

# Análisis de Generación de Supertramas en MAC 802.15.3

Guillermo Reggiani<sup>1</sup>, Lorenzo De Pasquale<sup>1</sup>, Omar Alimenti<sup>1</sup>, y Guillermo Friedrich<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dpto Electrónica – Universidad Tecnológica Nacional – FRBB  
11 de Abril 461 – Bahía Blanca – Argentina  
{ghreggiani, pasquale, gfried}@frbb.utn.edu.ar, iealimen@criba.edu.ar

**Resumen.** En redes inalámbricas de área personal (WPAN) como la 802.15.3, la asignación del tiempo de uso del canal y la duración del tamaño de la supertrama son fundamentales para mejorar la calidad de servicio. El controlador de la red (PNC) es el encargado del temporizado de los dispositivos de la red. En sistemas de tiempo real (STR), la asignación de pedidos por CAP (Contention Access Period) genera una indeterminación en el uso del canal. En cambio el mecanismo por MCTAs (Management Channel Time Allocation) es apropiado para STR, ya que brinda una ranura de tiempo por cada dispositivo para que éste realice los pedidos. En este trabajo se propone el análisis del esquema de generación de supertrama con extensión variable propuesto en [1], y un esquema de extensión fija para distintos tipos de entornos, saturados y no saturados. Las simulaciones se efectuaron bajo el esquema de disciplinas de prioridades dinámicas: EDF.

**Palabras Claves:** Supertrama, WPAN, Redes Inalámbricas, Diagramación, Rendimiento, Optimización, Tiempo de Respuesta.

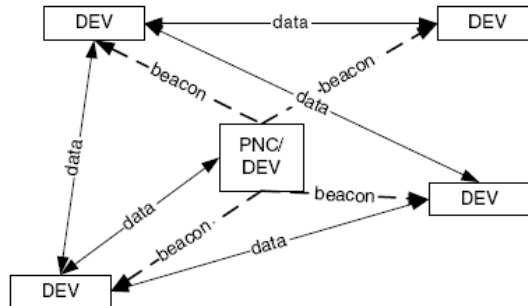
## 1 Introducción

El estándar 802.15.3 [2] especifica los requerimientos en la capa física (PHY) y el control de acceso a medio (MAC) en redes inalámbricas (“wireless”) de área personal (WPAN), que fueran capaces de transmitir datos a alta tasa de transferencia, de manera eficiente, con baja complejidad, bajo costo y mínimo consumo.

El estándar trabaja dentro de un sistema de comunicación inalámbrica de datos, denominado “piconet”, el cual permite que un número independiente de dispositivos (DEVs) se comuniquen unos con otros. Una piconet se diferencia de otros tipos de redes en que las comunicaciones son normalmente confinadas en un área pequeña alrededor de una persona u objeto que típicamente cubre al menos 10 metros en todas las direcciones.

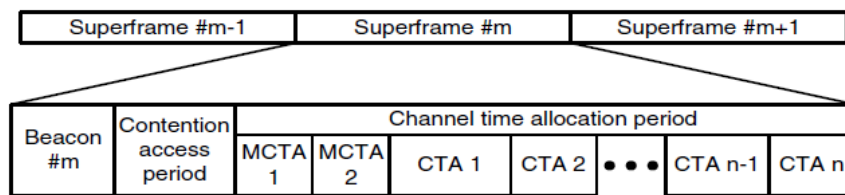
Una piconet 802.15.3 consiste de varios componentes como se muestra en la Fig. 1. El componente básico es el DEV. Uno de los DEVs asume el rol de coordinador de la piconet (PNC). El PNC provee el temporizado básico para la piconet por medio de una trama especial denominada “Beacon”, así como también administra los

requerimientos para la calidad de servicio (QoS), modos de ahorro de energía y control de acceso a la piconet.



**Fig. 1:** Estructura de una WPAN

El temporizado en este estándar se basa en una estructura denominada “supertrama” (SF). La estructura de la supertrama se muestra en la Fig. 2.



**Fig. 2.** Estructura de supertrama

El Beacon sirve para fijar las asignaciones de tiempo y para comunicar la información de administración dentro de la piconet. Los DEVs informan sus requerimientos de uso del canal en el Período de Contención de Acceso (CAP: Contention Access Period). El acceso al medio durante el CAP se realiza a través del mecanismo CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance), el cual no garantiza que las solicitudes sean tomadas con éxito en el instante de tiempo esperado. El uso del CAP es opcional.

El Período de Asignación de Tiempo de Uso del Canal (CTAP: Channel Time Allocation Period) está compuesto por asignaciones de tiempo de uso del canal (CTAs) y los “administradores CTA” llamados MCTAs (Management CTAs). Los CTAs se emplean para enviar comandos, cadenas isocrónicas y conexiones de datos asincrónicos. La asignación de los MCTAs y CTAs es uno de los puntos esenciales para un buen aprovechamiento del uso del canal. Dentro de la estructura de la supertrama utilizaremos MCTAs para enviar los pedidos de asignación de tiempo de uso del canal desde los DEVs al PNC, evitando con esto la aleatoriedad del mecanismo CSMA/CA.

El presente trabajo tiene por objetivo realizar un análisis de dos posibilidades de generación de supertramas: una con extensión variable [1] y la otra con extensión fija.

La comparación entre los esquemas antes mencionados se lleva a cabo para distintos escenarios de tráfico saturado y no saturado. El análisis se efectúa bajo la disciplina de prioridades dinámicas en sistemas de tiempo real menor tiempo al vencimiento (EDF “Earliest Deadline First”). Se evaluaron los parámetros tiempo de respuesta y la cantidad de mensajes que pierden su vencimiento.

El trabajo se organiza como sigue: sección 2 provee una descripción de trabajos relacionados. En la sección 3 se realiza el desarrollo comparativo para las supertramas con los dos tipos de extensiones, para evaluar los tiempos de respuesta y mensajes perdidos. En la sección 4 se muestran los resultados de las evaluaciones efectuadas. En la sección 5 aparecen las conclusiones y en la última sección, las referencias

## 2 Trabajos Relacionados

Diversos trabajos se focalizan en la optimización de la calidad de servicio para redes WPAN sobre el estándar IEEE 802.15.3. En [3] se plantea el problema del soporte de tráfico multimedia (como por ejemplo MPEG-4, voz sobre ip, etc) en redes HR-WPAN. Por tal motivo se presenta un mecanismo personalizado de recolección de los requerimientos de QoS de los dispositivos al PNC. Este mecanismo se compara bajo 4 algoritmos de diagramación bien conocidos: GPS (Generalized Processor Sharing), EDF (Earliest Deadline First), EDF-DS (EDF with discard) y EDF-SH (EDF with soft/hard deadlines)

Un algoritmo dinámico de asignación de tiempo de canal que provee garantías en el retardo de tráfico multimedial como cadenas MPEG sobre redes IEEE 802.15.3 WPANs se presenta en [4]. Este algoritmo permite que los DEVs envíen al PNC, los requerimientos de tiempo de uso del canal al final de la supertrama, usando la estructura de mini-paquetes.

Uno de los parámetros evaluados en [5] fue DFR (Decoding Failure Rate) para observar el comportamiento de un algoritmo de diagramación para cadenas de tráfico MPEG-4. La formulación de este algoritmo se basó en un Proceso de Decisión de Markov (MDP). Se obtuvieron mejoras de hasta un 50% comparándolo con distintos algoritmos de diagramación.

En [6] se mejora el algoritmo de diagramación con señalización de estado de flujo y decisión de bloque elegible. La señalización de estado de flujo se realiza usando paquetes de control (CTRL). Estos son enviados por los nodos al PNC solamente cuando es necesario actualizar la información interna de estado de flujo.

Un algoritmo de formación de supertramas jerárquico se muestra en [7]. En éste se combinan las ventajas de los algoritmos de formación de supertramas estáticos y dinámicos.

Un simple y eficiente esquema de asignación de tiempo de canal es el denominado MES-ESRPT (MCTA al final de la supertrama- tiempo de procesamiento remanente más corto mejorado) para tráfico VBR con retardo sensitivo [8]. En este algoritmo el PNC, asigna un MCTA para cada cadena de datos en el cual los procesos de la comunicación se encuentran al final de la supertrama.

### 3 Desarrollo de Esquemas de Supertramas

En [1] se demostró que utilizando un esquema de *SFs* de duración variable con asignación dinámica de MCTAs se mejoran los tiempos de respuesta y se disminuye la cantidad de mensajes perdidos (mensajes que llegan después de su vencimiento).

La generación de *SFs* [9][10] además, dependiendo de las condiciones de entorno a la hora de ser calculada por el PNC, presenta una extensión del tamaño de la misma (extensión variable) para poder atender las solicitudes de los dispositivos en un tiempo más cercano al momento de su generación. El presente trabajo propone un análisis de un esquema de generación de supertrama con extensión fija, efectuando una comparación con la generación de supertrama propuesta en [1]. La evaluación se realiza para diferentes tipos de tráfico (saturados y no saturados) bajo la disciplina de prioridades dinámicas EDF “menor tiempo al vencimiento”

#### 3.1 Características de un Sistema en Tiempo Real

En el desarrollo de este trabajo, se considera al conjunto de datos a ser transmitidos a través de la red (mensaje o tarea) desde cualquier nodo perteneciente a la misma. Cada tarea estará completamente especificado dentro del STR por tres valores: duración de la tarea (C), período de la tarea (T) y vencimiento de la tarea (D). C es el tiempo de utilización del canal que requiere un DEV para enviar sus datos por la red, T es el período mínimo de generación de datos en el DEV y D es el plazo máximo de tiempo en el cual se debe transmitir los datos del DEV para cumplir con las condiciones de calidad del sistema. La prioridad de envío de mensajes a través de la red en nuestro análisis estará dada por las disciplinas dinámicas de diagramación. El PNC cumplirá las funciones análogas al diagramador, determinando el nodo que podrá transmitir sus mensajes a través de la red de comunicaciones.

En este trabajo se evalúa el tiempo de respuesta bajo la disciplina de prioridades dinámicas EDF “menor tiempo al vencimiento”, en entornos saturados y no saturados. EDF ejecuta primero aquella tarea que tenga menor tiempo al vencimiento, es decir menor D. Un entorno es no saturado cuando el factor de utilización es menor a la unidad y es saturado cuando es igual o mayor a la unidad. Se define el factor de utilización de la siguiente manera:

$$FU = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{T_i} \quad (1)$$

#### 3.2 Cálculo de la generación de la Supertrama

La duración de la supertrama y la asignación de las ranuras de tiempo están a cargo del coordinador de la red, el PNC [11][12]. Éste calcula la duración de la *SF* en base al tiempo de ejecución de las tareas (C) que tiene en cola y al tiempo de vencimiento de las mismas (D).

Al finalizar cada supertrama, el PNC calcula el tamaño de la próxima en base a los requerimientos que les enviaron los DEVs a través de los MCTAs. Si no tiene pedidos en espera para ser atendidos enviará supertramas que contendrán el beacon hasta que aparezcan nuevas solicitudes. El PNC realiza el cálculo del tamaño de la SF de la siguiente manera:

$$SF = B + \sum_{i=1}^j MCTA_i + \sum_{k=1}^l C_k \quad (2)$$

Como se indica en (2) la duración de la supertrama es la suma del Beacon (B), de los  $MCTA_i$  correspondientes a las generaciones de las tareas ( $j$ ) y de los tiempos de ejecución ( $C_k$ ) de las tareas pendientes ( $l$ ).

Si la SF es mayor a 1mseg se suma SF al tiempo final de la supertrama actual ( $t_{factual}$ ) obteniendo el tiempo de finalización de la siguiente supertrama,  $t_{final}$ .

$$t_{final} = t_{factual} + SF \quad (3)$$

El PNC compara el  $t_{final}$  con el tiempo de generación más cercano al  $t_{factual}$ , denominado  $t_{Pmin}$ . Si  $t_{final}$  es mayor que  $t_{Pmin}$  y este a su vez mayor que  $t_{factual} + 1mseg$ , se debe recalcular el tamaño de la SF como sigue:

$$SF = t_{Pmin} - t_{factual} \quad (4)$$

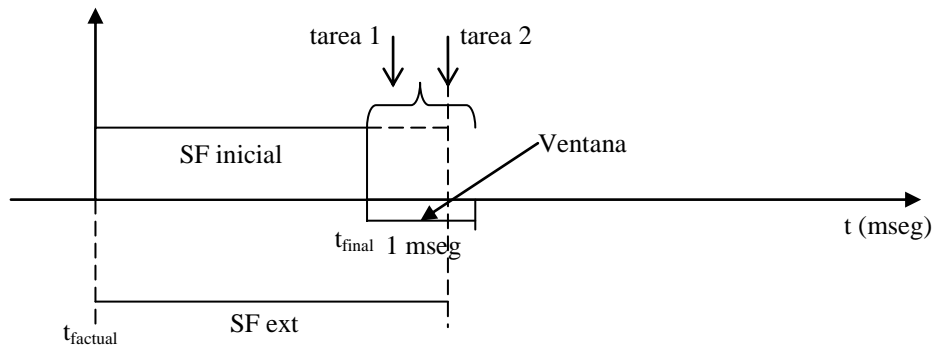
Caso contrario, el valor de SF queda como se calculó en (2). Una vez obtenido el tamaño de la supertrama en [1] se evaluaba extender o no la supertrama dependiendo si existían generaciones pendientes (Tp) de ser atendidas al momento de hacer el cálculo. Si no existían generaciones (Tp = 0) se procedía a extender la supertrama, caso contrario no se modifica el tamaño de la misma. El proceso consta de la apertura de una ventana de 1 mseg (tamaño mínimo de una supertrama) posterior al tiempo de finalización de la SF calculada ( $t_{final}$ ). Si dentro de esa ventana existen solicitudes de tareas para ser atendidas, el tamaño de la supertrama se extiende al tiempo de la solicitud más próximo a cierre de la ventana.

Para el cálculo de la duración de la supertrama extendida ( $SF_{ext}$ ) se procede de la siguiente manera:

$$SF_{ext} = SF + (t_{extf} - t_{final}) \quad (5)$$

Donde  $t_{extf}$  es el tiempo de generación de la tarea más próximo al límite superior de la ventana de 1 mseg y  $t_{final}$  es el tiempo de finalización de la supertrama (SF) calculada en primera instancia.

La figura 3 muestra el funcionamiento de la aplicación de la extensión de la supertrama (extensión variable).



**Fig. 3.** Extensión de supertrama

Con esta extensión de supertrama se logra mejorar el tiempo de respuesta debido a que el PNC obtiene las solicitudes en un tiempo cercano a sus generaciones.

En este trabajo proponemos evaluar la apertura de la ventana existan o no generaciones pendientes, con el fin de analizar su efecto sobre el tiempo de respuesta y cantidad de mensajes perdidos en entornos saturados y no saturados, comparándola con el esquema de generación de supertrama con extensión variable.

#### 4 Evaluación

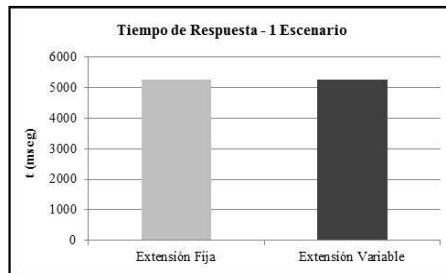
El análisis del comportamiento de las propuestas del presente trabajo se realizó bajo la disciplina de prioridades EDF mediante simulaciones de distintos escenarios. En cada uno de los escenarios se comparó entre el mecanismo presentado en [1] y la propuesta de este trabajo en el cual la extensión de la supertrama se utiliza siempre a la hora del cálculo sin importar las condiciones de entorno. En las simulaciones se consideran cuatro tipos de tráfico con generación sincrónica (C, T y D), para entornos no saturados y saturados. Las simulaciones se ejecutan a una tasa de transferencia de 55 Mbps con un tiempo de simulación de 200 seg.

El principal parámetro a evaluar es el tiempo de respuesta, el cual se tomó como el promedio de los tiempos de respuestas de los DEVs dentro de los 200 seg de tiempo de simulación. El otro parámetro que tendremos en cuenta, sobre todo en entornos saturados, son la cantidad de tareas vencidas.

Los parámetros del sistema (C, T y D) de la primer simulación se muestran en la tabla 1, para una "Piconet" fija compuesta por 5 nodos, con un factor de utilización de 0,6. La Fig. 4 muestra el tiempo de respuesta comparativo para simulaciones entre ambos esquemas para la disciplinas EDF.

**Tabla 1.** Escenario N° 1

Nodos	C [ $\mu$ seg]	T [ $\mu$ seg]	D [ $\mu$ seg]
1	2000	14000	14000
2	1500	18000	18000
3	2000	18000	18000
4	3000	22000	22000
5	3000	25000	25000



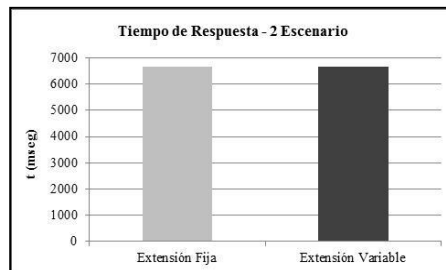
**Fig. 4.** Tiempo de respuesta de 1 Escenario

Se puede observar que el tiempo de respuesta para un escenario no saturado con un  $FU = 0,6$  no varía y la cantidad de mensajes perdidos fue 0 en ambos esquemas.

Los parámetros del segundo escenario se muestran en la tabla 2 con un factor de utilización de 0,71. El tiempo de respuesta se observa en la Fig. 5, siendo las condiciones de la simulación las mismas que las del escenario anterior.

**Tabla 2.** Escenario N° 2

Nodos	C [ $\mu$ seg]	T [ $\mu$ seg]	D [ $\mu$ seg]
1	2000	12000	12000
2	1500	15000	15000
3	2000	15000	15000
4	3000	21000	21000
5	4000	24000	24000



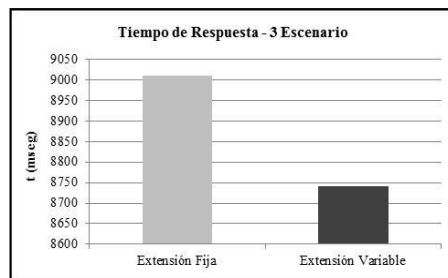
**Fig. 5.** Tiempo de respuesta de 2 Escenario

La Fig. 5 muestra que el tiempo de respuesta sigue siendo el mismo para ambos métodos para un escenario no saturado. Al igual que en el punto anterior fue 0 la cantidad de mensajes perdidos. Hasta aquí se presentaron dos simulaciones con escenarios de tráfico no saturado y vemos que la incidencia de las generaciones pendientes para la decisión de la apertura de la ventana no influye en el tiempo de respuesta.

El tercer escenario presentado en la tabla 3 tiene un  $FU = 0,94$ , siendo este un tráfico cercano a la saturación.

**Tabla 3.** Escenario N° 3

Nodos	C [ $\mu\text{seg}$ ]	T [ $\mu\text{seg}$ ]	D [ $\mu\text{seg}$ ]
1	3000	11000	11000
2	1000	14000	14000
3	3000	14000	14000
4	3000	20000	20000
5	4000	24000	24000



**Fig. 6.** Tiempo de respuesta de 3 Escenario

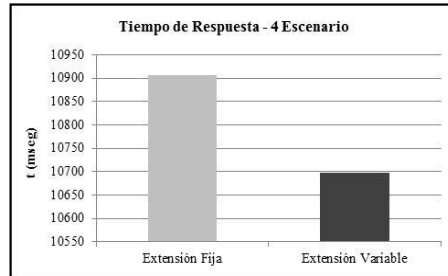
Se puede observar en la Fig. 6 que el tiempo de respuesta para el método que tiene presente a la hora de analizar la apertura de la ventana si existen generaciones pendientes o no, tiene un mejor tiempo de respuesta. Al igual que los casos anteriores la cantidad de mensajes perdidos fue 0

El cuarto y último escenario con tráfico saturado se muestra en la tabla 4 con un  $FU = 1,03$ .

**Tabla 4.** Escenario N° 4

Nodos	C [ $\mu\text{seg}$ ]	T [ $\mu\text{seg}$ ]	D [ $\mu\text{seg}$ ]
1	3500	11000	11000
2	2000	14500	14500
3	3200	14000	14000
4	3600	22000	22000
5	4500	24000	24000





**Fig. 7.** Tiempo de respuesta de 4 Escenario

Al igual que en el escenario 3 el tiempo de respuesta es levemente mejor para el método con extensión variable respecto al método con extensión fija de la supertrama. La cantidad de mensajes perdidos para ambos esquemas fue la misma.

De las simulaciones que hemos realizado se puede observar que para entornos no saturados se puede aplicar el esquema de extensión fija dado que no influye en el tiempo de respuesta y ahorra recurso de procesador. En el caso de entornos saturados la aplicación del esquema de extensión variable tiene mejor desempeño en el tiempo de respuesta a costa de gastar más recursos de hardware.

## 5 Conclusiones

El presente trabajo muestra un análisis en el cual se efectúa una comparación entre un esquema de generación de supertrama con extensión fija con el mecanismo de extensión variable presentado en [1] para distintos tipos de tráficos no saturados y saturados, bajo la disciplina de prioridades dinámicas en tiempo real EDF.

Si bien ambos esquemas mejoran el tiempo de respuesta y la cantidad de mensajes perdidos respecto a una generación de supertrama simple, es decir, no aplica las extensiones, el consumo de recursos es diferente entre ambos mecanismos.

En las primeras simulaciones, para entornos no saturados, vemos que los tiempos de respuestas son iguales. La diferencia a tener en cuenta es que con extensión fija tenemos un consumo menor de procesador dado que no requiere análisis para saber si existen generaciones pendientes anteriores al tiempo del cálculo de la supertrama.

En las simulaciones 3 y 4 se obtiene un mejor tiempo de respuesta con extensión variable pero con la desventaja de tener un costo de procesamiento superior.

Por tal motivo, la aplicación combinada de los dos tipos de generaciones de supertrama optimiza el desempeño de la red.

Futuros trabajos analizarán distintos algoritmos tendientes a mejorar el tiempo en el cual el PNC recibe las solicitudes optimizando la calidad de servicio.

## 6 Referencias

1. Reggiani G., Alimenti O., Friedrich G. (2009) "Propuesta en MAC de Redes de Area Personal (WPAN) para Optimizar el Tiempo de Respuesta", In: XV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación - CACIC 2009 – III Workshop de Arquitecturas, Redes y Sistemas Operativos (WARSO), Octubre 2009, San Salvador de Jujuy - Jujuy, Argentina.
2. IEEE, Part 15.3 (2003) "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)", IEEE std 802.15.3 – 2003, Sept. 2003.
3. Andrea Zanella, Fabio Lorquando, "Scheduling Algorithms for Multimedia Traffic Over High-rate WPANs", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 54, No. 3, AUGUST 2008
4. Sun-Myeng Kim and Young-Jong Cho (2005) "Scheduling Scheme for providing QoS to Real-Time Multimedia Traffics in High-Rate Wireless PANs", In: IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 51, No. 1160, 4, NOVEMBER 2005.
5. Shahab Moradi, A. Hamed Mohsenian Rad, and Vincent W.S. Wong, "A Novel Scheduling Algorithm for Video Traffic in High-Rate WPANs", in: IEEE GLOBECOMM 2007 proceedings pg. 742–747.
6. Török A., Vajda L., Vidacs A., Vida R.(2005) "Techniques to improve Scheduling Performance in IEEE 802.15.3 based ad hoc networks", In: IEEE GLOBECOM 2005 proceedings.
7. Vajda L., Török A., Kyu-Jung Y., Sun-Do J.(2004), "Hierarchical superframe formation in 802.15.3 networks", In: Proc., IEEE International Conference on Communications (ICC), Paris, France, 2004.
8. Liu Xin, Dai Qiong-hai, Wu Qiu-feng (2006) "Time allocation scheme in IEEE 802.15.3 TDMA mechanism", In: Journal of Zhejiang University SCIENCE A ISSN 1009-3095 (Print), ISSN 1862-1775 (Online).
9. Reggiani G., Alimenti O., Cayssials C. y Ferro E.(2007) "Análisis del Protocolo MAC de 802.15.3 bajo Esquemas de Prioridades en Tiempo Real", In: XIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación - CACIC 2007, Octubre 2007, Corrientes y Resistencia, Argentina.
10. Reggiani G., Alimenti O., Cayssials C. y Ferro E.(2008) "Optimización del tamaño de Supertrama en forma dinámica bajo MAC 802.15.3", In: XV Congreso Internacional de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Sistemas – INTERCON 2008 , Agosto 2008, Trujillo, Perú.
11. Reggiani G., Alimenti O., Cayssials C. y Ferro E.(2009) "Improvements in the Superframes Generations in MAC 802.15.3 Using dynamic MCTA ", In: WIP 27<sup>th</sup> Edition The Brazilian Symposium on Computer Networks and Distributed Systems (SBRC) – 2009 , Mayo 2009, Recife, Brasil.
12. Reggiani G., Alimenti O., Cayssials C. y Ferro E., "Supertrama de Duración Variable en MAC 802.15.3 Utilizando MCTA Dinámicos", In: XXXV Conferencia Latinoamericana en Informática – CLEI 2009, 22-25 Setiembre 2009, Pelotas, RS, Brasil.