INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES

Vol. 2, No. 1, (Enero 2018), 60-73 ISSN 2550-6730

Sistema multimodal que permita monitorear y controlar la recolección de desechos sólidos en tiempo real para Smart Cities

Vanessa Morocho Sailema[1], SJonathan Quinapanta Páez[2], Oswaldo Martínez Guashima[3]

[1]Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador, [2]Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador, [3]Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador

[1]vane_sling1092@hotmail.com, [2]jonathanismael@hotmail.com, [3]omartinez@espoch.edu.ec

Recibido: 18/10/2017
Aceptado: 15/01/2018

RESUMEN

Se diseñó e implementó un sistema multimodal para monitorear y controlar la recolección de desechos sólidos en tiempo real para Smart Cities realizado en la ciudad de Riobamba. El sistema se desarrolló estableciendo bloques de procesos descritos a continuación: un bloque de entrada encargado de detectar el nivel de llenado, localización, alerta de incendio y manipulación de un contenedor de desechos con ayuda de sensores. El bloque de procesamiento de información y señales evalúa los datos obtenidos en el bloque de entrada mediante una placa de Hardware Libre. El bloque de salida envía los valores obtenidos a través de un sistema de comunicación móvil, hacia un servidor en la nube que contiene una aplicación web con una interfaz agradable y transparente al usuario. Dentro de la aplicación web se tiene las herramientas para que una persona administre y gestione el estado de los contenedores y a través de la app Google Maps se tracen rutas para la recolección de contenedores que se encuentran próximos a llenar su capacidad optimizando con eficiencia y eficacia la recolección de los desechos y mejorando los parámetros ambientales. Una vez realizado las pruebas del sistema se pudo notar que los datos visualizados en la aplicación web presentaron un retardo de actualización entre 1 y 3 minutos con pérdidas en la transmisión especialmente en espacios cerrados por lo que se recomienda utilizar en el sistema de comunicación móvil una operadora que brinde mayor cobertura.

PALABRAS CLAVES: CIUDADES INTELIGENTES (SMART CITIES), CONTROL DE DESECHOS, DESECHOS SÓLIDOS, COMUNICACIÓN MOVIL, TIEMPO REAL.

ABSTRACT

A multimodal system was designed and implemented to monitor and control the collection of real-time solid waste for Smart Cities in the Riobamba city. The system was developed by establishing blocks of processes described below: an input block to detected the level of fill, localization, fire alert and manipulation of a waste container with the help of sensors. The information and signal processing block evaluates the data obtained in the input block using a Free Hardware board. The output block sends the values obtained through a mobile communication system, to a server in the cloud that contains a web application with a user-friendly and transparent interface. Within the web application has the tools for a person to manage the state of the containers and through the Google Maps application to be plotted routes for collection of containers that are coming to fill their capacity by optimizing with efficiently and effectiveness the waste collection and improving environmental parameters. After the tests of the system it was possible to notice that the data displayed in the web application presented an update delay between 1 and 3 minutes with losses in the transmission especially in closed spaces so it is recommended to use in the mobile communication system an operator to provide more coverage.

KEYWORDS: INTELLIGENT CITIES (SMART CITIES), WASTE CONTROL, SOLID WASTE, MOBILE COMMUNICATION, REAL TIME.

1. Introducción

Actualmente en las ciudades del Ecuador se tiene un número considerable de personas que habitan en zonas urbanas, quienes generan una gran cantidad de residuos. Para llevar a cabo el servicio de recolección de residuos, la municipalidad de cada ciudad, cuenta con camiones especializados y personal calificado para realizar esta tarea. Cuando los recolectores realizan su recorrido, pueden encontrarse con contenedores a niveles variables de desechos, sin embargo, deben revisar cada uno de los mismos, produciendo pérdida de tiempo, provocando mayor cantidad de viajes, mayor gasto en combustible y por lo tanto mayores emisiones de CO2.[1]

El presente proyecto tiene como objetivo principal, diseñar e implementar un sistema multimodal que permita monitorear y controlar la recolección de desechos sólidos en tiempo real para Smart Cities, para lograr esto se procede a investigar sobre el avance de las IoT y las ciudades inteligentes, que tipo de sensores monitorean niveles de llenado y otros eventos en tiempo real, un microcontrolador que procese los datos obtenidos por el sensor, una tecnología de comunicación que ofrezca la cobertura idónea para una Smart City y evaluar la fiabilidad de cada evento que se vaya dando en el contenedor a través de una página web.

Para lograr el objetivo planteado se utilizó una metodología analítica y sintética llevando a cabo las siguientes actividades: investigación bibliográfica, diseño del sistema, implementación de un prototipo, evaluación de resultados y documentación. El proyecto es un aporte académico dirigido para todos los estudiantes de carreras tecnológicas que se interesen por el monitoreo y control de sistemas de manera remota a través de internet, utilizando tecnologías de comunicación inalámbrica y por otro lado ayudará a cualquier ciudad que desee optimizar el proceso de recolección de desechos sólidos.

2. Marco Teórico

A. Internet de las cosas (IoT)

Internet de las cosas o bien conocido con las siglas IoT se define por la UIT y IERC como una “dynamic global network infraestructure”.[2]

Es una nueva tendencia que hace posible la conexión de cada elemento que nos rodea hacia la red global internet, a través de varias tecnologías de comunicación e información, la idea de las IoT es controlar de manera remota cada elemento desde un Smartphone o algún servidor que tenga acceso a internet. En la Figura 1 se muestra un ideal general de la definición de IoT.

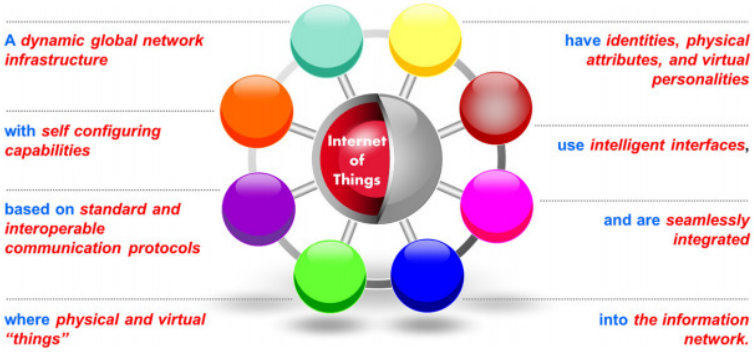

Figura 1: IoT Definition Fuente: (VERMESAN, 2009 p. 17)

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 2, No. 1, (Enero 2018), 60-73 ISSN 2550-6730

B. Relación entre IoT y Smart Cities

Figura 2: Smart City. Fuente: (EOI, 2015)

Ciudades Inteligentes o Smart Cities es un tema que no se puede conceptualizar ya que su significado cubre muchas aplicaciones como se aprecia en la Figura 2. Una de las principales aplicaciones de una Smart City es la interacción entre cosas y la calidad de vida de las personas que viven en una ciudad, con el fin de dar soluciones sostenibles y rentables, mejorando la calidad de vida de las personas que habitan en ella gracias a los 13 millones de elementos conectados a la Web.[3]

Es por eso que las Ciudades Inteligentes son las que más influyen para el crecimiento de las IoT. Un ejemplo son los países de Europa como Reino Unido y España que han empezado con un sinnúmero de proyectos que han solucionado necesidades básicas como alumbrado y recogida de residuos.

Para el 2050, la ONU espera que más del 70 % de la población este concentrada en las ciudades, permitiendo que en los centros poblados se desarrollen un sinnúmero de sistemas IOT que beneficien a sus ciudadanos.[4]

El crecimiento de una ciudad exige la capacidad de prever soluciones, con un plan que cubra las necesidades del mañana. Cada ciudad es un sistema único por lo que la solución aplicada en cada una de estas variara según los parámetros que se desee trabajar. Para el desarrollo de una ciudad sostenible se necesita varios elementos como son: Tecnología, Sociedad, Iniciativa Privada y pública y demás organizaciones que deseen formar parte del cambio.[5]

C. Smart Cities y Soluciones Sostenibles

Las ciudades al tener un número importante de ciudadanos forman parte de la sostenibilidad como se puede ver en la Figura 3 por la transformación de agujeros de amenaza y a su vez pueden ser escenarios de la industria de la sostenibilidad. Se consideran agujeros de amenaza ya que su concentración de personas acelera el cambio climático, incrementando las emisiones de CO2. A su vez para su desarrollo sostenible se considera que crear una ciudad inteligente funciona como antídoto que reduce el impacto de los agentes contaminantes. Para buscar la sostenibilidad las empresas tecnológicas lanzan soluciones a problemas que los ciudadanos no las han considerado como tales.[6]

Según la ITU una ciudad inteligente es sostenible cuando es innovadora y aprovecha las TICS y otros medios para mejorar la calidad de vida.[7]

Figura 3: Smart Cities, gestión eficiente, sostenible y transparente Fuente: (hiberus, 2014)

D. Los Sensores y las Smart Cities

En una Smart City los recolectores de datos o más bien llamados, sensores, están repartidos en puntos estratégicos de la misma como se puede ver en la Figura 4, estos con el fin de captar eventos para controlar y monitorear tomando el inicio de las redes de sensores inalámbricos se puede obtener: disponibilidad de estacionamientos, servicios públicos, medio ambiente, cantidad de tráfico, etc., todos los sensores se conectan a la nube a través de tecnologías inalámbricas o móviles, de este modo los usuarios pueden observar los eventos que se vayan dando desde una PC o móvil.

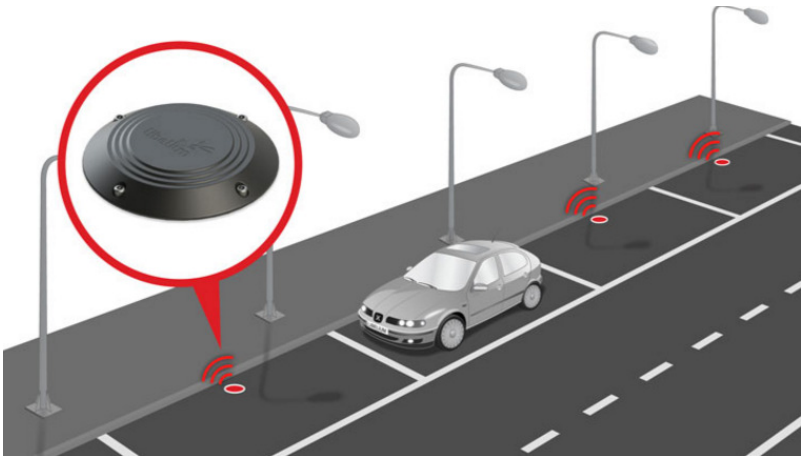

Figura 4: Sensores inteligentes de parking en la Feria Intertraffic 2016. Fuente: (eSMARTCITY, 2016 p. 1)

1. Sensores de recogida y tratamiento de residuos urbanos

Este tipo de sensores ayudan a controlar y monitorear el nivel de llenado de los contenedores de basura como se puede ver en la Figura 5 que se encuentran distribuidos en la ciudad, de este modo las rutas de los recolectores de basura son más eficientes, además se puede prever algún tipo de alerta, golpe, robo del contenedor.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 2, No. 1, (Enero 2018), 60-73 ISSN 2550-6730

Figura 5: Recolección Eficiente Fuente: (SDG, 2014)Agua Potable

E. Plataforma de Hardware Libre Arduino MEGA 2560

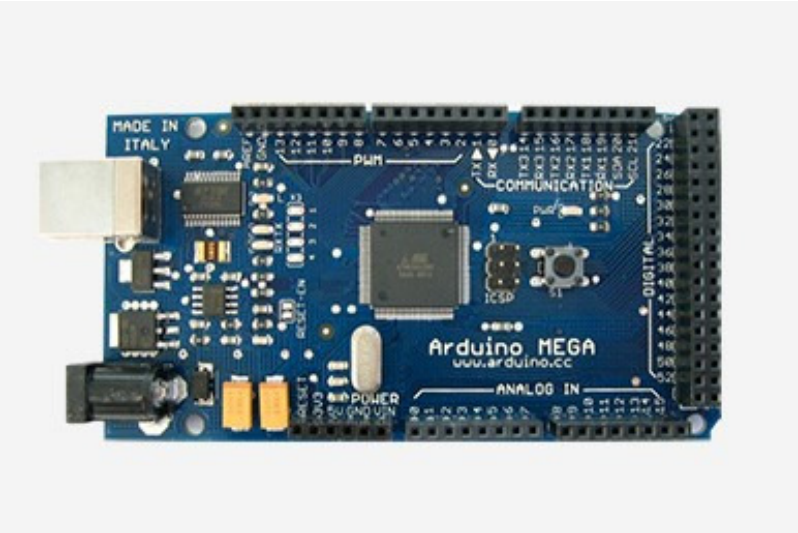

Figura 6: Arduino Mega. Fuente: (Arduino)

Esta placa está basada en el Microcontrolador ATmega1280 como se observa en la Figura 5, que ofrece una memoria de 256 KB para guardar la programación, del cual 8KB se usa para el bootloader, así también hay 8KB para SRAM y 4KB de EEPROM.

La alimentación de la placa se lo realiza por fuente USB o conexión externa a través del Jack. El rango de voltaje que soporta va desde los 6 hasta 12 voltios gracias a que dispone de un regulador de voltaje en su interior. Si se le proporciona voltajes menores a 7V la placa se torna inestable, caso contrario si supera los 12V el regulador de voltaje dado su calor podría dañar la placa.

Mega está formada por 54 pines ubicados en el perímetro de la placa con un diseño fijo para poder ser acoplado con shields.

Los pines trabajan de manera digital como entrada y salida, aunque hay un número de pines que trabajan como entradas analógicas.

F. GPRS

GPRS del inglés General Packet Radio Service, es una tecnología de transmisión de datos móviles perteneciente a la comúnmente llamado 2.5 G. Se basa en la conmutación de paquetes en comparación a GSM que utiliza conmutación de circuitos, ofreciendo una mayor velocidad de datos con respecto a GSM.

Al utilizar la misma infraestructura GSM se tuvo que actualizar y agregar nuevos elementos permitiendo una mejora en la trasmisión entre usuarios, red interna y el Internet, como se lo puede ver en la Figura 6.

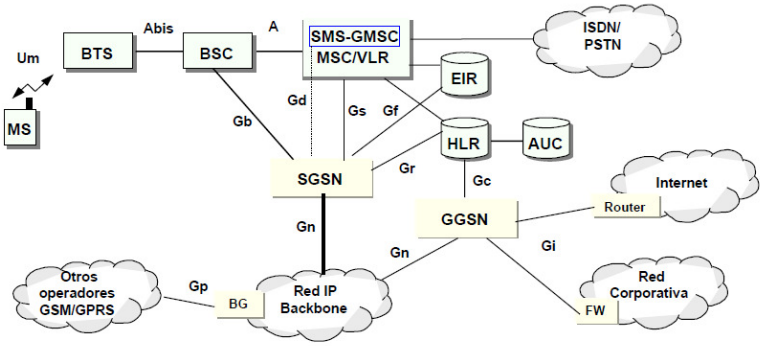

Figura 7: Arquitectura GPRS. Fuente: (UPM p. 8)

GPRS nace como respuesta a la evolución de las telecomunicaciones hacia una comunicación móvil de internet. Esta tecnología utiliza la infraestructura ya desplegada de GSM con el plus de agregar nuevos elementos como soporte de Nodo GSN y actualización interna de Software. Con GPRS se dio lugar al boom de IPs y gracias al éxito que lo tuvo se ha ido mejorando y aumentando la velocidad de conexión llegando a la actualidad con la tecnología LTE Advanced.

3. Diseño del Sistema

El módulo consta de 6 Bloques como se observa en la Figura 7. Cada uno de los bloques cumple una función específica empezando en la recolección de la información, para su procesamiento, su respectiva transmisión a la nube donde será almacenado y visible para el usuario, todo de manera automática.

Figura 8: Diseño de Red. Fuente: Creado por los autores.

4. Implementación

Configuración de los dispositivos.

A. Bloque de entrada

En la Figura 8, se muestra el conjunto de sensores que componen el bloque. Para la implementación del sistema se debe tomar en consideración la cantidad de voltaje para alimentar cada uno de los sensores, así se respalda el tiempo de vida de los mismos y a la vez evitar una posible falla del sistema.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 2, No. 1, (Enero 2018), 60-73 ISSN 2550-6730

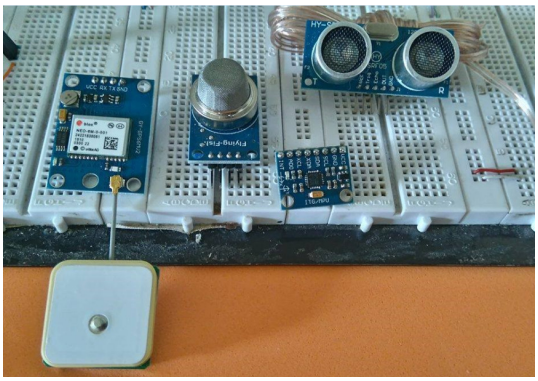

Figura 9: Bloque de entrada. Fuente: Creado por los autores.

B. Bloque de procesamiento y Salida

Es la segunda etapa, aquí se compila todo el programa del sistema. Para realizar la configuración de los sensores se debe obtener un entorno de desarrollo que utiliza la placa Arduino llamado: (IDE) como se muestra en la Figura 9. Este entorno de desarrollo está basado en lenguaje de programación y cargador de arranque Bootloader.

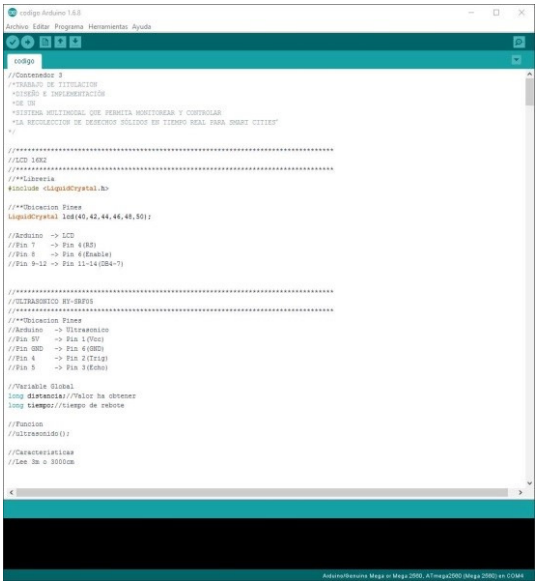

Figura 10: IDE Arduino. Fuente: Creado por los autores.

En el bloque de salida está la placa GSM/GPRS, la misma que se utiliza para la transmisión de los datos hacia el bloque de almacenamiento. Se incrusta una tarjeta SIM en la placa como se muestra en la Figura 10, para lograr el paso de datos hacia el internet. Cabe mencionar que se ha contratado un paquete económico en la operadora CNT.

Figura 11: Shield GSM/GPRS, SIM 900. Fuente: Creado por los autores

C. Protección Física.

El módulo que comprende los tres primeros bloques será instalado dentro de un contenedor de basura, por lo tanto, debe estar protegido de posibles golpes y maltratos, para ello se ha diseñado una caja protectora como se puede ver en la Figura 11, dicha caja será de mucha utilidad para salvaguardar todos los dispositivos que componen el sistema.

Figura 12: Caja de protección. Fuente: Creado por los autores

D. Bloque de almacenamiento

Los datos del sistema se alojan en un servidor de hosting gratuito llamado eshost, en la Figura 12 se observa cómo se va guardando dentro de un administrador de archivos online, en tiempo real.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 2, No. 1, (Enero 2018), 60-73 ISSN 2550-6730

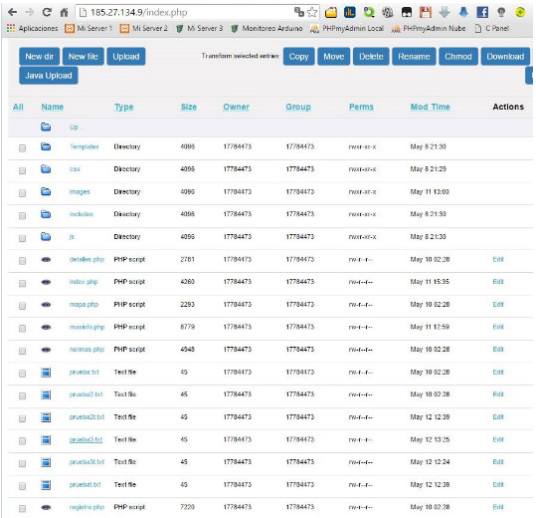

Figura 13: Almacenamiento de archivos online. Fuente: Creado por los autores

5. Resultados

Pruebas de Campo

Para esto se ubicó tres contenedores en la ciudadela "Los Olivos" de la ciudad de Riobamba.

A. Características del contenedor

Para la prueba del prototipo se escogió un contenedor de las características que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Características del contenedor.

Contenedor	Características
Forma	
Material	PVC
Medidas	Altura: 92.5cm Tapa: 48.5x49.5 Fondo: 40x37

B. Ubicación del módulo en el contenedor

La ubicación del módulo en el contenedor se basó a partir del sensor ultrasónico, el cual es el encargado de medir el nivel de llenado del contenedor, se llegó a la decisión de ubicarlo en la parte superior central del tacho para protegerlo de posibles golpes, un mejor sensado de la acumulación de basura, es decir en la tapa, como se ve en la Figura 13.

Figura 14: Ubicación del módulo. Fuente: Creado por los autores

C. Ubicación de los contenedores

Cada contenedor se ubicó de la misma forma con la ayuda del software GMON para verificar que la potencia de la operadora CNT sea óptima. El primer contenedor fue ubicado en las calles Antonio de Alcedo y Jaime Roldós Aguilera como se puede ver en la Figura 14.

El segundo contenedor fue ubicado en las calles Pedro Franco y Díaz de la Madrid como se ve en la Figura 15.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 2, No. 1, (Enero 2018), 60-73 ISSN 2550-6730

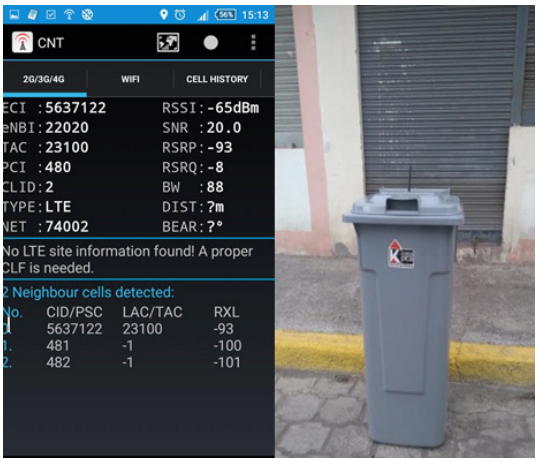

Figura 15: Contenedor 1. Fuente: Creado por los autores

Figura 16: Contenedor 2. Fuente: Creado por los autores

El tercer y último contenedor en las calles Antonio de Alcedo y Díaz de la Madrid como se observa en la Figura 16.

D. Tiempo de Respuesta

Para medir los tiempos se consideró, el tiempo de encendido del módulo con la configuración inicial que es de aproximadamente 3 minutos y 5 segundos, esto se da porque el shield GPRS busca las radiobases más cercanas para iniciar la transmisión de los datos a la nube.

El tiempo critico es cuando se transmite la información conformado por 20 segundos, el tiempo es considerable para asegurar los datos, lleguen a su destino, tomando en cuenta el tráfico propio de la operadora, siendo Voz y Datos.

E. Consideraciones para cada evento

Para monitorear los eventos de nivel de llenado y alerta de incendio se ha tomado las siguientes consideraciones como se muestra en la Tabla 2 y Tabla 3.

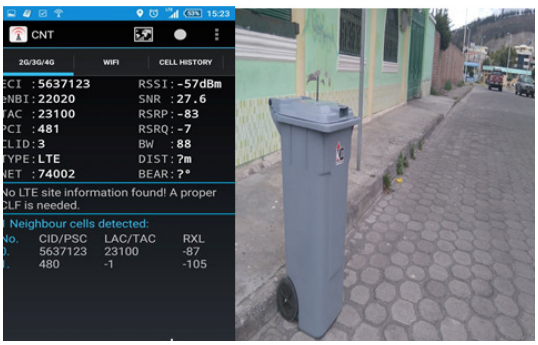

Figura 17: Contenedor 3. Fuente: Creado por los autores

Tabla 2: Consideraciones de nivel de llenado.

CoMEDICIONES DEL SENSOR ULTRASÓNICO	ESTADO
<20cm	lleno
Entre 20cm a 50cm	medio
>50cm	vacío

Tabla 3: Consideraciones para alertar posibles incendios.

MEDICIONES DEL SENSOR MQ-135	ESTADO
>1.5 ppm	Alerta de Incendio

Los eventos que se fueron dando en cada contenedor se muestran en la Figura 17. En el caso del contenedor 1 y contenedor 3 se detectó un nivel lleno, es por ello que se ha reportado con una alarma cambiando el color del tacho a rojo. En ninguno de los contenedores se reportó alertas de incendios o posibles movimientos. Y para el caso del contenedor 2 se ha reportado un nivel medio de llenado, por lo mismo no fue necesario tomar decisiones con respecto a ese contenedor.

F. Ruta Óptima

De este modo se puede trazar una ruta óptima para que los recolectores puedan ir hacia estos contenedores que necesitan ser vaciados. En la Figura 18 se muestra la ruta trazada para los dos contenedores que se reportaron llenos. Para calcular la ruta más óptima se siguió un algoritmo especial conocido como el del camino más corto, previsto por la API de Google. Se puede calcular el tiempo estimado desde la central de monitoreo hasta el contenedor, aplicando la formula básica:

$$Tiempo = \frac{distancia}{velocidad} \tag{1}$$

Para la velocidad se debe tomar en consideración las normas de la Agencia Nacional de Transito, dentro de una ciudad se permite hasta un máximo de 30km/h.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 2, No. 1, (Enero 2018), 60-73 ISSN 2550-6730

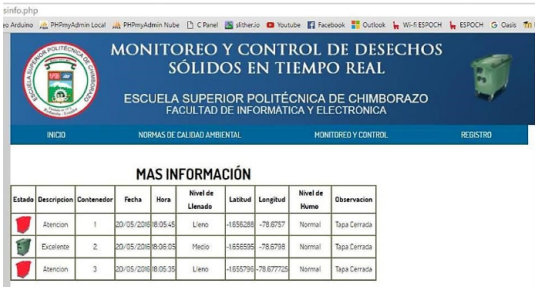

Figura 18: Información del estado de cada contenedor en tiempo real. Fuente: Creado por los autores

Figura 19: Ruta óptima para la recolección de desechos en contenedor 1 y 3. Fuente: Creado por los autores

Luego de haber finalizado con las pruebas de campo, se planteó un pequeño mapa del centro de la ciudad de Riobamba en donde se muestra la distribución tentativa de los contenedores como se muestra en la Figura 19 para este prototipo, la distancia entre cada contenedor será entre 100 y 200 metros, tomando en cuenta la cobertura de la operadora que se utilizó, en este caso CNT.

6. Conclusiones

Cumpliendo con los objetivos propuestos y las respectivas evaluaciones de los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

- En este trabajo se diseñó e implemento un sistema multimodal que permite monitorear y controlar la recolección de desechos sólidos en tiempo real, proyecto que forma parte de las bondades de la plataforma IoT y Smart Cities, siempre buscando un desarrollo sostenible según el plan del Buen Vivir.
- En la visualización de los valores captados de los sensores se obtuvo una respuesta de 3min para la adquisición de los parámetros propuestos siendo estos: nivel de llenado, localización, alerta de incendio y manipulación de los contenedores, mostrando al usuario datos fiables y confiables en el sistema de recolección de desechos en tiempo real.
- La plataforma Arduino Mega 2560 proceso la información obtenida por los sensores, y la transmisión de la misma con el shield GSM/GPRS hacia el internet, los 2 dispositivos trabajaban de la mano siendo la compatibilidad algo fundamental para transmitir los datos hacia la nube.

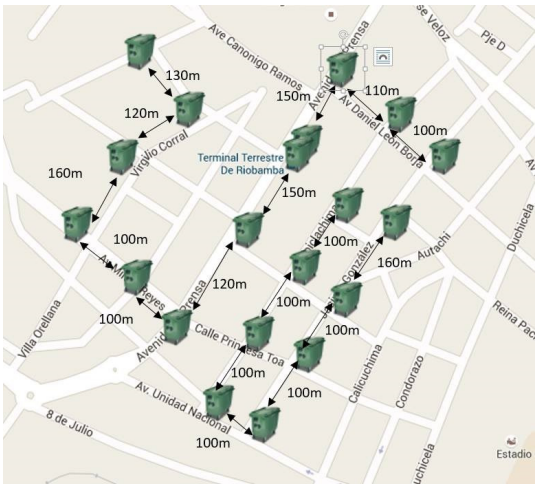

Figura 20: Distribución tentativa de contenedores en el centro de la ciudad de Riobamba. Fuente: Creado por los autores

- Las pruebas realizadas en el barrio "Los Olivos", y el campus de la ESPOCH se recibio un nivel aceptable de RSSI de cobertura celular, lo que permite que los módulos ubicados en cada contenedor de desechos sólidos envíen en tiempo real la información para ser visualizas en la red WAN y en la aplicación diseñada para el sistema de recolección de desechos para Smart Cities.

7. Recomendaciones

- Para el buen funcionamiento del sensor ultrasónico, se debe utilizar la librería PING, la cual otorga una mejor sensibilidad del sensor al momento de adquirir datos y de este modo mejorar la estabilidad de todo el sistema.
- Se recomienda que para comprobar la cobertura de la operadora celular se debe usar el programa de apoyo GMON el cual nos muestra el tipo de tecnología celular disponible y RSSI que se recibe en esa zona.
- Para la utilización de un sistema en tiempo real con GSM/GPRS recomendamos utilizar operadoras que brinden coberturas amplias y a costos muy económicos para el uso de las redes WSN.
- Se prevé que para implementaciones futuras se utilice una plataforma hardware libre robusta, para aumentar el tiempo de vida de cada módulo
- Se recomienda para mejorar la eficiencia energética en el sistema utilizar nuevas tecnologías como los paneles solares en la alimentación con voltaje en el sistema.

Referencias

[1] Diego Alberto Godoy y col. "Ciudades inteligentes: optimización en la recolección de contenedores de residuos domiciliarios". En: *XVII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (Salta, 2015)*. 2015.

[2] Ovidiu Vermesan y Peter Friess. *Internet of things-from research and innovation to market deployment*. Vol. 29. River Publishers Aalborg, 2014.

[3] *Las ciudades inteligentes como impulsoras de Internet de las Cosas | Toyoutome*. es-ES.

[4] enigma. *Ciudades Inteligentes con el IoT*. 2016.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS
REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES
Vol. 2, No. 1, (Enero 2018), 60-73 ISSN 2550-6730

[5] Schneider Electric México. *Ciudades Inteligentes: Industria e Internet de las Cosas*. es-MX. Oct. de 2015.

[6] *Sostenibilidad, Smart Cities y çiudadanos sensores.*^{en} *España - OpenMind*.

[7] *Grupo Temático sobre Ciudades Inteligentes y Sostenibles*. es-ES.