

Traffic Model for Narrow Band Power Line Communications Networks

Lizeth D. Cortés H.
Facultad de Ingeniería Electrónica.
Universidad Pontificia Bolivariana
Bucaramanga, Colombia.
lizeth.cortes.2016@upb.edu.co

Jhon J. Padilla
Facultad de Ingeniería Electrónica.
Universidad Pontificia Bolivariana
Bucaramanga, Colombia.
jhon.padilla@upb.edu.co

Abstract—Today, Internet of Things is an important topic in Research. One key technology for IoT development is PLC (Power Line Communications), which is widely used in Domotic Networks. Although PLC for low voltage networks have been studied widely in physical layer aspects, one important theoretical lack of this studies is the absence of traffic models for these networks. Then, there are no models that allows dimensioning in such scenarios. With the aim to improve this situation, we have performed a study with a Narrow Band PLC Low Voltage Network. In this work, we have performed traffic measurements, and we obtained that this system can be modeled as a Poisson traffic model, which allows PLC networks dimensioning in a simple way.

Keywords—IoT, Domotic, Traffic model, Data Networks, Performance.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día el Internet de las cosas (Internet of Things-IoT) es un tema de especial interés para la comunidad científica. IoT surgió debido al cambio tecnológico que hubo al pasar de IPv4 a IPv6, pues con IPv6 se tienen 128 bits de direcciones, lo que permite tener tantas direcciones que sobran en el espacio cubierto por tierra en nuestro planeta. Por esta razón se impulsó la idea de poner direcciones IP a objetos que usamos en la vida cotidiana, tales como electrodomésticos e incluso ropa. Una de las áreas con mayor desarrollo en IoT es la Domótica, es decir, el monitoreo y control de los aparatos eléctricos de un hogar. Una de las tecnologías claves para la Domótica es la conocida como PLC (Power Line Carrier), que utiliza las instalaciones eléctricas de una casa (Redes de Baja Tensión-ReBat) para controlar dispositivos como controladores de luces, sensores de apertura de puertas, motores para cortinas, televisores, etc.

A su vez, una de las tecnologías más usadas en redes PLC de baja tensión es el protocolo X.10, el cual trabaja a bajas velocidades (banda angosta). Aunque hoy en día se habla bastante del uso de nuevas tecnologías para banda ancha con redes PLC de baja tensión, es claro que las redes más ampliamente difundidas en la actualidad son las redes PLC de

banda angosta debido a que llevan más tiempo de desarrollo y ya tienen mayor madurez tecnológica. Sin embargo, a pesar de llevar varios años en el mercado, son pocos los estudios que se han realizado sobre el modelado de tráfico, pues la mayoría de estudios se han centrado en estudio de rendimiento en la capa física, especialmente las señales y cómo las afecta el ruido, la interferencia y las distancias.

Este artículo está organizado como sigue: en la sección 2 se hace una revisión de trabajos realizados sobre modelos para el tráfico de datos en redes PLC. En la sección 3 se describe el experimento realizado y las mediciones obtenidas. En la sección 4 se describe el modelo obtenido con base en las mediciones de tráfico realizadas. En la sección 5 se hace un análisis de los resultados obtenidos.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

A continuación, se muestra una serie de estudios realizados en cuanto al análisis de tráfico y QoS de la tecnología Power Line Communications (PLC).

En [1], LIN et Al. realiza un análisis por medio de simulación de tráfico UDP y TCP bajo programación en C y medidas reales utilizando equipos con tecnología PLC comerciales basados en el protocolo HomePlug. En este trabajo se logra demostrar que se puede garantizar la calidad de servicio para comunicaciones en tiempo real y se puede prestar un buen servicio para aplicaciones domóticas. Este proyecto plantea una serie de escenarios bajo diferentes condiciones y cantidades de usuarios y los resultados motivan al uso de estas redes como infraestructura básica para la construcción de casas inteligentes integradas.

En [2], TSOKALO et Al. describe un análisis de los diferentes ruidos existentes dentro de las redes eléctricas y, a partir de esta información, deduce que el medio físico PLC (estructura de cables, aparatos eléctricos, etc.) puede inducir efectos especiales en la propagación de la señal de información sobre el medio de comunicación. Como resultado a la investigación se tiene que el mejor ataque a la inestabilidad de canales PLC es el estudio de los diferentes

ruidos posibles en la red con el fin de construir mecanismos para evitarlos.

En [3], JIN et Al. Propone un modelo de tecnología de enrutamiento centrado en el contenido (CCR). Este tipo de enrutamiento por contenidos, permite organizar mejor la cantidad de bits en las tramas, reduciendo de esta manera el tráfico en la red. Como resultado, se puede lograr una reducción significativa de la latencia. Por otra parte, las transmisiones de datos redundantes, también pueden ser eliminadas después de la agrupación de datos y, así se puede reducir el consumo de energía, gastada en su mayor parte en la comunicación inalámbrica.

En [4], REDUAN et Al. ofrece una revisión en profundidad sobre las características y los requisitos de tráfico de varias aplicaciones de redes inteligentes emergentes usadas para Smart Grid. En su trabajo logró demostrar, que las infraestructuras de comunicación en las redes actuales son bastante insuficientes y no son capaces de cumplir con los requisitos de comunicación para crear una Smart Grid. Por lo tanto, los servicios públicos de todo el mundo, se enfrentan ahora al reto fundamental de la búsqueda de la tecnología más adecuada, que puedan satisfacer las necesidades de comunicación futuras.

En [5], TAKAHARA et Al. estudia los requisitos de las redes de comunicación para Smart Grid. Para esto, clasificó el tráfico de datos en dos clases generales, una de ellas es el tráfico de datos en Home Area Network (HAN) y la otra es el tráfico de las redes de distribución. Luego, utilizando MATLAB como emulador de red, simuló los dos tipos de redes. Con este trabajo se demuestra que la latencia y la fiabilidad, son los principales requisitos a tener en cuenta en comunicaciones de redes Smart Grid. También calculó mediante simulación, el retardo de las diferentes clases de tráfico bajo diferentes infraestructuras de red y aplicaciones de tráfico.

En [6], LEE et Al. Desarrolla un modelo de simulación usando el diagrama de estados de los protocolos LonWorks y LnCP. Además, evaluó el rendimiento con parámetros tales como máximo retardo de transmisión y retardo de transmisión.

En [7], STEFANO et Al. presenta un instrumento multi-protocolo para la estimación del rendimiento del PLC. La solución propuesta es capaz de caracterizar y, decodificar varios sistemas PLC con diferentes modulaciones físicas, utilizando una arquitectura definida por software. Para lograr esto, se implementó toda una estructura de comunicación PLC en una planta industrial real, con el fin de estudiar los posibles elementos dentro de una empresa que pueden afectar la comunicación. Como plataforma de desarrollo se utilizó Labview y las correspondientes tarjetas de adquisición de datos.

En [8], HRASNICA et Al. analiza una estructura de red y un sistema PLC, dentro de una red eléctrica con perturbaciones. Después, define una estructura lógica de la

capa MAC para trabajar bajo la línea eléctrica. Esto permite una mejor utilización de la red y también, ofrecer garantías de calidad de servicio (QoS), logrando que las redes PLC sean más competitivas con otras tecnologías de acceso. En este trabajo se implementó un modelo de simulación con el cual logró investigar la capa MAC PLC que incluye también la modelización de diferentes escenarios de perturbación. Se utilizó una red sin perturbación y una red afectada por las perturbaciones para dos diferentes variantes de protocolos MAC para medir los retrasos en el acceso y el rendimiento para diferentes tamaños de paquetes de transmisión.

Concluyendo, se observa que los estudios realizados hasta el momento, aunque estudian ciertos parámetros de calidad de servicio, no contemplan modelos matemáticos para el tráfico que permitan dimensionar las redes PLC en entornos domóticos sobre redes de baja tensión. Por tanto, en el presente trabajo se busca encontrar un modelo que cubra este vacío del conocimiento.

III. EXPERIMENTACIÓN

Con el objetivo de encontrar un modelo de tráfico para redes PLC basadas en el protocolo X.10 [9], se realizó el experimento utilizando un tablero de conexiones eléctricas, en el que se ubican los diferentes dispositivos domóticos, tal como se observa en la Figura 1. Dichos dispositivos son de marca Insteon y se usan para controlar el encendido y apagado de luces.

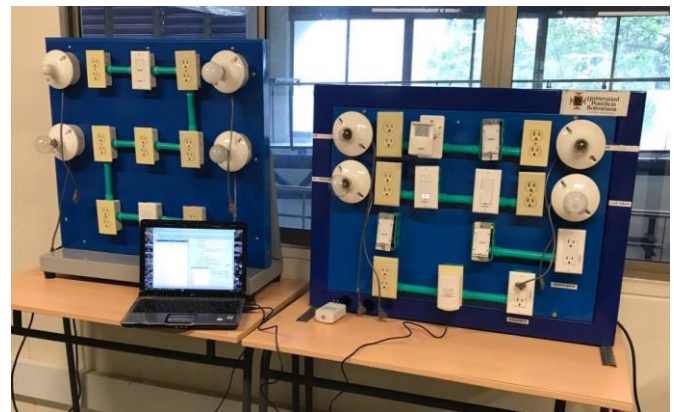


Figura 1. Tableros con dispositivos Insteon.

Para la medición del tráfico se usa el software HHD Serial Monitor [10], el cual permite desplegar en pantalla la información de los paquetes que viajan por el medio, y mide parámetros tales como el ancho de banda en paquetes/seg y en bytes/seg. Un pantallazo del software se observa en la Figura 2.

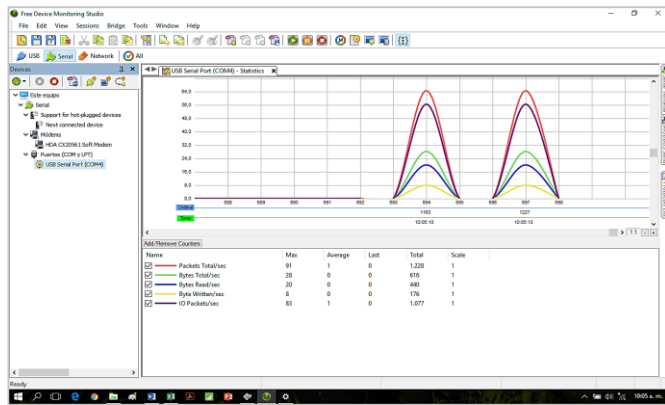


Figura 2. Pantallazo del software HHD Serial Monitor durante la captura de datos.

Para dar las órdenes a los dispositivos domóticos se utiliza un computador portátil conectado a la red eléctrica a través de un modem X.10 de Insteon. El programa del computador hace solicitudes periódicas a los diferentes dispositivos y estos responden a cada solicitud con mensajes de confirmación.

Para el envío de comandos se usa el software Docklight [11], el cual permite dar las órdenes de funcionamiento a los dispositivos a través de un formato de comunicación asíncrona con 8 bits de datos, los cuales son mostrados por el software como caracteres hexadecimales. Un pantallazo del software se observa en la Figura 3.

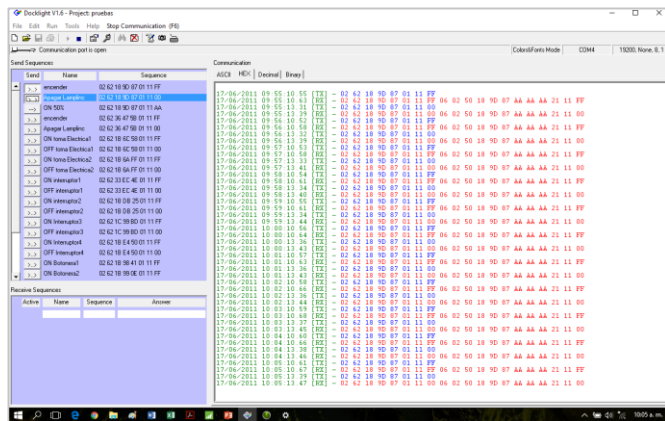


Figura 3. Pantallazo del Software Docklight enviando comandos y recibiendo respuesta de los dispositivos Insteon.

La respuesta del dispositivo se aprecia en color rojo y es conformada por la repetición exacta del comando transmitido originalmente (en azul), seguido de caracteres que verifican la correcta recepción y la identificación del dispositivo.

El objetivo de nuestro experimento es saturar el medio de comunicación y medir el tráfico de paquetes que hay en ese momento de saturación, con el fin de obtener un modelo del tráfico transmitido exitosamente (Throughput). La congestión se detecta al encontrar respuestas de dispositivos con errores o que no hay respuesta del dispositivo al que se transmitió la orden, tal como se observa en la Figura 4.

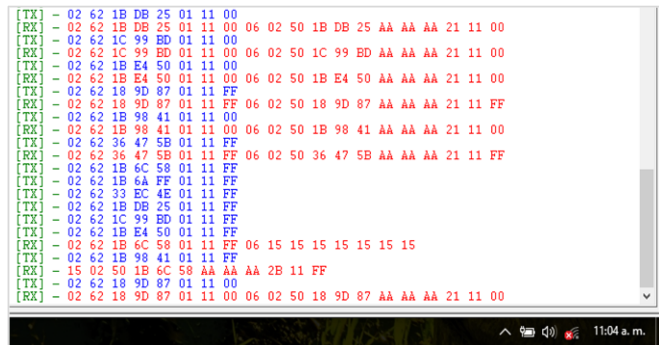


Figura 4. Pantallazo de mediciones que presentan fallas por saturación en el tráfico de comandos.

Con el fin de generar congestión en la red, se va aumentando el número de dispositivos a los cuales se les va dando órdenes, además de que se va disminuyendo el tiempo de periodicidad de las órdenes, es decir, se van enviando más frecuentemente. Por tanto, se trabaja con un dispositivo y se va aumentando la frecuencia de las órdenes hasta obtener el error en la transmisión. La cantidad de medidas realizadas depende precisamente del momento en que ocurra el error ya que no tiene sentido seguir tomando muestras con una red en mal funcionamiento. Luego se repite este proceso con dos dispositivos, luego con tres, incrementando de uno en uno hasta lograr encontrar una tendencia apropiada del comportamiento de la red, lo cual se logró al llegar a los 11 dispositivos.

La toma de datos se hizo en bancos de trabajo con condiciones ideales para una red domótica, es decir, no fue necesario incluir motores ni artefactos especiales, pues el objetivo del proyecto no era medir el efecto de interferencias eléctricas, sino el punto de congestión de la red provocada por la cantidad de dispositivos conectados.

Para cada medida se estimó un tiempo de duración de 15 minutos, tiempo suficiente para comprobar que los datos eran válidos ya que en muchos casos al instante se observaba si existía buen o mal funcionamiento de la red producida por la congestión de datos.

Como resultado se obtuvo un total de 168 mediciones observadas en la *Tabla 1*. En esta tabla se observan en la primera columna el tiempo de periodicidad de las órdenes en segundos, y en las columnas siguientes el número de paquetes enviados para diferente número de dispositivos con cada período de las órdenes. Es decir, las filas representan el período entre órdenes para cada dispositivo y las columnas representan el número de dispositivos usados para esa medición. En la Tabla 1 se resaltan en rojo las mediciones en las cuales ya hubo errores en la transmisión.

	NÚMERO DE DISPOSITIVOS										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
60	91	109	109	80	93	93	77	96	109	81	107
57	77	109	96	93	109	109	109	80	109	120	93
54	99	109	109	93	64	109	96	77	126	108	109
51	91	109	109	80	93	81	93	109	130	93	94
48	81	77	109	93	109	109	128	92	109	93	80
43	99	80	109	109	109	96	109	109	109	93	109
38	109	93	109	109	93	93	93	101	96	96	96
33	93	109	109	93	93	80	112	112	158	128	132
28	93	93	109	80	109	93	128	128	128	130	142
23	109	93	109	80	109	128	126	128	128	128	158
18	107	80	96	109	112	160	144	128	144	192	178
13	109	93	126	108	126	144	166	201	174	214	
9	93	109	128	128	144	182	197	192	218		
6	91	100	130	190	192	222	242	232			
3	93	110	190	220	247						
2,7	105	128	182								
2,3	93	190	246								
1,7	142	216									
1,3	142	224									
1	160	250									
0,7	208	174									
0,5	258										
0,3											
0,1											

Tabla 1. Mediciones de tráfico en paquetes/segundos obtenidas bajo diferentes condiciones.

IV. MODELADO DEL TRÁFICO

Una vez realizada la Tabla 1, se observa que hay una cierta tendencia a ir disminuyendo el tiempo de periodicidad en el cual se obtenían errores al ir aumentando el número de dispositivos, lo cual era de esperarse, pues al haber más dispositivos, el número de transmisiones aumentan, congestionando más la red.

A partir de los datos también se realiza un análisis para determinar la probabilidad de éxito en las transmisiones. Se obtuvo que las transmisiones exitosas medidas, tenían un comportamiento que se puede asimilar como una distribución exponencial tal como se muestra en la Figura 5, es decir, a medida que aumenta el número de dispositivos, disminuye la probabilidad de éxito en las transmisiones siguiendo esta tendencia exponencial.

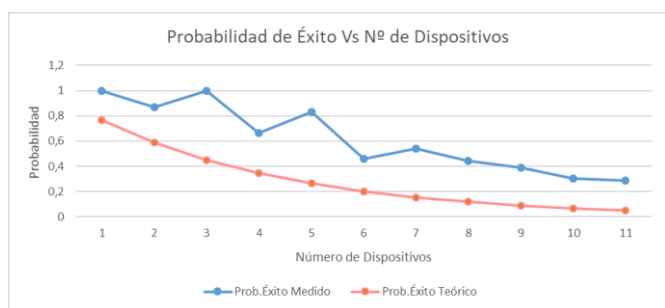


Figura 5. Probabilidad de éxito teórica comparada con la experimental.

Esta hipótesis se comprobó mediante la prueba de bondad del ajuste de Kolmogorov-Smirnov visualizada en Tabla 2, donde se observa que con una tasa media de 0,333 se obtiene un buen ajuste de la distribución exponencial, pues pasa la prueba con un α de 0,2, lo cual quiere decir que se tiene una confianza del 80% (recordemos que entre más baja la confianza es más exigente la prueba).

Tamaño de la muestra	11				
Estadística	0,2837				
Valor P	0,28181				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Valor crítico	0,30829	0,35242	0,39122	0,4367	0,4677
Rechazar	No	No	No	No	No

Tabla 2. Prueba de bondad Kolmogorov-Smirnov para la probabilidad de éxito.

Por tanto, la expresión teórica para la probabilidad de éxito, cuya forma para un modelo de Poisson es ya conocida, se describe en (1), y se encuentra visualizada en la Figura 5.

$$P(0) = e^{-2*(\lambda*N*h)} \quad (1)$$

Donde:

λ - Tasa media de llegadas entre paquetes (paq/seg)

N- Número de dispositivos

h- Tamaño del paquete (seg/paq)

Este resultado permite calcular el throughput del sistema para determinar el comportamiento del mismo. De otra parte, se observa que el throughput, tiene un comportamiento similar al de un método de acceso tipo Aloha con tráfico de entrada tipo Poisson [12]. Con base en estas observaciones, se realizó un proceso para ajustar el modelo de Poisson para el tráfico de esta red. Una vez realizado este proceso de ajuste, se obtuvo la expresión para modelar el throughput de la red, descrita en (2).

$$\rho = (\lambda * N * h)e^{-2*(\lambda*N*h)} \quad (2)$$

Donde:

ρ - Throughput

λ - Tasa media de llegadas entre paquetes (paq/seg)

N- Número de dispositivos

h- Tamaño del paquete (seg/paq)

En la Figura 6 se observan las curvas para el comportamiento del throughput, según las mediciones (en azul) y según el modelo teórico (en rojo).

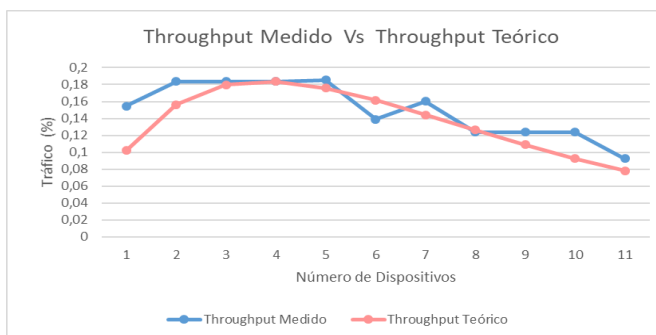


Figura 6. Throughput teórico comparado con el experimental.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se observa en la Figura 5 y de la Tabla 2, que la probabilidad de éxito en la transmisión tiene un comportamiento exponencial con un $\lambda=0.3333$.

Se pudo comprobar según se observa en la Figura 6, que siguiendo el modelo de tráfico de Poisson, se obtiene una aproximación muy acertada del comportamiento del tráfico creado por dispositivos X.10 conectados dentro de una red PLC de baja tensión.

Con el modelo obtenido en la ecuación (2) se puede dimensionar una red domótica de banda estrecha basada en el protocolo X.10, de manera que se puede calcular el tráfico generado con éxito para un determinado número de dispositivos.

CONCLUSIONES

En este estudio se obtuvo un modelo de tráfico para redes domóticas usando banda angosta con el protocolo X.10. Esta tecnología, a pesar de ser de baja velocidad, es muy utilizada en dispositivos domóticos comerciales actuales y es considerada una gran opción para la implementación de lo que se conoce hoy como el internet de las cosas.

Por mucho tiempo el campo de la investigación de las redes PLC en redes de baja tensión se había preocupado solamente por analizar el funcionamiento de dichas redes ante la presencia de ruidos eléctricos. Con este trabajo investigativo se demuestra que, superada esta etapa de verificación de funcionamiento, el comportamiento del tráfico también es un factor de rendimiento importante que debe ser investigado para hacer un apropiado dimensionamiento de este tipo de redes.

Se pudo demostrar que las redes PLC basadas en X.10, a pesar de ser de banda angosta, también presentan congestión y se pueden saturar a medida que se incrementa la cantidad de dispositivos utilizados.

Mediante la prueba de ajuste Kolmogorov-Smirnov se pudo ratificar que nuestro modelo experimental de la probabilidad de éxito posee un comportamiento exponencial.

El modelo de tráfico obtenido se puede considerar conservador debido a que el resultado teórico quedo por debajo de los datos obtenidos experimentalmente. El hecho de ajustar el modelo por debajo de los valores experimentales nos representa un margen de tolerancia con respecto al tráfico generado por los dispositivos domóticos en la práctica.

La tendencia del modelo matemático obtenido es consecuente con la lógica aplicada al experimento en la cual se esperaba que a medida que se incrementa la cantidad de dispositivos, la red X.10 se congestionara.

El modelo construido, al tener un comportamiento aproximado a los datos experimentales, permite predecir el tráfico para N cantidad de dispositivos, lo cual da cumplimiento al objetivo principal de esta investigación.

REFERENCES

- [1] H. A. L. A. M. L. YU-JU LIN, "A power line communication network infrastructure for the smart home.," *Revista SMART HOMES IEEE Wireless Communications*.
- [2] S. Tsokalo, "Influence of the channel instability on the PLC Qo.," *International Journal of Electronics and Communications (AEÜ)*, 2014.
- [3] S. G. P. K. M. S. Yichao Jin, "Content centric routing in IoT networks and its integration in RPL.," *ELSEVIER Computer Communications*, 2016.
- [4] .. K. J. REDUAN, "Traffic requeriments for smart grid. A comprehensive review of the application characteristics and traffic requirements of a smart grid communications network.," *Article in Computer Networks*, 2013.
- [5] F. A. H. S. H. G. Takahara., "Viability of Powerline Communication for the Smart Grid.," *Revista IEEE*, 2012.
- [6] K. H. K. C. L. Suk Lee, "Performance evaluation of MAC layer of LnCP and LonWorks protocol as home networking system. ScienceDirect.," *Revista El sevier Computer Standars & interfaces*, 2009.
- [7] P. F. A. M. R. E. S. A. V. Stefano Rinaldi, " Performance analysis of power line communication in industrial power distribution network.," *Revista El sevier. Computer Standrards& interfaces*, 2015.
- [8] A. Halid Hrasnica, "Modeling MAC Layer for Powerline Communications Networks.," *Paper, Chair for telecommunications, dresden University of technology 01062 Dresden, Germany*.
- [9] S. H. USA, "Smart home USA.," [Online]. Available: <https://www.smarthomeusa.com/how-x10-works/#theory>. [Accessed Marzo 2018].
- [10] H. Software, "Serial Monitor.," [Online]. Available: <https://www.hhdsoftware.com/serial-monitor>. [Accessed 12 04 2018].
- [11] Docklight, "Docklight.," [Online]. Available: <https://docklight.de/information/>. [Accessed 14 04 2018].
- [12] V. B. Iversen, TELETRAFFIC ENGINEERING and NETWORK PLANNING, D. Fotonik, Ed., 2015.