

---

**UNIVERSIDAD AUTONOMA**

**“JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**TÍTULO:**

**“EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE PROTOTIPO DE  
PURIFICACIÓN DE AGUA PARA ZONAS RURALES CON  
TECNOLOGIA SOLAR”**

**Nombre del autor:** Saúl Armando Navarro Tito

**Fecha:** Julio de 2014

***TARIJA – BOLIVIA***

---

**UNIVERSIDAD AUTONOMA**  
**“JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TÍTULO:**

**“EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE PROTOTIPO DE  
PURIFICACIÓN DE AGUA PARA ZONAS RURALES CON  
TECNOLOGIA SOLAR”**

**Nombre del autor:** Saúl Armando Navarro Tito

**Asignatura:** CIV-502 PROYECTO DE GRADO II

**Fecha:** Julio de 2014

***Tarija – Bolivia***

---

## HOJA DE EVALUACIÓN

### EVALUACIÓN CONTINUA

Fecha de presentación: .....

Calificación numeral: .....

Calificación literal: .....

Nombre y firma Docente CIV 502: .....

### EVALUACIÓN FINAL

Fecha de presentación y defensa: .....

Calificación numeral: .....

Calificación literal: .....

Nombre y firma Tribunal 1: .....

Nombre y firma Tribunal 2: .....

Nombre y firma Tribunal 3: .....

### CALIFICACIÓN FINAL

Evaluación continua (40%): .....

Evaluación final (60%): .....

Calificación final: .....

Nombre y firma Docente CIV 502: .....

Vo. Bo.

---

Ing. Juan Carlos Loza  
**PROFESOR GUÍA**

---

MSc. Ing. Ernesto Álvarez Gonzalvez  
**DECANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

---

MSc. Ing. Silvana Paz Ramírez  
**VICEDECANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**APROBADO POR:**

**TRIBUNAL:**

---

**Ing. José Navía O.**

---

**Ing. Moisés Perales**

---

**Ing. Adrián Castillo**

**Dedicatoria:** Con todo mi cariño y mi amor para mi Padre y mis abuelos, que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme, apoyarme incondicionalmente a pesar de mis errores y defectos y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba. Gracias por su esfuerzo, sacrificio y sabiduría, que influyeron en mí la voluntad y madurez para lograr todos los objetivos en la vida.

Para ellos por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

**Agradecimiento:** Desde el comienzo hasta el final; en la elaboración de un proyecto de investigación, existen personas que impulsan y apoyan cada una de sus etapas. No fue diferente en este trabajo.

Debo expresar mi agradecimiento al Ing. José Navia por su apoyo y motivación. La colaboración, paciencia y constante asesoramiento del Ing. Adrián Castillo y la predisposición y confianza brindada por el personal del SENAMHI-TARIJA al permitirme realizar la investigación en sus instalaciones.

Y no puedo olvidarme, de los amigos y de esa persona que siempre estuvo a mi lado.

## INDICE GENERAL

### RESUMEN EJECUTIVO

### **CAPITULO I.- INTRODUCCIÓN**

Introducción.....	1
1.1 Motivación.....	2
1.2. Planteamiento del problema .....	3
1.3. Formulación del problema.....	5
1.4. Sistematización del problema.....	5
1.5. Ubicación de la investigación.....	5
1.6. Objetivos de la investigación .....	5
1.6.1 Objetivo General .....	5
1.6.2 Objetivos Específicos .....	6
1.7. Justificación de la investigación .....	6
1.7.1 Justificación teórica .....	6
1.7.2 Justificación metodológica .....	7
1.7.3 Justificación práctica .....	7
1.8 Consideraciones en el proceso de Purificación del Agua.....	8
1.8.1 Consideraciones de primer orden .....	8
1.8.2 Consideraciones de segundo orden .....	9
1.8.3 Consideraciones de tercer orden .....	10

### **CAPITULO II.- MARCO DE REFERENCIA**

2.1 Marco Teórico .....	11
2.1.1 Proceso de purificación por humidificación solar .....	11
2.1.1.1 Principio básico de funcionamiento .....	11
2.1.1.2 Efecto del viento.....	12
2.1.1.3 Efecto de la profundidad.....	12
2.1.1.4 Energía Solar .....	13

2.1.2 Aspectos en la utilización de energía solar .....	13
2.1.2.1 Elementos de posición .....	13
2.1.2.2 La energía total .....	15
2.1.3 Hidráulica del sistema .....	16
2.1.3.1 Importancia en el sistema .....	16
2.1.3.2 Principio de vasos comunicantes .....	16
2.1.3.3 Pérdida de carga.....	17
2.1.4 Los materiales .....	20
2.1.4.1 Fibra de vidrio.....	20
2.1.4.1.1 Historia .....	20
2.1.4.1.2 Métodos de formación .....	20
2.1.4.1.3 Características útiles en la investigación .....	22
2.1.4.2 Acrílico o Plexiglás.....	23
2.1.4.3 Perfiles de aluminio .....	24
2.1.4.4 Vidrio.....	24
2.1.4.5 PVC .....	25
2.1.4.6 Silicona .....	26
2.1.4.7 Goma esponjosa.....	27
2.1.4.8 Teflón.....	27
2.1.5 Esquemas del Prototipo .....	28
2.2 Marco Conceptual .....	32
2.3 Marco Espacial .....	33
2.4 Marco Temporal .....	33

### **CAPITULO III.- CONSTRUCCIÓN DE LOS MÓDULOS DE PURIFICACIÓN Y EQUIPOS UTILIZADOS**

3.1 Construcción de los módulos de purificación .....	34
3.1.1 Alternativas y sus características.....	34
3.1.1.1 Modelo 1.....	34
3.1.1.2 Modelo 2.....	36
3.1.2 Resumen de las características de los materiales .....	37
3.1.2.1 Modelo 1.....	37
3.1.2.2 Modelo 2.....	37
3.2 Equipos utilizados .....	38
3.2.1 Tanque de abastecimiento .....	38
3.2.2 Tanquilla de nivelación .....	38
3.2.3 Base de nivelación.....	39
3.2.4 Contador de datos.....	40



## **CAPITULO IV.- INSTALACIÓN DEL SISTEMA**

4.1 Imágenes del área de instalación del sistema .....	41
4.2 Esquema de la instalación .....	42
4.3 Instalación del módulo rectangular de acrílico.....	43
4.4 Instalación del módulo trapecial de fibra de vidrio.....	44
4.5 Instalación de la tanquilla niveladora .....	46
4.6 Instalación del tanque de abastecimiento en el sistema.....	46
4.7 Instalación final del sistema .....	47

## **CAPITULO V.- PROCESO DE LA INFORMACIÓN**

5.1 Recolección de datos .....	49
5.2 Proceso de la información .....	51
5.3 Gráficas .....	52
5.3.1 Módulo Rectangular .....	52
5.3.2 Módulo Trapecial .....	55

## **CAPITULO VI.- ANÁLISIS DE RESULTADOS**

6.1 Identificación de variables.....	58
6.2 Verificación de las preguntas de investigación .....	58
6.3 Resumen de resultados .....	59
6.4 Análisis del agua .....	60
6.5 Presupuesto de los módulos .....	61

## **CAPITULO VII.- CONCLUSIONES**

7.1 Conclusiones .....	63
Bibliografía.....	66

## **ANEXOS**

Anexo A.- Calibración y verificación del Pluviómetro

Anexo B.- Instalación del sistema

Anexo C.- Gráficas de Rendimientos Acumulados

C.1.- Módulo Rectangular Acrílico

C.2.- Módulo Trapecial de Fibra de Vidrio

Anexo D.- Manual de mantenimiento

Anexo E.- Análisis de Laboratorio

Anexo F.- Presupuesto

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Proceso por radiación solar .....	11
Figura 2.2 Elementos de posición .....	14
Figura 2.3 Vasos Comunicantes .....	16
Figura 2.4 Goma Esponjosa .....	27
Figura 2.5 Esquema del purificador solar.....	28
Figura 2.6 Módulo Trapecial de fibra de vidrio .....	29
Figura 2.7 Isometría del montaje final .....	30
Figura 2.8. Módulo Rectangular Acrílico.....	31
Figura 4.1. Esquema de la instalación .....	42

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 Monograma para la determinación de pérdidas localizadas.....	19
Gráfico 5.1 Módulo Rectangular Radiación solar vs Rendimiento (mm) .....	52
Gráfico 5.2 Módulo Rectangular Radiación solar vs Rendimiento (lit) .....	52
Gráfico 5.3 Módulo Rectangular Temperatura vs Rendimiento .....	53
Gráfico 5.4 Módulo Rectangular Relación: Radiación - Temperatura - Producción ...	53
Gráfico 5.5 Módulo Rectangular Rendimiento vs. Radiación (General).....	54
Gráfico 5.6 Módulo Trapecial Radiación solar vs Rendimiento (mm) .....	55
Gráfico 5.7 Módulo Trapecial Radiación solar vs Rendimiento (lit) .....	55
Gráfico 5.8 Módulo Trapecial Temperatura vs Rendimiento .....	56
Gráfico 5.9 Módulo Trapecial Relación: Radiación - Temperatura - Producción .....	56
Gráfico 5.10 Módulo Trapecial Rendimiento vs. Radiación (General) .....	57

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Longitud equivalente de accesorios de PVC .....	18
Tabla 2.2 Propiedades de la fibra de vidrio .....	22
Tabla 2.3 Propiedades del vidrio .....	24
Tabla 5.1 Registro de producción módulo de acrílico (rectangular) .....	49
Tabla 5.2 Registro de producción módulo de fibra de vidrio (trapezoidal) .....	50
Tabla 5.3 Conversión de la producción de los módulos.....	51
Tabla 6.1 Resultados de laboratorio .....	60
Tabla 6.2 Presupuesto módulo de acrílico (rectangular) .....	61
Tabla 6.3 Presupuesto módulo de fibra de vidrio (trapezoidal) .....	61
Tabla 6.4 Cantidad de agua potable recomendada por persona .....	62
Tabla 6.5 Presupuesto de módulos para una familia tipo .....	62

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Foto 3.1 Base del Prototipo de fibra de vidrio.....	34
Foto 3.2 Cubierta de módulo de fibra de vidrio .....	35
Foto 3.3 Dimensiones del prototipo de fibra de vidrio.....	35
Foto 3.4 Prototipo de acrílico .....	36
Foto 3.5 Perfil en u (aluminio) .....	36
Foto 3.6 Tanque de abastecimiento .....	38
Foto 3.7 Tanquilla de nivelación .....	39
Foto 3.8 Base y tanquilla de nivel .....	39
Foto 3.9 Pluviómetro manual .....	40
Foto 3.10 Pluviómetro automático .....	40
Foto 4.1 Estación meteorológica Las Barrancas .....	41
Foto 4.2 Instalación de la Estación meteorológica .....	41
Foto 4.3 Módulo de acrílico preparado para la instalación .....	43
Foto 4.4 Ubicación de la estructura base del módulo.....	43
Foto 4.5 Módulo de acrílico instalado .....	44
Foto 4.6 Módulo de fibra de vidrio terminado .....	44
Foto 4.7 Bisagras fijadas al módulo trapecial para mejorar su funcionalidad.....	45
Foto 4.8 Instalación del módulo de fibra de vidrio en el lugar.....	45
Foto 4.9 Instalación de la tanquilla niveladora.....	46
Foto 4.10 Tanque de abastecimiento instalado.....	46
Foto 4.11 Instalación de la red de tuberías .....	47
Foto 4.12 Vista frontal de la instalación .....	47
Foto 4.13 Módulos de purificación en la estación meteorológica Las Barrancas .....	48