

PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE REGISTRO Y MONITOREO DEL NIVEL  
DE LLENADO DE UN CONTENEDOR DE BASURA UTILIZANDO  
SENSORES CONTINUOS Y COMUNICACIÓN WIFI EN LA TARJETA DE  
DESARROLLO *BEAGLEBONE BLACK*

VÍCTOR HENRY RÚA MONTALVO

VICTOR ALFONSO PINEDA GONZALEZ

DIRECTOR: Ms (C) ARLEY BEJARANO MARTINEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA  
PEREIRA  
ABRIL DE 2018

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias, quienes con su constante apoyo permitieron que esta etapa de formación tanto académica como personal, se culmine exitosamente. Al ingeniero Arley Bejarano por su gran compromiso y colaboración en el desarrollo de este proyecto y durante la carrera, a la Ingeniera Leidy Pamplona por su colaboración y en general a cada uno de los docentes, personal administrativo y compañeros que estuvieron siempre prestos a brindar su gran ayuda.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCION</b> .....	5
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
1.2. JUSTIFICACION.....	6
1.3. OBJETIVOS .....	7
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	7
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	7
<b>2. MATERIALES Y METODOS</b> .....	9
2.1. BeagleBone Black.....	9
2.2. Celda de carga.....	10
2.3. Sensor óptico analógico .....	10
2.4. AD620.....	11
2.5. OPAM LM741 .....	11
2.6. Resistencias de precisión.....	12
2.7. Bases de datos .....	12
2.8. MySQL .....	13
2.9. LabVIEW.....	13
2.10. Lenguaje de programación .....	13
2.11. Wifi.....	13
2.12. Red multipunto punto.....	14
<b>3. DESARROLLO</b> .....	15
3.1. Acondicionamiento de sensores.....	15
3.1.1. Celda de sarga.....	15
3.1.2. Sensor óptico .....	17
3.2. Linealización sistema de acondicionamiento .....	19
3.2.1. Linealizacion curva sistema acondicionamiento celda de carga. ....	19
3.2.2. Linealizacion curva sistema acondicionamiento sensor óptico .....	21
3.3. Desarrollo del software. ....	22
3.4. Desarrollo de interfaz de usuario en LabVIEW. ....	24
3.5. Desarrollo del prototipo.. ....	27
<b>4. RESULTADOS</b> .....	28
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	34
<b>6. BIBLIOGRAFIA</b> .....	35

## Índice de figuras.

Figura 1. Tarjeta de desarrollo BeagleBone Black. ....	9
Figura 2. Celda de Carga.....	10
Figura 3. Sensor óptico Analógico GP2Y0A60SZ0F .....	10
Figura 4. Amplificador de Instrumentación .....	11
Figura 5. Amplificador operacional LM741 .....	12
Figura 6. Resistencias de Precisión. ....	12
Figura 7. Topología de red multipunto punto. ....	14
Figura 8. Curva Característica celda de carga.....	16
Figura 9. Circuito acondicionamiento de la celda de carga. ....	17
Figura 10. Curva característica sensor óptico GP2Y0A60SZ0F.....	17
Figura 11. Circuito de acondicionamiento sensor óptico.....	18
Figura 12. Diseño e implementación de la PCB de acondicionamiento. ....	19
Figura 13. Curva característica sistema acondicionamiento celda de carga. ....	20
Figura 14. Curvas sistema de acondicionamiento celda de carga. ....	20
Figura 15. Curva característica sistema de acondicionamiento sensor óptico. ....	21
Figura 16. Curvas sistema de acondicionamiento sensor óptico.....	22
Figura 17. Base de datos en phpMyAdmin para los contenedores 1 y 2. ....	23
Figura 18. Diagrama de flujo del programa en c++.....	24
Figura 19. Vista general de la Interfaz de usuario en el navegador .....	25
Figura 19. Vista general de la Interfaz de usuario en el navegador. ....	25
Figura 20. Diagrama de bloques correspondiente a la interfaz de usuario.....	26
Figura 21. Diagrama de bloques para extraer datos de MySQL a LabVIEW.....	26
Figura 22. Prototipo del sistema de registro y monitoreo. ....	27
Figura 23. Caja patrón para realizar pruebas de funcionamiento.....	28
Figura 24. Sistema en funcionamiento para la caja.....	28
Figura 25. Patrón de 1 Kg para realizar pruebas de funcionamiento. ....	29
Figura 26. Sistema en funcionamiento para 1 Kg. ....	29
Figura 27. Alarma por sobre paso en nivel del contenedor.....	30
Figura 28. Sistema en funcionamiento para dos contenedores. ....	30
Figura 30. Alarma por sobre paso de masa en el contenedor 1.....	31
Figura 31. Cambio de bolsa y reinicio de lectura en el contenedor 1 .....	32
Figura 32. Aumento en ambos contenedores. ....	32
Figura 33. Alerta por sobrepaso de nivel en el contenedor 2. ....	33

## Índice de tablas.

Tabla 1. Valores obtenidos sistema celda de carga.....	20
Tabla 2. Valores obtenidos sistema acondicionamiento sensor óptico. ....	22

## **1. INTRODUCCIÓN**

En Colombia, el tratamiento de residuos sólidos está reglamentado por lo dispuesto en la ley 142 de 1994, en particular, lo referente al aprovechamiento del material reciclable está a cargo de las empresas que cumplan con lo establecido en el decreto 596 de 2016, con el cual se espera que el país sea pionero en Latinoamérica en el aprovechamiento de material reciclable, sin embargo, actualmente en el país solo se recicla el 17% de la basura que se produce, con esto no solo se están malgastando los recursos naturales no renovables con los que cuenta el país sino que también se están enterrando millones de pesos y dejando de generar cientos de empleos. [1] [2]

En la actualidad, cada vez es mayor el número de procesos de la industria y hasta de tareas cotidianas que son automatizadas, esto, buscando tener mayor calidad en los productos y/o servicios prestados. En el presente trabajo se plantea la implementación de un sistema de registro y monitoreo para conocer el nivel de llenado de un contenedor de basura, facilitando la labor de cambio de las bolsas, permitiendo la optimización de estas y del tiempo de las personas dedicadas a tal labor.

Un sistema electrónico de registro y monitoreo consiste en un dispositivo electrónico que haciendo uso de sensores (los cuales pueden ser continuos o discretos) permite medir variables físicas, estas mediciones son enviadas a un servidor central, para ello se aplica algún protocolo de comunicación (preferiblemente inalámbrico). Las mediciones obtenidas y enviadas al servidor son almacenadas en bases de datos, con estos registros es posible determinar el comportamiento de las variables medidas.

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La separación de residuos para su posterior reciclaje es una actividad de gran importancia que se ha venido implementado cada vez con mayor fuerza en todo el mundo.

La verificación y control del llenado de un tanque, la toma de datos de la variación en la temperatura de una caldera, entre otras, son algunas de las actividades para las que en otros tiempos se debía disponer de una persona para su ejecución, actualmente estas tareas son desarrolladas por sistemas de software y hardware y son desarrolladas de forma tan (o más) eficiente que si la desarrollara un ser humano.

El cambio de las bolsas de los contenedores de basura dispuestos en lugares con un flujo masivo de personas es realizado por un empleado de la empresa prestadora del servicio de aseo, si bien, no se pretende “reemplazar” a la persona que realiza esta actividad, si se pretende optimizar el tiempo empleado en dicha labor (así como reducir el consumo de bolsas plásticas) y que la persona solo se dirija a hacer el cambio de la bolsa si es estrictamente necesario

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Las empresas prestadoras de servicios de aseo, las cuales están presentes en lugares altamente concurridos por personas, tales como, centros comerciales, empresas, universidades, etc. tienen dentro de sus funciones, realizar la recolección y cambio de las bolsas dispuestas en los contenedores en donde los visitantes (o usuarios) de estos lugares depositan las basuras, esta tarea, la cual es realizada por un funcionario en un recorrido previamente establecido, al parecer es bastante sencilla. Ahora, considerando que el número de funcionarios (en la mayoría de los casos) es reducido y el número de contenedores es proporcional al flujo de personas, es decir, el número de contenedores es alto con respecto al de funcionarios, la actividad se torna compleja.

Al hacer uso de los contenedores de basura, es común encontrar que estos se encuentran completamente llenos, generando así, que los usuarios lleven la basura hasta otro contenedor (lo cual sería lo ideal, pero que no sucede en todos los casos) o que la depositen en lugares no aptos para ello, lo cual podría generar problemas ambientales en el lugar.

Adicionalmente, el grupo de investigación de Ingeniería electrónica, actualmente está trabajando en el desarrollo de un sistema separador de residuos, con lo cual el proyecto presentado en el presente documento y el proyecto antes mencionado formarían un proyecto integral.

Debido a estas razones, se plantea desarrollar un prototipo de un sistema de registro y monitoreo del nivel de llenado de un contenedor de basuras, el cual, por medio de comunicación wifi envíe una señal de alerta al funcionario encargado, informando que el nivel del contenedor está cerca de su punto máximo de llenado, permitiendo de esta forma realizar la actividad del cambio de bolsa solo cuando sea necesario.

En sitios con alto flujo de personas, tales como: centros comerciales, universidades, las calles de una ciudad, entre otros, se debe disponer de un número de contenedores de basuras proporcional al número de usuarios o habitantes del lugar en mención. Cada uno de los contenedores distribuidos debe disponer de una bolsa, en la cual se depositan los residuos y esta es cambiada con cierto periodo de tiempo. Se ha determinado que el periodo de tiempo para el cambio de las bolsas, en todos los casos no resulta efectivo, ya que hay ocasiones en que las bolsas son cambiadas cuando apenas han sido llenadas en un 50% o menos de su capacidad total, generando de esta forma gastos adicionales y pérdida de tiempo, de igual forma se han evidenciado casos en los cuales los contenedores están completamente llenos y permanecen así por largos periodos de tiempo hasta que por fin son cambiadas las bolsas, esta situación conlleva a que en los lugares en donde están dispuestos los contenedores se generen malos olores, así como también una mala presentación del sitio.

Con la implementación de nuestro proyecto se buscaría optimizar el tiempo dedicado al cambio de las bolsas en los contenedores de basura, utilizar en su totalidad las bolsas

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar el prototipo de un sistema de registro y monitoreo del nivel de llenado de un contenedor de basura utilizando sensores continuos y comunicación WiFi en la tarjeta de desarrollo BeagleBone Black.

### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un sistema de instrumentación que permita medir el volumen y el peso de un contenedor de basuras.
- Implementar la topología de red adecuada que permita transmitir la información a un sistema de información.
- Desarrollar un sistema que permita recibir y registrar la información obtenida del estado de los contenedores de basura.
- Realizar un análisis estadístico del prototipo en funcionamiento.

## 1.4 ESTADO DEL ARTE

Actualmente, en ciudades con altos índices de desarrollo tecnológico cuentan con contenedores de basura automatizados, los cuales realizan la apertura de la tapa cuando alguien va a depositar basura en él, de igual forma genera una alarma cuando se encuentra cerca de su punto de máximo llenado. La marca Paneta Zenoc, ha desarrollado uno de estos y lo ofrece en el mercado.

La empresa Geombo de España, la cual se dedica a la implementación de sistemas geolocalización de vehículos, personas, paquetes, entre otros, ha desarrollado 2 contenedores de basura, Geombo Garbage Sensor Basic y Geombo Garbage Sensor Pro, entre las principales características de estos contenedores se tiene:

- Información en tiempo real del nivel de llenado en el cual se encuentran los contenedores, esto lo logran con la adaptación de dos sensores ultrasónicos.
- Información de la posición actual del contenedor y de posibles desplazamientos o movimientos del contenedor (robo del contenedor), gracias a la adaptación de un receptor GPS de alta sensibilidad y un acelerómetro de 3 ejes incorporado.
- Información de la temperatura al interior del contenedor. [3]

Durante el 2016, en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, un profesor y dos estudiantes realizaron el desarrollo de un “sistema de monitoreo de llenado y peso de contenedores de residuos urbanos”, en este trabajo se instaló un dispositivo de monitoreo compuesto de 2 sensores ultrasónicos en y un módulo de comunicación WiFi en un contenedor, vía WiFi, el dispositivo envía la indicación de que ya se encuentra en un punto cercano a su máxima capacidad de llenado. Esta información llega a un dispositivo móvil a

través de una aplicación. Para el desarrollo de este proyecto se utilizó la tarjeta de desarrollo Psoc. [4]

En el año 2012 un estudiante del Instituto Politécnico Nacional de México, realizó un “diseño y cálculo de prototipo de un recolector automático de desechos domésticos”, con este estudio se logró diseñar un prototipo contenedor de basura, el cual se encarga del transporte de los residuos sólidos generados en el hogar, hacia el lugar donde se encuentran los contenedores de basura públicos dispuestos para su recolección por los camiones. Para el desarrollo de este diseño se utilizó el microcontrolador PIC18F84. [5]

La empresa finlandesa ZenRobotics diseñó un sistema que permite escanear los residuos sólidos de una banda transportadora, y clasificarlos según el tipo de material permitiendo así facilitar el proceso de reciclado, este proceso es realizado gracias a un escáner de rayos X y un detector de metales, dispositivos que envían información a un centro de control. [6]

La agencia Marketing Digital R/GA en Argentina, desarrolló un prototipo de brazo robótico que selecciona y separa las botellas de plásticos del resto de residuos sólidos, utilizando Arduino y sensores ultrasónicos [7].

En la Universidad Jesuita de Guadalajara, México (ITESO), se diseñó un sistema de separación y clasificación de residuos sólidos utilizando técnicas de visión artificial y procesamiento digital de imágenes, utilizando un microprocesador Intel, librerías de software para el procesamiento de imágenes y machine learning. [8]

Un grupo de ingenieros de la India, crearon un basurero inteligente llamado ThinkScream que premia a las personas que depositen la basura dentro del bote con 15 min wifi; el sistema cuenta con una pantalla Led donde se muestra el código dado para que el usuario disfrute del internet gratis con una cobertura de 30m a la redonda. [9]

En el año 2013 tres estudiantes antioqueños de noveno grado, Manuel Alejandro Escobar, Alejandro Rengifo Gómez y Alejandro Quintero que junto a su profesor Juan Carlos Briñez, desarrollaron un prototipo para el reciclaje de basuras. Este dispositivo cuenta con una cámara web, la cual toma una foto del residuo, la procesa un algoritmo que la compara con una base de datos con imágenes de muestra previamente etiquetadas siendo este es capaz de decir dónde se debe arrojar, por ahora, cuenta con solo tres canecas: latas, botellas y cartón [10]

En el año 2013 tres estudiantes antioqueños de noveno grado, Manuel Alejandro Escobar, Alejandro Rengifo Gómez y Alejandro Quintero que junto a su profesor Juan Carlos Briñez, desarrollaron un prototipo para el reciclaje de basuras. Este dispositivo cuenta con una cámara web, la cual toma una foto del residuo, la procesa un algoritmo que la compara con una base de datos con imágenes de muestra previamente etiquetadas siendo este es capaz de decir dónde se debe arrojar, por ahora, cuenta con solo tres canecas: latas, botellas y cartón [11]



## 2.2 Celda de carga.

La celda de carga es un transductor que convierte la tensión aplicada sobre ella en una señal eléctrica medible. Para esta investigación fue utilizada una celda de carga con las siguientes características:

Capacidad de carga: 50 Kg.

Sensibilidad: 2 mV/V

Voltaje: 0-12V



Figura 02. Celda de Carga

## 2.3 Sensor óptico analógico.

El sensor de referencia GP2Y0A60SZ0F/GP2Y0A60SZLF, es un sensor que permite medir distancias entre 10-150 cm, puede funcionar como sensor de proximidad o de distancia, ya que integra un circuito que permite esta funcionalidad, entrega una señal analógica entre 0.5 y 3.5 V, cuando es polarizado a 5V.

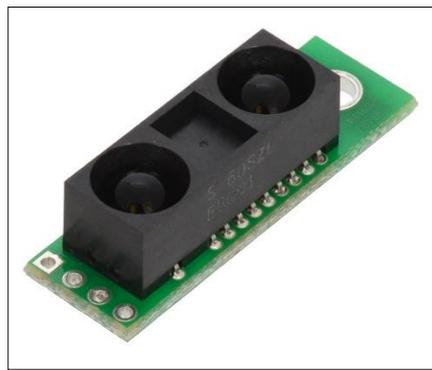


Figura 3. Sensor óptico Analógico GP2Y0A60SZ0F

## 2.4 AD620.

Es un amplificador de instrumentación de bajo costo que permite obtener ganancias entre 1 y 10.000 haciendo uso de una sola resistencia externa, viene en presentaciones DIP o SOIC de 8 pines. Se caracteriza por su bajo consumo de energía (1.3 mA max). Haciéndolo ideal en aplicaciones donde no se cuente con una fuente de poder conectada a la red eléctrica.

Características:

Voltaje:  $\pm 2.3\text{V}$  a  $\pm 18\text{V}$

Ganancia: 1 a 10.000

Voltaje en Entrada diferencial: 24 V.

Ancho de Banda= 120 KHz.



Figura 4. Amplificador de Instrumentación.

## 2.5 OPAMP LM741

Es un amplificador operacional de propósito general, el cual presenta las siguientes características:

- No. De Amplificadores: 1
- Voltaje de Alimentación:  $\pm 22$
- Ancho de banda típico: 1MHz.
- Slew Rate típico: 0.5 V/ $\mu\text{s}$ .
- Voltaje de Offset de entrada típico: 1 mV
- Posee entradas de ajusted de offset
- Compensado en frecuencia internamente
- Alta ganancia

- Protección de corto circuito continúa en la salida.
- Encapsulado DIP 8 pines.

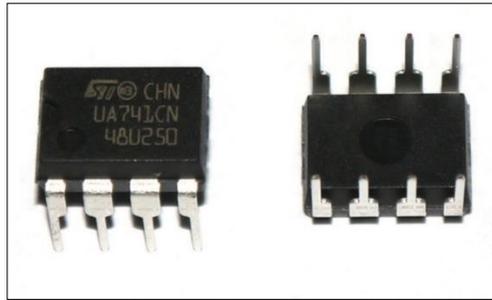


Figura 5. Amplificador operacional LM741

## 2.6 Resistencias de precisión:

Resistencias que presenta una tolerancia muy baja, ideales para aplicaciones en las que se requieren tomas medidas muy precisas.

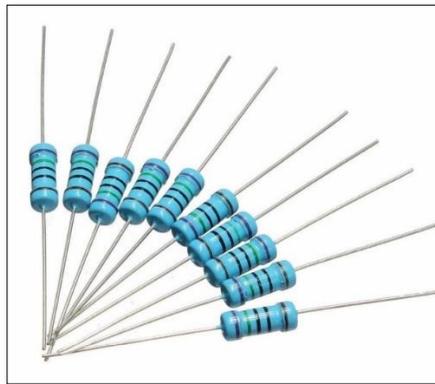


Figura 6. Resistencias de Precisión.

## 2.7 Bases de datos.

Una base de datos es una estructura que contiene información relevante ya sea para una empresa o persona, en informática existen gestores de este tipo de información denominados Sistema Gestor de Base de Datos conocidos por sus siglas SGBD, su función principal es

manipular la información de la base de datos, proporcionando la forma de almacenar y recuperar la información de una forma eficiente y práctica.

## **2.8 MySQL.**

Es un sistema de administración de bases de datos. Este sistema tiene la facilidad de almacenar gran cantidad de datos, ya sean personales, micro-empresariales, o grandes empresas. MySQL tiene la ventaja de operar en la mayoría de sistemas operativos existentes en la actualidad, utiliza un lenguaje de consulta estructurado (SQL). El cual es un lenguaje utilizado por todas las bases de datos, MySQL es un sistema de fácil instalación, y provee protección de la información al usuario.

## **2.9 LabVIEW.**

Es un entorno de desarrollo gráfico, orientado al diseño de sistemas de instrumentación, medición y control, este entorno de desarrollo tiene la capacidad de conectarse con gran cantidad de hardware entre ellos Controladores Lógicos Programables, tarjetas de adquisición de datos y dispositivos de instrumentación.

## **2.10 Lenguaje de programación.**

Es un sistema estructurado de comunicación, el cual permite comunicar o dar instrucción a una maquina por medio de códigos y signos, permitiendo de manera lógica y secuencial dar solución a un problema. Entre los programas de programación más utilizados en la actualidad se encuentran los siguientes: COBOL, FORTRAN, C/C++.

## **2.11 Wifi**

Wi-fi es un grupo de compañías alrededor del mundo que trabajan bajo el estándar de comunicación IEEE 802.11 su principal objetivo es la promoción del uso de la tecnología inalámbrica. [5] Wifi. consultado en: [www.wi-fi.org](http://www.wi-fi.org)

El estándar IEEE 802.11 es un protocolo de comunicación que alcanza anchos de banda de 54 Mbps en el rango de frecuencia de 5GHz, se caracteriza por la facilidad de implantación y bajo costo, este estándar de comunicación está siendo utilizado por el 90% de dispositivos electrónicos existentes en la actualidad.

## 2.12 Topología de red multipunto punto

La topología multipunto-punto o mejor conocida como multipunto es una tecnología de comunicación en la que existe un equipo receptor y múltiples equipos clientes o remotas, el sistema consta de una antena central multidireccional que apunta a la dirección de las antenas remotas, lo que da la capacidad de comunicación con muchos puntos remotos, esta topología ofrece facilidad y rapidez de implementación y configuración red, además de ofrecer portabilidad de los equipos al poder desplazar el equipos conectado a la red sin ningún inconveniente de pérdida de conectividad, como no se necesitan cables para realizar las conexión su costo de implementación es más bajo, comparado con las redes que utilizan cableado, ofreciendo la facilidad de expandir la red, sin requerir de costos adicionales.

Esta topología inalámbrica tiene como desventaja que trabajan a velocidades menores entre 11 a 108 Mbps comparadas con las velocidades que maneja las redes cableadas 100 Mbps a 108 Mbps, debido a que la señal es transmitida por el espacio electromagnético es más fácil para los intrusos interceptar las señales, teniendo en cuenta también que los sistemas de seguridad ofrecidos por las redes Wi-fi no son confiables, este tipo de red también es muy susceptible a la interferencia electromagnética pues opera en la banda de 2.4GHz, banda en la que operan otros dispositivos como Hornos Microondas, teléfonos inalámbricos. El alcance de la red es directamente proporcional a los equipos de transmisión que se utilicen de acuerdo a su potencia, si no se utilizan equipos con la suficiente potencia existirán lugares donde no llegue la señal.

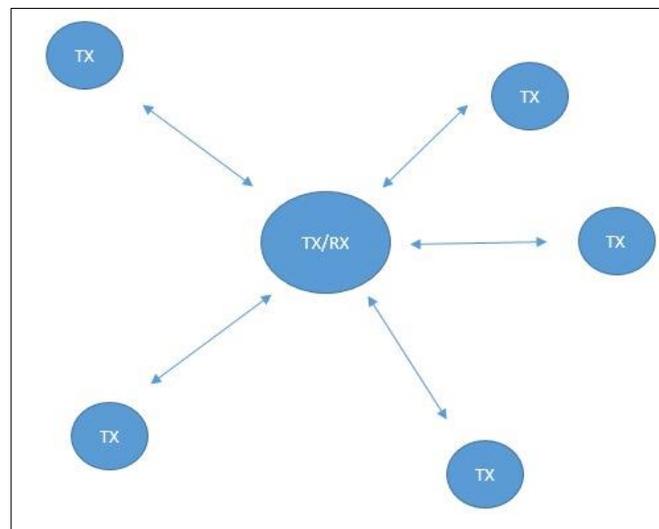


Figura 7. Topología de red multipunto punto.

### **3. DESARROLLO**

La finalidad de este proyecto fue desarrollar e implementar un prototipo para monitorear y registrar el estado de llenado de un contenedor de basura, para este fin se utilizó la tarjeta de desarrollo BeagleBone Black, tarjeta que presenta diferentes servicios entre ellos un procesador de alto desempeño, bajo consumo energético y contiene sistema operativo Linux, la elección de esta tarjeta se debió a la facilidad de integrar diferentes proyectos que incluyan procesamiento de imágenes o video.

Inicialmente se procedió a realizar la elección de los tipos de sensores que permitieran obtener el volumen y masa de los residuos al interior del contenedor, para ello se utilizó una celda de carga de 50 Kg para obtener la masa, y un sensor de proximidad analógico para obtener el volumen de los residuos sólidos.

El estado de llenado del contenedor se determinó a partir del cálculo del nivel de llenado utilizando para ello el sensor óptico Analógico GP2Y0A60SZ0F desarrollado por Sharp, este se encarga de medir el nivel de llenado del contenedor, para medir la masa se utilizó una celda de carga de 50 Kg de capacidad y 2mV/V de sensibilidad.

La información obtenida es enviada a la BeagleBone, donde es procesada y transmitida al servidor web, allí se almacena la información de masa y nivel de llenado en una base de datos. Para enviar la información se utiliza el protocolo de comunicación inalámbrico IEEE 802.11 (WLAN), la información recibida por el servidor es procesada y mostrada en una interfaz gráfica, donde se generan alertas o alarmas de acuerdo a la capacidad de almacenamiento de residuos de las bolsas utilizadas. Para la creación de las bases de datos se utilizó el sistema de gestión de bases de datos MySQL.

Los sensores utilizados tienen voltajes de salida que son superiores a los voltajes de entrada permitidos en la tarjeta de Desarrollo BeagleBone Black, debido a esto fue necesario realizar el acondicionamiento de las señales, utilizando un amplificador de instrumentación AD620 de la National Instruments y el amplificador operacional LM741, esto con el fin de obtener la señal en los niveles adecuados.

#### **3.1 Acondicionamiento de Sensores.**

La BeagleBone Black Cuenta con 7 entradas analógicas, la cuales soportan un voltaje máximo de 1.8 V, debido esto se hizo necesario realizar el acondicionamiento de los sensores de tal manera que se garantice el voltaje máximo de 1.8 V a la entrada de la Beagle BoneBlack.

##### **3.1.1 Celda de Carga.**

La celda de carga utilizada tiene una capacidad máxima de carga de 50 Kg, y una sensibilidad de 2 mV/V, el voltaje de polarización utilizado para los sensores es de 5 V, presentando la siguiente curva característica.

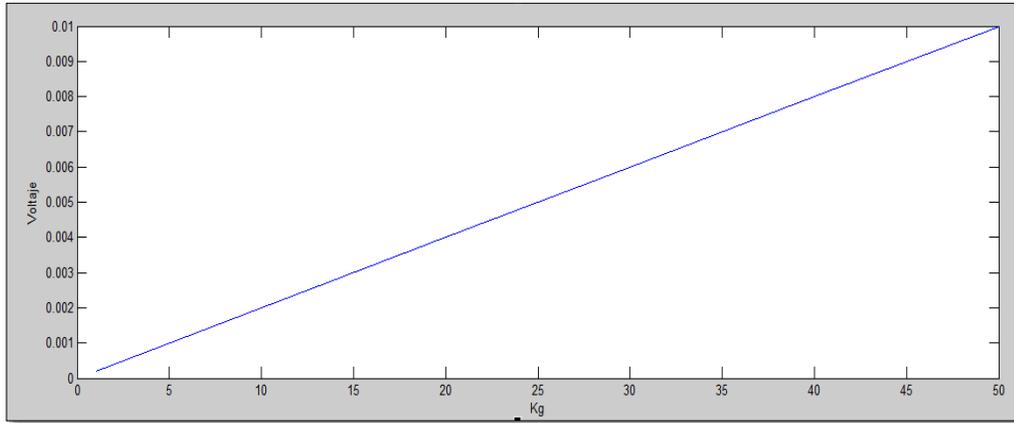


Figura 8. Curva Característica celda de carga.

Una vez obtenida la gráfica se procede a calcular la sensibilidad de la celda de carga, utilizando los valores límites.

$$S_c = \frac{V_2 - V_1}{Kg_2 - Kg_1} = \frac{10 \text{ mV}}{50 \text{ Kg}} = 0.2 \frac{\text{mV}}{\text{Kg}}$$

Donde  $S_c$  = Sensibilidad Celda de Carga.

Como se observa la sensibilidad de la celda de carga es muy baja, por lo que se utiliza el amplificador de instrumentación AD620, para acondicionar y aumentar la sensibilidad de la celda, teniendo en cuenta el valor límite máximo de entrada a la Beagle BoneBlack de 1.8 V.

Se conoce que la ganancia del amplificador de instrumentación está dada por la siguiente ecuación:

$$G = \frac{49.4K\Omega}{R_g} + 1$$

Donde G= Es la ganancia del amplificador.

Rg= La Resistencia entre pines 1 y 8 del AD620.

El prototipo fue diseñado para soportar un máximo de 2 Kg al interior del contenedor, por lo tanto, se decide realizar el cálculo para una masa de 2.5 Kg incluyendo la masa del contenedor.

$$V_{o \text{ max}} = S_c * G * 2.5 \text{ Kg}$$

Considerando  $V_{o \text{ max}} = 1.6 \text{ V}$  de tal manera que se garantice la protección de la BeagleBone, se procede a realizar el cálculo de la ganancia deseada en el amplificador de instrumentación.

$$G = \frac{V_{o \text{ max}}}{S_c * 2.5 \text{ Kg}} = 3200$$

Se procede a realizar el cálculo de la resistencia  $R_g$ .

$$R_g = \frac{49.4K\Omega}{G + 1} = 15.43\Omega$$

El circuito de acondicionamiento diseñado se muestra en la siguiente figura:

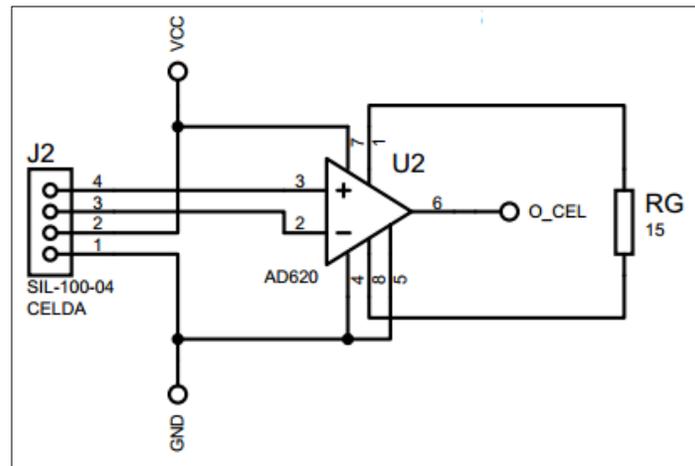


Figura 9. Circuito acondicionamiento de la celda de carga.

### 3.1.2 Sensor óptico.

De igual forma se procede a realizar el acondicionamiento de la señal del sensor óptico, en el desarrollo se utilizó el sensor óptico **GP2Y0A60SZ0F/GP2Y0A60SZLF**, el cual presenta la curva característica mostrada en la figura 9. Tal como se observa en la figura 9, este sensor presente voltajes de salida entre 0.4V y 3.5V, debido a lo cual se realizó el acondicionamiento para ajustarlo a valores de entrada permitidos por las entradas analógicas de la BeagleBone Black (0V-1.8V).

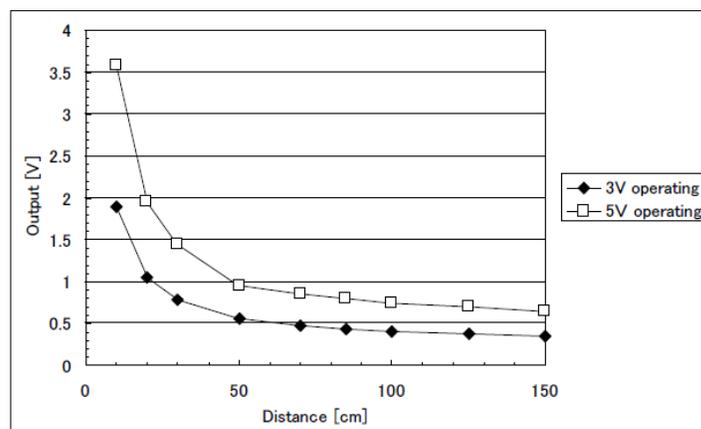


Figura 10. Curva característica sensor óptico GP2Y0A60SZ0F.

De acuerdo a la anterior figura, donde se muestra la curva de operación del sensor óptico utilizado se hizo necesario realizar el acondicionamiento considerando la siguiente ecuación:

$$V_{o_{max}} = V_{i_{max}}x - 5y$$

$$V_{o_{min}} = V_{i_{min}}x - 5y$$

Donde,

$V_{o_{max}} = 4.4 V$  voltaje máximo obtenido a la salida del sensor óptico.

$V_{o_{min}} = 0.4 V$  Voltaje mínimo obtenido a la salida del sensor óptico.

Se planteó el anterior sistema de ecuaciones con el fin de utilizar un amplificador en su configuración sumador-restador, para realizar el acondicionamiento de la señal obtenida a la salida del sensor óptico.

Una vez resuelto el sistema se procede a encontrar el valor requerido de resistencias para la configuración sumador-restador del amplificador operacional (LM741).

La ecuación general encontrada para el sistema de acondicionamiento del sensor óptico:

$$V_o = (0.45)V_i - (0.03)5$$

Partiendo de esta ecuación se calcularon los valores de las resistencias requeridas siguiendo los pasos para diseño de sumador-restador amplificadores, la siguiente figura muestra el diagrama esquemático del circuito diseñado:

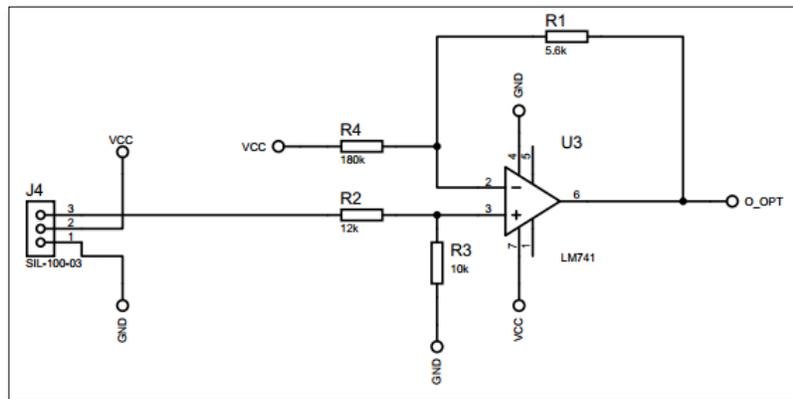


Figura 11. Circuito de acondicionamiento sensor óptico.

Una vez diseñado los dos circuitos de acondicionamiento se procedió a realizar el diseño, impresión y montaje de la PCB, para tal fin se utilizó el programa Proteus.

A continuación, en la Figura 12a y 12b, se pueden observar el diseño y la implementación del circuito de acondicionamiento, respectivamente.

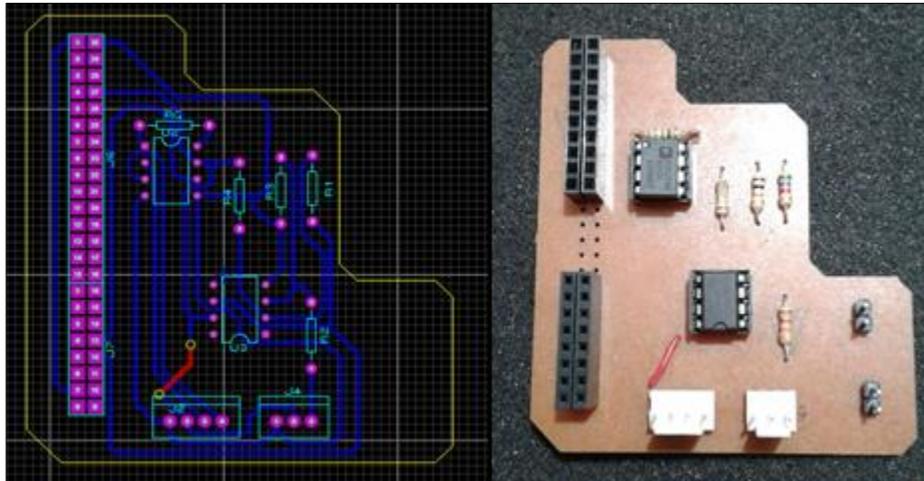


Figura 12. Diseño e implementación de la PCB de acondicionamiento.

### 3.2 Linealización Sistema de Acondicionamiento.

Con el propósito de ajustar la curva de operación del sistema de acondicionamiento, al requerimiento del diseño, se procede a realizar la curva de ajuste para el sistema de acondicionamiento.

#### 3.2.1 Linealización curva sistema acondicionamiento celda de carga.

Se realiza la obtención de los valores de salida del sistema de acondicionamiento de la celda de carga de acuerdo a la tabla que se muestra a continuación.

Y(Voltaje de salida del sistema) mV	X=entrada al Sistema (g).
835	0
1145	500
1452	100
1513	1095.8
1565	1259.8
1594	1414.8

Tabla 1. Valores obtenidos sistema celda de carga.

La siguiente figura muestra la curva del sistema:

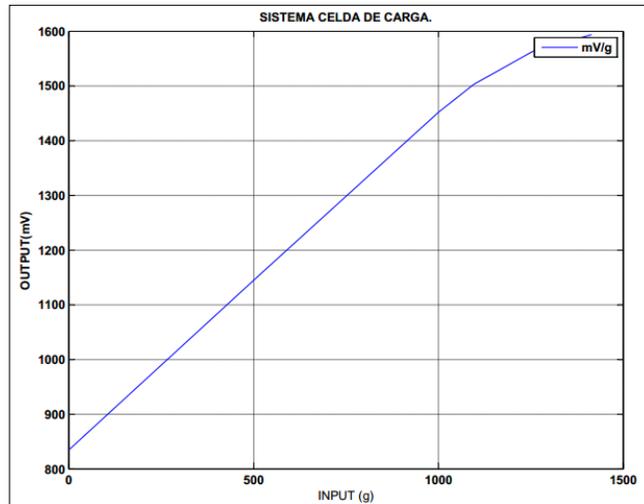


Figura 13. Curva característica sistema acondicionamiento celda de carga.

Para realizar el ajuste de la curva por regresión de mínimos cuadrados se hizo uso del comando *polyfit* de Matlab

Este comando permite obtener los coeficientes de la recta de regresión:

$$Y = C_1X + C_2$$

De esta manera se logró obtener ambos coeficientes, dando como resultado la siguiente recta de regresión para el sistema de acondicionamiento de la celda de carga:

$$Y = (0.559)X + 857.78$$

A continuación, se muestran la curva inicial y la curva linealizada obtenida:

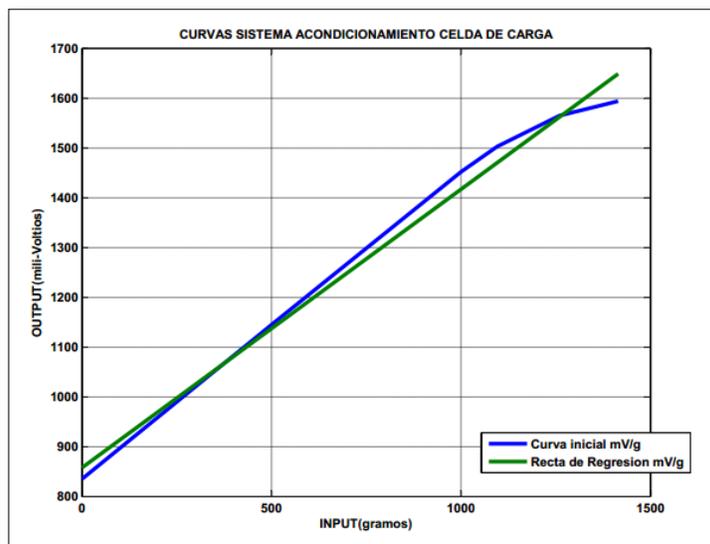


Figura 14. Curvas sistema de acondicionamiento celda de carga.

### 3.2.2 Linealización curva sistema acondicionamiento sensor óptico.

Para obtener la de recta de regresión del sistema de acondicionamiento del sensor óptico se obtuvieron los datos que se relacionan en la siguiente tabla.

Y(Voltaje de salida del sistema) mV	X=entrada al sistema (cm).
350	0
530	1.5
577	3
603	4
664	5
752	6.5
882	8.5
991	10
1120	11
1190	12

Tabla 2. Valores obtenidos sistema acondicionamiento sensor óptico.

La Figura 15 muestra la gráfica de los datos obtenidos:

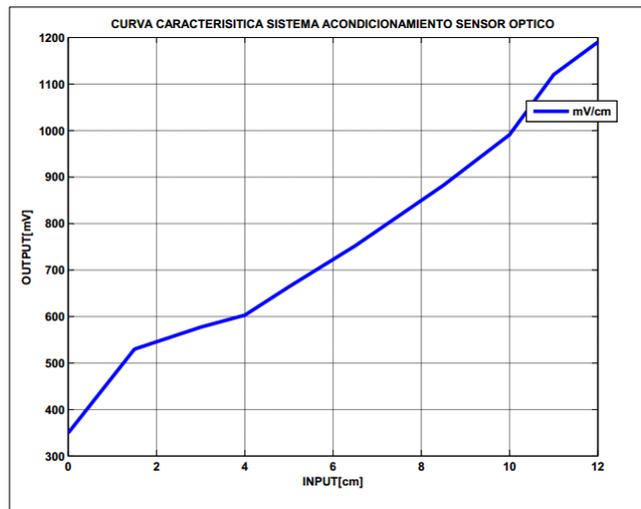


Figura 15. Curva característica sistema de acondicionamiento sensor óptico.

De igual forma que con la celda de carga, se procedió a realizar el ajuste de la curva utilizando el comando *polyfit* de Matlab,

Los coeficientes de la ecuación de la recta de regresión obtenidos se muestran en la siguiente ecuación:

$$Y = (65.46)X + 363.3$$

En la siguiente figura se observa la gráfica del sistema de acondicionamiento linealizada con

la curva no linealizada:

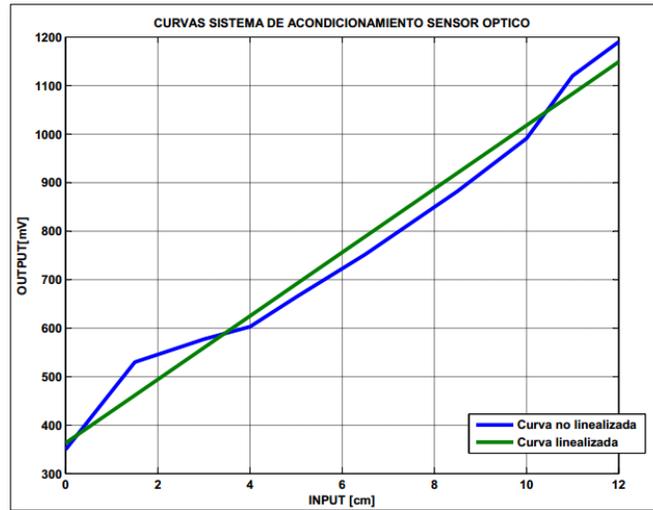


Figura 16. Curvas sistema de acondicionamiento sensor óptico.

### 3.3 Desarrollo del software

Para realizar la lectura de los sensores, operar esta información y enviarla a una base de datos en MySQL, se desarrolló un software en C++. La lectura de los sensores, los cuales son análogos, se realizó utilizando dos de las entradas análogo-digital de la BeagleBone Black. Posteriormente, para lograr enviar instrucciones propias de MySQL a través de C++, fue necesario incluir la librería *mysql.h*, con esta y haciendo uso del comando *query*, se logró insertar la información del estado de los sensores, la identificación del contenedor y la fecha en que envía el dato en una base de datos previamente creada. A continuación, en la figura 17, se logra observar la información correspondiente los contenedores 1 y 2 desde el administrador de bases de datos de MySQL phpMyAdmin.

La selección actual no contiene una columna única. La edición de la grilla y los enlaces de copiado, eliminación y edición no están disponibles.

Mostrando filas 0 - 17 (total de 18, La consulta tardó 0,0000 segundos.)

```
select * from hoja2
```

Perfilando [Editar en línea] [Editar]

Mostrar todo | Número de filas: 25 | Filtrar filas:

ID_CONTENEDOR	MASA_g	NIVEL_cm	FECHA
1	78.64	6.04	2018-04-05 20:49:52
2	589.45	13.71	2018-04-05 20:50:03
1	87.29	4.24	2018-04-05 20:50:19
2	620.10	13.73	2018-04-05 20:50:27
1	83.36	4.18	2018-04-05 20:50:33
2	594.17	13.74	2018-04-05 20:50:40
1	81.00	4.13	2018-04-05 20:50:46
2	576.09	14.21	2018-04-05 20:50:52
1	75.50	4.10	2018-04-05 20:51:19
2	596.53	10.53	2018-04-05 20:51:25
1	94.36	4.12	2018-04-05 20:51:31
2	585.52	14.02	2018-04-05 20:51:38
1	0.00	4.10	2018-04-05 20:51:44
2	602.03	13.74	2018-04-05 20:51:56
1	73.14	4.09	2018-04-05 20:52:04
2	572.16	13.75	2018-04-05 20:52:13
1	105.36	4.10	2018-04-05 20:52:20
2	595.74	12.44	2018-04-05 20:52:26

Figura 17. Base de datos en phpMyAdmin para los contenedores 1 y 2.

En la Figura 18 se presenta el diagrama de flujo del programa desarrollado en c++, de igual forma, el código de este programa se anexa al presente documento.

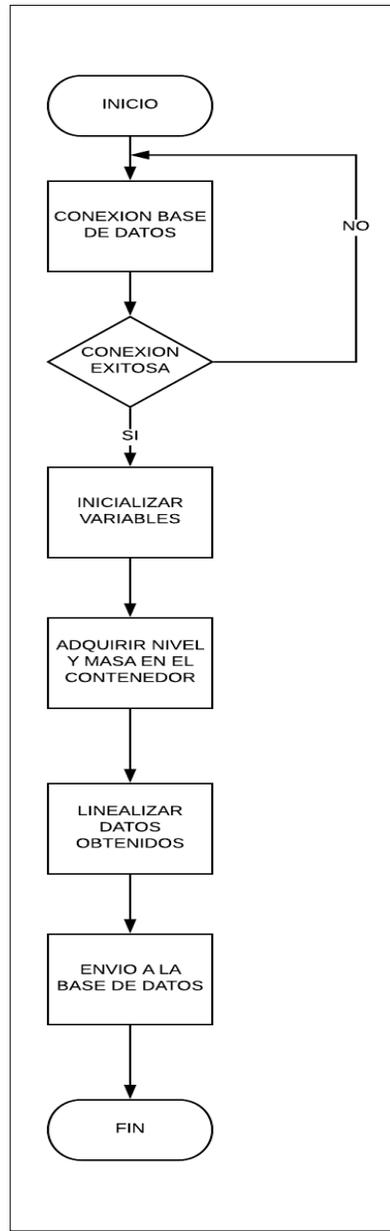


Figura 18. Diagrama de flujo del programa en c++.

### 3.4 Desarrollo de interfaz de usuario en LabVIEW

Con el fin de realizar efectiva y eficientemente el monitoreo de las variables (masa y nivel) se desarrolló una interfaz de usuario, esto haciendo uso de la herramienta LabVIEW, de la National Instruments. La interfaz de usuario es accesible desde el un computador con conexión a internet a través del navegador Internet Explorer. A continuación, en la figura 19, se presenta una vista general de la interfaz.

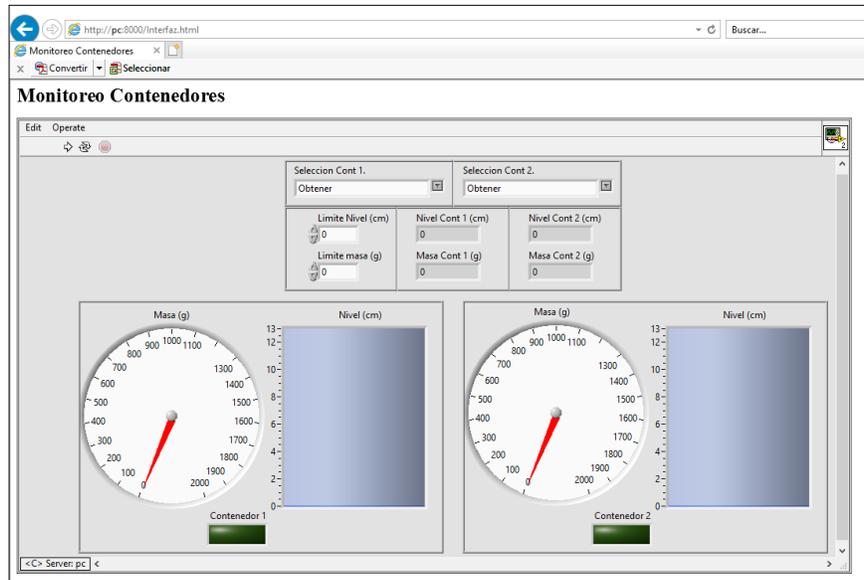


Figura 19. Vista general de la Interfaz de usuario en el navegador.

Mediante esta interfaz, el usuario puede seleccionar la operación a realizar, si obtener la información de la base de datos en MySql o eliminar los datos de adquisiciones previas. Adicionalmente, la interfaz cuenta con controles para determinar el límite del nivel de llenado y de la masa, esto ya que en un mismo contenedor pueden ser utilizadas bolsas con diferentes características de resistencia y longitud. Una vez el nivel o la masa actual en el contenedor es mayor que la determinada por el usuario, la interfaz enciende una alerta sonora como también los recuadros verdes que se pueden observar en la figura 19 y además emite un mensaje emergente indicando cual es el contenedor al que se le debe cambiar la bolsa.

A continuación, en la figura 20, se observa el diagrama de bloques del programa desarrollado en LabVIEW.

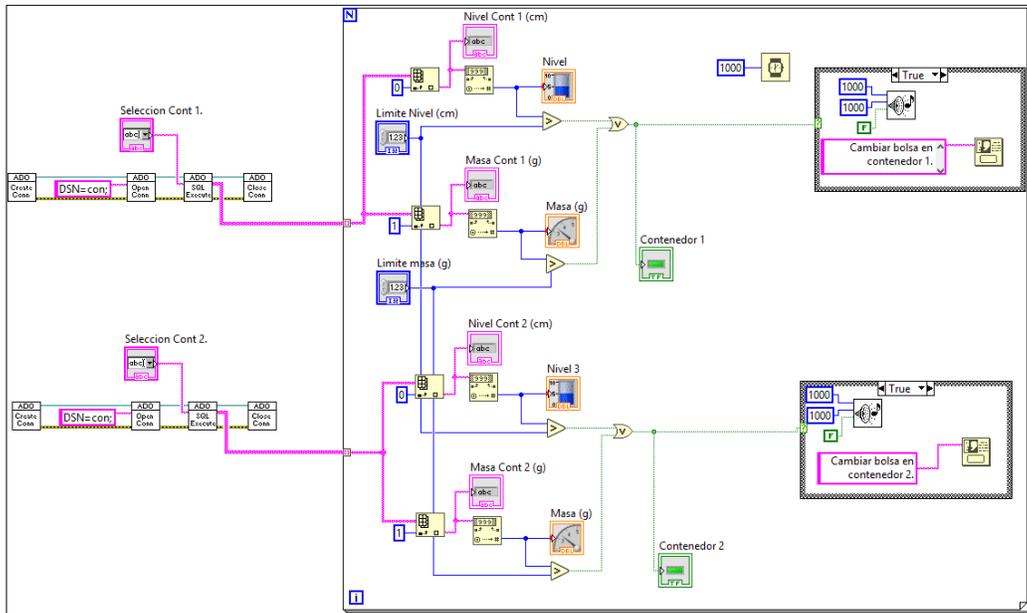


Figura 20. Diagrama de bloques correspondiente a la interfaz de usuario.

Para el desarrollo de este diagrama, se hizo uso de los bloques ADO, con los cuales es posible crear una conexión a una base de datos, abrir dicha conexión, ejecutar comandos SQL y obtener los datos deseados de la base de datos, a continuación, en la Figura 21 se observa el diagrama específico para la obtención de la información de la base de datos.

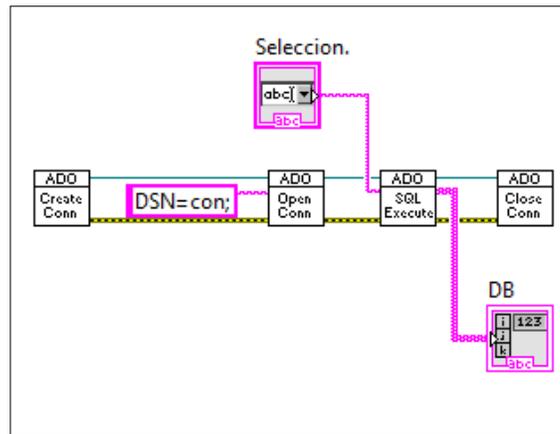


Figura 21. Diagrama de bloques para extraer datos de MySQL a LabVIEW.

### 3.5 Desarrollo del prototipo.

En la figura 22 se observa el prototipo del sistema de registro y monitoreo del estado de llenado de un contenedor de basura.



Figura 22. Prototipo del sistema de registro y monitoreo.

A continuación, se describen cada una de las partes que componen el prototipo:

1. Sensor óptico
2. Contenedor de basura
3. Sistema de acondicionamiento y adquisición.
4. Celda de carga.
5. Plataforma (tomada de una báscula en desuso)

## 4. RESULTADOS

Con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del sistema implementado, se realizaron diferentes pruebas en donde se introdujeron en el contenedor diferentes elementos cuya masa y altura son conocidos. A continuación, se presentan y describen los resultados obtenidos en estas pruebas.

Se utilizó la caja mostrada en la Figura 23, la cual tiene 5.5 cm de altura y pesa aproximadamente 250g.



Figura 23. Caja patrón para realizar pruebas de funcionamiento.

En la figura 24, se presenta la información obtenida en la interfaz de monitoreo del contenedor 1 al introducir la caja patrón de la figura 23 en el contenedor.

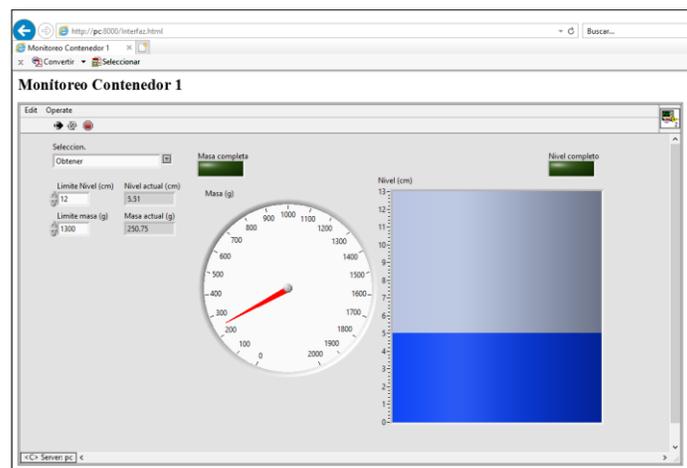


Figura 24. Sistema en funcionamiento para la caja.

A continuación, se introduce en el contenedor una bolsa de 1 Kg de granos, y con el fin de verificar el funcionamiento de las alarmas, se fija el valor de Limite masa en 700g.



Figura 25. Patrón de 1 Kg para realizar pruebas de funcionamiento.

Seguidamente, en la Figura 26 se logra observar que efectivamente la masa en el contenedor (1013 g) es mayor que el límite fijado (700 g), razón por la cual se emite un mensaje emergente solicitando el cambio de la bolsa en el contenedor 1 y se enciende el recuadro verde, indicando de igual forma que se ha superado el límite de masa establecido

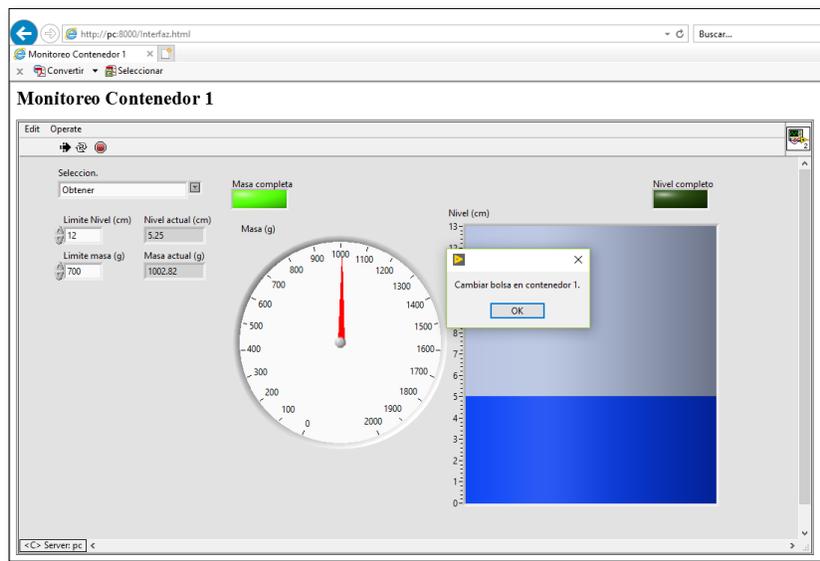


Figura 26. Sistema en funcionamiento para 1 Kg.

Finalmente, se procede a introducir ambos patrones, la bolsa de 1 Kg y la caja en el contenedor, esta vez se configura el límite de masa en 1500g y el límite de nivel en 8 cm, con lo cual se espera que se genere la alarma por sobrepaso en el nivel dentro del contenedor.

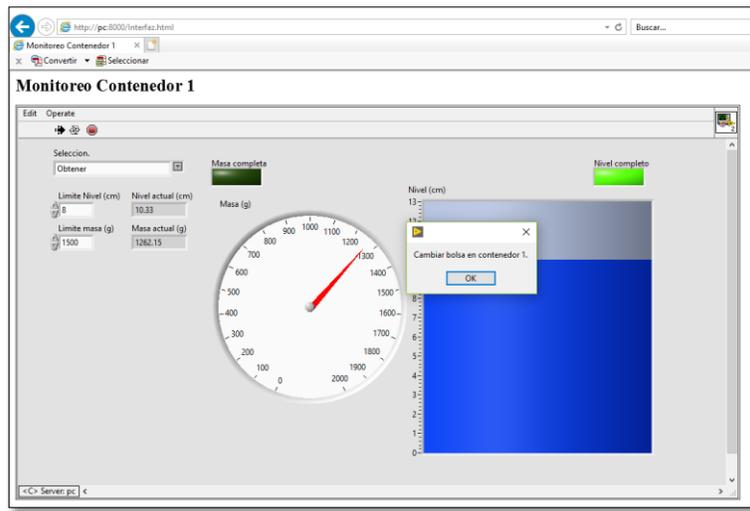


Figura 27. Alarma por sobre paso en nivel del contenedor.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en las pruebas realizadas al tomar datos de dos contenedores de basura, los cuales están conectados mediante una red multipunto punto con el pc quien cumple con la función de servidor. En la Figura 28, se puede observar la lectura del estado de los contenedores, para esta prueba se ha fijado como valores límite 13 cm y 1000 g, es decir, cuando en alguno de los contenedores se sobre pase uno de estos valores se generará la alarma indicando en cual contenedor se debe cambiar la bolsa.

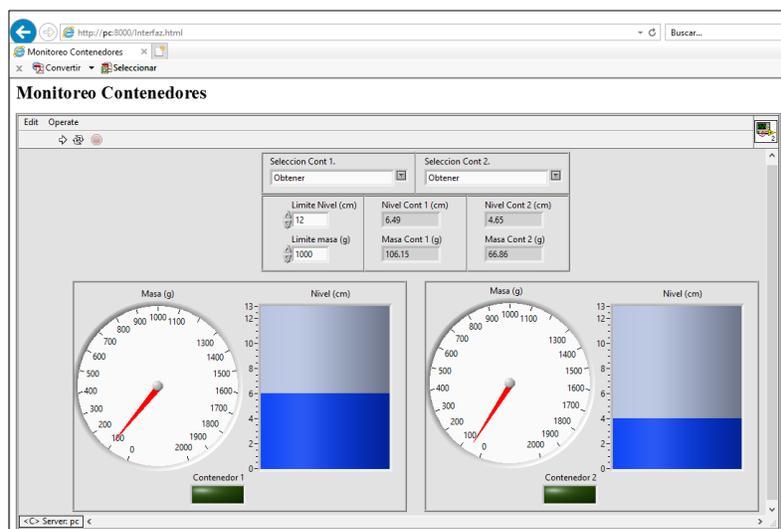


Figura 28. Sistema en funcionamiento para dos contenedores.

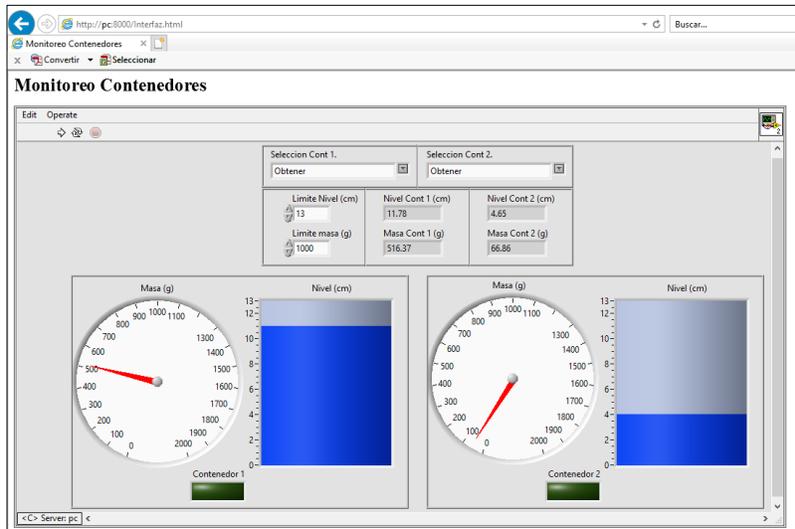


Figura 29. Aumento de masa y nivel en el contenedor 1.

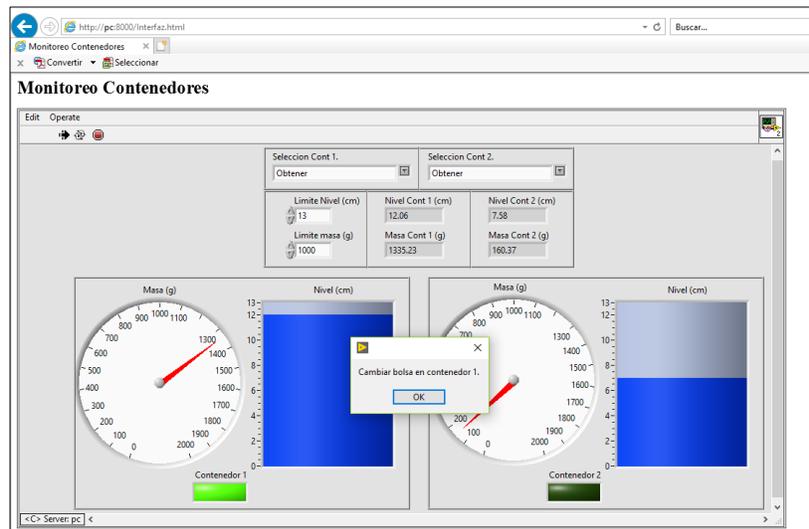


Figura 30. Alarma por sobre paso de masa en el contenedor 1.

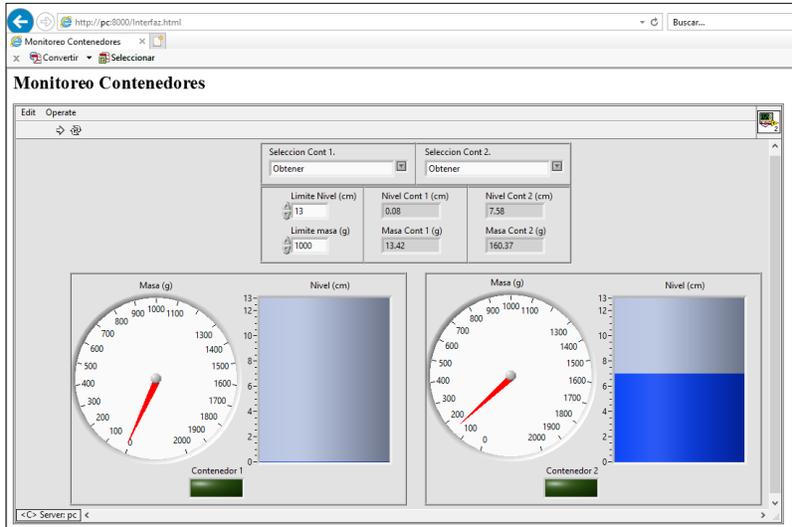


Figura 31. Cambio de bolsa y reinicio de lectura en el contenedor 1

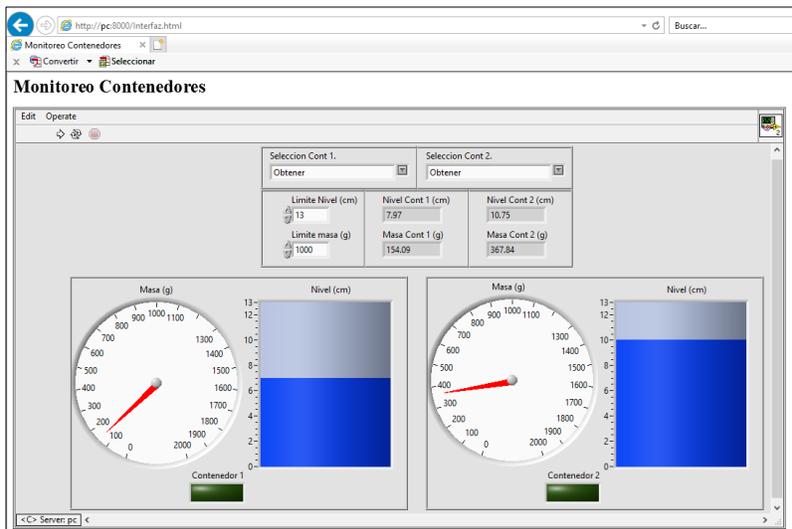


Figura 32. Aumento en ambos contenedores.

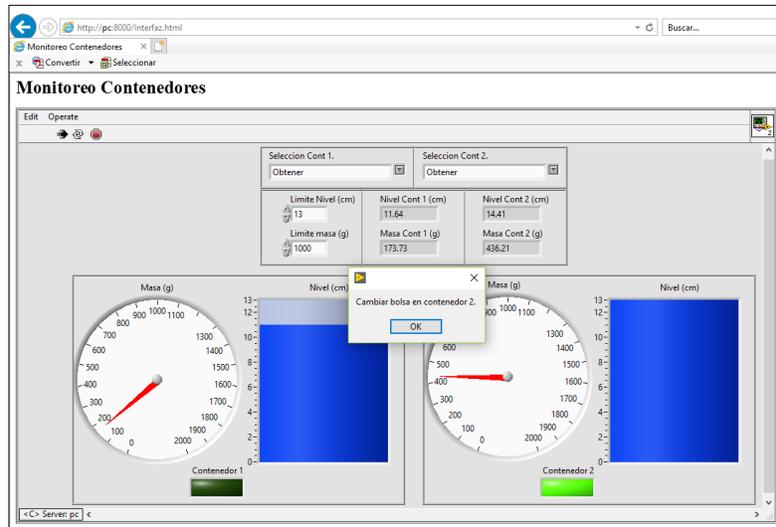


Figura 33. Alerta por sobrepaso de nivel en el contenedor 2.

## 5. CONCLUSIONES

- Dadas las prestaciones de la tarjeta de desarrollo es posible mejorar el diseño, agregando un sistema por captura de imágenes que permita identificar el tipo de objeto que se está depositando en el contenedor.
- Debido a que el prototipo fue diseñado para pequeñas masas, es recomendable utilizar una celda de carga de menor capacidad mejorando la sensibilidad del sistema de adquisición y haciendo uso eficiente de los recursos.
- Es posible aumentar la cantidad de contenedores con monitoreo y registro de información en una base de datos utilizando la topología de comunicación punto-multipunto, con la ventaja de que se requieren mínimos cambios en el sistema de comunicación.
- Para hacer el prototipo más amigable con el medio ambiente, es posible diseñar una fuente renovable de energía como la energía solar fotovoltaica, garantizando así el funcionamiento ininterrumpido del sistema, aprovechando el bajo consumo energético del prototipo desarrollado.
- Debido a que se utilizó LabVIEW como interfaz gráfica, se puede construir una interfaz gráfica utilizando un software open source como java, disminuyendo costos por licencias en el prototipo.
- A pesar de que la tecnología Wi-fi, provee gran facilidad de instalación y configuración, esta no garantiza la suficiente seguridad en la transmisión de datos, además para grandes distancias requiere un dispositivo repetidor que garantice la potencia de la señal.

## 6. BIBLIOGRAFIA.

- [1] Régimen Básico, recuperado el 20-05-2017, disponible en:  
<http://www.superservicios.gov.co/content/download/4977/47233>
- [2] En Colombia solo se recicla el 17% de las basuras, recuperado el 20-05-2017, disponible en:  
[http://caracol.com.co/radio/2017/05/17/nacional/1495047458\\_796244.html](http://caracol.com.co/radio/2017/05/17/nacional/1495047458_796244.html)
- [3] Planeta Zenok Productos- hogar, recuperado el 05-03-2017, disponible en:  
<http://planetazenok.com/productos/DZRC012L-cesto-de-basura-automatico-apertura-de-la/>
- [4] Detección del volumen de llenado de contenedores, tomado el 05-03-2017, disponible en:  
<http://www.geombo.com/deteccion-del-volumen-de-llenado-de-contenedores/>
- [5] Sistema de monitoreo de llenado y peso de contenedores de residuos urbanos, tomado el 05-03-2017, disponible en:  
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2840/1/GamboaTorresLuisAlejandro2016.pdf>
- [6] Diseño y cálculo de prototipo de un recolector automático de desechos domésticos, tomado el 03-08-2017, disponible en:  
<http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/11514/20.pdf?sequence=1>
- [7] La innovación finlandesa llega a la gestión de los residuos, tomado el 03-08-2017, disponible en:  
<http://www.efefuturo.com/blog/la-innovacion-finlandesa-llega-a-la-gestion-de-los-residuos/>
- [8] Tacho Piola, el basurero inteligente que separa residuos reciclables, tomado el 04-08-2017, disponible en:  
<http://www.telam.com.ar/notas/201407/69949-tacho-piola-el-basurero-inteligente-que-separa-residuos-reciclables.html>
- [9] A .Torres, Os .Rodea, O. Longoria, F. Sánchez, L. González Intelligent Waste Separator [Online], tomado el 04-08-2017, disponible en:  
<http://www.scielo.org.mx/pdf/cys/v19n3/v19n3a7.pdf>
- [10] Basurero Inteligente: si botas basura en él, te da Wi-Fi tomado el 04-08-2017, disponible en:  
<http://oasisfm.cl/oasisfm/gente-oasis/buena-idea-basurero-inteligente-si-botas-basura-en-el-te-da-wi-fi/2016-02-24/125357.html>

[11] Un proyecto de reciclaje colombiano fue reconocido por Google como uno de los mejores del mundo, tomado el 04-08-2017, disponible en: <https://www.googlesciencefair.com/projects/es/2016/2b41af0321150c65ca5dfbbf8b22ee1e8b8a5eb6346f01cba2f0097c5390dfea>

