

# Análisis mediante simulación de mecanismos de control de acceso al medio para redes RFID

<sup>1</sup>Ing. Erik Ortiz Guerra, <sup>2</sup>Ing. Yusniel Ruiz Reytez.

<sup>1,2</sup>Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones  
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.  
e-mail{[erik.yusniel@uclv.edu.cu](mailto:erik.yusniel@uclv.edu.cu)}.  
[erik.yusniel@uclv.edu.cu](mailto:erik.yusniel@uclv.edu.cu).

## RESUMEN / ABSTRACT

La identificación por radio frecuencia constituye una tecnología que permite la identificación de manera única de objetos. El empleo de un canal compartido para la comunicación entre los objetos a identificar y los lectores, determinan la presencia de colisiones que se producen cuando dos o más objetos intentan identificarse de manera simultánea. El estándar EPCglobal Clase 1 Generación 2 define un protocolo de control de acceso al medio para ser empleado en sistemas RFID pasivos definiendo para ello ciclos de identificación que son marcados por el lector y cada uno de ellos es dividido en ranuras de tiempo o slot; de esta manera el protocolo se puede implementar siguiendo tres posibles variantes: trama estática, trama adaptativa ciclo a ciclo y trama adaptativa slot a slot. En este trabajo se realiza un estudio de cada una de estas variantes y son mostrados los resultados obtenidos mediante simulación que demuestran cuál de ellas presenta los mejores resultados así como las limitaciones e inconvenientes de cada una.

Palabras claves: EPCglobal Clase 1 Generación 2, identificación por radio frecuencia, protocolos de acceso al medio, RFID.

## Simulations analysis of medium access control protocol for RFID networks

*The radiofrequency identification is a technology which permits the unique identification of objects. The use of a shared communication channel between the object to identify and the readers, determine the presence of collisions, these occur when two or more objects attend identify simultaneously. EPCglobal Class 1 Generation 2 standard define a medium access control protocol for passive RFID systems, establish identification cycles guides for the reader and divided in time slots; the protocol can implement three possible ways: static frame, cycle to cycle adaptive frame and slot to slot adaptive frame. In this work we present a study of each implementation variant and indicate the simulations results which demonstrate the better variant and highlight the advantages and inconvenient of each protocol implementation.*

*Key Word: EPCglobal Class 1 Generation 2, medium access protocols, radio frequency identification, RFID.*

## INTRODUCCIÓN

La tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID) es una tecnología basada en la detección e identificación de ítems. No es una tecnología nueva y su origen se remonta a la Segunda Guerra Mundial, en aquellos tiempos, la inmadurez de la tecnología y el alto costo de los dispositivos que hacía posible la identificación de los ítems hicieron que RFID dejara de ser una tecnología atractiva para su difusión, estandarización y utilización por parte de empresas y particulares.

Actualmente, los precios de los dispositivos RFID se han reducido hasta tal punto que RFID se enfoca hacia una futura identificación unitaria, siendo el principal competidor de la actual tecnología de código de barras.

En los sistemas RFID la comunicación entre sus componentes se realiza mediante el acceso a un canal de comunicación compartido y para lograr que dichas comunicaciones sean satisfactorias es necesario implementar mecanismos de control de acceso al medio (MAC) que regulen y ordenen el acceso al canal de comunicación.

Numerosos han sido los protocolos MAC desarrollados para sistemas RFID, gran cantidad de ellos son variaciones de los ampliamente difundidos Aloha o Aloha Ranurado, pero debido a la falta de consenso entre fabricantes y desarrolladores de aplicaciones fue creado en 2003 la institución EPCglobal con el objetivo de estandarizar estos sistemas.

Desde su creación EPCglobal ha desarrollado normativas y estándares para las diferentes clases de sistemas RFID, uno de los más recientes lo constituye el EPCglobal Clase 1 Generación 2 que describe los componentes de hardware y software de sistemas RFID bajo las frecuencias UHF (860-930MHz) además de los protocolos MAC que deben emplearse en los mismos.

El protocolo MAC definido en EPCglobal Clase 1 Generación 2 constituye un mecanismo anticolidión para su empleo en sistemas RFID pasivos y puede implementarse de tres posibles maneras: trama estática, trama adaptativa ciclo a ciclo o trama adaptativa slot a slot.

El propósito de este trabajo es realizar un estudio comparativo de las tres variantes de implementación del protocolo y definir las potencialidades y limitaciones de cada una de ellas.

En las secciones siguientes son descritos los componentes básicos de los sistemas RFID así como su funcionamiento, prestando especial atención al problema de las colisiones; es descrito el protocolo MAC presentado en el estándar EPCglobal Clase 1 Generación 2 y sus diferentes variantes de implementación y finalmente se presentan los resultados y conclusiones derivados del estudio y simulación de las tres variantes posibles.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Un sistema RFID está compuesto por un conjunto de dispositivos de hardware y software distribuidos de manera apropiada y con funciones específicas que garantizan en su conjunto la identificación de manera única en un área determinada.

### Etiquetas o tags

La etiqueta o tag es el elemento de hardware más sencillo y constituye el dispositivo que portan los objetos a identificar, estas poseen un identificador único y en algunos casos poseen memoria adicional que permite almacenar información referida al objeto que la porta por ejemplo: la fecha de fabricación, el fabricante o la fecha de vencimiento.

Existen diversos criterios que permiten clasificar los tag en diferentes categorías, algunas de ellas son resumidas en [2, 3]; para los fines del presente trabajo nos centraremos en la clasificación según el tipo de alimentación empleando este criterio se pueden dividir las etiquetas en tres categorías: pasivas, semipasivas y activas.

Las etiquetas pasivas no poseen fuente de alimentación propia y para su funcionamiento emplean la energía emitida por el lector, la cual es empleada para transmitir su información de identificación. Sus principales ventajas radican en su sencillez y sus bajos costos de fabricación y están limitadas en cuanto al rango de cobertura, la velocidad de respuesta y la capacidad de almacenamiento de datos.

Las etiquetas semipasivas incluyen una pequeña batería que permite que el circuito integrado esté constantemente alimentado. Emplean una batería para activar sus circuitos y, a partir de ese momento, emplean la energía procedente del lector para funcionar. Responden más rápido y el radio de lectura es más grande que el de los tags pasivos.

Mientras que las activas contienen una fuente de alimentación incorporada (una batería o panel solar) y emplea esta energía para enviar la señal al lector, es importante destacar su capacidad para almacenar información y una duración de batería de varios años. Además, cuenta con factores como exactitud, funcionamiento en ambiente cercano al agua o metal y un alto nivel de fiabilidad, con rangos de lectura de aproximadamente 10 m.

### Lector de RFID o Reader.

Un lector o interrogador es el dispositivo que recopila la información de las etiquetas, lee los datos que le llegan y los envía al sistema de información. Asimismo, también gestiona la secuencia de comunicaciones con la aplicación final [2, 4].

Con el fin de cumplir tales funciones, está equipado con un módulo de radiofrecuencia (transmisor y receptor), una unidad de control y una antena. Además, el lector incorpora un interfaz a un PC, host o controlador, a través de un enlace local o remoto que puede ser: RS232, RS485, Ethernet, WLAN (RF, WiFi, Bluetooth, etc.), que permite enviar los datos del reader al sistema de información [2, 4].

### Middleware.

El middleware es el software que se ocupa de la conexión entre el hardware de RFID y los sistemas de información existentes en la aplicación.

Se ocupa, esencialmente, del encaminamiento de los datos entre los lectores, las etiquetas y los sistemas de información, y es el responsable de la calidad y utilidad de las aplicaciones basadas en RFID [2, 4].

Sus principales funciones son: adquisición y encaminamiento de los datos, gestión de procesos y gestión de dispositivos.

### Aplicación final.

Constituye el software que se encarga de mostrar a los usuarios finales de manera organizada la información de identificación de los objetos así como atender y dar respuesta a las solicitudes realizadas por los usuarios de la información.

En un sistema RFID básico las bases de datos relacionadas con los objetos identificados así como la información almacenada en cada uno de ellos constituyen el middleware mientras que el software encargado de recopilar de estas bases de datos la información necesaria y presentársela al usuario es la aplicación final.

### Funcionamiento básico.

En la figura 1 se muestra un sistema RFID compuesto por los elementos básicos descritos en la sección anterior, el lector que intercambia información con los elementos de software y a su vez lo hace con las etiquetas.

La comunicación entre el lector y la etapa de procesamiento de datos se puede realizar de diversas maneras: conexión física empleando estándares establecidos (Ethernet, RS 232, USB etc) o inalámbrica empleando el estándar 803.11.

La comunicación lector-etiquetas se realiza a través de un enlace de radio frecuencia definiéndose para cada tipo de etiqueta la frecuencia de operación, una explicación detallada puede ser encontrada en [2-4].

El proceso de identificación de las etiquetas en el rango de cobertura del lector puede hacerse de manera periódica o bajo encuesta y el empleo de uno u otro método depende de la aplicación final y del tipo de etiquetas empleadas.

Para el caso del empleo de etiquetas activas, por tratarse de dispositivos que poseen fuente de alimentación propia, las mismas emiten constantemente su identificación y esta información es detectada e interpretada por el lector inmediatamente que entren en su rango de cobertura; cuando se trata de etiquetas pasivas el lector inicia el proceso de identificación emitiendo una señal que le indica a todas las etiquetas en su rango de cobertura que deben identificarse y de esta manera tanto para activas o pasivas el lector puede identificar las etiquetas que se encuentran en su rango de cobertura.

### **El problema de las colisiones.**

La comunicación entre el lector y las etiquetas puede analizarse teniendo en cuenta dos casos: la comunicación del lector hacia las etiquetas y la comunicación desde las etiquetas hacia el lector y ambos procesos pueden afectarse debido a las colisiones de la información.

En el primero de los casos (lector-tag) las colisiones pueden ocurrir cuando existe una etiqueta que está situada en el rango de cobertura de dos o más lectores y en tal situación si la información emitida por los lectores arriba en el mismo instante de tiempo a la etiqueta se produce una colisión y por tanto la etiqueta no puede recibir de manera correcta la información emitida por ninguno de los lectores, esto es denominado colisión lector-lector.

Para el caso de la comunicación etiqueta-lector las colisiones se producen cuando la información de identificación de dos o más etiquetas se solapa en el tiempo al arribar al lector, produciéndose de manera inevitable la pérdida de la información de identificación de ambas, esto fenómeno se denomina colisión etiqueta-etiqueta.

Para evitar en la mayor medida posible estas situaciones es necesario que se implementen mecanismos que permitan "organizar" el acceso al canal de comunicaciones y para ello es necesario implementar mecanismos de control de acceso al medio (MAC) que lo permitan.

Para los propósitos de este trabajo centraremos el estudio en los protocolos MAC para evitar colisiones entre etiquetas y particularmente para el caso de etiquetas pasivas, las principales características de estos protocolos es que, debido a la simplicidad de las etiquetas pasivas, los mismos deben ser sencillos y además la mayor complejidad desde el punto de vista del procesamiento de los datos debes estar concentrada en el lector.

### **Protocolos anticolisión**

Un amplio conjunto de protocolos han sido estudiados con el objetivo de definir sus ventajas y limitaciones siendo: FDMA (acceso múltiple por división de frecuencia), TDMA (acceso múltiple por división de tiempo), SDMA (acceso múltiple por

división de espacio), CDMA (acceso múltiple por división de código) and CSMA (Acceso múltiple por censado de portadora) las alternativas más estudiadas, una descripción de cada una de ellas puede ser encontrada en [2, 5, 6]; algunas de las limitaciones de estos protocolos que impiden su empleo directamente en redes RFID pueden ser encontradas en [2, 5, 7].

En los últimos años ha sido desarrollados diferentes protocolos de acceso al medio para su empleo en estos sistemas, algunos de ellos son descritos en [2, 3, 8-12].

Nuestro estudio se centra en el protocolo EPCGlobal Class 1 Gen 2 el cual constituye un estándar desarrollado con el objetivo de normar el funcionamiento de sistemas RFID a nivel mundial y describe además del protocolo de acceso al medio, el formato de identificación de cada objeto de manera tal que este código pueda identificar al objeto que lo porta a nivel mundial. En [3, 8, 13] se describen los principales estándares desarrollados para RFID

### **Descripción de EPCGLOBAL Clase 1 Generación 2.**

Este estándar define las especificaciones físicas y lógicas para sistemas RFID activos y pasivos que trabajan a una frecuencia de 860 MHz a 960 MHz, sus principales características son [2, 3, 8]: la mayor complejidad del algoritmo recae sobre el lector; es ideal para aplicaciones donde el lector no conoce a priori las etiquetas que hay en su zona de cobertura, además de ser sencillo y robusto.

Para los propósitos de este estudio nos centraremos en el mecanismo anticolisión definido por el estándar para etiquetas pasivas.

### **Mecanismo anticolisión definido por el estándar.**

Debido a que el protocolo a estudiar emplea etiquetas pasivas el lector debe encargarse de comenzar la comunicación he indicarle a las etiquetas que deben identificarse y para ello envía un paquete que marca el inicio del proceso de identificación; el protocolo realiza la identificación de las etiquetas empleando ciclos de identificación y a su vez cada uno de ellos es dividido en slots o ranuras de tiempo, en ambos casos el inicio y final de cada uno es determinado por el lector. Antes de comenzar un ciclo de identificación, el lector envía un paquete Broadcast a la población de etiquetas en cobertura, indicando que las etiquetas que han recibido el paquete deben identificarse. Las N etiquetas que reciben el paquete responden enviando su ID, produciéndose una colisión múltiple que es detectada por el lector.

Para comenzar un ciclo de identificación el lector transmite un paquete Query con un campo de cuatro bits en el que se almacena un valor en hexadecimal Q[0,15] [2, 3, 5, 6, 8, 9].

Las etiquetas, al recibir el paquete generan un número aleatorio r, cuyo valor estará comprendido en el rango  $[0, 2^Q - 1]$  he inicializan un contador con el valor r obtenido, el cual, será decrementado al comienzo de cada slot. En el momento en el que en una etiqueta el valor del contador se hace 0, transmitirá su identificador.

Una vez iniciado el ciclo de identificación, el comportamiento del sistema será el siguiente: si se detecta un slot con un único identificador, el reader enviará un paquete ACK, de modo que la etiqueta que había enviado su ID contestará enviando ahora

sus datos almacenados. El lector comprobará los datos, si son correctos, enviará una señal QueryRep indicando que comienza un nuevo slot.

Por el contrario, si los datos recibidos son incorrectos, enviará un paquete NACK seguido de un QueryRep, con lo cual indica a la etiqueta que había enviado su ID que no ha sido identificada y que debe reiniciar su contador en  $2^Q-1$  para evitar que intente identificarse nuevamente en este ciclo de identificación, mientras que el resto de las etiquetas decrementan su contador y determinarán si deben o no identificarse en el siguiente slot.

Debido a que durante el inicio de cada ciclo de identificación cada etiqueta inicializa el contador de slot de manera aleatoria puede ocurrir que dos o más etiquetas envíen su identificador en el mismo slot de tiempo y esto provocaría una colisión, ante tal situación el lector emite un paquete QueryRep que marca el inicio de un nuevo slot y las etiquetas que enviaron su ID reinician su contador en  $2^Q-1$  con lo cual no compiten nuevamente durante este ciclo de identificación.

Debido a que el lector no conoce previamente el número de etiquetas que van a competir en cada ciclo de identificación, es necesario calcular el valor óptimo del número de slot en cada ciclo de identificación para minimizar el tiempo medio de identificación.

Con el fin de lograr un valor óptimo para  $Q$  han sido desarrolladas dos variaciones al algoritmo: trama adaptativa ciclo a ciclo y trama adaptativa slot a slot; en ambos casos el objetivo perseguido es ajustar el valor de  $Q$  de manera dinámica en función del número de etiquetas en la zona de cobertura.

#### **Trama adaptativa ciclo a ciclo.**

En esta variación el lector inicia el primer ciclo de identificación con un valor  $Q = 4$  y durante todo el ciclo de identificación contabiliza el número de slots vacíos, con colisión y con identificación satisfactoria.

Al finalizar cada ciclo de identificación el lector emplea la información recopilada y computa el valor  $C$  que es empleado para modificar el número de slots del próximo ciclo esta variable de ajuste toma valores entre 0.1 y 0.5 y el reader utiliza valores altos de  $C$  cuando  $Q$  es un valor bajo y viceversa, una descripción detallada de este procedimiento puede ser encontrada en [3].

#### **Trama adaptativa slot a slot.**

En esta variación del algoritmo, el reader calcula un nuevo valor de  $Q$  al finalizar un slot considerando si era un slot vacío, con colisión o un slot ocupado con un identificador. Así, los tags eligen un slot aleatorio para transmitir, al finalizar cada slot, de forma que: si al finalizar el slot temporal éste se encuentra vacío, comienza un nuevo ciclo donde el reader disminuye la longitud de la trama  $Q$ , de esta forma se evita que en el nuevo ciclo se sucedan una gran cantidad de slots vacíos, lo que puede causar un mayor retardo en la identificación, y por tanto una mayor probabilidad de pérdida de tag.

Si el slot temporal es un slot con colisión, comenzará un nuevo ciclo. La longitud de la trama  $Q$  en este nuevo ciclo será mayor. Al aumentar la  $Q$ , se disminuye la probabilidad de

colisión en el siguiente ciclo, y por tanto, se evita un mayor retardo en la identificación.

Si el slot es ocupado, significa que un tag ha podido identificarse satisfactoriamente. En esta situación el ciclo continúa y de la misma manera que en el caso del algoritmo adaptativo ciclo a ciclo, comienza con un valor de  $Q=4$ .

#### **Entorno de simulación.**

Para la realización de las simulaciones fue diseñada una función de eventos discretos en MATLAB, además se definió el entorno de simulación el cual comprende un lector con un rango de cobertura de 4m ubicado en un área de 4m x 4m en la cual las etiquetas se distribuyen de manera aleatoria, la tabla 1 muestra los parámetros empleados en la simulación.

Con el objetivo de comprobar el funcionamiento del protocolo fue realizado un estudio comparativo de las tres posibles variantes: trama estática, trama adaptativa ciclo a ciclo y trama adaptativa slot a slot; teniendo en cuenta el tiempo necesario para identificar el número de etiquetas en el rango de cobertura.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

A continuación se muestran los resultados de las simulaciones para las tres variantes del protocolo, en todos los casos es reflejado el número de etiquetas en el rango de cobertura contra el número de slots de tiempo necesarios para identificar la totalidad de las mismas.

De las simulaciones realizadas a lo largo de este proyecto hay que destacar la respuesta del algoritmo de adaptación de trama slot a slot (figura 4) frente a los dos algoritmos también estudiados (figuras 2 y 3): ciclo a ciclo y trama estática. Puede apreciarse que la diferencia en el número de slots para una población de 100 tags es de más de 200 slots si se compara con el algoritmo ciclo a ciclo y unos 1800 slots comparado con el algoritmo de trama estática. Un sencillo análisis permite concluir que si la duración de un slot es, según el estándar, de aproximadamente 2.505 ms, esta diferencia se traduce a: 0.75 s para identificar a 100 tags con el algoritmo slot a slot frente a 1.25 s para identificar a la misma población con el algoritmo de adaptación de trama ciclo a ciclo y 5.01 s para identificar a la misma población con el algoritmo de trama estática.

Hay que destacar que en el algoritmo de trama estática, el número de slots necesarios para identificar a los tags crece de forma exponencial conforme aumenta el número de tags en cobertura, lo que justifica el hecho de haber realizado las pruebas de este escenario solo hasta 100 tags. También cabe destacar en el algoritmo de trama adaptativa ciclo a ciclo, si el número de slots es elevado, el reajuste de trama es más lento puesto que no se realiza hasta que no finaliza un ciclo. Sin embargo, en el algoritmo de trama adaptativa en cada slot, el reader calcula un nuevo valor de  $Q$ , así, evita que en el siguiente ciclo haya un gran número de slots vacíos evitando un mayor retardo en la identificación y por tanto una menor probabilidad de error si era un slot con colisión.

## **CONCLUSIONES**

En este trabajo fueron estudiadas las tres variantes de implementación del protocolo MAC descrito por el estándar

EPCglobal Clase 1 Generacion 2 teniendo en cuenta el número de slots de tiempo necesarios para identificar determinada población de etiquetas.

Los resultados demuestran que la variante de trama adaptativa slot a slot presenta los mejores resultados ya que con ella se logran menores tiempos de identificación que para el resto de las variantes, esta mejora implica una complejidad adicional al protocolo MAC debido a que para su implementación el lector debe recoger información referida al número de slot vacíos, con colisión y con identificación satisfactoria.

Además de la recolección de los datos el lector debe ser capaz de realizar el procesamiento de los mismos de manera rápida para poder definir el valor óptimo del número de slot en el próximo ciclo, debido a que para la realización de este procedimiento el lector solo dispone del tiempo correspondiente a un slot, en esta variante la capacidad de procesamiento del lector es crítica comparado con las variantes de trama estática y trama adaptativa ciclo a ciclo lo cual constituye una desventaja con respecto a ellas.

## REFERENCIAS

1. **ALONSO, J.V. and M.V.B. DELGADO**, Análisis mediante simulación de esquemas de adaptación de la longitud de trama en escenarios de RFID con tags dinámicos, in V Jornadas de Ingeniería Telemática JITEL 2006. 2006: Cartagena.
2. **WILLE, M.**, Evaluation and Optimization of RFID Transmission Control Strategies, in Department of Computer Science. 2005, Federal Institute of Technology (ETH): Zurich.
3. **BELMORE, M.J.M.**, Validación de protocolos de acceso al medio probabilísticos en sistemas RFID con dispositivos pasivos, in Tecnologías de la información y las comunicaciones. 2008, Universidad Politécnica de Cartagena: Cartagena.
4. **PORTILLO, J.L., et al.**, Tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID): Aplicaciones en el ámbito de la salud, in Informe de Vigilancia Tecnológica. 2008: Madrid.
5. **FINKENZERLLER, K.**, RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification, J.W.a. Sons, Editor. 2003: New York.
6. **NEJAH, N., et al.**, Electronic and Mac Protocol Characterization of RFID Modules. Radio Frequency Identification Fundamentals and Applications Bringing Research to Practice, 2010.
7. **ALONSO, J.V., et al.**, Characterization of the Identification Process in RFID Systems. Radio Frequency Identification

Fundamentals and Applications Bringing Research to Practice, 2010.

8. **ROBERTI, M.**, Part1: Understanding the EPC Gen 2 Protocol. 2005.
9. **EPCglobal**, EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID. Protocolo for Communication at 860MHz-960MHz. Version 1.2.0. 2008.
10. **GARCÍA, A.L. and I. WIDJAJA**, Communication Networks: Fundamental Concepts and Key Architectures, McGraw-Hill, Editor. 1996: Boston.
11. **WESELTHIER, J.E., et al.**, An exact analysis and performance evaluation of framed ALOHA with capture. IEEE Transactions on Communications, 1988. 37: p. 125-137.
12. **DELGADO, M.V.B., et al.**, Analysis of DFSA Anti-Collision Protocols in passive RFID environments, in 35th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronic Society. 2009.
13. **ENGELS, D.W. and S.E. SARMA**, The reader collision problem, in Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. 2002: Tunes.



## AUTORES



**Erik Ortiz Guerra:** Graduado como Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica en julio de 2008 en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV). Actualmente se desempeña como profesor en el Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la UCLV, su labor investigativa se centra en los mecanismos anticollisión en redes RFID, mecanismos de control de acceso al medio en redes subacuáticas.

**Yusniel Ruiz Reyes:** Graduado como Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica en julio de 2010 en la UCLV.

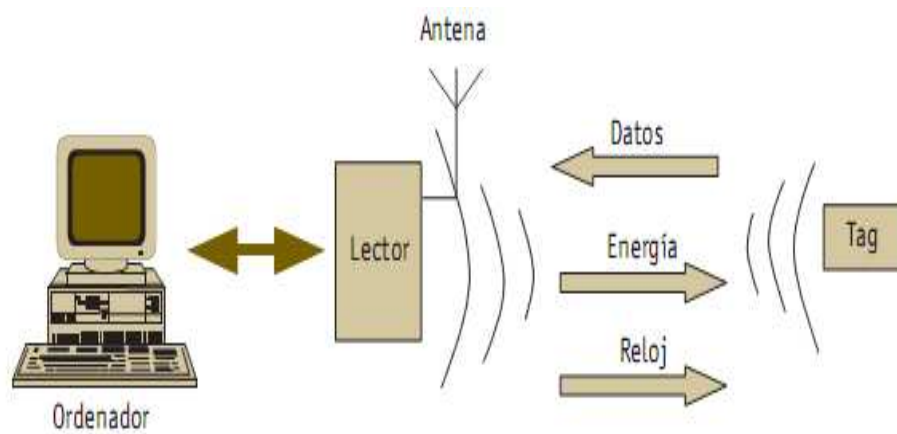


Figura 1 Componentes de un sistema RFID pasivo

Tabla1: parámetros de la simulación.

Parámetro	Valor
Velocidad de propagación	$3 \cdot 10^8$ m/s
Paquete Query	3 bytes
Paquete QueryRep	1 bytes
Paquete de identificación	12 bytes

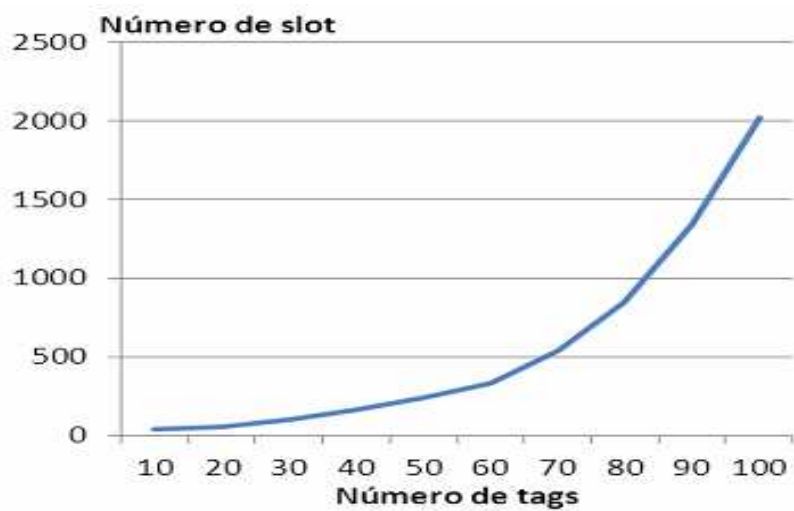


Figura 2: trama estática

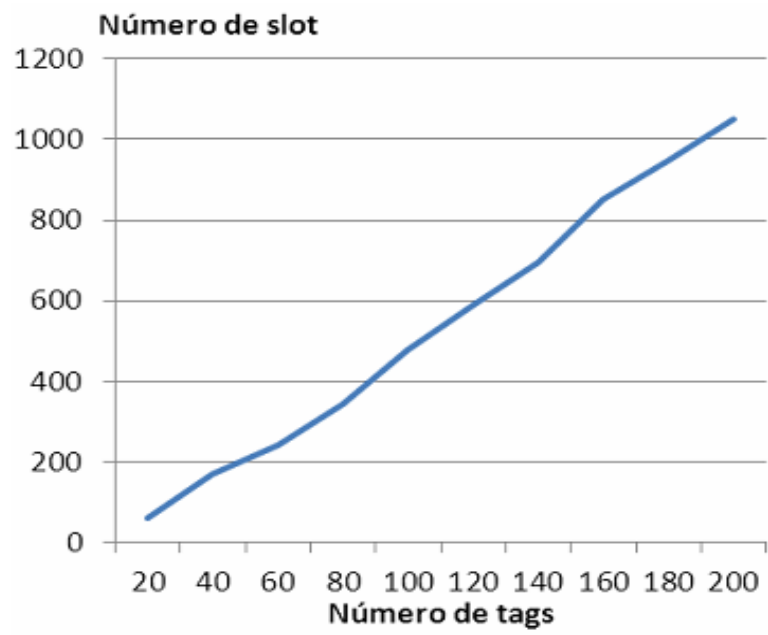


Figura 3: trama adaptativa ciclo a ciclo



Figura 4: trama adaptativa slot a slot