

# Diseño de un Prototipo de Sistema de Prevención de Accidentes para Vehículos Industriales Mediante la Tecnología de Identificación por Radiofrecuencia

## *Design of a Prototype of Accident Prevention System for Industrial Vehicles Using Radio Frequency Identification Technology*

Álvarez Urdiales, Ronald; Álvarez Villacís, Ronald; García Villamar, Angélica

**Resumen**— Ante la inherente necesidad de poseer herramientas tecnológicas que permitan disminuir el número de incidentes ocasionados por la operación de maquinaria pesada, este documento describe brevemente el diseño de un prototipo de Sistema de Prevención de Accidentes para vehículos industriales mediante la Tecnología de Identificación por Radiofrecuencia (RFID) que alerta sobre la cercanía de personas al área de operación de equipos industriales, el despliegue de la tecnología Open Source provee los recursos necesarios para que un equipo de control Raspberry Pi 3 B+ ejecute el procesamiento de la información mediante una interfaz de control que activará una alarma y a través de un módulo de administración se gestionarán los componentes RFID (TAGS y Lectores) y se obtendrán los reportes de las lecturas efectuadas. Finalmente, considerando que factores como la frecuencia, el ambiente de operación, el tipo de modulación, la altura de las antenas, el patrón de radiación de la antena, la ganancia de la antena y la ganancia del receptor influyen en la propagación de las ondas de radio se realizará una investigación predictiva en diferentes escenarios mediante una estimación de la cobertura basada en el modelo de propagación de pérdida en el espacio libre para comprobar la fiabilidad del prototipo que opera con tecnología Ultra Narrow Band y emplea técnicas de Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia.

**Palabras clave:** Propagación, ondas de radio, RFID, UNB, FHSS.

Article history:

Received 01 July 2019

Accepted 03 September 2019

Álvarez Urdiales, Ronald y García Villamar, Angélica pertenecen a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Álvarez Villacís, Ronald; pertenece a la Universidad de Especialidades Espíritu Santo.

**Abstract**— Given the inherent need to have technological tools to reduce the number of incidents caused by the operation of heavy machinery, this document briefly describes the design of a prototype Accident Prevention System for industrial vehicles using Radio Frequency Identification Technology (RFID). ) that warns about the proximity of people to the area of operation of industrial equipment, the deployment of Open Source technology provides the necessary resources for a Raspberry Pi 3 B + control device to execute information processing through a control interface that will activate an alarm and through a management module the RFID components (TAGS and Readers) will be managed and the reports of the readings will be obtained. Finally, considering factors such as frequency, the operating environment, the type of modulation, the antenna height, the radiation pattern of the antenna, the antenna gain and the receiver gain influence the propagation of the waves radio will perform a predictive investigation in different scenarios by means of an estimation of the coverage based on the model of propagation of loss in free space to verify the reliability of the prototype that operates with Ultra Narrow Band technology and employs techniques of Spread Spectrum by Jump Frequency.

**Index Terms**— Propagation, radio wave, RFID, UNB, FHSS.

### I. INTRODUCCION

Actualmente en las terminales portuarias de Ecuador se suscitan accidentes que son ocasionados por la operación de maquinaria pesada, si bien es cierto se trata de mitigar este tipo de incidentes mediante la implantación de seguridades, políticas y procedimientos dirigidos al personal que labora en este tipo de empresas, sin embargo, se requieren soluciones tecnológicas que permitan reducir el número de accidentes que afectan la calidad, la productividad, los activos fijos e incluso ocasionan pérdidas de vida. Por tal motivo se desarrolló un prototipo mediante la utilización de dispositivos

de Identificación por Radiofrecuencia (RFID) con el objetivo de disminuir el riesgo de accidentes entre personas y equipos móviles, específicamente para el personal que trabaja en áreas cercanas a la operación de maquinarias o equipos industriales. El Sistema está conformado por una red de sensores RFID compuesto de etiquetas activas también denominadas transponder o TAGs, una unidad de lectura RFID (compuesto por un módulo de radiofrecuencia y cuatro antenas RFID) y un equipo Raspberry Pi 3 B+ que funciona como módulo controlador, recibiendo las capturas realizadas por el lector al cual se conecta por medio de un puerto de comunicación RS232 y posteriormente envía una señal de 5 voltios para activar un relé y accionar una alarma visual y sonora. El Módulo de Control es un middleware programado en Python cuya finalidad es obtener la información desde las unidades de lectura y almacenarla en una base de datos temporalmente hasta que el usuario final la descargue en su equipo valiéndose de la red Ethernet u opcionalmente por Wifi accediendo al Módulo de Administración con interfaz GUI (“Graphical User Interface”) que gestiona los lectores asociados y la generación de reportes correspondientes a las lecturas de RFID obtenidas.

## II. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Las personas llevarán una etiqueta RFID en el chaleco reflectivo o en un casco mientras permanezcan en un área próxima a la operación de maquinaria. El TAG será un transmisor que emitirá la identificación de la persona que la porte, previo su registro en el software de administración, será leída por las antenas receptoras del sistema RFID cuando se acerque el transeúnte a la maquinaria pesada (ejemplo el montacargas mostrado en la Figura 1) se activará una alarma sonora y otra luminosa y el evento quedará registrado temporalmente en la memoria del equipo receptor.

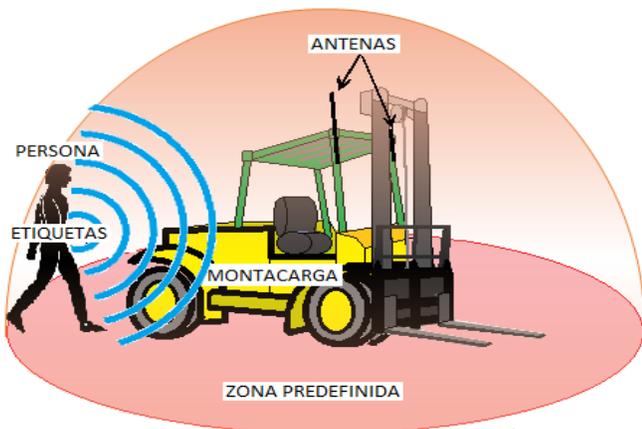


Fig 1. Funcionamiento del Sistema de Prevención de accidentes.

El tamaño de la zona predefinida será establecido regulando la ganancia de la antena receptora RFID, la cual será una zona donde el personal corre mayor riesgo de sufrir un incidente. La frecuencia de trabajo del sistema es de 2.45 GHz., para lo cual se colocarán cuatro antenas en la maquinaria pesada como se

observa en las Figuras 3 y 4.

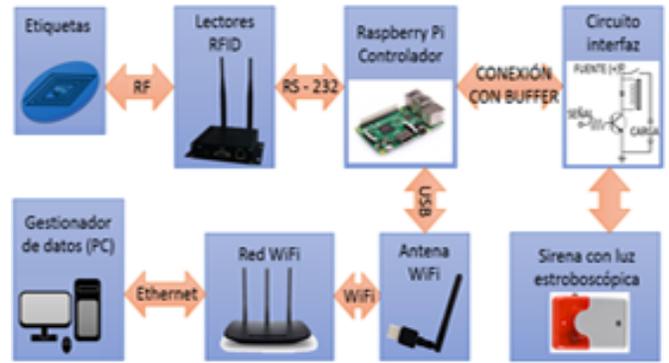


Fig 2. Diagrama de Bloques del Sistema de Prevención de accidentes para maquinaria pesada.

Con respecto a la comunicación entre la unidad de lectura y los TAGs se emplean técnicas de Espectro Ensamblado por Salto de Frecuencia, utilizando tecnologías de Banda Ultra Estrecha (“Ultra Narrow Band”) sobre la banda ISM (“Industrial-Scientific-Medical”) a una frecuencia de 2.45 GHz y una modulación GFSK.

Tres antenas se encuentran dispuestas, creando un área circular de acuerdo a lo que se observa en la Figura 3, dos de ellas están instaladas en la parte trasera de la grúa móvil elevadora, una antena en el frente y en la Figura 4 visualizamos una cuarta antena en el Boom de la máquina, elemento que realiza los movimientos para la carga y descarga de contenedores.



Fig 3. Colocación de antenas de 2.45 GHz en una excavadora.



Fig 4. Ubicación de antena frontal en la grúa.

Los movimientos propios para la manipulación de contenedores pueden obstaculizar los TAGs, provocando que la antena que se encuentra en la parte frontal de la grúa no capture la señal de alguna etiqueta cercana, para minimizar este tipo de situaciones la antena que se encuentra en el boom podrá cubrir el área requerida y obtener cualquier señal de una etiqueta. El controlador y la unidad de lectura RFID se colocaron en la cabina del conductor, la energía eléctrica necesaria para su operación se obtiene de la misma grúa y activa el sistema al momento de encender la grúa.

El lector tiene una capacidad de lectura de 200 TAGs por segundo y envía la información al controlador implementado en tiempo real, es decir segundo a segundo, a pesar que dicho parámetro también puede ser configurado de distinta forma, de igual manera el lector puede ser configurado de tal forma que no lea un mismo TAG dentro de un determinado tiempo con el objetivo de evitar almacenar demasiada información en la memoria del controlador, impidiendo que la memoria se llene, además de disminuir la carga del controlador y por consiguiente no aumentará su temperatura, la misma que representa un factor de riesgo al producirse un sobrecalentamiento o pasar su temperatura máxima de operación.

### III. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El análisis de los resultados implica la observación de los niveles de pérdidas y de RSSI (Received Signal Strength Indicator), verificando las distancias máximas a las que el equipo lector realiza una óptima detección de los TAGs en varios escenarios mediante simulaciones basadas en el método de pérdida en espacio libre y efectuando las mediciones obtenidas en sitio [1].

A continuación, se detallan las pruebas a las que se sometió el equipo en cuanto al nivel de potencia de la señal emitida por los transmisores y recibida por el lector en función de la distancia entre ambos, de igual forma se analizan los niveles de pérdida y de RSSI con respecto a la variación de distancia, tanto en ambiente de laboratorio como en el lugar de implantación. Además, se verifican los resultados empíricos obtenidos en las pruebas de distancia de detección de los TAGs.

Se obtuvieron las distancias máximas en las que se pueden encontrar los transmisores del receptor para una transmisión segura basados en un modelo de propagación. Seguidamente,

por método de tabulación y de acuerdo a la esquematización de datos, obtenida experimentalmente se procedió a calcular el valor del gradiente para el modelo de propagación que simula de forma óptima las pérdidas reales obtenidas en dicho ambiente determinado por sus características físicas.

Para realizar las pruebas de laboratorio se utilizó equipo FieldFox modelo N9916A [ 2] con una antena logarítmica de 10 dB, las pruebas fueron realizadas en el Coliseo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, las pruebas se orientaron en cambiar el ancho de banda de observación de la señal de un TAG a un metro de distancia y analizar el comportamiento del sistema principalmente si se logra visualizar la señal de una forma correcta sin alteraciones provocadas por el ruido, en todas las mediciones realizadas se observó que el ruido tenía una intensidad de -55 dBm aproximadamente.

TABLA 1  
RESULTADO DE LABORATORIO DE LECTURA DE FRECUENCIAS  
RFID

Ventana de observación		Ancho/Banda (Khz)	Señal Recibida (dBm)	Ruido (dBm)
Frecuencia/ inicio (Ghz)	Frecuencia/ fin (Ghz)			
2.495000	2.497000	1760	-30	-56.16
2.495600	2.495700	98.50	-42	-55.51
2.495600	2.495650	48.88	-42	-54.99
2.495600	2.495625	24.63	-42	-56.10

La Tabla 1 contiene las muestras de RSSI tomadas en laboratorio, en este escenario es necesario considerar que factores como la potencia del TAG, la misma que es muy baja, así como el elevado piso de ruido y la imposibilidad de aumentar la sensibilidad o ganancia del receptor impiden alcanzar mayores distancias entre el TAG y el receptor lo que ocasionó que se obtuviera una escasa cantidad de muestras, seguidamente se procedió a realizar el cálculo de la pérdida en espacio libre (Path Loss), tomando en cuenta la Potencia del transmisor (TAG).

Además, se realizaron 2 pruebas de campo en el mismo escenario, con los mismos equipos, la diferencia radica que en la primera prueba la antena del receptor se colocó a una altura de 2 metros y en la segunda prueba la antena del receptor fue dispuesta a 5 metros de altura.

Es importante describir que en el ambiente del puerto existen extensas áreas en las que se localizan grandes columnas de contenedores, tomando en consideración que el equipo será utilizado para seguridad, por lo que se determinó un lugar abierto con un radio aproximado de 120 metros para efectuar las pruebas y generar la línea de vista entre el receptor y el TAG.

En la primera prueba realizada, la antena del lector se instaló a una altura de 2 metros y el TAG fue elevado a 1.60 centímetros, colocado en la parte frontal de un casco de plástico para disminuir la absorción de energía que irradia el transponder por el cuerpo humano y con el fin obtener mayor confiabilidad en las lecturas obtenidas.

Como resultado se observa en la Figura 5 que el eje X correspondiente a la ganancia del receptor variada progresivamente, el eje Y representa la distancia máxima a la que puede ser leído el TAG dada una ganancia determinada en el receptor, esta distancia máxima aumenta a medida que la ganancia del receptor aumenta, también se puede apreciar que las muestras que fueron tomadas a 90 grados alcanzan una distancia de lectura mayor por parte del receptor, lo que se debe a la existencia de una zona elevada (cerro) en la parte posterior del lugar donde se realizaron las mediciones, lo cual permite deducir que se trata de una componente de la señal que se logra reflejar.



Fig 5. Distancia Máxima Vs. Ganancia del Receptor.

Tomando en cuenta de que el modelamiento aplicado es:

$$Pr_{(dB)} = Po(d_p) + 10\alpha \log\left(\frac{d}{d_p}\right) + X, \tag{1}$$

y  $Po = Pt(dB) - Lo$ ,

podemos decir que:

$$\alpha = (Po - Pr) / ((10 * \log(d)) \tag{2}$$

En la Figura 6 se observa el eje X (distancia máxima/do) y el eje Y (ganancia del Receptor) en (dB), determinando la pendiente del gráfico que será el alfa obteniendo 6.2455 con una correlación alta de los datos.



Fig 6. Ganancia del receptor Vs. Distancia

Para la realización de la segunda prueba se elevó a una altura de 5 metros la antena del receptor, siguiendo el procedimiento descrito anteriormente se obtuvo la Figura 7, para la cual el eje X representa  $10 * \log(\text{Distancia})$  y el eje Y la ganancia del receptor en (dB), en la Figura 7 se puede observar que el alfa obtenido mediante esta prueba es de 4.6993 el cual es menor al obtenido en la prueba anterior.

*A. Análisis de cobertura*

El análisis de cobertura se basa en las mediciones de las pruebas de campo realizadas, en las que se logró determinar que con una antena omnidireccional de 10 dB se logra cubrir un radio de mínimo de 26 metros con una ganancia en el receptor de 0dB y como máximo 80 metros, con una ganancia del receptor de 30dB, lo cual garantiza que dispositivo de seguridad trabajará de manera excelente a distancias cortas siempre que exista línea de vista entre el lector y los TAGs.

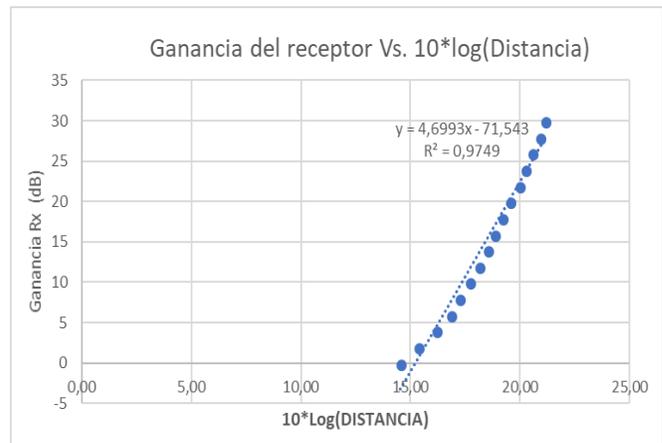


Fig 7. Ganancia del receptor Vs. 10\*Log (Distancia).

*B. Mediciones de la señal recibida a diferentes distancias (RSSI, por las siglas del inglés Received Signal Strength Indicator) y de la frecuencia de operación de la etiqueta activa desde un controlador.*

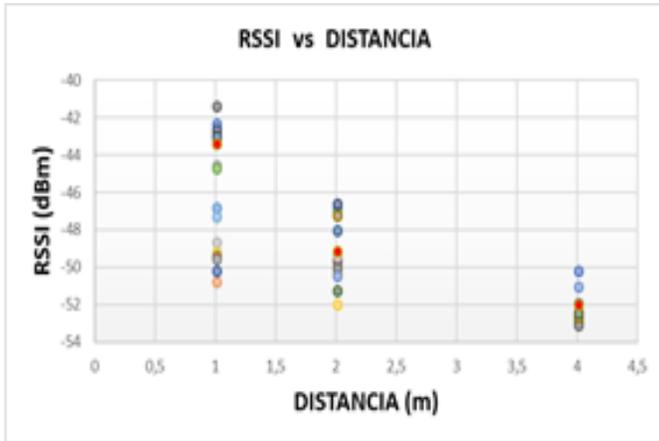


Fig 8. RSSI Vs Distancia.

En la Figura 8 se observan las muestras tomadas de RSSI vs distancia. El receptor o lector de TAGs carece de la capacidad de determinar el RSSI, por lo que el desarrollo de este punto se basa en las mediciones realizadas en el laboratorio con el equipo FIELDFOX.

Conociendo los niveles de RSSI, PIRE del transmisor y las pérdidas del cable de la antena del receptor se realizó el cálculo para lograr obtener el Path Loss de cada una de las muestras tomadas a las diferentes distancias con la finalidad de obtener un promedio de la pérdida en el espacio libre como se observa en la Figura 9.

$$P_{Tx(dBm)} - P_{Rx(dBm)} = PL_{dB}$$

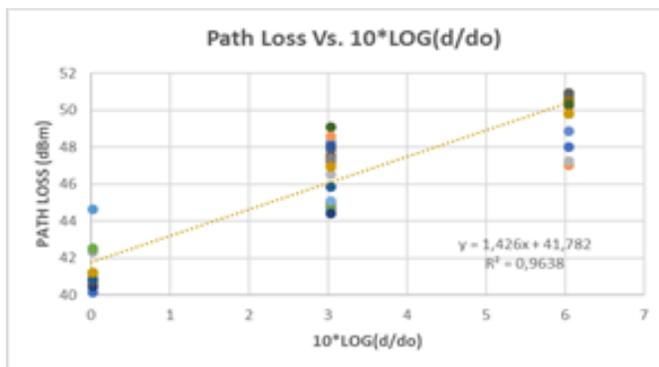


Fig 9. Path Loss vs Distancia

Para obtener el exponente de pérdida de trayecto, se tomaron los resultados de las diferencias entre la potencia de transmisión y la señal recibida [3], las mismas que se grafican separadamente dependiendo de la distancia. Así pues, las variables que se graficarán son en el eje Y path loss con unidades de decibeles, respecto al eje X lo cual es el producto (10 log (d)). Con la finalidad de obtener los valores característicos para el modelo planteado en este análisis se utiliza una regresión lineal en los datos, de tal forma que el resultado tenga forma de una recta como  $y = ax + b$ , donde  $a$  corresponde al gradiente de  $y$  y  $b$  a la pérdida promedio

referenciado a la distancia de  $d_0$ , como se puede observar en la

El modelo utilizado en este proyecto es el siguiente:

$$PL_{dB}(d) = \overline{PL_{dB}}(d_0) + 10\alpha \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X \quad (3)$$

Donde  $\overline{PL_{dB}}(d_0)$ , denota la pérdida promedio de trayecto en la distancia de referencia  $d_0$ ,  $10\alpha \log(d/d_0)$  es la pérdida de trayecto referenciada a la distancia  $d$ , y  $X$  es una variable Gaussiana aleatoria de media cero expresada en dB, con una desviación estándar  $\sigma$ , esta variable es utilizada cuando hay efectos de sombra, en ambientes donde esta variable no se puede obviar.

La pérdida de trayecto promedio en  $d_0$  y el exponente de pérdida de trayecto son determinados a través del análisis de regresión lineal. La diferencia entre este ajuste y el dato medido está representada por la variable de desvanecimiento  $X$ .

### 3.3. Análisis de resultados mediante el uso de los modelos de propagación en los enlaces lector-etiqueta y etiqueta-lector

Se han realizado dos tipos de pruebas, la primera en laboratorio con un alcance muy corto y considerando una pequeña cantidad de muestras debido a las características técnicas del equipo de laboratorio utilizado y la segunda en situación real con el lector de TAGs obteniendo largo alcance debido a que la ganancia del receptor se puede variar.

La prueba de laboratorio refleja un alfa de 1.426, lo cual puede atribuirse posibles reflexiones de la señal debido a que se la realizó en un lugar cerrado, exactamente en el coliseo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, se supone que pudo ser afectada por otro tipo de señales que podrían haber estado en el ambiente en ese momento, como señales de WIFI, las mismas que se podrían confundir con la señal del TAG.

En la prueba realizada en situación real en el puerto el transmisor o TAG fue predispuesto a la altura de una persona en situación real de trabajo, el alfa encontrado fue de 6.2455, debido a la altura a la que se encontraba ubicada la antena del receptor y la altura en que se encontraba ubicado el TAG, lo que produce una obstrucción de la zona de Fresnel por lo que afecta el alfa del modelo, tal como se expone en la publicación “Characterization of Radio Path Loss in Seaport Environment for WiMAX Applications” realizado por Wireless Communications Laboratory, National Institute of Information and Communication Technology (NICT) de Singapore, donde se demuestra que la altura de las antenas van relacionadas con el alfa del modelamiento, [4] concluyendo que a mayor altura, el alfa disminuye acercándose a 2, de tal forma que en “Towards a Factory-of-Things: Channel Modeling and Deployment Assessment in PetroEcuador Esmeraldas oil Refinery” se muestra que la obstrucción de parte de la zona de Fresnell tiene incidencia en el alfa [5].

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En las pruebas realizadas se logró determinar que el alfa en un determinado ambiente puede variar dependiendo de la altura de las antenas. Se demostró que para distancias largas y

altas ganancias en el receptor, una elevación mayor de la antena del receptor provoca que el alfa tienda a disminuir y se aproxime al alfa del espacio libre, esto ocurre debido a la reducción de las obstrucciones de las zonas de Fresnel.

Para el caso particular de la terminal marítima y considerando la ubicación de las antenas lectoras y la altura a la que el personal usará los TAGs, se puede concluir que el alfa según el modelamiento utilizado es de 6.2455.

El prototipo diseñado cumplió con el objetivo para el cual fue creado, advirtiendo a un conductor y/o a un peatón o trabajador de un riesgo de accidente dentro de un área determinada.

El alcance de lectura del receptor en un ambiente real supera las expectativas planteadas al inicio de esta investigación.

Se recomienda que los usuarios del sistema utilicen los TAGs en un lugar visible para evitar la pérdida de energía de las etiquetas y la pérdida de línea de vista con respecto al receptor.

Se recomienda la utilización de un handheld con un programa que determine que el TAG portado por la persona que pretenda ingresar al lugar de mayor riesgo se encuentra en buen estado, determinando principalmente que la batería se encuentre funcionando.



**Álvarez Urdiales Ronald.** Ingeniero en Electricidad (1999) Escuela Superior Politécnica del Litoral, Magíster en Administración de Empresas de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (2003). Magíster en Telecomunicaciones de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (2018).



**Álvarez Villacís Ronald.** Estudiante de la Carrera de Ciencias Empresariales, Facultad de Emprendimiento de la Universidad de Especialidades Espíritu Santo.



**García Villamar Angélica.** Ingeniera en Sistemas Computacionales de la Universidad de Guayaquil (2006), Magíster en Telecomunicaciones de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (2018).

#### REFERENCIAS

- [1] H. Córdova y P. Chávez, «Estudio, Modelamiento y Simulación de Sistemas de Espectro Ensanchado.» *Revista Tecnológica ESPOL*, vol. 18, n° 1, 2005.
- [2] K. Technologies, «Electronic Components Datasheet Search.» [En línea]. Available: [/www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=N9916a&gclid=EAIAIQobChMIkueGiJT-5AIV8IFaBR3D4AmEAAAYASAAEgIwlPD\\_BwE](http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=N9916a&gclid=EAIAIQobChMIkueGiJT-5AIV8IFaBR3D4AmEAAAYASAAEgIwlPD_BwE).
- [3] S. Peredo, Software para análisis del presupuesto de enlace para comunicaciones vía satélite, Tesis de Grado Licenciatura en Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas, Puebla, México, 2004.
- [4] M.-T. Zhou, J. Jurianto, J. Shankar y M. Fujise, «Characterization of Radio Path Loss in Seaport Environment for WiMAX Applications,» Singapore, 2006.
- [5] S. Savazzi, B. Ramos, J. Winter, S. Kianoush, V. Rampa, E. Del Rosario, T. Chavez y O. Cevallos, «Towards a factory-of-things: Channel modeling and deployment assessment in PetroEcuador Esmeraldas oil refinery,» *IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)*, 2016.