tapa, y, accesorios para la entrada y salida de agua.

Las Fig. 18 y 19 muestran una panorámica externa e interna del sistema montado.



Fig.18 Panorámica externa del sistema montado. Fotografía de autores.



Fig.18 Vista interior del sistema montado. Fotografía de autores.

VI. CARACTERÍSTICAS GENERALES Y DE OPERACIÓN DEL EQUIPO IMPLEMENTADO

El equipo se diseñó e implementó para ser móvil, y, posee las características técnicas descritas en la Tabla 15.

Tabla 15
Características técnicas del equipo implementado

| Componente | Descripción |
|----------------------------|---------------------|
| Batería | 85 Ah |
| Inversor | 180 VA |
| Controlador de carga solar | 20 A AC |
| Cargador de pared (110V) | 23,5 A AC de salida |
| Bomba de agua | 11 l/min |
| Lámpara UV | 11 l/min |
| Filtro de sedimentos | 1 micrón |
| Filtro de carbón activado | 0,5 micrón |

El equipo posee tres interruptores. El interruptor principal (Fig. 19) regula la operación del equipo en 2 regímenes: encendido del sistema y modo cargador de pared. En el régimen de *encendido del sistema*, desde la batería se proporciona la energía almacenada, a todos los componentes del equipo para su funcionamiento. Durante la operación del sistema, la batería sigue recibiendo energía desde el cargador solar.



Fig.19. Interruptor principal del sistema. Fotografía de autores.

En el régimen de *modo cargador*, la batería se carga desde la red pública de energía eléctrica, mientras los demás componentes permanecen aislados eléctricamente para evitar sobrecargas.



Fig.20. Interruptor de la bomba de agua. Fotografía de autores.

En el régimen de encendido del sistema, se puede controlar el funcionamiento de la bomba, a través de un segundo interruptor (Fig.20). La operación de la lámpara UV, se controla a través del interruptor del inversor.

VII. ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DEL EQUIPO IMPLEMENTADO

Para evaluar el desempeño del equipo, se decidió analizar dos dimensiones: el consumo de energía y la efectividad en el procesamiento de agua cruda.

A. Análisis del consumo de energía en el equipo

Para aproximar un juicio de valor sobre el desempeño energético del equipo, se evaluó la carga de la batería desde láminas solares, la carga de la batería desde la red pública de abastecimiento eléctrico, y, la demanda de potencia en el equipo durante su operación.

Las pruebas se realizaron al aire libre, entre las 9h00 y las 12h00 del día lunes 16 de diciembre de 2013.

Carga de la batería desde láminas solares

En el régimen de encendido del sistema, el equipo recibe energía desde las láminas solares a través del cargador solar.

Durante la prueba realizada, al equipo se conectó una lámina solar (ver Fig.21), pudiendo constatar el funcionamiento del cargador solar (ver Fig.22). Dadas las condiciones climáticas del día en que se realizó la prueba, la carga de la batería se convirtió en un proceso lento. Por esta razón, se decidió que, el régimen de carga solar, el equipo se alimente de una arreglo de láminas solares en paralelo.



Fig.21. Conexión de las láminas solares al equipo. Fotografía de autores.

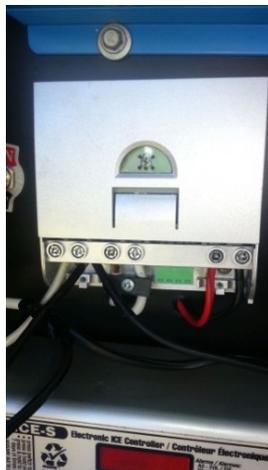


Fig.22. Controlador solar en funcionamiento. Fotografía de autores.

Carga de la batería desde la red eléctrica pública

En el modo de cargador, la batería se alimenta de la red eléctrica pública de 110 VAC, a través del cargador Mean Well PB-360-12 (ver Fig. 23). Con la batería totalmente descargada, el controlador proporciona energía a la máxima corriente posible (aproximadamente 24 A). En aproximadamente 2 horas y 54 minutos, la batería se carga totalmente, y, el cargador entra en modo float.



Fig.23. Cargador utilizado para alimentar la batería desde la red eléctrica pública. Fotografía de autores.

Demanda de potencia del equipo durante su operación

La Tabla 16 muestra los resultados obtenidos al determinar el *consumo de energía en la bomba de agua* instalada en el equipo.

Tabla 16.
Demanda de energía en la bomba de agua. Elaboración de autores

| Corriente de la bomba (A) | Voltaje de bomba (V) | Potencia (W) |
|---------------------------|----------------------|--------------|
| 5,1 | 12,1 | 61,71 |
| 5,5 | 12,1 | 66,55 |
| 6,1 | 12,1 | 73,81 |
| 6,6 | 12,1 | 79,86 |
| 6,8 | 12,1 | 82,28 |
| 6,9 | 12,1 | 83,49 |
| 6,9 | 12,1 | 83,49 |
| 6,8 | 12,1 | 82,28 |
| 6,8 | 12,1 | 82,28 |
| 6,8 | 12,1 | 82,28 |
| 6,8 | 12,1 | 82,28 |
| 6,8 | 12,1 | 82,28 |

De acuerdo a las especificaciones del fabricante, la bomba debe operar con una potencia nominal de 62.4 W, pero la dinámica de la demanda de energía en la bomba, muestra que esta llega a operar con 82.28 W, lo que equivale a una sobrecarga del 30.7 %, que debería compensarse restringiendo el funcionamiento a no más de una hora, lo que repercutiría en la performance del equipo. Se asoció la sobrecarga en la bomba, con la variación del micraje de los filtros, respecto al diseño original.

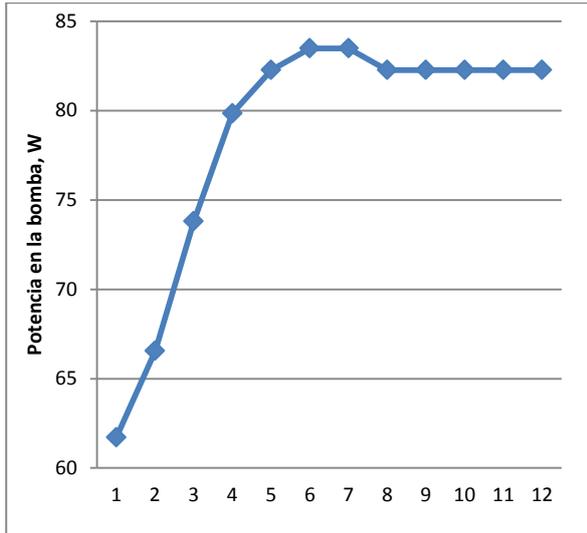


Fig.24. Dinámica de la demanda de energía en la bomba. Elaboración de autores

La Tabla 17 muestra los resultados obtenidos al determinar el consumo de energía en la lámpara UV. El consumo se mantiene constante en el tiempo, y, corresponde a las especificaciones del fabricante.

Tabla 17.

Demanda de energía en la lámpara UV. Elaboración de autores

| Intensidad de la lámpara(A) | Voltaje de lámpara (V) | Potencia (W) |
|-----------------------------|------------------------|--------------|
| 0,2 | 110 | 22 |
| 0,2 | 110 | 22 |
| 0,2 | 110 | 22 |
| 0,2 | 110 | 22 |
| 0,2 | 110 | 22 |
| 0,2 | 110 | 22 |
| 0,2 | 110 | 22 |
| 0,2 | 110 | 22 |
| 0,2 | 110 | 22 |

La potencia total demandada por el equipo, corresponde a la suma de la potencia en la bomba y de la potencia en la lámpara, tal como lo muestra la expresión (5):

$$P_{Total} = P_{Bomba} + P_{Lámpara} \quad (5)$$

En dónde,

- P_{Total} , es la potencia total, W
- P_{Bomba} , es la potencia en la bomba, W
- $P_{Lámpara}$, es la potencia en la lámpara, W

Entonces, la demanda total de energía en el equipo, se calculó en 104.28W.

Desde la perspectiva de provisión de energía desde las láminas solares, se requiere de un arreglo paralelo de 5 láminas operando a 25W cada una, para proveer en directo de la energía requerida.

La corriente directa total en el equipo, se estimó en 8.6 A. Esto significa que, la batería de 85 Ah, totalmente cargada, podría abastecer al equipo durante 9.8 h de manera autónoma. Esta disponibilidad de respaldo, corresponde plenamente al objetivo planteado en la fase de diseño, en el sentido de que el equipo sea capaz de operar 3.7 h diarias.

B. Análisis de la efectividad en el procesamiento de agua cruda

Para medir esta efectividad, se decidió realizar un análisis físico-químico básico del agua cruda que ingresa al equipo, y, del agua tratada en el equipo. El análisis de agua, se realizó en los Laboratorios de Ingeniería Ambiental de la UTPL, de acuerdo a los protocolos establecidos.

El equipo fue trasladado a las riveras del río Zamora, a la altura del barrio Zamora Huaico (ver Fig.25). Durante 15 min se activó el equipo, con la intención de eliminar restos de agua de experiencias anteriores. Transcurrido este tiempo, el equipo se limpió, y, se esterilizó los implementos a utilizar en el análisis (ver Fig.26). Finalmente, se tomó muestras de agua cruda y de agua tratada por el equipo (ver Fig.27 y 28). Las muestras de agua tratada, fueron tomadas directo de la salida de la lámpara UV.



Fig.25. Traslado del equipo a la zona de evaluación. Fotografía de autores.



Fig.26. Esterilización del equipo e implementos. Fotografía de autores.



Fig.27. Toma de muestras de agua cruda. Fotografía de autores.



Fig.28. Toma de muestras a la salida del equipo Fotografía de autores.

Los resultados obtenidos en el análisis de las muestras, se presentan en las Tablas 18 y 19.

Tabla 18.

Extracto de los resultados de los análisis del agua cruda.
Elaboración de autores

| DETERMINACIÓN | UNIDAD | RESULTADOS | U (incertidumbre) | REQUISITOS DE LA NORMA | |
|------------------------------|--------|------------|----------------------|------------------------|------|
| | | | | Mín. | Máx. |
| Oxígeno disuelto | mg/l | 8,17 | n/a | 6 | - |
| % de Saturación | % | 110,90 | n/a | - | - |
| Temperatura in situ del Agua | °C | 15,00 | n/a | - | - |
| pH | | 6,31 | 0.107 | 6 | 9 |
| Turbiedad | mg/l | 2,01 | 1,1 | - | 10 |
| Sólidos totales | mg/l | 13,35 | n/d | - | 500 |
| Dureza Total | mg/l | 10,50 | n/d | - | - |
| Conductividad Eléctrica | uS/cm | 26,24 | 0,8667 uS/cm | - | 500 |
| Nitrito | mg/l | 0,009 | n/d | - | 1 |
| Nitrato | mg/l | 1,60 | 0,378 mg/l | - | 10 |
| Nitrógeno amoniacal | mg/l | 0,190 | n/d | - | - |
| Coliformes totales | UFC | 30 | 6% | - | 79 |
| Coliformes fecales | UFC | 0 | 14% | - | - |

Tabla 19.

Extracto de los resultados de los análisis del agua tratada por el equipo. Elaboración de autores

| DETERMINACIÓN | UNIDAD | RESULTADOS | U (incertidumbre) | REQUISITOS DE LA NORMA | |
|------------------------------|--------|------------|----------------------|------------------------|------|
| | | | | Mín. | Máx. |
| Oxígeno disuelto | mg/l | 8,87 | n/a | 6 | - |
| % de Saturación | % | 121,20 | n/a | - | - |
| Temperatura in situ del Agua | °C | 15,50 | n/a | - | - |
| pH | | 6,36 | 0.107 | 6 | 9 |
| Turbiedad | mg/l | 0,23 | 1,1 | - | 10 |
| Sólidos totales | mg/l | 13,00 | n/d | - | 500 |
| Dureza Total | mg/l | 10,50 | n/d | - | - |
| Conductividad Eléctrica | uS/cm | 26,26 | 0,8667 uS/cm | - | 500 |
| Nitrito | mg/l | 0,008 | n/d | - | 1 |
| Nitrato | mg/l | 0,60 | 0,378 mg/l | - | 10 |
| Nitrógeno amoniacal | mg/l | 0,160 | n/d | - | - |
| Coliformes totales | UFC | 10 | 6% | - | 79 |
| Coliformes fecales | UFC | 0 | 14% | - | - |

Los resultados obtenidos, muestran que el agua tratada en el equipo, según la norma, tiene características que la convierten en apta para el consumo humano.

VIII. CONCLUSIONES

- En un escenario de emergencia, los servicios básicos suelen fallar, y, se requiere de tiempo para restablecerlos. Dentro de los servicios críticos, la provisión de agua bebible a la población y/o a los rescatistas es crucial. El sistema de provisión emergente de agua, deberá operar en forma independiente de las redes habituales de provisión de energía, y, deberá entregar agua de alta seguridad y confiabilidad.
- El método de desinfección UV es el más utilizado en los sistemas de potabilización de agua en escenarios de emergencia. Este es un procedimiento físico, que no altera la composición química, ni el sabor, ni el olor del agua.
- El proceso de desinfección solar a pesar de ser un método extremadamente sencillo, es un proceso poco eficiente en escenarios de emergencia en relación al periodo de exposición requerido para que el material absorba el calor, y, los rayos UV realicen el proceso de desinfección.
- El análisis comparativo de las aplicaciones para potabilización emergente de agua, existentes en el mercado, permitió sugerir que, en el marco de este proyecto, se implementara un sistema de producción continua, que cumpla con todos los requerimientos mínimos de la producción por lotes y de la producción continua; que, a diferencia de los sistemas investigados, incluya la capacidad de almacenamiento de agua purificada; y, que permita la potabilización desde una lámpara UV, o, con la radiación directa del Sol.
- Para potabilización de agua en escenarios de emergencia, las etapas de filtro de sedimentos, filtro de carbón activo, y, lámpara UV, son eficientes, fiables, y, permiten construir sistemas compactos y portables.
- En el marco de este proyecto, se decidió diseñar un sistema de provisión de agua potable en condiciones de emergencia, en correspondencia a las características técnicas de los equipos ofertados en el segmento medio de mercado.
- El sistema a implementar deberá ser capaz de proveer de agua potabilizada a una población usuario de 500 personas, bajo la premisa de satisfacer una demanda de 5 litros de agua por persona.
- Para el sistema a implementar, se sugirió una arquitectura conformada por un módulo de captación, un módulo de pretratamiento, un módulo de tratamiento y almacenamiento, y, un módulo de control.
- Para la preselección de dispositivos y componentes del sistema, se consideró las posibilidades de provisión de energía fotovoltaica, el consumo de corriente en la bomba de agua y en la lámpara UV, y, la demanda de energía y potencia total del sistema.
- En base a la información disponible, se preseleccionó una batería, un controlador de carga, y, un inversor.
- Finalmente, se propuso que el agua a potabilizar sea captada manualmente, a través de un circuito hidráulico accionado por una bomba, que también proporcionará la energía requerida para la circulación a través del sistema de filtros, hasta la lámpara UV, y, su posterior almacenamiento en un contenedor.
- En la fase de prediseño del sistema se describió la arquitectura de bloques funcionales para el sistema propuesto. En la fase de ingeniería de detalle, la selección final de componentes se decidió en función de los requisitos definidos para cada elemento, y, de su disponibilidad en el mercado.
- Seleccionados los componentes del sistema, se ratificó la arquitectura propuesta inicialmente para el sistema, ajustando los esquemas eléctrico, hidráulico, y, mecánico.
- Utilizando los recursos del software SketchUp Pro, se diseñó el soporte mecánico del sistema, bajo la premisa de que los componentes se encuentren adecuadamente distribuidos y aislados.
- El sistema se montó dentro de cajas metálicas montadas sobre un armazón que incluye dos ruedas para facilitar la movilidad.
- Desde una perspectiva energética, el equipo cumple con las especificaciones de diseño.
- El análisis de muestras de agua, confirma que el agua tratada en el equipo es apta para el consumo humano.

IX. REFERENCIAS

- [1]. El agua en situaciones de emergencia (OMS, OPS; 1999). [en línea]. Disponible en: <http://helid.digicollection.org/es/d/Jwho92s/10.html>
- [2]. PowerFilm Solar. [en línea]. Disponible en: <http://www.powerfilmsolar.com/>
- [3]. El inversor. [en línea]. Disponible en: <http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com/2006/01/el-inversor.html>
- [4]. Harper Enríquez, Primera edición 2010 México DF, "INSTALACIONES ELÉCTRICAS DOMÉSTICAS CONVENCIONALES Y SOLARES FOTOVOLTAICOS", pág 363-365
- [5]. Selección del regulador [en línea]. Disponible en: http://www.steca.com/index.php?Seleccion_de_los_reguladores
- [6]. BATTCOMPANY, Batería RPower GEL 12v 85Ah [en línea] Disponible en: <http://www.battcompany.com/es/bateria-nautica/baterias-barcos/bateriasnauticas/tienda/details/84/8/bater%20%ADas-rpower-gel-12v/bateria-rpower-gel-12v-85ah.html>

- [7]. H2O Distributors, sterilight silver [en línea]. Disponible en: <http://www.h2odistributors.com/s2q-pa-sterilight-silver-series-3-gpm-uv-system>
- [8]. FloJet Triplex 12 V RV Camper Marine Demand Water Pump, [en línea]. Disponible en <http://www.ebay.com/itm/FloJet-Triplex-12-V-RV-Camper-Marine-Demand-Water-Pump-03526-144A-/380799344592>
- [9]. Inversores Phoenix, victron energy [en línea]. Disponible en <http://www.victronenergy.com.es/upload/documents/Datasheet%20-%20Phoenix%20Inverter%20180VA%20-%201200VA%20-%20rev%2007%20-%20ES.pdf>
- [10]. Regulador solar Phocos CX, Phocos <http://www.codeso.com/Solar-Energia/Phocos-Controlador-Carga-CX.html>
- [11]. Manual cargador de baterías, ING ELECTRIQUES I ENERGIA SOLRS I EOLICA, SINBEL [en línea]. Disponible en:<http://www.connexio220.com/manuales/baterias/manual-cargador.pdf>
- [12]. MeanWell 360W Single Output Battery Charger [en línea]. Disponible en: <http://www.meanwell.com/search/PB-360/PB-360-spec.pdf>

ANEXO B

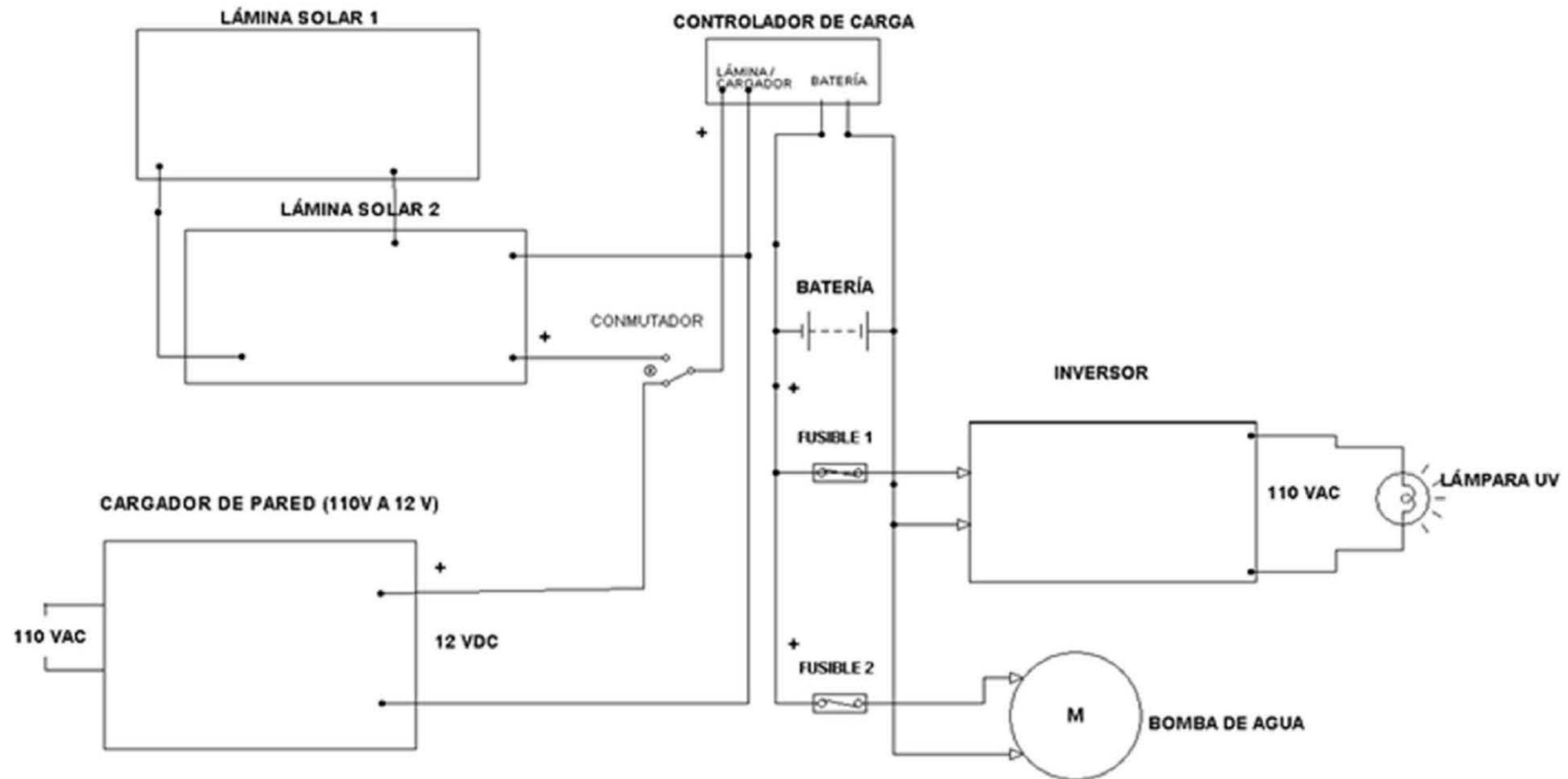
CALCULO DE LA INVERSIÓN

| ITEM | DESCRIPCIÓN | PROVEEDOR | COSTO (USD) |
|-------------------|---|---------------------------|---------------|
| FILTRO SEDIMENTOS | filtro 10 " | INDUPAK S.A | 119.84 |
| FITRO CARBON | filtro 10 " | INDUPAK S.A | |
| porta filtros | Soporte para filtros, soportes y mano de obra | INDUPAK S.A | |
| CARCASAS FILTROS | carcasa para filtros (2) | INDUPAK S.A | |
| BOMBA DE AGUA | Flojet RV marine 2.9 GPM | Ingeniería Verde | 1455,12 |
| LUZ UV | Sterilight 22W | Ingeniería Verde | |
| CONTROLADOR CARGA | HQRP Solar Power Controller 10 Amp 150 W | Ingeniería Verde | |
| BATERIA | Alphacell, batería de gel 85 Ah 12 V | Ingeniería Verde | |
| Inversor | Victron energy phoenix 12V/180W | Ingeniería Verde | |
| estructura | estructura metálica + llantas + cajas metálicas + mano obra | Metal mecánica Iñiguez | 500 |
| Contenedor agua | Tubo + mano de obra | | |
| Tubería | tubería flexible y rígida | | |
| | | | |
| SUBTOTAL | | | 2074,96 |
| IMPREVISTOS | | | 103,74 |
| TOTAL | | | 2178,7 |

ANEXO C

ESQUEMAS ELÉCTRICOS E HIDRÁULICO

DIAGRAMA ELÉCTRICO



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA TITULACIÓN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

PROYECTO:
Diseño y fabricación de un sistema para
potabilización de agua en escenarios de emergencia,
con provisión híbrida de energía

CONTIENE:
Esquema eléctrico del sistema propuesto.

HOJA:
1 / 3

VTA. INO.:
Ing. Jorge Luis Jaramilla
DIRECTOR DE TITULACIÓN

REVISÓ / APROBÓ:
Ing. Jorge Luis Jaramilla
DIRECTOR DE TÍTULO

DISEÑO:
Sra. Gebrida Patricia
TAMAYO

DIBUJO:
Sr. Edgar Esteban
YAGUETA

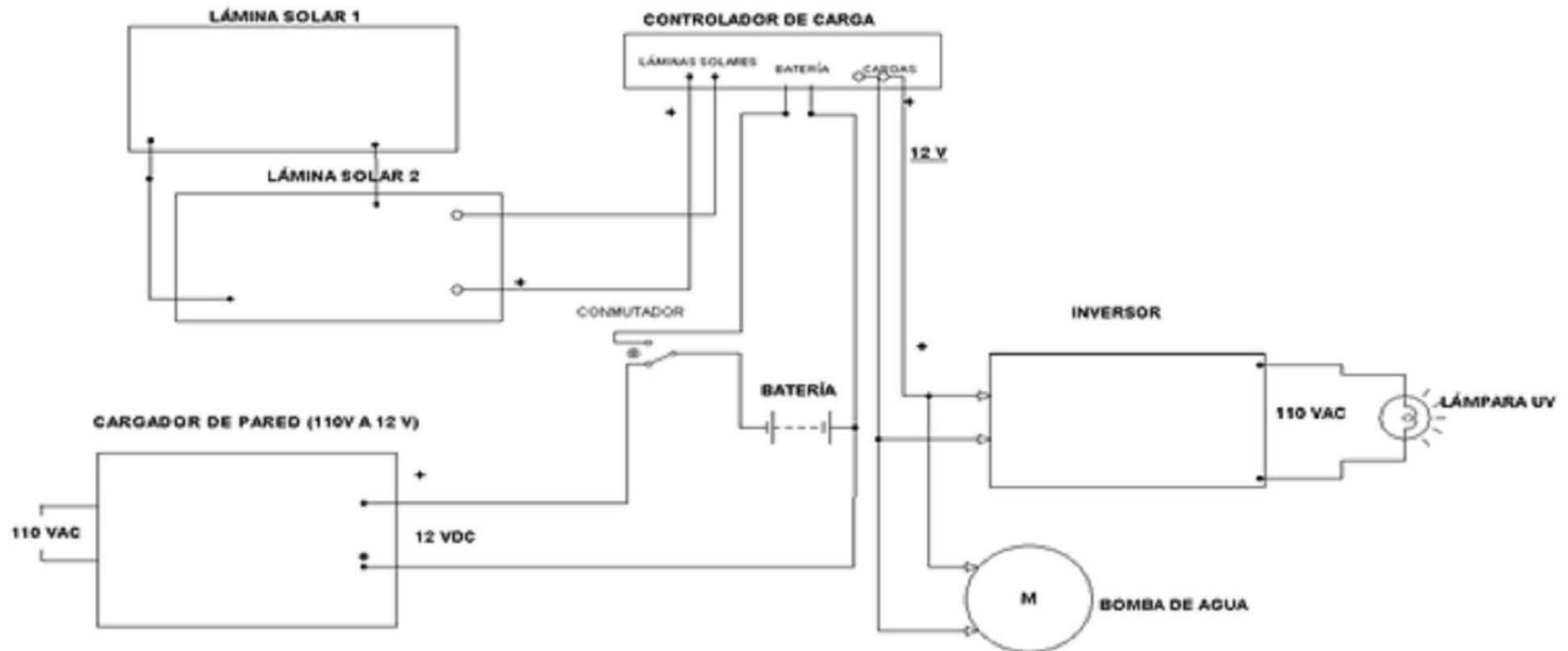
PROYECTO:
MCM
EBC

FECHA:
MAYO 2014



ESCALA:
GRÁFICAS

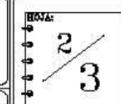
DIAGRAMA ELÉCTRICO



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
TITULACIÓN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

PROYECTO:
Diseño y fabricación de un sistema para potabilización de agua en escenarios de emergencia, con provisión híbrida de energía.

CONTIENE:
Diagrama eléctrico corregido del sistema a implementar.



YTA. INC.:
Ing. Jorge Luis Jaramillo
DIRECTOR DE TITULACIÓN

REVISÓ / APROBÓ:
Ing. Jorge Luis Jaramillo
DIRECTOR DE TITULACIÓN

DISEÑO:
Sr. Gabriel Palacios
TUBERÍA

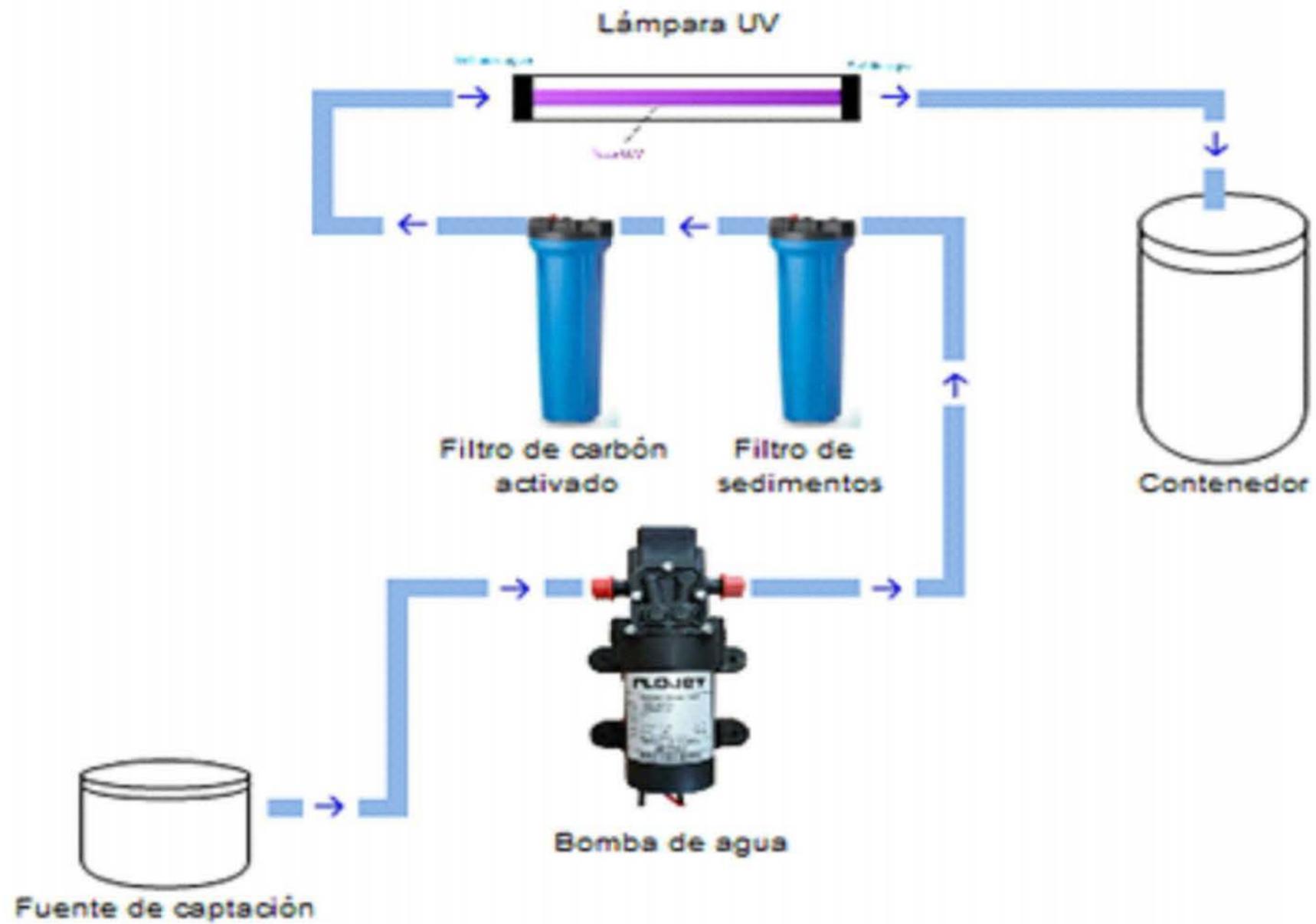
REVISÓ:
Sr. Edgar Ortiz
TUBERÍA

PROYECTO:
MUPA
2014

FECHA:
ENERO 2014



ESCALA:
GRÁFICAS



| UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA TITULACIÓN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES | | | |  ESCALA: GRÁFICAS |
|--|---|--|----------------------------------|--|
| PROYECTO: Diseño y fabricación de un sistema para potabilización de agua en escenarios de emergencia, con provisión híbrida de energía | CONTIENE: Esquema Hidráulico del sistema propuesto | HOJA: 3 / 3 | PROYECTA: MIPA 2004 | |
| TÍTULO: Ing. Jorge Luis Jaramillo INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES | DISEÑO / APROBÓ: Ing. Jorge Luis Jaramillo INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES | DISEÑO: Sr. Gabriela Palacios TÉCNICA | | DISEÑO: Sr. Edgar Ortiz TÉCNICO |

ANEXO D

ANALISIS DE LABORATORIO DEL AGUA CRUDA Y DEL AGUA TRATADA

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

REGISTRO DE RESULTADOS R.4.1.4

LABORATORIOS UTPL

| | |
|------------------------|------------|
| FECHA DEL INFORME: | 2013-12-20 |
| INFORME No. | 57 |
| SOLICITUD DE ANALISIS: | 130057302 |

INFORMACIÓN DEL CLIENTE:

| | | | |
|------------|-----------------------------------|------|-------------------------------|
| NOMBRE: | Ing. Jorge Luis Jaramillo Pacheco | | |
| DIRECCIÓN: | San Cayetano alto. | | |
| TELEFONO: | ext.2656 - ext.2223 | FAX: | E-mail: jorgeluis@utpl.edu.ec |

DATOS DE MUESTREO:

| | |
|--|----------------|
| PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: | OP 5.7 |
| FECHA DE MUESTREO: | 2013-12-16 |
| IDENTIFICACIÓN DEL OBJETO DE MUESTREO: | Agua Vertiente |
| LUGAR DE MUESTREO: | Zamora Huayco |

DATOS GENERALES DE LAS MUESTRAS:

| | | |
|--------------------|--|----------------|
| DESCRIPCIÓN | Muestra 1 | Agua Vertiente |
| CONDICIÓN: | Las muestras se transportan en envases plásticos bajo cadena de frío | |
| FECHA DE RECEPCIÓN | 2013-12-16 | |

INFORMACIÓN GENERAL:

El informe de ensayo no se puede reproducir parcialmente, excepto en su totalidad con la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados representan exclusivamente la muestra (s) analizada (s).
 U: Incertidumbre expandida con un 95% de confianza.
 *Libro VI anexo1 del TULAS Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección
 n/a: No aplica.
 n/d: No disponible.
 n/e: No específica.
 >R.max: Resultado mayor que el rango máximo
 < LDD: Resultado menor que el límite de detección del método

DATOS DE UBICACIÓN MUESTRA:

| DETERMINACIÓN | FECHA DE TOMA DATOS | UNIDAD | RESULTADOS |
|---------------|---------------------|--------|------------|
| Altitud | 2013-12-16 | msnm | 2059,00 |
| Latitud GPS | 2013-12-16 | m | 4°0.638'5" |
| Longitud GPS | 2013-12-16 | m | 79°11.185" |

RESULTADOS:

| DETERMINACIÓN | FECHA DE ENSAYO | | MÉTODO | UNIDAD | RESULTADOS | U | REQUISITOS DE LA NORMA | | REFERENCIA DE LA NORMA |
|---------------|-----------------|-----|--------|--------|------------|---|------------------------|------|------------------------|
| | INICIO | FIN | | | | | Mín. | Máx. | |

Muestra 120032175 AGUA VERTIENTE

| DETERMINACIÓN | FECHA DE ENSAYO | FECHA DE ENSAYO | MÉTODO | UNIDAD | RESULTADOS | U | REQUISITOS DE LA NORMA | REFERENCIA DE LA NORMA |
|------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|--------|------------|--------------|------------------------|------------------------|
| Oxígeno disuelto | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-OD- ELECT-031 | mg/l | 8,87 | n/a | 6 | * |
| % de Saturación | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-OD- ELECT-032 | % | 121,20 | n/a | - | n/a |
| Temperatura in situ del Agua | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-OD- ELECT-033 | °C | 15,50 | n/a | - | n/a |
| pH | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-Ph- ELECT-001 | | 6,36 | 0,107 | 6 | 9 |
| Turbiedad | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-T-HACH-003 | mg/l | 0,23 | 1,1 | - | 10 |
| Sólidos totales disueltos | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-SD-ELECT-005 | mg/l | 13,00 | n/d | - | 500 |
| Dureza Total | 2013-12-17 | 2013-12-17 | LUTPL-DT-VOL-007 | mg/l | 10,50 | n/d | - | n/a |
| Conductividad Eléctrica | 2013-12-17 | 2013-12-17 | LUTPL-CE-ELECT-009 | uS/cm | 26,26 | 0,8667 uS/cm | - | 500 |
| Nitrito | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-NO2-HACH-010 | mg/l | 0,008 | n/d | - | 1 |
| Nitrato | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-NO3-HACH-011 | mg/l | 0,60 | 0,376 mg/l | - | 10 |
| Nitrogeno amoniacal | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-N-NH3-HA CH-025 | mg/l | 0,160 | n/d | - | n/a |
| Coliformes Totales | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-CT-MEMBR-016 | UFC | 10 | 6% | - | 79 |
| Coliformes Fecales | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-CF-MEMBR-017 | UFC | 0 | 14% | - | * |



UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

REGISTRO DE RESULTADOS R.4.1.4

LABORATORIOS UTPL

FECHA DEL INFORME: 2013-12-20
 INFORME No. 57
 SOLICITUD DE ANALISIS: 130057301

INFORMACIÓN DEL CLIENTE:

NOMBRE: Ing. Jorge Luis Jaramillo Pacheco
 DIRECCIÓN: San Cayetano alto.
 TELEFONO: ext.2656- ext.2223 FAX: E-mail: jorgeluis@utpl.edu.ec

DATOS DE MUESTREO:

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: OP 5.7
 FECHA DE MUESTREO: 2013-12-16
 IDENTIFICACIÓN DEL OBJETO DE MUESTREO: Agua de Vertiente
 LUGAR DE MUESTREO: Zamora Huayco

DATOS GENERALES DE LAS MUESTRAS:

DESCRIPCION Muestra 1 Agua Vertiente
 CONDICION Las muestras se transportan en envases plásticos bajo cadena de frío
 FECHA DE RECEPCION : 2013-12-16

INFORMACIÓN GENERAL:

El informe de ensayo no se puede reproducir parcialmente, excepto en su totalidad con la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados representan exclusivamente la muestra (s) analizada (s).
 U: Incertidumbre expandida con un 95% de confianza.
 *Libro VI anexo1 del TULAS Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección
 n/a: No aplica.
 n/d: No disponible.
 n/e: No específica.
 >R.max: Resultado mayor que el rango máximo
 < LDD: Resultado menor que el límite de detección del método

DATOS DE UBICACIÓN MUESTRA:

| DETERMINACIÓN | FECHA DE TOMA DATOS | UNIDAD | RESULTADOS |
|---------------|---------------------|--------|------------|
| Altitud | 2013-12-16 | msnm | 2059,00 |
| Latitud GPS | 2013-12-16 | grados | 4°0,638'5" |
| Longitud GPS | 2013-12-16 | grados | 79°11,185" |

RESULTADOS:

| DETERMINACIÓN | FECHA DE ENSAYO | | MÉTODO | UNIDAD | RESULTADOS | U | REQUISITOS DE LA NORMA | | REFERENCIA DE LA NORMA |
|------------------------------|-----------------|------------|----------------------|--------|------------|--------------|------------------------|------|------------------------|
| | INICIO | FIN | | | | | Mín. | Máx. | |
| Oxígeno disuelto | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-OD- ELECT-031 | mg/l | 8,17 | n/a | 6 | - | * |
| % de Saturación | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-OD- ELECT-032 | % | 110,90 | n/a | - | - | n/a |
| Temperatura in situ del Agua | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-OD- ELECT-033 | °C | 15,00 | n/a | - | - | n/a |
| pH | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-Ph- ELECT-001 | | 6,31 | 0,107 | 6 | 9 | * |
| Turbiedad | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-T-HACH-003 | mg/l | 2,01 | 1,1 | - | 10 | * |
| Sólidos totales disueltos | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-SD-ELECT-005 | mg/l | 13,35 | n/d | - | 500 | * |
| Dureza Total | 2013-12-17 | 2013-12-17 | LUTPL-DT-VOL-007 | mg/l | 10,50 | n/d | - | - | n/a |
| Conductividad Eléctrica | 2013-12-17 | 2013-12-17 | LUTPL-CE-ELECT-009 | uS/cm | 26,24 | 0,8667 uS/cm | - | 500 | n/a |
| Nitrito | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-NO2-HACH-010 | mg/l | 0,009 | n/d | - | 1 | n/a |
| Nitrato | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-NO3-HACH-011 | mg/l | 1,60 | 0,378 mg/l | - | 10 | n/a |
| Nitrogeno amoniacal | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-N-NH3-HACH-025 | mg/l | 0,190 | n/d | - | - | n/a |
| Coliformes Totales | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-CT-MEMBR-016 | UFC | 30 | 6% | - | 79 | * |
| Coliformes Fecales | 2013-12-16 | 2013-12-16 | LUTPL-CF-MEMBR-017 | UFC | 0 | 14% | - | - | * |

