

Model in an ad-hoc network for data acquisition in sensor networks

Julian F. Latorre. Joaquín F. Sánchez. Henry Zarate. Jorge E. Ortiz

Resumen—In this article we publish a description of the research proposal from the TOLON National University research group. The end of this proposal is the implementation of an Ad-hoc network given Raspberry Pi devices. For the proposal it is taken into account the necessities and challenges of designing nodes Ad-hoc network and what should be the way forward. Furthermore, the creation of a management system that helps to improve the performance of the devices needed to create a domain specific programming language (DSL) which could foresee the needs of an Ad-hoc network planet. A configuration of a test device and data transfer between two nodes is described.

Keywords—Redes Ad-hoc, Network Sensor, performance

I. INTRODUCCIÓN

Para dar una solución a problemas que se presentan en comunidades agrícolas de varias regiones del país, en términos sociales y económicos, la implementación de tecnologías resulta pertinente. Estas tecnologías, dado el contexto geográfico y de infraestructura de la ruralidad deben contar con algunas consideraciones particulares tales como: fácil acceso, bajo costo, bajo consumo energético, administración y configuración mínima. Para ello, se ha pensado en proponer la utilización de sistemas embebidos como es el caso del Raspberry Pi[1], el cual constituye una opción realmente interesante para los propósitos mencionados. Con un sistema embebido de este tipo, se pueden diseñar nodos los cuales generen información acerca de las características propias de cultivos, también puede interconectarse fácilmente tanto a una red *Wi-Fi* (IEEE 802.11x) o *Ethernet* local, así como tener la posibilidad de hacerlo hacia Internet bien sea por estos mismos canales o incluso mediante una conexión a la red de telefonía celular 3G y enviar de manera simple la información recolectada. Estos elementos cuentan en su arquitectura con sub-sistemas entrada/salida de propósito general fácilmente configurables para actuar de la mano con sistemas sensores, sub-sistema de almacenamiento[2], implementación de protocolos TCP/IP y una aplicación capaz de acceder a los recursos de bajo nivel del sistema embebido. De manera que se cuenta con una herramienta flexible y configurable, en donde la implementación de la filosofía de una red *Ad-hoc* puede ser colocada sin limitaciones y conseguir grandes beneficios con redes de sensores.

Una vez que se tenga la concepción del funcionamiento de los nodos bajo la arquitectura *Raspberry*, se abre la puerta a varios aspectos de configuración para dar un buen rendimiento a la red. Gracias a que el sistema operativo del dispositivo es abierto, se propone la utilización de un concepto de red *Ad-hoc* para dar el soporte a la funcionalidad

que se esta buscando con la implementación de este tipo de red. Uno de los aspectos importantes en las soluciones de este tipo es verificar el comportamiento y el desempeño de los dispositivo que hacen parte del sistema. Debido a las condiciones inalámbricas en las que se trabajan en la redes *Ad-hoc*, el ruido que interviene en los enlaces de los nodos es un factor de alto impacto en el rendimiento[3], [4]. De manera que la posibilidad de que la información no se envíe de manera adecuada es alta. Lo que se busca es considera el rendimiento con la cantidad de información o paquetes que se transmiten y como las condiciones del ambiente influyen en este proceso. Las mediciones se hacen sobre el protocolo TCP quien es el protocolo que asegura que la información sea enviada de manera adecuada [5].

La siguientes secciones de este artículo son así: en la sección 2, se describe la arquitectura del dispositivo que se utilizara como nodo, en la sección 3 se muestra como es la configuración y sus medidas de desempeño de los nodos de la red. Finalmente en la sección 4 se dan las conclusiones.

II. ESQUEMA DE MOTIVACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN

Uno de los problemas con los cuales se trabaja en la cadena logística de abastecimiento de alimentos en algunas regiones del país, es la forma en la cual se están cualificando los valores de pesos y medidas de los alimentos cosechados. Hay varios aspectos que influyen en esta situación, por ejemplo, las herramientas de medición son costosas y los operadores logísticos no pueden tener a su disposición varias de estas herramientas. Una solución que se viene dando en ámbito de las telecomunicaciones, es la adecuación de la nube para el almacenamiento de datos de cualquier tipo. Ahora bien, el problema que se presenta es la consecución de los datos hacia la nube. Las tendencias en telecomunicaciones llevan hacia el camino del internet de las cosas (IoT). Este concepto es importante en la medida que se cuente con las plataformas indicadas para conectar cosas a la nube [6], [7], [8].

Teniendo en cuenta las áreas geográficas en las cuales se tiene la producción agrícola, surge el problema de cobertura de las redes de telecomunicaciones, las cuales son el soporte para que se pueda implementar el IoT. De manera que se deben abordar nuevas soluciones para cubrir las necesidades de conectividad. Las soluciones propuestas deben cumplir con características importantes como bajo costo, fácil manejo y flexible para la implementación de servicios. De manera que

el concepto de una red *Ad-hoc* cumple con esas condiciones. Una de las funciones que puede desempeñar la red *Ad-hoc* será la de extender la cobertura de las diferentes soluciones de redes de telecomunicaciones. Por ejemplo realizar la extensión de la red de 3G (UMTS) para que los sensores que este tomado mediciones puedan enviar esta información directo a la nube. Otra solución es que los sensores pueden enviar los datos a un servidor en sitio, y este servidor conectarlo a la nube.

Como se observa, se pueden realizar varias configuraciones utilizando redes *Ad-hoc* como soporte en la comunicación de datos hacia la nube. En la Figura 1, se ha plasmado un modelo que motiva una implementación de una red de sensores, soportada por una red *Ad-hoc*. Para esta implementación se cuenta con dispositivos *Raspberry Pi* [1], los cuales actúan como nodos de la red. Este nodo es el encargado de tomar los datos de los sensores y transmitirlos a un sistema de transmisión de largo rango. El nodo *Raspberry Pi*, tiene características importantes para la consecución de los objetivos de la red de *Ad-hoc*. Su arquitectura permite diseñar módulos de comunicación con prestaciones bajas en potencia requerida y ancho de banda adecuado para la transmisión de los datos. Una de las facilidades de este dispositivo es que se puede configurar desde la capa 4 a la capa 1 del modelo OSI, lo cual garantiza un adecuado manejo de la arquitectura de la red.

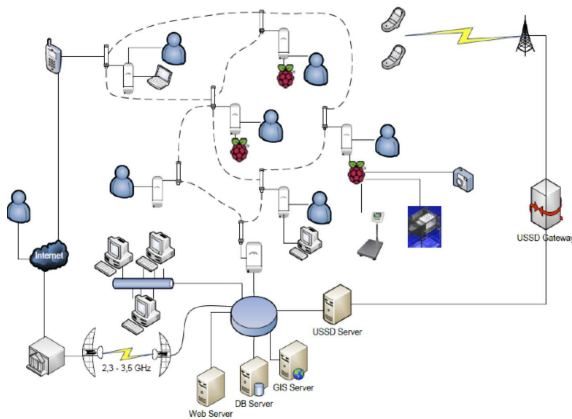


Figura 1. Esquema de motivación

II-A. Funcionamiento modulo Raspberry PI

El modelo se fundamenta en la adecuación de los nodos de una red *Ad-hoc*, pero estos nodos deben cumplir con las características necesarias de una red *Ad-hoc*. Haciendo una revisión en [9] se han definido las siguientes características de este tipo de redes:

- No tienen infraestructura.
- Topología dinámica.
- Limitaciones en la capa física.
- Ancho de banda limitado.
- Variación de las capacidades de los enlaces.

- Energía limitada.
- Escalabilidad de la red.
- Seguridad de la red.

Las anteriores características se pueden ver en la arquitectura del dispositivo *Raspberry*. En esta arquitectura se cuenta con un procesador ARM11, de simple core y arquitectura RISC de 32 bits, una frecuencia de trabajo de 700 Mhz y módulos de comunicación IEEE 802.11x y *bluetooth*. De manera que este dispositivo puede cumplir con las condiciones dadas para un nodo de una red *Ad-hoc*.

La consideraciones sobre la forma en la cual se puede configurar el dispositivo para trabajar con otros nodos sin depender de una infraestructura fija es buena. La configuración se trata de realizar la negociación entre nodos para cambiar los roles predefinidos dependiendo de los cambios dados. El ancho de banda se puede configurar a través de el modulo de comunicación, ya que se tiene la flexibilidad de programar el *kernel* del dispositivo e implementar políticas de transmisión de los datos adquiridos de los sensores. En cuanto a la escalabilidad de la red, los dispositivos pueden conectarse a través de los protocolos de comunicación, ya sea por el IEEE 802.11X o *bluetooth*. De manera que este dispositivo es un candidato ideal para colocar en funcionamiento la red *Ad-hoc*, sobre la cual estarán funcionando los sensores que trabajan en los cultivos agrícolas.

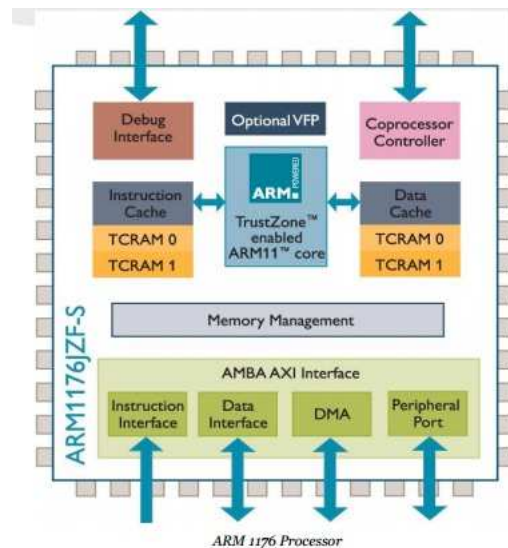


Figura 2. Arquitectura Raspberry

En la Figura 2, se observa un modelo general del dispositivo *Raspberry*, se describen sus principales módulos como el procesador ARM, las interfaces de entrada y salida, también se muestra su modulo de administración de memoria, el cual juega un papel importante para el diseño del nodo de la red *Ad-hoc*. La memoria de este dispositivo será la encargada de guardar las configuraciones y los cambios que se efectúen en la interacción de los nodos de la red.

II-B. Modelo para la red

El modelo que se plantea para la implementación de esta aplicación es un modelo que consta de dos capas jerárquicas. La capa superior es la encargada de colocar los nodos de mayores recursos para agrupar los nodos vecinos. Estos nodos van a tener la función de administrar los recursos de los nodos vecinos y la capa inferior que será la parte en donde lo nodos tiene recursos físicos solo para cumplir con sus objetivos fundamentales, es decir en donde se llevaran a cabo todas la funciones de los sensores de la red.

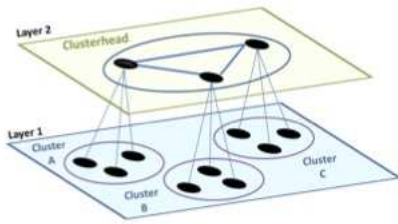


Figura 3. Modelo de capas de nodos

En la Figura 3, se observa las capas que se relacionan a través de las funciones que los agentes tienen programadas. Se espera que la programación de los agentes inteligentes pueda tener un conocimiento del contexto en cual esta el nodo y de esta manera tener mayor información para tomar decisiones respecto a las funciones de la red *Ad-hoc*.

El modelo se basa en la capa inferior, ya que es el contexto en cual los agentes se van a configurar y van a tomar los recursos del dispositivo *Raspberry* para entablar la comunicación en la red *Ad-hoc*. En otras palabras la capa inteligente es la capa superior donde están los agentes y la capa de trabajo, son los dispositivos que conforman los nodos de la red.

II-C. Nodo simulado

Las condiciones dinámicas en una red Ad Hoc también hacen compleja la definición y comportamiento de un nodo dentro de una red de este estilo, por ello se partirá del modelo de un nodo *Ad-hoc* en un ambiente simulado como se observa en la Figura 4. En ella se puede apreciar una adición de parámetros a la de un nodo regular o un host cualesquiera dentro de una red convencional.

Dentro de estos elementos se puede adicionar fuera de los ya conocidos parámetros de movilidad y consumo energético, los cuales limitan el desempeño de la red, procedimientos específico para el manejo de colas, la resolución de direcciones, los modelos de radio propagación y aún más complejo su dualidad de roles, tanto enrutador como cliente dentro de una red *Ad-hoc*.

Dentro de un modelo simulado los nodos actúan como objetos que poseen parámetros definidos dentro de su arquitectura, estos parámetros generan primitivas que se comunican con las abstracciones de las capas de red propias del simulador de

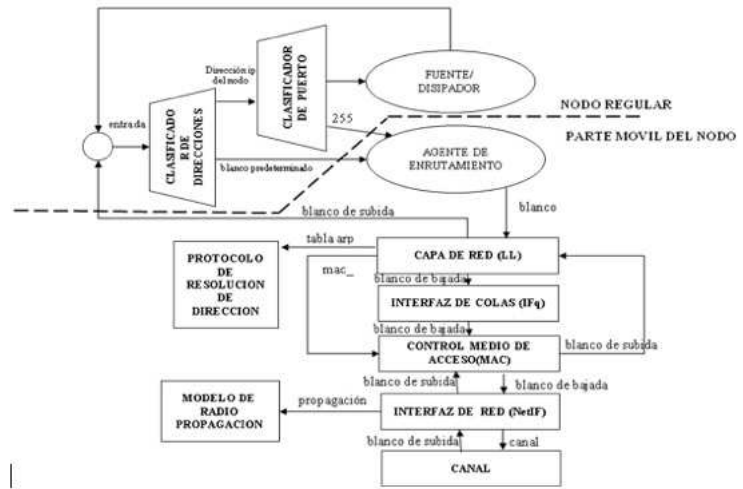


Figura 4. Nodo móvil, estructura de simulación [10]

redes, en este caso Network Simulator 2 NS-2, (La abstracción se conserva en la versión posterior NS-3) dentro del objeto nodo se definen dos instancias principales las cuales son el puerto y el clasificador de direcciones, las instancias indican los atributos del nodo para convertirse en un ente *Ad-hoc*, para ello el nodo asume tres roles importantes los cuales son Nodo Fuente, Nodo Destino o Nodo de Paso.

II-D. Definición del nodo

El modelo formal del nodo esta ligado tanto a la cantidad de recursos disponibles como a su consumo energético y a su modelo de movilidad. En este sentido se tiene que el nodo basado en recursos lo se define como:

$$\sum_{i=0}^n \delta m_n \tag{1}$$

Donde δ es un factor de ajuste del recurso el cual oscila entre 0 y 1 y m el recurso evaluado, para los efectos de este artículo el recurso es el tráfico soportado por el nodo, lo cual redundo en la capacidad para recibir y proveer servicios dentro de la red. Al validarlo dentro del modelo de movilidad se puede tener al nodo como:

$$\sum_{i=0}^n \alpha \delta n_n \tag{2}$$

En este caso α representa la distribución de probabilidad del movimiento del nodo, δ el factor de corrección la cual depende del escenario propio de configuración del nodo, la cual debe ser no determinística por la naturaleza misma del nodo *Ad hoc*. El parámetro m únicamente representa un recurso, para tomar la totalidad del nodo se debe validar el escenario específico a evaluar del nodo. Finalmente el nodo en este caso para el dispositivo *raspberry* debe responder al siguiente esquema dentro de la implementación propuesta, como se ve en la Figura 5

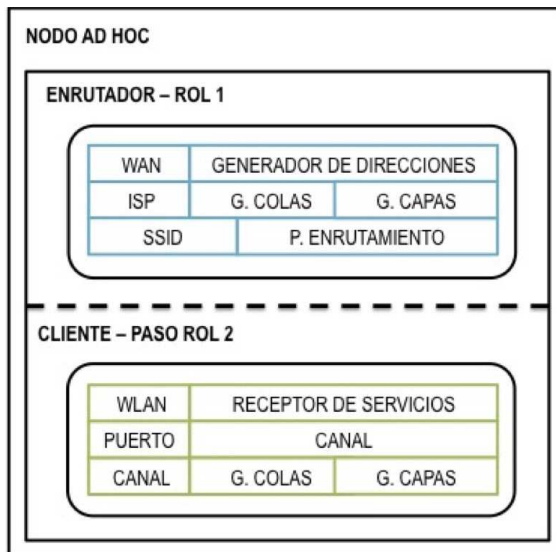


Figura 5. Nodo Móvil Implementación

En la Figura 5 se tiene una división en dos roles, los cuales representan las funcionalidad del nodo de la red, por un lado esta el rol de enrulado, acá se hará la gestión de colas, se definirá el protocolo de enrutamiento y se guardaran los ID, que identifican a los nodos en la red. En el segundo rol, definido como cliente, se encuentra la gestión del canal, la gestión de los servicios que se ofrecen. El reto consiste en proveer al dispositivo físico de la capacidad de auto-configurarse dependiendo de las características de la red. La arquitectura flexible del software y hardware del *Raspberry* permite este tipo de configuración.

III. CONFIGURACIÓN DEL NODO *Ad-hoc*

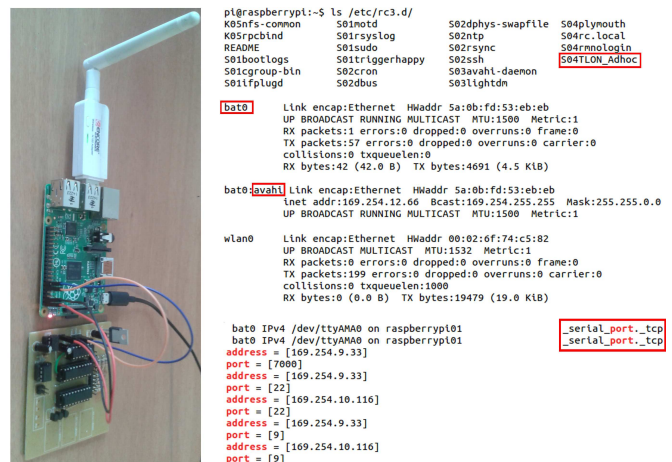
Teniendo en cuenta el modelo propuesto de la sección anterior, el dispositivo *Raspberry Pi*, al actuar como Nodo *Ad-hoc* en la red, ser el recurso físico donde se alojaran y gestionaran de manera dinámica los demás recursos y servicios tanto físicos como lógicos que gobernarán el funcionamiento de la red. Así pues, los siguientes aspectos son de relevancia para el diseño interno y la arquitectura del nodos:

- Conectividad inalámbrica.
- Gestión y administración de recursos energéticos.
- Tolerancia a fallos de conectividad en la comunicación.
- Capacidad de adquisición de datos: precisión, repetitividad
- Manejo de roles

Por otro lado es necesario que el dispositivo nodo, tenga presentes sus variables de entorno, o en otras palabras, conciencia del contexto en el cual esta trabajando. Este concepto es importante, ya que por si solo el dispositivo no podrá realizar esta función.; de manera que la implementación del agente puede contribuir a la configuración del nodo, referente a las funciones que puede desempeñar. A continuación se listan alguna de las funciones básicas que debe soportar el nodo de la red *Ad-hoc*

- Consulta de tablas de enrutamiento
- Consulta de tablas de nodos activos
- Constantes actualizaciones del entorno
- Autonomia
- Auto-configuración

Se ha dispuesto entonces, alistar el dispositivo *Raspberry* bajo la siguiente configuración para el logro parcial de los puntos recién mencionados. En primera instancia, se ha instalado un sistema operativo basado en la versión 3.18+ del Kernel de Linux; seguido a ello, se habilito el modulo de comunicaciones serial UART del dispositivo con el fin de establecer un enlace asíncrono a 9600 baudio con un micro-controlador Texas Instruments de la familia MSP430, el cual es el encargado de realizar la lectura del modulo sensor asociado al Nodo. Así mismo, se inicia en el dispositivo el proceso de gestión de la conectividad inalámbrica mediante un script Bash que auto-reconoce una interfaz WIFI conectada al mismo, para ejecutar sobre ella, una serie de técnicas y protocolos de autoconfiguración, incluido el levantamiento de protocolo B.A.T.M.A.N. [11] y la publicación del servicio de adquisición de datos a los largo de la red utilizando las técnicas de multi-difusión implementadas en Avahi. En la figura 6 se puede apreciar la configuración actual del dispositivo *Raspberry*

Figura 6. Set-up dispositivo *Raspberry*

III-A. Comportamiento del dispositivo

El comportamiento del nodo de la red *Ad-hoc* debe estar diirrigido por tres premisas principales

- Modelo cliente-servidor
- Servidor: manejo de servicios de enrutamiento y direccionamiento
- Cliente: uso de servicios de telecomunicaciones.

Al realizar el establecimiento de la comunicación entre los nodos, el modelo cliente servidor es de vital importancia para la negociación y señalización en el intercambio de información. Sin embargo hay que tener en cuenta que este paradigma puede cambiar debido a las características de una red *Ad-hoc*. Por otro lado el servidor debe ser pensado para

que tenga presente dos funciones principales, el enrutamiento y el direccionamiento. Estas funciones garantizarán el traspaso de información entre los dispositivos. Por último, el cliente es el encargado de prestar los servicios en la red, en otras palabras los nodos cuando se encuentren en el rol de clientes proporcionan los servicios configurados, como envío de la información de los sensores conectados.

III-B. Desempeño esperado del nodo

Es necesario conocer el comportamiento del nodo en términos de su desempeño en la red *Ad-hoc*, este depende del contexto de operación del nodo y en particular, se ha validado el modelo de pérdida de paquetes en una comunicación TCP entre dos nodos en un escenario de campo abierto. Figura 7.

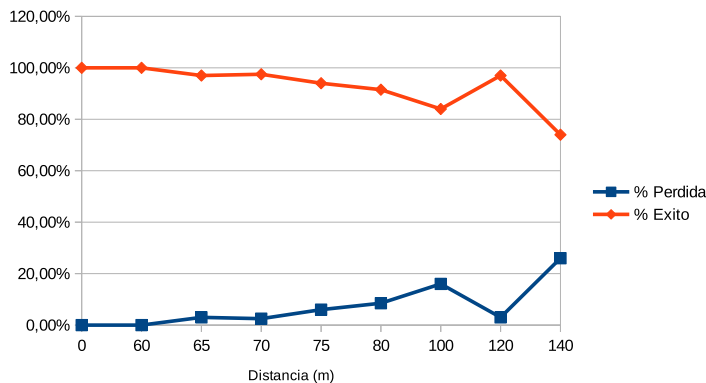


Figura 7. Medición de pérdida de paquetes en una comunicación móvil

En esta prueba se mide el comportamiento de los paquetes transmitidos. Aunque se observa que la comunicación es estable, las pruebas en un ambiente real existirán más interferencias, de manera que el desempeño del nodo debe garantizar una prestaciones similares a las que se muestran en la Figura 8, donde se observa el desempeño de una transmisión entre dos dispositivos *Raspberry*, utilizando la herramienta *iperf* en un ambiente controlado. Como se puede observar el ancho de banda alcanza un valor 18 Kbps. Este valor se puede utilizar para la transmisión de datos de los sensores. Dados estos valores, las acciones de enrutamiento se pueden efectuar de manera más fácil entre los nodos de la red *Ad-hoc*, pero más pruebas en un ambiente abierto serán necesarias para la planificación de los nodos de la red.

IV. CONCLUSIÓN

En este artículo se hace la presentación de un modelo conceptual para la implementación de una red *Ad-hoc* soportada sobre dispositivos *Raspberry*. Se presentan las características relevantes de como se puede realizar a buen termino el modelo planteado y se da una perspectiva de las condiciones que se deben cumplir para el tratamiento de las técnicas en la utilización de nodos de una red *Ad-hoc*. Para complementar el modelo, se hace una contextualización del modelo de un

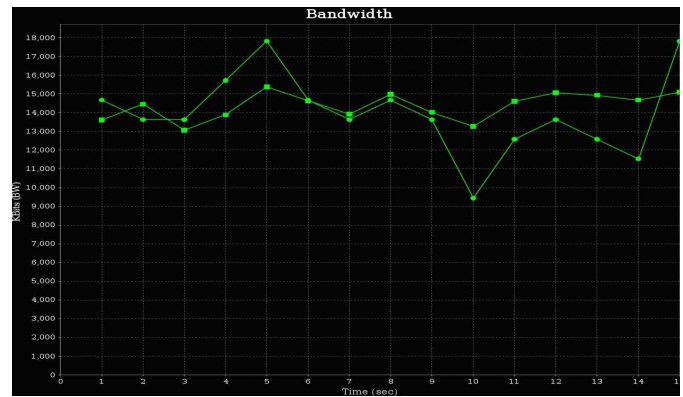


Figura 8. Medición paquetes TCP

nodo de la red. En este diseño se destacan las características relevantes para disponer de la filosofía de la red, además de colocan como bases los términos de los roles de los nodos y su estructura física. Por otro lado se muestran los resultados de una pruebas de conectividad y desempeño que se hacen con los dispositivos *raspberry*, en estas pruebas se obtienen datos relevantes de las capacidades de tasa de transferencia que se pueden alcanzar, en un principio estas tasas de transferencia son adecuadas pero se debe realizar pruebas en ambientes no ideales. En los trabajos futuros se hace una propuesta de un DSL, el cual es una herramienta interesante potencial para la creación, implementación y puesta en marcha de agentes inteligentes sobre los nodos de la red, en este caso sobre los dispositivos *Raspberry*.

REFERENCIAS

- [1] E. Upton and G. Halfacree, *Raspberry Pi user guide*. John Wiley & Sons, 2014.
- [2] J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, "Wireless sensor network survey," *Computer networks*, vol. 52, no. 12, pp. 2292–2330, 2008.
- [3] A. Sardouk, M. Mansouri, L. Merghem-Boulahia, D. Gaiti, and R. Rahim-Amoud, "Crisis management using mas-based wireless sensor networks," *Computer Networks*, vol. 57, no. 1, pp. 29–45, 2013.
- [4] F. H. Fitzek and M. D. Katz, *Mobile Clouds: Exploiting Distributed Resources in Wireless, Mobile and Social Networks*. John Wiley & Sons, 2013.
- [5] H. Balakrishnan, V. N. Padmanabhan, S. Seshan, and R. H. Katz, "A comparison of mechanisms for improving tcp performance over wireless links," *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, vol. 5, no. 6, pp. 756–769, 2007.
- [6] R. F. , *Building Wireless Sensor Networks*. O'Reilly Media, Dec. 2010. [Online]. Available: <http://shop.oreilly.com/product/9780596807740.do>
- [7] J.-C. Cano, C. T. Calafate, M. P. Malumbres, and P. Manzoni, "Redes inalámbricas ad hoc como tecnología de soporte para la computacion ubicua," 2008.
- [8] D. Steinberg and S. Cheshire, *Zero Configuration Networking: The Definitive Guide*, 1st ed. Beijing ; Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Dec. 2005.
- [9] S. Basagni, M. Conti, S. Giordano, and I. Stojmenovic, *Mobile ad hoc networking*. John Wiley & Sons, 2004.
- [10] T. Issariyakul and E. Hossain, *Introduction to network simulator NS2*. Springer Science & Business Media, 2011.

- [11] A. Neumann, C. Aichele, M. Lindner, and S. Wunderlich, "Better approach to mobile ad-hoc networking (batman)," *IETF draft, October, 2008*.