

# Sistema automatizado para tratamiento de agua: fase medición y valoración

Fabio Rueda\*; (Anderson Sierra, Joselín Ortega, Elkin Guarín, José Ríos, José Ortiz y Jhon Cruz)\*\*

\*Ph.D en tecnología energéticas y nucleares, Director de HYDRA y docente de UNISANGIL.

\*\*Estudiantes del programa de Electrónica de UNISANGIL.

**Palabras clave:** tratamiento de agua, tratamiento de imágenes, opto-electrónica, solución económica, programación python, matlab.

**Key words:** Water treatment, Image treatment, optoelectronic system, cheap solution, Matlab and Python program.

## Resumen

Colombia es un país en crecimiento y como tal, tiene serios problemas a solucionar; quizá los más importantes están relacionados con los servicios públicos. En particular, el servicio de agua potable, que marca la diferencia entre la vida y la muerte en muchos casos. Esta realidad es la motivación que tiene este trabajo, que tiene como fin la presentación de una solución práctica y económica para la construcción de un sistema totalmente automatizado de tratamiento de agua para el consumo humano, empleando la opto-electrónica y los sistemas computacionales.

## Abstract

Colombia is a country growing and has serious problems to solve, perhaps the most important problem, are related to public services. Particularly, the drinking water service, what has different between lives and dead in most cases. The motivation for make this work is there reality, what have as principal objective to show a practical and cheap solution to build a totally automatized system for water treatment safe to human consumption. The solution are based in optoelectronic device and a computing system.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es el segundo elemento más importante para la supervivencia humana; esto lo convierte en un líquido vital, mucho más en este tiempo en que el afán por el crecimiento económico ha distraído a la humanidad, al punto de olvidar o descuidar responsabilidades tan importantes como el suministro de agua potable.

Datos de la Organización de Naciones Unidas (ONU) mostraron en la Cumbre Mundial de Johannesburgo de 2002, que alrededor de 1.100 millones de personas en el mundo no tienen acceso al agua potable. En los países en vía de desarrollo, la carencia de agua potable está asociada al 80% de las muertes y enfermedades de la población. El mismo informe muestra que en el siglo XX, el consumo de agua se sextuplicó; esto es el doble de la tasa de crecimiento de la población mundial. Actualmente, aproximadamente 26 países sufren escasez crónica de agua y se prevé que para el año 2025 serán 3.500 millones en 52 países, que carecerán del vital líquido [1].

El acceso al agua potable en Colombia ha aumentado significativamente durante la última década. Sin embargo, aún quedan desafíos importantes, como superar la insuficiente cobertura del servicio, especialmente en zonas rurales. En el año 2004, 93% de la población colombiana tenía acceso al agua potable, siendo la población rural<sup>1</sup> la menos favorecida, con sólo el 71% de los hogares gozando del servicio [2, 3]. Las zonas del país en situación paupérrima con respecto al servicio de agua potable, pertenecen a la Costa Atlántica, la Orinoquía y la Amazonía [4].

En el departamento de Santander, sólo 17 de los 87 municipios integrantes cuentan con planta de tratamiento de aguas para el consumo humano. De acuerdo con el Gobierno Nacional, Santander es el sexto departamento que más contribuye con el ingreso bruto nacional [5,6]. Estos datos ofrecen una perspectiva del panorama nacional en materia de agua potable.

## II. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Se ha podido identificar en los planes presentados por los municipios para implementar sistemas de potabilización del agua, que no cuentan con personal capacitado que pueda prestar un servicio eficiente, o dar mantenimiento adecuado a las instalaciones.

La propuesta que se presenta desde el Programa de Electrónica de la Fundación Universitaria de San Gil —UNISANGIL— para solucionar este problema, contempla la posibilidad de crear un sistema totalmente automatizado, que pueda potabilizar el agua procedente de una fuente natural. El proyecto consta de tres fases, las cuales se han denominado: fase de medición y valoración, fase de depuración y potabilización, y fase de control de calidad.

### A. *La fase de medición y valoración*

Esta etapa actualmente está concluida y es el tema central del presente documento. El objetivo fundamental contemplado en esta fase, era medir la cantidad de luz que consigue pasar a través del agua en estado natural (procedente de la fuente), usando sensores CCD de bajo costo. Para

---

1 La población rural representa aproximadamente el 23% de la población total de Colombia.

direccionar y caracterizar el haz de luz incidente se usaron dispositivos ópticos apropiados, que se describirán en los fundamentos teóricos.

1) *Fundamentación teórica*: el agua libre de partículas en suspensión es 99% transparente por cada metro de agua que la luz visible atraviese. El cálculo puede ser hecho usando la ley de *Beer-Lambert*, que relaciona las intensidades de los haces de luz incidente y emergente, a través de una ecuación exponencial, cuya forma es mostrada en la Ecuación 1; donde  $I(x)$  determina la intensidad del haz de luz emergente,  $I_0$  es la intensidad del haz incidente a la cubeta de agua con espesor  $x$ , y  $\alpha$  es el coeficiente de absorción, cuyo valor para el agua libre de partículas en suspensión es de  $10^{-4}$  [7, 8].

$$I(x) = I_0 \exp[-\alpha x] \quad (1)$$

La misma Ecuación 1 puede ser usada para calcular la absorción del agua en la cubeta con partículas en suspensión (material orgánico y minerales). Sumando el coeficiente de absorción  $\beta$  para los posibles minerales y material orgánico disuelto en el agua, es posible obtener la expresión matemática que se muestra en la Ecuación 2 [8].

$$I(x) = I_0 \exp[-(\alpha + \beta)x] \quad (2)$$

Esta ecuación es suficiente para determinar la cantidad de material diluido en el agua, información que posibilita estimar la cantidad de productos requeridos para potabilizar el agua.

2) *Montaje experimental*: el montaje óptico para la adquisición de los datos está constituido por una fuente de luz blanca, un par de lentes convergentes, una cubeta y un detector óptico. La fuente de luz blanca fue provista por un diodo de alta intensidad, con spot de 30 grados. El haz de luz proveniente de la fuente pasaba a través de una lente convergente con distancia focal de 30 cm, que crea un frente de onda plano de aproximadamente 8 cm de diámetro. El frente de onda plano cruza la cubeta, hecha de vidrio con espesura de 0,2 cm y vértice de 10 cm. La cubeta posee una capacidad máxima de un litro y fue colocada perpendicularmente al haz plano de luz blanca emergente de la lente. En el punto donde emerge el haz plano de la cubeta, se puso otra lente convergente con distancia focal de 20 cm, que concentra la intensidad del haz en 1 cm<sup>2</sup> de área, la cual corresponde al sensor del detector. Un esquema del montaje es mostrado en la Figura 1.

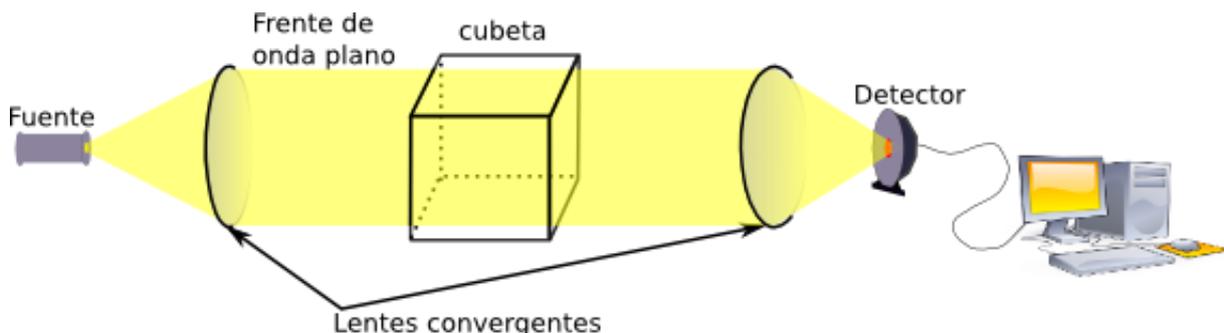


Fig. 1. Montaje óptico para adquisición de imágenes

El detector usado hace parte de una cámara web Genius, modelo E-Messenger 112, con resolución 160 x 120, la cual fue conectada a un computador de mesa y actuó como controlador del sistema y almacén de datos. La adquisición de las imágenes a intervalos regulares y el cálculo de la intensidad promedio, fueron realizados por un algoritmo programado en MatLab. El sistema adquiere tres imágenes por muestra y selecciona una que es guardada; el código del programa es mostrado en Programa 1. También se usó otro algoritmo programado en Python para tabular y comparar los resultados de cada muestra. ste algoritmo es mostrado en Programa 2.

**Programa 1:** Código en MatLab, controla la toma de imágenes y calcula la intensidad promedio.

```

clc,clear all, close all % limpia la pantalla
camara=videoinput('winvideo', 1); % toma la imagen de la camara
preview(camara)
% este bloque hace un vector con tres imagenes.
foto={0};
c1=zeros(1,3);
for k=1:3
    foto{k}=0;
end
% se calcula las intensidades de las imagenes
for k=1:3
    if input('Presione Uno Para Tomar Imágen:')==1 % control por teclado
        pause(1)
        foto{k}=getsnapshot(camara);
        figure(k),imshow(foto{k})
        [X,map] = rgb2ind(foto{k},128);
        X=double(X);
        m=size(X);
        c=0;
        for a=1:m(1)
            for b=1:m(2)
                c=c+X(a,b);
            end
        end
        c1(k)=c/(m(1)*m(2));
    end
end
disp('*****');
end
disp("");
disp('*****');
disp('LOS PROMEDIOS SON:');

```

**Programa 2:** Código en Python, calcula la sumas de los pexels, el número de iteraciones y la intensidad promedio.

```
#!/usr/bin/python
# programa para obtener la intensidad promedio de imagenes BMP
# Fabio Rueda Calier

from math import sqrt
import struct

# Funcion que calcula el valor promedio de cada imagen guardando el resultado en salida.txt
def principal(f_in, f_out):

    suma=0.0
    cont=1

    while True:
        r=f_in.read(1)
        g=f_in.read(1)
        b=f_in.read(1)
        if not r or not g or not b: break

    val=sqrt(struct.unpack("B",r)[0]**2+struct.unpack("B",g)[0]**2+struct.unpack("B",b)[0]**
2)

    val1= val/sqrt(255**2+255**2+255**2)
    val=int(255*val1)
    suma +=val
    cont +=1
    f_out.write('% 10.3f \t\t' % suma)
    f_out.write('%d \t\t' %cont)
    val=suma/cont
    f_out.write('% 10.6f\n' %val)

# Funcion que monta los archivos a ser calculados
def Archivo(salir):
    Camino='../Documentos/UNISANGIL/Articulos/Imagenes/imag-0'
    for i in range(1,10):
        imag=Camino+'%d'%i+'.bmp'
        try:
            entrada=open(imag, "r")
            if entrada:
                principal(entrada, salir)
                print 'Abrio archivo ', i
                entrada.close()
        except:
            print 'No hay mas Archivos de Imagenes', i
```

```
imprimir=open("salida.txt", "w")  
imprimir.write('VALOR SUMA \t NUMERO ITERACION \t PROMEDIO IMAGEN\n')
```

```
Archivo(imprimir)  
imprimir.close()
```

### 3) Resultados

Usando el montaje óptico descrito en el ítem anterior, se obtuvo una serie de imágenes mostradas en las Figuras 2, 3, 4 y 5, que contienen información relevante para determinar la atenuación sufrida por el haz de luz al pasar a través de la cubeta. En la Figura 2 se muestra una imagen de referencia, obtenida de la cubeta de vidrio con un litro de potable. En esta, se midió 173,0545, valor medio de la intensidad detectada por la cámara. La Figura 3 muestra la imagen obtenida al mezclar uniformemente un litro de agua potable con 2 gramos de arcilla negra, donde se pudo medir 164,8921 como valor promedio de la intensidad. La Figura 4 muestra la imagen obtenida de la cubeta conteniendo un litro de agua mezclada uniformemente con 4 gramos de arcilla negra. En ésta, se midió una intensidad promedio de 84,9404; y por último, la Figura 5 corresponde a la imagen obtenida de la cubeta conteniendo un litro de agua potable mezclada uniformemente con 6 gramos de arcilla negra, donde se midió la intensidad promedio de 46,4521.



Fig. 2. Cubeta con un litro de agua potable



Fig. 3. Cubeta con un litro de agua mezclada uniformemente con 2 gramos de arcilla negra



Fig. 4. Cubeta con un litro de agua mezclada uniformemente con 4 gramos de arcilla negra

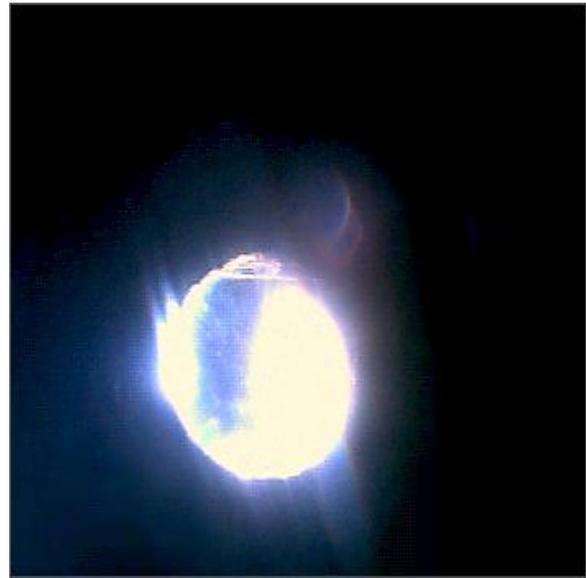


Fig. 5. Cubeta con un litro de agua mezclada uniformemente con 6 gramos de arcilla negra

Los resultados numéricos son mostrados en la Tabla 1, donde aparecen los valores obtenidos en el cálculo de la intensidad media de cada imagen, a través del programa en Python mostrado en Programa 2. La Figura 6 permite ver de forma clara la cantidad de intensidad de luz que absorbe el agua con arcilla. La cantidad de arcilla negra es representada en la abscisa y las intensidades medidas obtenidas están representadas en la ordenada en unidades arbitrarias. A partir de esta información es posible obtener una fórmula recurrente, que permita interpolar estos resultados para otros valores de intensidad. Esto permite calcular la cantidad de material orgánico y arcilla disuelta en el agua.

VALOR SUMA	NÚMERO ITERACIÓN	PROMEDIO IMAGEN
17546866,00	101395	173,0545490
17514950,00	101395	172,7397800
16719240,00	101395	164,8921540
13648333,00	101395	134,6055820
8612540,00	101395	84,9404800
8116963,00	101395	80,0528920
7734604,00	101395	76,2819070
4710019,00	101395	46,4521820

Tabla 1. Relación entre la suma de los pixels, el número de iteraciones y el valor promedio de intensidad de las imágenes

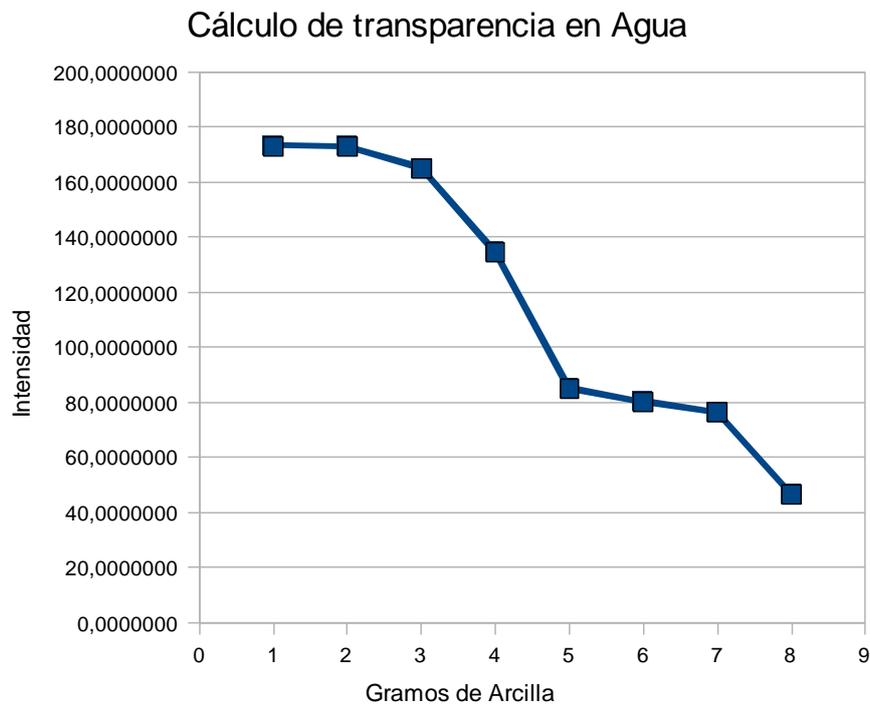


Fig. 6. Representación gráfica de la intensidad y la cantidad de arcilla

### III. CONCLUSIONES

Es posible construir un sistema totalmente autónomo que pueda calcular la cantidad de arcilla y de material orgánico disuelto el agua para, a partir de éstos, obtener las cantidades óptimas de componentes químicos necesarios para potabilizar el agua. Esto representa una solución apropiada para comunidades donde la mano de obra calificada es difícil de conseguir o simplemente no existe, toda vez que la empresa encargada de la fabricación y comercialización haría mantenimiento periódico al sistema.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Cumbre mundial de Johannesburgo* (2002). Disponible en: [http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/agua\\_ni.htm](http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/agua_ni.htm)
- [2] OMS/UNICEF Joint Monitoring Program Water (2006). Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. Coverage Estimates Improved Drinking Water. [http://www.wssinfo.org/pdf/country/COL\\_wat.pdf](http://www.wssinfo.org/pdf/country/COL_wat.pdf)
- [3] OMS/UNICEF Joint Monitoring Program Water (2006). Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. Coverage Estimates Improved Drinking, [http://www.wssinfo.org/pdf/country/COL\\_san.pdf](http://www.wssinfo.org/pdf/country/COL_san.pdf) (consultado en 09/09/2009).
- [4] *Agua potable y saneamiento en Colombia* (2008). Disponible en:

[http://es.wikipedia.org/wiki/Agua\\_potable\\_y\\_saneamiento\\_en\\_Colombia](http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_potable_y_saneamiento_en_Colombia)

- [5] J. Bonet y A. Meisel (2006). *Polarización del ingreso per cápita departamental en Colombia, 1975-2000*. Disponible en: <http://www.banrep.gov.co/documentos/publicaciones/regional/documentos/DTSER-76.pdf>
  
- [6] J. A. Camacho, J. M. Latorre, et al. (2008). *El departamento de Santander frente a los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Contexto socio-económico del departamento de Santander*. Disponible en: <http://www.pnud.org.co/sitio.shtml?apc=kk--1-santander&x=55023>
  
- [7] M. Chaplin (2009). *Water Absorption Spectrum, water structure and science*. Disponible en: <http://www.btinternet.com/~martin.chaplin/vibrat.html#d>
  
- [8] B. Woźniak y J. Dera. *Light absorption in sea water*. New York, Springer (2007) 1 Ed., Pp 45-52.