

EXPERIENCIA CON SENSORES PARA EL SEGUIMIENTO DE PIEZAS DE HARDWARE EN UN CENTRO DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

Javier Díaz¹, Viviana Ambrosi², Néstor Castro³, Jorge Bellavita⁴, Ezequiel Tomas Moreno⁵.

Introducción:

La contaminación que provoca la basura electrónica y su toxicidad para la salud se ha tornado un problema para todos los sectores de la comunidad y una gran preocupación para organismos nacionales e internacionales tales como Gobiernos, ONGs y Universidades, que han comenzado a establecer un compromiso serio para intervenir sobre el tema¹.

La generación de residuos electrónicos registra un crecimiento vertiginoso. Según un informe de Naciones Unidasⁱⁱ para el año 2018 Argentina generará más de 343.000 Toneladas de RAEE, y más de 7 Kg. por habitante por año. En 2014 con 298.000 Toneladas se encontraba en tercer lugar en Latinoamérica luego de Brasil y México.

Por ello, es importante la búsqueda de distintas soluciones que permitan mitigar los efectos adversos y contribuyan a mejorar los procesos en un Centro de Gestión de Residuos Electrónicos o en un Centro de Reacondicionamiento de Computadoras, como es el caso del Programa E-Basuraⁱⁱⁱ de la UNLP^{iv}.

El presente artículo describe como Internet de las cosas y la identificación por radiofrecuencia pueden ser utilizados para automatizar el seguimiento de piezas de hardware provenientes del equipamiento informático en desuso o de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) durante la recepción, acopio, clasificación, desmontaje, reparación, molienda, reutilización, valorización, donación o disposición final de los elementos no reaprovechables, entre otros.

El Programa E-Basura es un proyecto de extensión universitaria que desde el año 2009 implementa una plataforma de trabajo que atiende la problemática de los RAEE en la provincia de Buenos Aires. Contribuye a reducir la brecha digital por reutilización, y donación de equipamiento informático. Colabora con el medio ambiente protegiendo los recursos naturales

¹ LINTI, Facultad de Informática, UNLP, jdiaz@unlp.edu.ar

² LINTI, Facultad de Informática, UNLP, Profesional Principal CIC, vambrosi@info.unlp.edu.ar

³ LINTI, Facultad de Informática, UNLP, ncastro@isis.unlp.edu.ar

⁴ LINTI, Facultad de Informática, UNLP, jbellavita@info.unlp.edu.ar

⁵ LINTI, Facultad de Informática, UNLP, Becario de Entrenamiento CIC, emoreno@linti.unlp.edu.ar

no renovables y envía a disposición final segura aquellos elementos inutilizables, evitando así su estadio final en quemas y basurales. Además, promueve y fomenta el desarrollo de capacidades Green IT entre los estudiantes y en la sociedad, los cuales son concientizados sobre los graves problemas a la salud y al ambiente que pueden llegar a generar este tipo de residuos. Docentes, alumnos, investigadores y becarios trabajan en pos de este logro, e invitan a la sociedad en su conjunto para que donen equipamiento en desuso, los cuales luego de ser reacondicionados son entregados en donación a los sectores más desfavorecidos de Argentina, a los efectos de reducir la brecha digital y social.

Por otro lado, durante el 2017, se pondrá en marcha una Planta Piloto Experimental para Centros de Gestión de Residuos Electrónicos a partir de la firma de un convenio cooperación internacional con la International Telecommunication Union (ITU), la UNLP y el Programa E-Basura. La ITU es un organismo especializado de Naciones Unidas para las Tecnologías de la Información y la Comunicación – TIC. La misma donará equipamiento específico para su puesta en funcionamiento y colaborará en la mejora continua de los nuevos procesos y los que ya se encuentran en ejecución. Entre los mismos se recibirán equipos que permitirán mantener la confidencialidad de la información contenida en los medios de almacenamiento magnéticos, contribuyendo con el resguardo de la información de las computadoras recibidas en donación de organismos públicos, instituciones privadas y de particulares.

Objetivos:

Uno de los objetivos y desafíos que se plantea en la operatoria diaria es mejorar el flujo de trabajo interno, pero además poder realizar un seguimiento del estadio de los discos rígidos durante las etapas que van desde el ingreso, desmontaje, testeado, reparación, almacenamiento, borrado seguro no destructivo, destrucción por desmagnetización o trituración, reutilización, donación (como parte de una computadora) o su disposición final segura. Se plantea, además, la necesidad de maximizar la eficiencia, disminuir el consumo energético, reaprovechar recursos y minimizar el impacto ambiental generado por las Tecnologías de la Información y la comunicación (TIC).

Metodología:

La identificación por radio frecuencia (RFID)^v es una tecnología utilizada para almacenar y recuperar de forma remota datos de pequeños objetos llamados “tags-RFID”. Estos contienen una antena que permite recibir y responder consultas provenientes de un lector RFID.

Un sistema de RFID consiste de dos componentes principales: tags (etiquetas) y lectores. Un tag (también conocido como transpondedor o transceptor) es un dispositivo pequeño equipado con un microchip que contiene datos y una antena. Hay dos tipos de tags; activos y pasivos. Los tags pasivos no requieren fuente de energía propia y son mucho más comunes. Las señales de radiofrecuencia entrantes inducen una corriente eléctrica en la antena, lo suficientemente potente para alimentar el circuito del tag y enviar una respuesta. Debido a restricciones en la alimentación energética integrada, los tags pasivos tienen un rango relativamente corto de operación (desde cerca de 10 milímetros hasta alrededor de 5 metros, pero típicamente unos pocos centímetros.) y sólo pueden transmitir una cantidad limitada de información. Sin embargo, la ausencia de fuente de energía propia les da a los tags pasivos su principal atractivo comercial, ya que pueden ser muy pequeños en tamaño, de bajo costo y una vida útil prácticamente ilimitada.

Los tags activos funcionan de manera similar a sus contrapartes pasivos, con la excepción que tienen su propia fuente de energía y por lo tanto rangos más largos de funcionamiento (del orden de decenas de metros) y también mayor memoria. Naturalmente, al incorporar fuente de energía, los tags activos son más grandes y costosos que los pasivos.

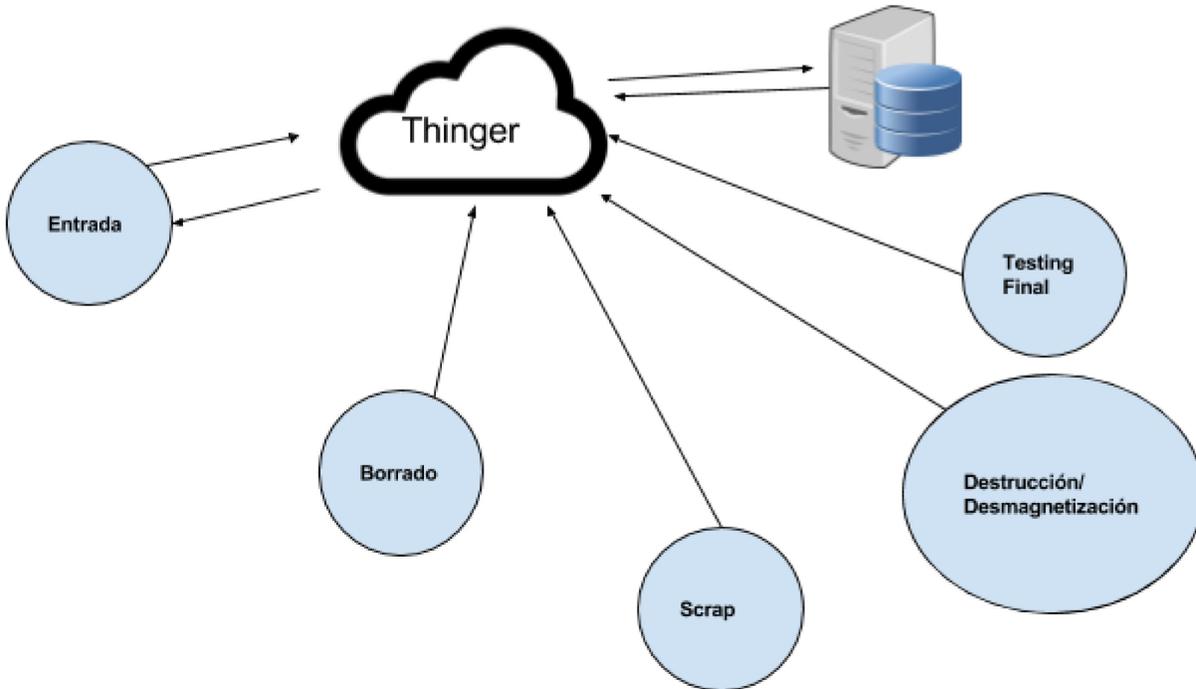
Por otro lado, es necesario contar con un servicio que permita interconectar los módulos de lectura de RFID. Para ello fue seleccionada "*Thing*", una plataforma gratuita y de código abierto para Internet de las Cosas que proporciona una infraestructura de nube (Cloud) escalable lista para usar para conectar cosas. La misma permite a empresas y a organizaciones que puedan comenzar a controlar sus dispositivos desde Internet en cuestión de minutos, sin preocuparse por la infraestructura necesaria en la nube^{vi}. Mediante esta plataforma, se pueden interconectar sistemas de microcontroladores programables, sensores y actuadores en el Cloud.

Esta plataforma fue elegida para la pruebas debido a que es Open Source, posee buena documentación, provee una interfaz amigable, y permite una configuración muy simple para el conexionado en comparación con otras soluciones de Cloud del mercado. Además de estas ventajas provee su servicio mediante internet, y posibilita crear una infraestructura de Cloud local montando un Servidor en la red local virtualmente sin restricción en la cantidad de equipos conectados.

El desarrollo de un sistema de seguimiento con RFID plantea una problemática cuando se estudia su aplicación en medios de almacenamiento magnéticos. Debe ser considerada la posible interferencia del campo magnético del lector de RFID en los platos / cabezas lectoras del disco rígido.

De acuerdo a la bibliografía consultada^{vii}, utilizando tags y lectores de baja frecuencia (125khz), se encontró que puede haber una leve interferencia en la corriente de los cabezales durante el funcionamiento del disco, dependiendo de la distancia del lector de RFID con respecto a los cabezales, entre otros parámetros. En el presente proyecto, si bien se utilizan tags de alta frecuencia (13,56mhz), se tiene en cuenta dicho antecedente tomando la precaución de alejar lo máximo posible el lector de RFID de los cabezales y platos del disco y, evitando leer el tag mientras el disco está en funcionamiento. Pero se continuará evaluando si se presentan problemas en los medios magnéticos durante la implementación.

Uno de los objetivos de la presente experiencia es optimizar el control interno del inventario en Centros de Gestión de Residuos Electrónicos o en Centros de Reacondicionamiento de Computadoras, como es el caso del Programa E-Basura de la UNLP. De acuerdo a las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)^{viii} para Centros de Almacenamiento de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, se sugiere realizar un sistema de seguimiento interno de corrientes de materiales utilizando RFID. Por ello se propone el siguiente diseño: En cada estación de trabajo se dispondrá un microcontrolador programable “*nodeMCU*” con Wi-Fi y un módulo para leer tags de RFID (RC522)^{ix}. Todos estos *nodeMCU* estarán conectados a un Servidor Local corriendo un Cloud local de “*Thinger*”, y una aplicación Web que mantendrá una conexión a una base de datos (BD) que permitirá registrar los datos de los elementos ingresados [Fig. 1].



1

Fig. 1 – Diseño

Para el funcionamiento del sistema se requiere que en el “Sector de Entrada” sean dados de alta, mediante la aplicación Web, los datos del material recibido. Luego que se asocie al equipamiento el UID (número de serie) de un tag de RFID. Posteriormente, este tag deberá ser escaneado en cada sector/estación de trabajo por la que pase durante la operatoria diaria en el Centro. De esta forma se tendrá un seguimiento interno del equipo/componente con un registro de fecha y hora de los eventos en los que cambia de sector de trabajo. Esto permitirá conocer su estado en todo momento y su ubicación final brindando la trazabilidad. Por otro lado, basado en los datos a ser recolectados, el sistema podría emitir distintas alertas, como la falta de elementos en stock, la ‘desaparición’ de equipos o alcanzar cupos máximos de acopio que disparen acciones como la valorización, el retiro por una empresa de disposición final segura o las donaciones, por ejemplo.

En el caso de los discos rígidos, y más si se brinda un servicio de destrucción de la información del medio de almacenamiento es fundamental poder garantizar la secuencia segura y su trazabilidad. El principal atractivo del sistema planteado es que puede proveer trazabilidad a los discos duros, que son desde el punto de vista de la seguridad de la información, el material más sensible que se utiliza en El Programa E-Basura. La reutilización de los discos rígidos

previo a la donación de un equipo informático requiere varias acciones que van desde su puesta a punto hasta mantener la confidencialidad de la información. Por ello, en el caso puntual de los medios de almacenamiento se presenta la necesidad de realizar un seguimiento del estado de los discos rígidos durante las etapas de ingreso, desmontaje, reparación, borrado seguro, destrucción, reutilización, donación o disposición final.

Ejemplo de flujo de trabajo para un disco duro a ser reutilizado:

- Ingresará la PC que tiene el disco por el Sector de Entrada, se cargarán los datos.
- Pasará la PC al Sector de Testeo, donde se verificará el funcionamiento de la PC que lo contiene y se quitará el disco asociándole un tag.
- Pasará el disco al Sector de Borrado Seguro y se realizará la higienización del medio de almacenamiento de forma no destructiva.
- Pasará el disco al Sector de Testeo final como parte de una computadora a ser verificada para su posterior donación, en este punto el tag se desasociará del disco y podrá ser reutilizado.

Ejemplo de flujo de trabajo para un disco duro que debe ser destruido por solicitud del donante:

- Ingresará la PC que tiene el disco por el Sector de Entrada, se cargarán los datos.
- Pasará la PC al Sector de Testeo, donde se verificará el funcionamiento de la PC y se quitará el disco asociándole un tag.
- Pasará el disco al Sector de Desmagnetización / Destrucción, donde se realizará la destrucción física del medio de almacenamiento y se desasociará el tag para poder reutilizarlo.
- Pasará el disco al Sector de Scrap, para ser retirado por un Operador de RAEE con la respectiva certificación ambiental.

El proyecto se desarrollará en 3 etapas. La primera etapa del proyecto, descrita en el presente artículo, está destinada a conectar un módulo *nodeMCU* con un sensor de RFID al Cloud de Thingier para monitorear desde ahí su funcionamiento. Estas conexiones deberán luego ser replicadas en cada estación de trabajo de acuerdo al diseño del Centro. En la segunda etapa se conectarán los *nodeMCU* restantes y el Arduino a un Cloud local de Thingier para probarlos desde sus respectivas estaciones de trabajo/sectores dentro del Centro. En la última etapa se desarrollará una aplicación Web en lenguaje PHP que almacenará y procesará los datos de seguimiento de los equipos / componentes de HW en una Base de Datos *mysql*.

Desarrollo y resultados:

Para las pruebas se utilizó un microcontrolador programable *nodeMCU*”, como el que se observa en el centro de la Fig. 2. Un módulo lector-escritor de RFID RC522 a la izquierda en la Fig. 2., y dos tags de RFID pasivos “mifare” de 1Kb y 13,56MHz de frecuencia ubicados a la derecha de la Fig. 2.



Fig. 2 – Dispositivos utilizados

Se realizó la conexión de los dispositivos a través de la respectiva configuración de los pines. Los pines del *nodeMCU* se conectaron con la placa RC522 de la siguiente forma:

- El pin D3 del *nodeMCU* con el pin RST del módulo RC522.
- El pin D4 del *nodeMCU* con el pin SS/SDA del RC522
- El pin D5 del *nodeMCU* con el pin SCK del RC522,
- El pin D6 del *nodeMCU* con el pin MISO de RC522
- El pin D7 del *nodeMCU* con el pin MOSI del RC522
- El pin GND y 3v del *nodeMCU* con el GND y 3.3v del RC522 respectivamente para la alimentación energética

Estas conexiones permiten transmitir la alimentación eléctrica que recibe la placa programable al lector de RFID (conexiones de 3,3v y GND) y establecer la comunicación mediante un bus del estándar SPI (Serial Peripheral Interface). El pin SCK transmite el clock del maestro al esclavo, el pin MOSI (Master Out Slave IN) transfiere datos del maestro al esclavo, y MISO (Master In Slave Out) envía datos del esclavo al maestro). El pin SS/SDA (Slave Select) permite seleccionar con que dispositivo, entre varios en el bus, se realiza la comunicación^x. Este esquema de conexiones, en combinación con la definición en el código de las constantes SS_PIN (define en que pin del nodeMCU se conectó el pin SS/SDA del RC522) y RST_PIN (define en que pin del nodeMCU se conectó el pin RST del RC522) permiten el funcionamiento del lector RFID mediante la librería MRFC522.h. La siguiente imagen (Fig. 3) muestra el resultado final de la configuración:

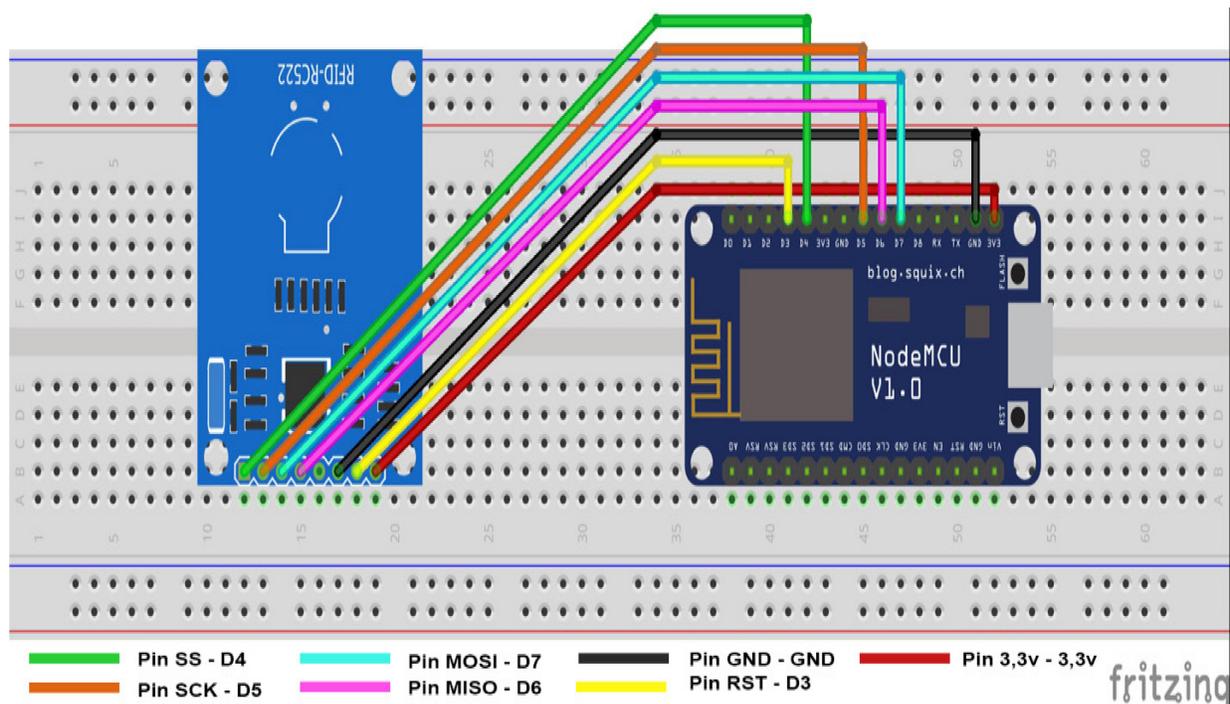


Fig. 3.a – Pines de conexión

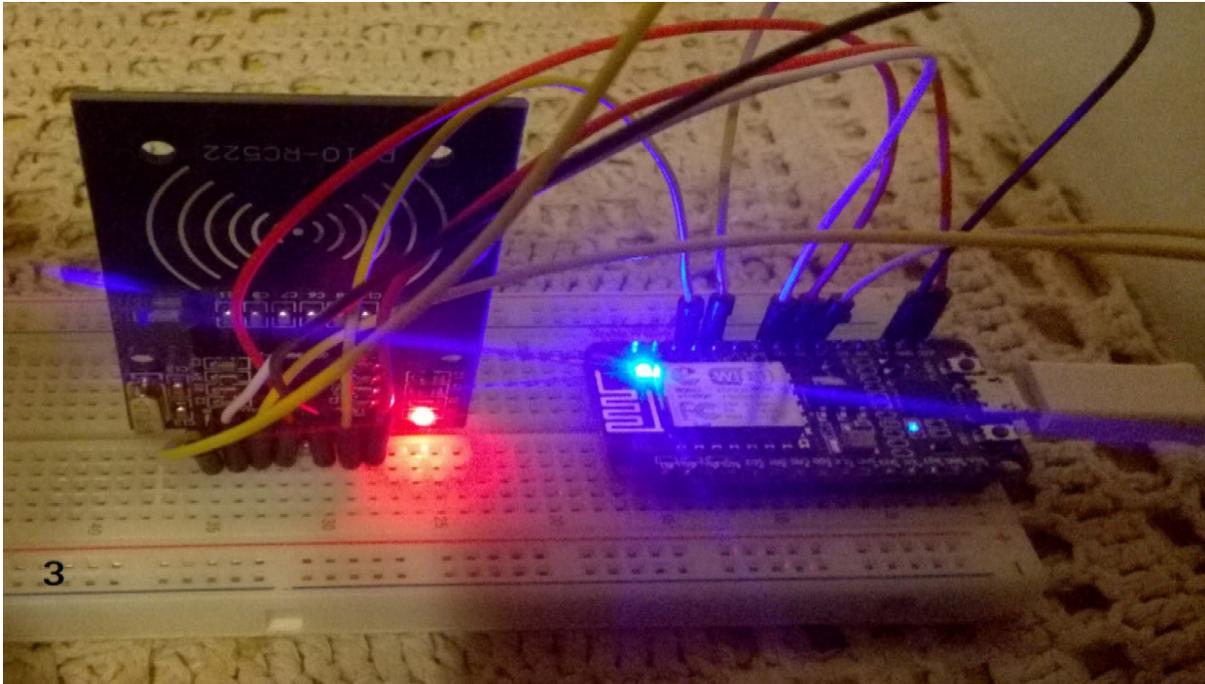


Fig. 3.b – Pines de conexión

Realizada la conexión de éste hardware se debe proceder a su configuración para leer y grabar información en la nube de Thingier. Para realizar esta tarea fue necesaria la creación de una cuenta en la plataforma Thingier. Fue utilizada una cuenta gratuita la cual permitió realizar pruebas pero con ciertas limitaciones en la cantidad de equipos conectados.

Posteriormente fue necesario dar de alta los dispositivos, asignarles un identificador (ID) y una credencial. La misma funciona como contraseña de “texto plano” que permite identificar al dispositivo en la nube de Thingier. Luego se requiere configurar al controlador programable con estos datos subiendo el respectivo código de programa.

Si bien se encuentran en internet varias soluciones para conectar un sensor de RFID a Arduino, y algunas para conectar el módulo RFID a nodeMCU, y por separado también soluciones para conectar el nodeMCU y transferir datos a la nube de Thingier, no se ha encontrado un proyecto con documentación fácilmente accesible en el que se hayan integrado, es decir conectado nodeMCU con RC522 y Thingier, por lo que este proyecto constituye un aporte al tema, probando además el uso de las librerías.

Así, el código programado [Fig. 4] debe ser subido al controlador programable. El mismo inicializará la conexión con Thingier y el módulo lector de RFID. En el bucle principal del código se espera por un tag RFID y guardando su UID en una variable que, gracias a las

configuraciones iniciales puede ser leída desde Thingy (la sentencia thing[“RFID”] >> outputValue(content); en la línea 23).

```
1 #include <ESP8266WiFi.h>
2 #include <ThingyESP8266.h>
3 #include <SPI.h>
4 #include <MFRC522.h>
5 #define RST_PIN      D3 //Pin reset del RC522 conectado al D3 de nodeMCU
6 #define SS_PIN      D4 //Pin sda del RC522 conectado al D4 de nodeMCU
7 //Parámetros de la conexión a thingy
8 #define user "emoreno"
9 #define device_Id "NODEMCU"
10 #define device_credentials "*****"
11 ThingyESP8266 thingy(user, device_Id, device_credentials);
12 MFRC522 mfrc522(SS_PIN, RST_PIN);
13 // WiFi connection parameters
14 const char WiFi_ssid[]="*****"; //SSID de la red wi-fi
15 const char WiFi_password[]="*****"; //Password de la red wi-fi
16 String content;
17 void setup() {
18   Serial.begin(9600);
19   while (!Serial);
20   SPI.begin();
21   mfrc522.PCD_Init();
22   thingy.add_wifi(WiFi_ssid, WiFi_password);
23   thingy[“RFID”] >> outputValue(content);
24 }
25 void loop() {
26   thingy.handle();
27   if ( ! mfrc522.PICC_IsNewCardPresent()) { //Verifica la presencia de un tag de RFID
28     return;
29   }
30   if ( ! mfrc522.PICC_ReadCardSerial()) { //lee los datos del tag
31     return;
32   }
33   content= ""; //Buffer para los datos del tag
34   byte letter;
35   for (byte i = 0; i < mfrc522.uid.size; i++)
36   {
37     content.concat(String(mfrc522.uid.uidByte[i] < 0x10 ? " 0" : " "));
38     content.concat(String(mfrc522.uid.uidByte[i], HEX));
39   }
```

4

Fig. 4 – Código en el controlador programable

Durante la primera etapa de la presente experiencia se realizaron las pruebas de conectividad internas en el Centro [Fig. 5] verificando que la placa se conectó a la red, que los datos leídos desde los dispositivos viajaron correctamente a la nube de Thingy y que la cercanía del tag con el disco no afecta la lectura del mismo. Se probó leer el tag de dos formas: primero, estando adherido al disco y segundo separado aproximadamente a 3 cm (la longitud de la cadena que lo une al disco). Se comprobó que la lectura sólo funciona correctamente en el segundo caso, cuando el tag no está sobre una superficie metálica.

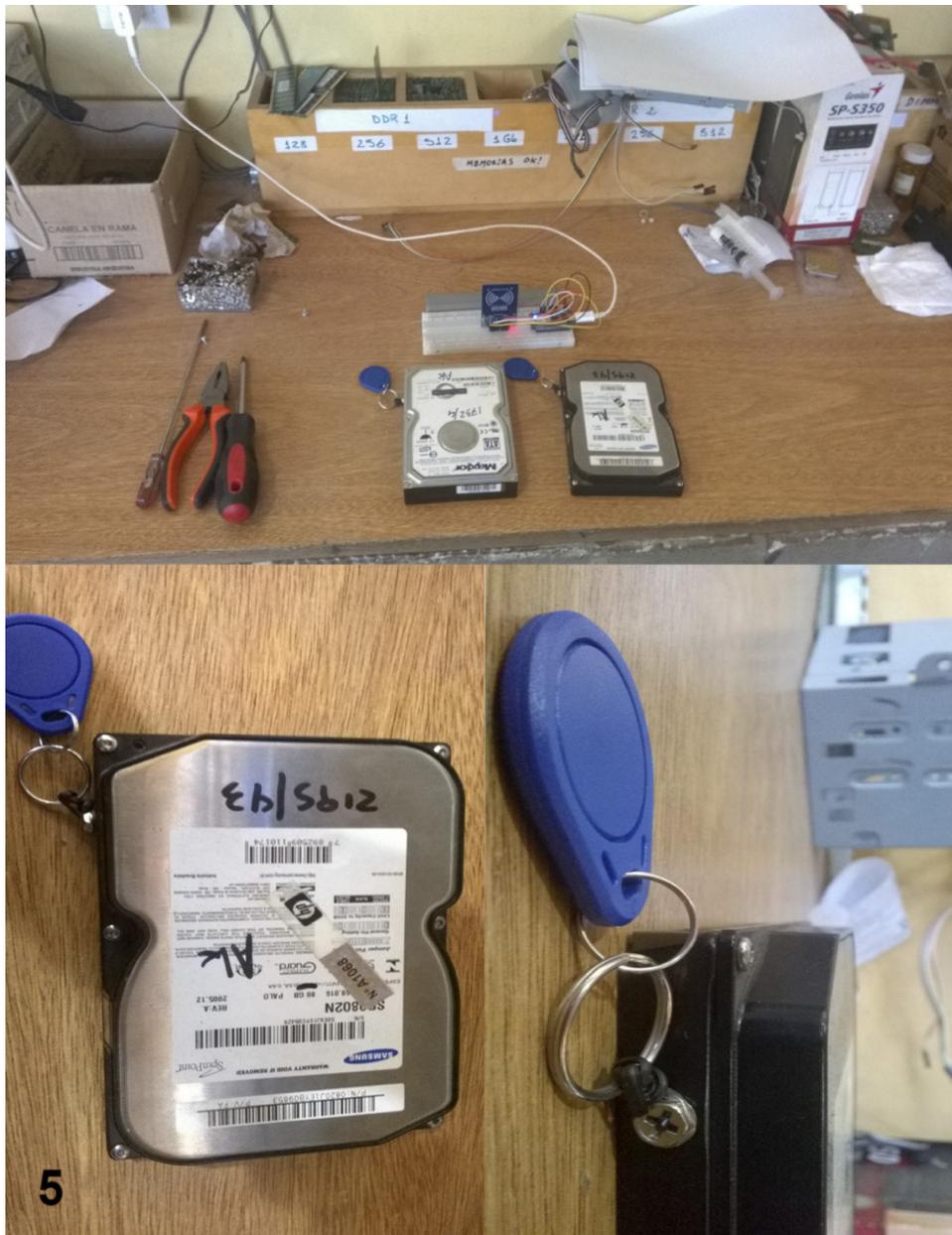


Fig. 5 – Pruebas del sistema en el taller de e-basura

Ventajas de armar el sistema contra adquirir una solución ya implementada:

- El precio de mercado de la placa más el sensor de RFID es menor que un producto ya armado para seguimiento de piezas de tipo comercial.
- El código utilizado es abierto y altamente configurable a diferencia de una solución comercial.
- El módulo nodeMCU es un proyecto Open Source^{xi}, y cuenta con gran documentación en Internet, y las librerías utilizadas de Thinger, SPI, y del módulo RC522 también son abiertas.

-El proyecto es escalable en dos aspectos. Escalable en cuanto a que puede replicarse en todas las estaciones de trabajo con un código casi idéntico y escalable en cantidad de sensores que se pueden agregar a la placa, ya que le quedan pines libres luego de conectar el sensor de RFID. Por ejemplo se podría agregar un sensor de proximidad para monitorear el tiempo de trabajo en las estaciones.

-El consumo energético del módulo es mucho menor comparándose con la utilización de una PC de escritorio para la carga de datos de seguimiento. Además puede configurarse en el código del módulo el intervalo entre dos lecturas sucesivas de datos, e incluso ponerse al módulo en un estado de bajo consumo de energía^{xiii} entre lecturas sucesivas y envío de datos.

-El uso del nodeMCU es una ventaja con respecto a otras placas (por ej. un Arduino UNO) porque incluye un módulo WiFi indispensable para esta aplicación. Tiene una menor capacidad de procesamiento y menor cantidad de pines lo que se adapta mucho mejor al proyecto en desarrollo, ya que no se necesita una gran capacidad de cómputo ni demasiados pines de conexión, por lo que se hace un mejor aprovechamiento de recursos.

Conclusiones:

Además de las ventajas de armar el sistema contra comprar una solución ya implementada que fuera mencionada en el apartado anterior, podemos mencionar que:

Es posible utilizar IOT para hacer un seguimiento interno del inventario del hardware y de materiales a valorizar en un Centro de Reciclaje utilizando sensores.

Si bien durante las etapas sucesivas, se espera seguir comprobando este punto, el sistema desarrollado puede aplicarse al seguimiento de discos duros sin producir daños a la información que estos contienen.

La simplicidad de configuración provista por Thinger permite escalabilidad, una vez realizada la configuración del hardware para una estación de trabajo es muy fácil llevarlo al resto de las estaciones y ponerlo en funcionamiento en el Centro de Reciclaje integrándolo a una aplicación Web.

El sistema podría extenderse para ser utilizado con otro tipo de tags o etiquetas adhesivas. Si bien la Tecnología de la Información y la Comunicación pueden generar un impacto ambiental negativo como es por ejemplo la generación de residuos electrónicos, las mismas TIC pueden ser utilizadas para mitigar sus propios efectos adversos.

El presente diseño, además de mejorar la eficiencia operacional contribuye con el Desarrollo Sostenible, ya que se reduce el gasto energético y económico, evitando tener una computadora en cada estación de trabajo para realizar el mismo seguimiento de inventario.

Bibliografía:

- ⁱ TIC Sostenibles para la educación y concienciación, Javier Díaz, Viviana M. Ambrosi, Nestor Castro, Damián Candia, Edgar F. Vega, Anahí S. Rodríguez, WICC 2016
- ⁱⁱ eWaste en América Latina, Análisis estadístico y recomendaciones de política pública. NOVIEMBRE 2015 <https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2015/11/gsma-unu-ewaste2015-spa.pdf>
- ⁱⁱⁱ Programa E-Basura <http://e-basura.linti.unlp.edu.ar>
- ^{iv} Universidad Nacional de La Plata, <http://unlp.edu.ar>
- ^v ITU-T Lighthouse Technical Paper - "RFID Opportunities for mobile telecommunication services" - Christoph Seidler, Intern (TSB).
- ^{vi} <https://thinger.io/> <http://docs.thinger.io/>
- ^{vii} EFFECT OF RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION ON RECORDING HEAD IN WRITING PROCESS AT 125 KHZ LOW FREQUENCY - APHAIPHAK PRATOOMTHIP , ANAN KRUESUBTHAWORN , CHIRANUT SA-NGIAMSAK and APIRAT SIRITARATIWAT - Department of Electrical Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand .
- ^{viii} ITU-T Series L TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU Supplement 4 (04/2016)
- ^{ix} Usuario 'TheCircuit', "MFRC522 RFID Reader Interfaced With *nodeMCU*" <http://www.instructables.com/id/MFRC522-RFID-Reader-Interfaced-With-nodeMCU/>
- ^x Arduino. A Brief Introduction to the Serial Peripheral Interface (SPI) <https://www.arduino.cc/en/Reference/SPI/>
- ^{xi} Linux and Open Source Hardware for IoT - <https://www.linux.com/news/linux-and-open-source-hardware-iot>
- ^{xii} Power saving techniques for microprocessors - <http://www.gammon.com.au/power>