

# COMUNICACIONES CELULARES PARA MEDICIÓN INTELIGENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Esteban Inga Ortega<sup>1,\*</sup>, Diego Arias Cazco<sup>2</sup>, Víctor Orejuela Luna<sup>3</sup> y Juan Inga Ortega<sup>4</sup>

## Resumen

El uso de telecomunicaciones en diferentes aplicaciones del sector eléctrico, ha permitido verificar la evolución de su arquitectura, ya sea por tecnologías alámbricas o inalámbricas. El servicio prestado por cada una de las dos opciones no permiten el uso de una sola tendencia y en la actualidad se torna inminente el uso de soluciones híbridas, donde cohabitan varias tecnologías para cada etapa de una red inteligente. De igual manera los planes de negocios para implementar la infraestructura de medición inteligente requieren de diferentes soluciones tecnológicas; operadoras de red y fabricantes, siendo necesaria una gestión de las redes de telecomunicaciones para este tipo de servicio específico y que facilitan la creación de herramientas para la optimización del consumo de la energía eléctrica, incorporando nuevos servicios al consumidor - cliente, en relación a los que actualmente ofrece una empresa de distribución.

## Abstract

The use of telecommunications for different applications for the industry electric, allow to analyze the evolution of their architecture for wired or wireless telecommunications technologies; furthermore, the offered service for each of these both options do not permit to use one specific tendency; in fact, it is important to use hybrids solutions, where several technologies coexist for each stage of smart grid. So that, technologies of telecommunications have different possibilities and services, but require of the adequate management for get an efficiently usage. Similarly the business plans in infrastructure of smart metering, with different of technologies solutions and marks warn the needed management of telecommunications in smart grid, thus obtaining access to energy optimization over buildings/homes, will be very important for adding new services, in relation to those currently offer enterprise electrical to consumer-client.

---

<sup>1,\*</sup>Máster en Educación y Desarrollo Social, Ingeniero electrónico, Doctorando de la Universidad Tecnológica de Panamá en Ingeniería de Proyectos, Profesor y director de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito. Autor para correspondencia ✉: einga@ups.edu.ec

<sup>2</sup>Magíster en Ciencias de la Ingeniería – mención Ingeniería Eléctrica – UChile, Diplomado en redes digitales industriales – ESPE, Ingeniero en Electromecánica – ESPE, Profesor de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito. Autor para correspondencia ✉: darias@ups.edu.ec

<sup>3</sup>Máster en Docencia con Mención en Educomunicación, Diplomado en Seguridad Nacional y Desarrollo, Especialista en Sistemas Eléctricos de Potencia – General Electric Co., USA; Especialista en Protecciones Eléctricas, Brown Boveri, Suiza, Ingeniero Eléctrico – EPN. Profesor de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito. Autor para correspondencia ✉: vorejuela@ups.edu.ec

<sup>4</sup>Maestrante en Gestión de Telecomunicaciones, Ingeniero Electrónico, Profesor de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, Investigador del CIDII - Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación en Ingeniería. Autor para correspondencia ✉: jinga@ups.edu.ec

Recibido: 26-05-2013, Aprobado tras revisión: 26-11-2013.

Forma sugerida de citación: Inga, E.; Arias, D.; Orejuela, V. e Inga, J. (2013). "Comunicaciones celulares para medición inteligente de energía eléctrica en sistemas de distribución". INGENIUS. N.º10, (Julio-Diciembre). pp. 21-33. ISSN: 1390-650X.

Como marco de referencia para el desarrollo de este artículo, se presenta el marco legal que regula la planificación del sector eléctrico, sus principales lineamientos, políticas, objetivos y metas de la planificación de la distribución de energía eléctrica; y los resultados del Mapa de Ruta de las Redes Inteligentes en el Ecuador; resaltando la viabilidad y prioridad dada al desarrollo de la infraestructura de las telecomunicaciones.

**Palabras clave:** Planificación de la Distribución, Medición Inteligente, Redes Eléctricas Inteligentes, Redes Inalámbricas, Respuesta de la Demanda, Sistema de Gestión de la Demanda, Infraestructura Avanzada de Medición, Interoperabilidad, Comunicaciones Móviles, Operador Móvil Virtual - OMV.

As a framework for the development of this technical paper, the legal framework governing planning in Ecuador is presented, and within this context, of the electric sector planning. The main guidelines, policies, objectives and goals of the planning of the distribution of electricity, and the results of the Roadmap of Smart Grids in Ecuador, are presented; highlighting the feasibility and priority given to the development of the telecommunications infrastructure.

**Keywords:** Distribution Planning, Smart Metering, Smart Grid, Wireless Network, Demand Response, Demand Management System, Advanced Measurement Infrastructure – AMI, Interoperability, Mobile Communications, Mobile Virtual Network Operator - MVNO.

## 1. Introducción

Este artículo proporciona un análisis conceptual de las prioridades requeridas para la implementación y proyección de una red eléctrica inteligente en su etapa de medición inteligente de energía eléctrica. Podemos advertir que para la existencia de una red eléctrica inteligente [1] es necesario la vía o el camino que permita el tránsito bidireccional de la información [2], por lo que el uso de las comunicaciones para este tipo de aplicación se torna inminente, de aquí que una gestión de telecomunicaciones que permita administrar con claridad las necesidades de las redes, servicios de calidad [3], detección de problemas de cobertura, tráfico, zonificación rural o urbana; serán requeridas para optimizar los recursos tecnológicos existentes, además de buscar una solución de negocio adecuada para reducir el impacto económico que refiere a este tipo de soluciones y garantizar nuevos servicios ofertados al distribuidor y al consumidor, como herramientas de análisis al comportamiento del consumo energético residencial.

En la primera sección presentaremos el entorno en el que se desarrolla la planificación en el Ecuador y sus principales lineamientos, políticas y resultados, con énfasis en el desarrollo de las redes inteligentes. En la segunda sección hablaremos de las opciones que brinda la medición inteligente para detección de problemas de estabilidad de tensión en redes de distribución y los servicios que se pueden brindar a las empresas distribuidoras y a los clientes. En la tercera sección trataremos de la necesidad de una gestión de telecomunicaciones aplicadas a medición inteligente de energía eléctrica y los requerimientos adicionales de calidad necesarios para que exista un servicio confiable del servicio de medición.

Finalmente propondremos una estrategia para la creación de un operador móvil virtual, como ente gestor de la vía o camino a la medición inteligente, pero de una manera sustentable, usando recursos y tecnología existente, como lo es el caso de las comunicaciones celulares.

## 2. Desarrollo del artículo

La energía eléctrica mantiene e impulsa la economía y por consecuencia mejora el nivel de vida de las personas, razón por la que se requiere de un nuevo concepto del sistema eléctrico, pensado no solo desde la generación en dirección al cliente sino de forma bidireccional. Dichos clientes denominados como consumidores activos “dotados de elementos de medición prácticamente en tiempo real bidireccionales que informan, tanto al consumidor como a la empresa de

distribución, las condiciones del servicio y del uso de la energía”<sup>1</sup> [1].

### 2.1. Planificación de la distribución con visión de Smart Grid

#### 2.1.1. Disposiciones constitucionales [4]

Con el advenimiento del nuevo gobierno en el año de 2007, varios paradigmas de la corriente “neoliberal - privatizadora” de los años previos, dejaron de tener vigencia; entre ellos los relacionados con la concepción de que el suministro de energía eléctrica era “un negocio” sujeto a las “reglas del mercado”; que la planificación era solo “indicativa”; y que, por tanto, la satisfacción de la demanda de energía eléctrica, particularmente en el ámbito de la generación, dependía de la “iniciativa privada”, que respondería al incentivo de reconocerles a todos los agentes generadores, por la energía horaria producida, el denominado “precio marginal”, igual al costo horario de la unidad de generación más cara.

Es así que, específicamente, a partir del año 2008, con la aprobación, mediante referéndum, de la Constitución de la República, uno de los deberes primordiales del Estado es el “*planificar el desarrollo nacional*” bajo la organización del “*sistema nacional descentralizado de planificación participativa*”; y dentro de este contexto, establece que “*El Plan Nacional de Desarrollo es el instrumento al que se sujetarán las políticas, programas y proyectos públicos; la programación y ejecución del presupuesto del Estado; y la inversión y la asignación de los recursos públicos...*”; y complementa señalando que “*... Su observancia será de carácter obligatorio para el sector público e indicativo para los demás sectores...*”.

La Constitución también establece que el suministro de energía eléctrica en el país, dejó de ser concebido como un negocio, para convertirse en un servicio público que forma parte de los sectores estratégicos, bajo la responsabilidad del Estado.

#### 2.1.2. Planificación del sector eléctrico [4] [5]

La planificación tiene que inscribirse en el contexto de las disposiciones constitucionales, legales, regulatorias, gubernamentales e institucionales.

Es así que los lineamientos generales que orientan la planificación estratégica del país y dentro de ella, la del sector eléctrico, están contenidos en la Constitución de la República, vigente desde el 2008; y en el Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013.

Alineados a ellos están la Estrategia Nacional de Desarrollo – END; la Agenda de los Sectores Estratégicos – MICSE; el Plan Estratégico del Ministerio de

<sup>1</sup>Programa de Redes Inteligentes Ecuador (REDEI), Mapa de Ruta Enero 2013, Ecuador.

Electricidad y Energía Renovable MEER y El Plan Maestro de Electrificación aprobado por CONELEC.

En la Constitución de la República se establecen, en forma explícita y específica, los lineamientos que orientan la planificación energética y eléctrica, a saber: “... el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto...”; la garantía y el derecho de las personas a “... acceder a bienes y servicios públicos y privados de calidad; la obligación del Estado en promover “... la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua...”; y, “... la integración, en especial con los países de Latinoamérica y el Caribe...”.

### 2.1.3. Planificación de la distribución [6] [7]

En alineamiento con las disposiciones constitucionales, con el Plan Nacional del Buen Vivir, con los ejes estratégicos del MICSE y con las políticas del MEER, el CONELEC ha establecido en el Plan Maestro de Electrificación 2012-2021.

Para el efecto, en el Plan Maestro se han considerado los siguientes programas y proyectos principales:

**SIGDE: El Sistema Integrado para la Gestión de la Distribución Eléctrica**, se centra en la mejora sistemática de la gestión técnica, comercial y financiera de las empresas de distribución.

**PMD: El Plan de Mejoramiento de los Sistemas de Distribución**, se centra en ampliar las redes de distribución, mejorando los índices de calidad, cobertura y reducción de pérdidas.

**PLANREP: El Plan de Reducción de Pérdidas**, tiene por objetivo mejorar la eficiencia energética del país, contribuyendo a las metas propuestas en el Plan Nacional para el Buen Vivir (PNBV).

**FERUM: El Plan de Energización Rural y Electrificación Urbano Marginal**, tiene como finalidad, el desarrollo humano y social, el crecimiento económico de las áreas beneficiadas y mejorar la calidad de vida de la población.

### 2.1.4. El programa REDIE [8]

El MEER, bajo varias consideraciones, entre las cuales están las siguientes: “... Que la modernización de las Redes Eléctricas debe considerar, entre otros aspectos los siguientes: aspectos regulatorios, redes de transporte y distribución energética, **redes de comunicaciones**, generación distribuida, almacenamiento de energía, **medición inteligente**,... Que la **transformación**

**de la red eléctrica actual a una moderna red eléctrica**, debe hacerse de una manera gradual, considerando el grado de madurez de las nuevas tecnología y las necesidades particulares del país, y que para tal propósito **es necesario contar con una hoja de ruta** que deberá ser la guía de referencia para la modernización del sector eléctrico...”; mediante Acuerdo Ministerial, institucionalizó el Programa “REDES INTELIGENTES ECUADOR” (REDIE), con la finalidad de “... contar con una red más eficiente y flexible, con alta disponibilidad y calidad en el suministro de energía; sustentada en los beneficios que brindan las **tecnologías de la información y telecomunicación**, a través del establecimiento de un marco de referencia único para la gestión y ejecución de las diferentes iniciativas asociadas a este Programa...” [1].

En este contexto se ha establecido el “Mapa de Ruta para el Programa Redes Inteligentes Ecuador (REDIE)”, dentro del cual las comunicaciones y, en especial, **la infraestructura de las telecomunicaciones**, ha sido considerada como una de las capas importantes de la arquitectura de la red inteligente; y se establece que su desarrollo es “viable” ya que la relación beneficio/costo y los aspectos regulatorios tiene una valoración alta; y por tanto, **deberá ser parte de la primera fase del desarrollo de las redes inteligentes en el Ecuador**; esto es, dentro del período 2013-2017.

## 2.2. Calidad de la energía eléctrica en redes de distribución y mecanismos para optimización del consumo de energía eléctrica

Para asegurar la confiabilidad y calidad del suministro de energía es muy importante mantener la tensión de servicio dentro de rangos adecuados [9], [10]. La estabilidad de tensión y la calidad de servicio dependen de la regulación de voltaje del sistema. El control de voltaje en los sistemas de distribución es una operación diaria muy importante, que lo realiza el DNO (en inglés, *Distribution Network Operator*).

### 2.2.1. Causas de problemas de estabilidad de voltaje en redes de distribución

Mencionaremos algunas causas de niveles de tensión bajos en los sistemas de distribución. En los centros de generación y distribuidoras en ciertas circunstancias realizan una reducción temporal de la tensión en situaciones de emergencia para reducir la demanda a corto plazo.

En los sistemas de distribución existen varias topologías, entre las comunes: esquemas radiales, en anillo, en malla. Los sistemas de distribución radiales se alimentan en un solo punto, que es la subestación (S/E) [11]. En la Figura 1, se muestra una configuración radial, con transformadores de distribución (T/D)

y circuitos secundarios (C/S). Se puede apreciar los incrementos de caídas de voltaje en función de la distancia.

Los esquemas radiales son menos fiables por su naturaleza pasiva y son los más propensos a tener problemas de estabilidad de voltaje, debido a que su flujo de potencia es unidireccional. El problema de estabilidad de voltaje es común en líneas de distribución con relación R/X altas y en condiciones de cargabilidad críticas, provocando que se tenga mayores caídas de tensión en la red y pérdidas de potencia.

En ciertas subestaciones de distribución se utiliza los cambiadores de tomas bajo carga (OLTC – *On Load Tap Changer*), como medio de regulación automática de voltaje en los alimentadores primarios. Hay que considerar el fenómeno eléctrico de la acción directa e inversa del OLTC en su esfuerzo por controlar tensión, ocasionando un colapso de voltaje inminente por absorción de potencia reactiva progresiva en este punto [12].

El tiempo es un parámetro muy importante para evitar que el sistema vaya al colapso de tensión, por tal razón, el sistema debe reaccionar en el menor tiempo posible ingresando el mayor aporte de potencia reactiva en el área de control de voltaje [13].

### 2.2.2. Métodos de análisis de estabilidad de voltaje en redes de distribución

En la literatura internacional existen algunos métodos para control de voltaje en sistemas de distribución, los cuales sirven como base para el desarrollo de nuevas aplicaciones empleando los avances más promisorios en redes inteligentes y, además, analizar las redes eléctricas con nuevos fenómenos dinámicos que aparecen por la integración de nuevas fuentes de energía en

los sistemas de distribución, los cuales, son los Generadores Distribuidos (DG). Estas nuevas fuentes de generación traen beneficios y consecuencias a los sistemas de distribución, y se tiene a las redes inteligentes como solución estrella para esta integración.

En las últimas décadas, se hicieron varios intentos para mejorar el perfil de tensión, reducir las pérdidas de potencia y corregir el factor potencia, mediante la colocación de fuentes de potencia reactiva distribuidos en la red, tales como los bancos de condensadores por etapas, de tamaños óptimos en lugares óptimos [14]. Estas mejoras tienen un efecto beneficioso sobre la estabilidad de tensión mediante el aumento de margen de estabilidad del sistema.

La regulación de tensión es un problema local y regional, por tal razón es necesario que los dispositivos de control de tensión sean coordinados por medio de algoritmos y programas de gestión, para evitar conmutaciones innecesarias [15].

La Figura 2, muestra la coordinación del OLTC con los conmutadores de los bancos de capacitores. Estos dispositivos son coordinados y monitoreados por el DNO por medio de una comunicación bidireccional.

Los métodos basados en las curvas PV y curvas QV, también son aplicables como herramientas de análisis para sistemas de distribución, entregando una medida implícita del margen de cargabilidad en las barras evaluadas.

Los índices de estabilidad son un aporte muy importante para evaluar la estabilidad de tensión en tiempo real. En [16] el autor propone un índice de estabilidad para redes radiales, en el cual evalúa el margen de estabilidad en el punto de singularidad del jacobiano, que llegaría a ser el punto del colapso en el sistema radial.

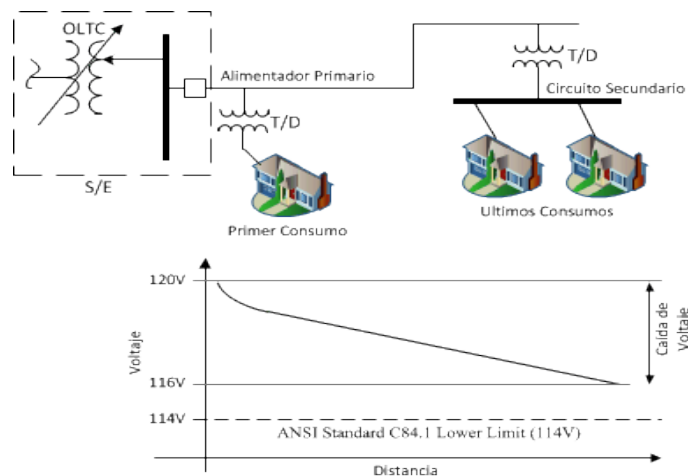


Figura 1. Sistema de distribución radial.

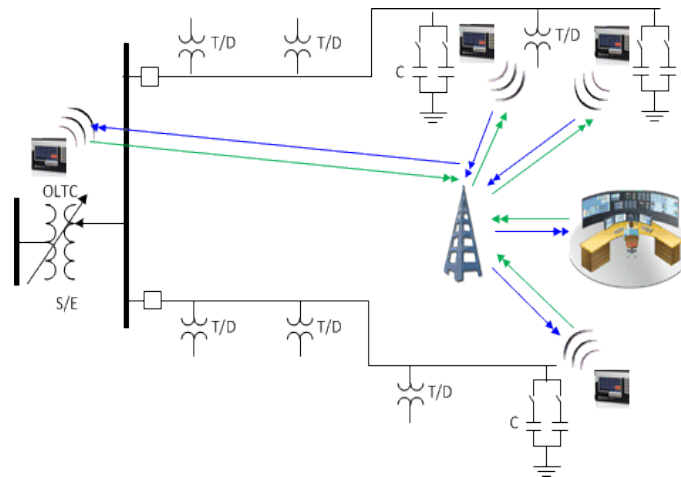


Figura 2. Operación coordinada entre OLTC y capacitores en redes de distribución.

### 2.2.3. Mecanismos para optimización del consumo de energía eléctrica

El suministro de energía eléctrica es el servicio principal en las sociedades modernas y cada vez requiere un mayor índice de calidad del recurso eléctrico, por otro lado, los mecanismos para optimizar el consumo eléctrico puede estar sujeto a las diferentes zonas donde vive el abonado, rurales o urbanas, pero sin duda alguna que tiene un alto impacto social.

La respuesta de la demanda (DR) es un importante recurso que permite bajar el consumo de electricidad cuando el sistema esta estresado, desde el punto de vista del proveedor del servicio eléctrico. Desde el punto de usuario, la DR tiene como objetivo optimizar: el consumo de energía eléctrica, el costo total de la electricidad, el gas, las emisiones de CO<sub>2</sub>, la carga máxima, y cualquier combinación de estos objetivos, sujeto a restricciones operacionales y de confort del usuario [17]. Los algoritmos serán capaces de manejar los componentes de la red de la casa basados en que el usuario final escoja en orden, para alcanzar el óptimo consumo de energía según patrones y beneficios de *smart grid*.

La FERC (*Federal Energy Regulatory Commission*) define la DR como los cambios en el uso eléctrico y gestión de la demanda en respuesta a cambios en el precio de la electricidad, o para el pago de incentivos diseñados para inducir a un menor uso de electricidad en tiempos de altos precios del mercado mayorista o al sistema [18].

Las cargas se clasifican en cargas interrumpibles, no interrumpibles, controlables y no controlables. En la Figura 3, se muestra la disposición de las cargas clasificadas, el medidor inteligente y el recurso renovable.

Los algoritmos matemáticos utilizados para la optimización, están en la programación entera mixta

(MILP), considerando las restricciones del problema, sin afectar en mayor grado el bienestar familiar; de esta manera, es posible un control de demanda y una operación óptima para gestión de la energía residencial entorno a una red inteligente.

### 2.3. Gestión de las comunicaciones celulares para *Smart Metering*

Cuando tratamos un sistema de gestión y en este caso de las telecomunicaciones, con una aplicación específica sobre redes eléctricas, con el fin de intercambiar información entre el cliente y la empresa de distribución, debemos determinar aquellos aspectos de mayor importancia como tipo de tecnología a ocupar desde la empresa de distribución hasta el medidor inteligente, topología de red, protocolos, calidad de servicio, cobertura, tráfico, entre otros.

Entre las necesidades para requerir un sistema de gestión de las redes de telecomunicación, está el disponer de funciones de operación, administración, mantenimiento y proveer servicios en un contexto donde cohabitan múltiples fabricantes.

Por otro lado, la heterogeneidad en el crecimiento de las redes y el requerimiento de brindar nuevos servicios a los usuarios, operatividad de las redes y la competencia entre empresas operadoras torna al escenario de la gestión un trabajo arduo y exigente, por lo tanto, se deben tomar las medidas que aseguren la efectiva y eficiente operación del sistema adecuando sus recursos a un objetivo claro y transparente.

Entonces para garantizar el nivel del servicio debemos contar con una adecuada planificación, organización, operación, mantenimiento y control de los elementos que forman la red de telecomunicaciones, de esta manera el costo estará referido a la categoría del servicio.

Permitir el intercambio y procesamiento de información colabora en la administración de la red para ejecutar las diferentes actividades con eficiencia, el aumento de la relación/costo en el desempeño y operación de las redes, con el adecuado uso de la tecnología brindará la reducción de los costos de funcionamiento de la red aumentando la calidad del servicio y por consiguiente la satisfacción de los clientes y las empresas operadores de red podrán reducir su personal en la operación de la misma. La interrogante de requerir o no un sistema de gestión está determinada por la cantidad de información y su dispersión, en la actualidad el número de nodos se encuentran más dispersos y van en continuo crecimiento, lo que torna necesaria la detección temprana del mal funcionamiento y por lo tanto la disminución de la calidad de servicio.

Es importante también conocer con exactitud el lugar donde se generó la falla de *hardware* para reducir el tiempo por reparaciones y en este caso tenemos dos tipos de interfaz, primero el camino o vía de comunicación y segundo el medidor inteligente que se comporta como un dispositivo celular fijo que requerirá un tratamiento apropiado en su red doméstica [19]. Dentro de los modelos normados para gestión de las telecomunicaciones podemos advertir características del más recomendado como: UIT-T → Arquitectura TMN – Gestión de redes de Telecomunicación. Define una estructura de red de gestión que se cimenta en modelos de bajo nivel. Este se basa en el intercambio de información de gestión entre los sistemas de operación y los equipos asociados. Se fundamenta en el sistema OSI para interconexión de los sistemas de forma abierta. Su gestión está dividida en arquitectura funcional, física, de información, organizativa o lógica. Además en un sistema de gestión se advierten áreas funcionales como:

- Gestión de prestaciones. estadísticas-errores.
- Gestión de fallos. Alarmas, eventos, diagnósticos,

reparación y supervisión.

- Gestión de configuración. Control de inventario, configuración, servicio de localización, licenciamiento de *software*.
- Gestión de contabilidad. Utilización de la red y los recursos.
- Gestión de seguridad. Autenticación de usuarios y acceso a los recursos.

En nuestro enfoque es requerido para la implementación de la infraestructura de telecomunicaciones, un tipo de infraestructura específica para medición inteligente de energía eléctrica en concordancia con los diferentes protocolos ofertados por los fabricantes en esta línea de dispositivos inteligentes. Además del sistema de gestión pertinente a las comunicaciones utilizadas y en relación a su ubicación como zonas urbanas y rurales, las nuevas inversiones deberán cumplir con los objetivos de mejora de la relación calidad/costo, pero también se debe incluir un presupuesto para el personal a dedicarse a la gestión y la infraestructura informática, aplicaciones y comunicaciones [20] específicas para la gestión. Este artículo descarta proyectos a través de creación de mallas (*Mesh* – 902-928 MHz en banda no licenciada) de RFID, debido al incremento sustancial que se requiere por infraestructura a nivel de concentradores primarios y secundarios usados para llevar la información de los medidores inteligentes a las respectivas empresas de distribución, como se puede verificar en la Figura 4, experiencia piloto para medición inteligente en Ecuador.

Por lo tanto esta propuesta se basa en la utilización de dos posibles opciones CDMA y GPRS, protocolos que presentan los medidores inteligentes en diferentes marcas como Elster [21], Itron [22], Landis + Gyr [23], GE [24], y que adicional al protocolo de comunicación está el modelo requerido acorde a la norma como son IEC o ANSI.

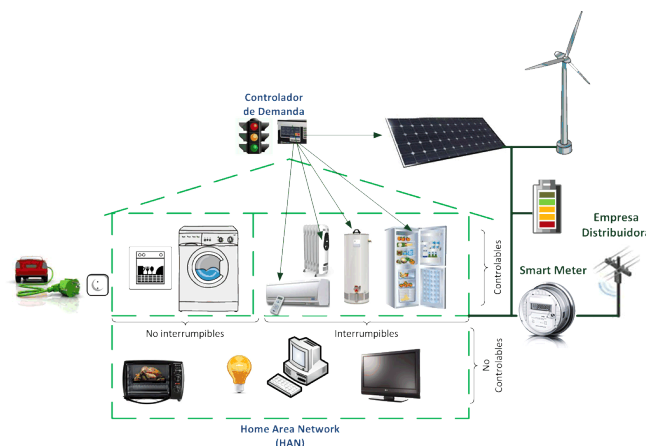


Figura 3. Operación óptima para gestión de la energía residencial.

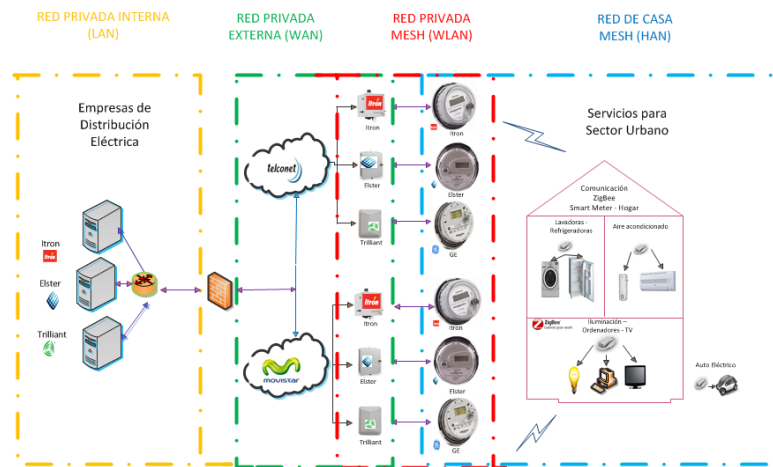


Figura 4. Infraestructura AMI – Guayaquil - Ecuador. Fuente: Empresa Eléctrica Pública – Guayaquil.

### 2.3.1. Opción CDMA 450 para zonas rurales

Este tipo de tecnología aplicada en las bandas de frecuencia de 450 MHz, donde su cobertura teóricamente son superiores a las de otras frecuencias, y por la tanto la reducción de implementar radios base, es una ventaja para los operadores que pueden cubrir áreas geográficas, reduciendo costos de infraestructura.

En primer plano, debido a que los usuarios comparten una porción del espectro de radiofrecuencia al mismo tiempo es importante el control de potencia dentro de la operación, es decir, el equipo transmite la potencia necesaria para conseguir la comunicación, la estación base envía información a los terminales en relación a la calidad y potencia con la que recepta a cada equipo y en base a las características de propagación en cada momento. Si controlamos la potencia podemos aplicar eficiencia ya que se presenta un ahorro

de energía en los terminales, además de que se optimiza la capacidad del sistema, en resumen, si acoplamos usuarios con el mínimo nivel de potencia, se facilita el ingreso de nuevos usuarios al sistema; así podemos verificar, en la Figura 5, la propuesta de diseño para una red CDMA para zonas rurales, descartando servicios adicionales provenientes de una comunicación a través de protocolo IEEE 802.15.4/ZigBee, debido a que el impacto social en la zonas rurales no evidencia una necesidad para tal inversión, en este tipo de servicios para el cliente consumidor.

En esta propuesta lo que se pretende es dotar a más del suministro, una lectura, cortes y reconexiones, servicios prepago que se orientan a las características específicas de los habitantes de zonas rurales y servicios que le permitan conocer el consumo de energía en tiempo real en relación al costo que la representa.

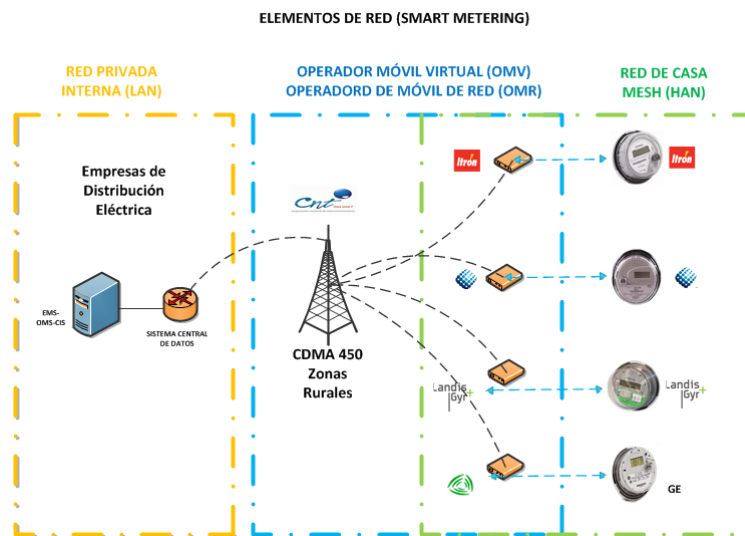


Figura 5. Infraestructura AMI - CDMA para zonas rurales.



### 2.3.2. Opción GPRS para zonas urbanas

Con este tipo de tecnología denominado sistemas generales de paquetes de radio – GPRS, proveniente de una mejora del sistema global para comunicaciones móviles – GSM [25], que permite envío y recepción de fotografías a través de una conmutación de paquetes, cuya velocidad de transferencia llega hasta 144 Kbps, mediante una conexión permanente, un tiempo de establecimiento de conexión inferior a un segundo, autenticación, asignación de IP y servicios como correo electrónico, se plantea una segunda opción de medio o vía para medición inteligente de energía eléctrica como se puede advertir en la Figura 6.

Esta propuesta sí propone una opción de servicios adicionales a lo que actualmente ofrecen las empresas de distribución y mediante una comunicación ZigBee con la interconexión de los dispositivos electrónicos [26] que los usuarios lo disponen, de esta manera se puede obtener desde las empresas eléctricas una caracterización del tipo de cliente, herramienta útil para procesos de optimización de energía y predicción de la demanda eléctrica [27].

La medición inteligente usando GPRS utiliza los recursos de radio solamente cuando hay datos para enviar o recibir información, detalle importante por la naturaleza intermitente de las aplicaciones de datos y más aún, en este tipo de mediciones que no requieren que sea en todo tiempo. Así el uso de los enlaces no excede en su capacidad de red o interfaz, permitiendo reducir los costos ya que al ser eficaz en el uso de la infraestructura permite tarifar por volumen de datos intercambiados.

Entonces los mecanismos tecnológicos que faciliten la interoperabilidad [28], serán el camino a recorrer, ya que el concepto de una red eléctrica inteligente es ser eficiente en el consumo de energía, resultado de reutilizar la infraestructura que, en este caso se utiliza para telefonía móvil.

## 2.4. Operador móvil virtual (OMV) aplicado a medición inteligente - análisis técnico económico

El propósito de esta sección es presentar a los operadores móviles virtuales (OMV – MVNO por *Mobile Virtual Network Operator*) como una posible solución para brindar servicios de monitoreo, control de medición, la gestión de datos de abonado e incluso la comercialización del servicio. Esto es posible gracias a que la arquitectura de las redes móviles permiten implementar servicios máquina a máquina o M2M<sup>2</sup> de *machine to machine*.

Estos servicios van tomando fuerza entre los diferentes tipos de operadores móviles debido al gran

incremento en el uso del internet embebido en los dispositivos móviles, la versatilidad que ofrecen las aplicaciones, los avances tecnológicos y el acceso de forma inalámbrica. Es necesario aclarar que los OMV no disponen de recursos de acceso de red, por tanto, tampoco de asignación de espectro radioeléctrico [30].

Sin esta asignación, el OMV funciona dentro de la red de un operador ya establecido que sí posee la totalidad de la infraestructura y realiza una inversión mucho menor. Este operador establecido es conocido como Operador Móvil de Red (OMR – MNO *Mobile Network Operator*). En el Ecuador estos OMR son conocidos como operadores de servicios móviles avanzados (SMA).

### 2.4.1. Características técnicas de los OMV aplicados a medición

Al existir contadores eléctricos con capacidad de manejar diferentes sistemas de comunicaciones inalámbricos ya mencionados en la sección anterior, exponen una gran posibilidad al negocio referente a la infraestructura que servirá como vía de información bidireccional entre las empresas de distribución y los medidores inteligentes de energía eléctrica.

Se considera que la empresa dedicada al servicio destinado a la medición inteligente de energía eléctrica, debe aprovechar el comportamiento del contador de energía como un dispositivo celular fijo. Entonces, sabiendo que una red eléctrica inteligente busca eficiencia y sustentabilidad, la construcción de una nueva red de comunicaciones con el fin de prestar este único servicio carece de viabilidad por los costos que implica.

El impacto visual de los equipos, el consumo de energía de esta infraestructura y la complejidad de gestión de una nueva red son indicadores para la negativa de crear un nuevo Operador Móvil de Red. Por lo que, bajo el concepto de Operador Móvil Virtual, se plantea implementarlo para reutilizar la infraestructura existente en las operadoras establecidas, y así aprovechar los recursos de red ociosos de los OMR.

El OMV puede prestar sus servicios a los sistemas de medición inteligente empleando GPRS o CDMA de acuerdo con las capacidades de los contadores energéticos actuales ya antes mencionados.

Ahora bien, considerar la implementación de un OMV significa tener en cuenta también el anfitrión de red OMR bajo la cual establecerá sus operaciones. Es importante destacar que el OMV, cualquiera que sea su tipo, debe mantener compatibilidad con su anfitrión. Por ello, se presenta en la Tabla 1, las tecnologías con las que se opera en el Ecuador de acuerdo a datos obtenidos de la dirección web del Consejo Nacional de

<sup>2</sup>Servicio de telemetría que permite realizar el control de actividades de una máquina o dispositivo de manera remota [29].

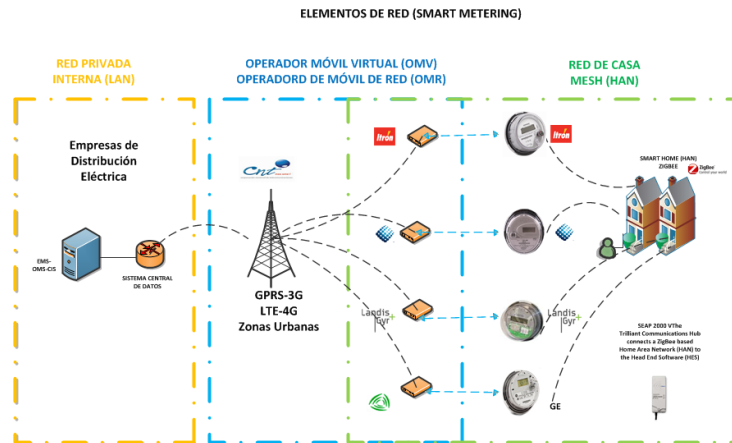


Figura 6. Infraestructura AMI - GPRS para zonas urbanas.

Telecomunicaciones (CONATEL) y de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL) [31], [32].

Como dato adicional a la tabla anterior, el 12 de diciembre de 2012 se firma la resolución TEL-804-29 del CONATEL asignando 30 MHz de la banda 700 MHz y 40 MHz de la banda de 1700/2100 MHz a la empresa CNT E.P. para el despliegue de tecnologías 4G<sup>3</sup> [33].

Así 3G y 4G serían las tecnologías a implementar en zonas urbanas y CDMA para zonas rurales, dicho plan de negocio entonces será la creación de un OMV-Operador Móvil Virtual pero destinado a ser la vía para medición inteligente de energía eléctrica.

Tabla 1. Tecnologías implementadas por las OMR en el Ecuador [34].

Nombre comercial	Tecnologías implementadas		
Claro	GSM	UMTS/HSPA+	-
Movistar	GSM	UMTS/HSPA+	-
CNT E.P.	-	UMTS/HSPA+	CDMA

#### 2.4.2. Características económicas y de mercado de los OMV aplicados a medición inteligente

Aplicar servicios M2M para la gestión de medición inteligente de energía eléctrica y acuerdo con los datos técnicos, es posible que el lector en primera instancia pueda pensar que la mejor solución está en que el OMV opere dentro del OMR con mayor cobertura siendo este Claro [35].

<sup>3</sup>Estándar 4G por implementar en Ecuador es *Long Term Evolution* (LTE).

<sup>4</sup>Los OMV se clasifican de acuerdo a su cadena de valor y un OMV completo tienen el control completo de su núcleo de red [38].

Sin embargo, dado que CNT por algunos años sería el único operador con permiso para implementar *Long Term Evolution*, mientras el espectro asignado para el estándar se libera [33], lo convierte en el operador de red potencial por implementar una arquitectura de red todo IP que expande la cantidad y calidad de servicio [36]. Así, el OMV al aprovechar la ventaja competitiva del OMR estatal podrá incrementar su cuota de mercado, más aún sabiendo que las operadoras privadas tardarán en implementar LTE [37].

Debido al tipo de negocio en el cual debe incurrir el OMV, se puede pensar que este se conectará con todos los OMR del país. Pero la realidad tecnológica y de mercado en el sector móvil no lo permite y cada empresa se limitará a un operador de red para cada OMV [26].

Al operar dentro de la red de un solo OMR, el OMV de las empresas eléctricas deberá proporcionar tarifas planas de forma que el servicio y costo sea transparente para cada usuario. Es claro que el OMV en cuestión obtenga mayores beneficios con usuarios que operen en su propia red debido a que el tráfico cursado entre OMR debe pagar el respectivo costo de interconexión.

Además, por las características de los negocios M2M es conveniente que el OMV de las empresas eléctricas se implemente como uno de tipo completo<sup>4</sup> para mejorar las características en los servicios que se brinden al consumidor. Estos servicios, sin embargo, serán principalmente desarrollados para usuarios que residan en los sectores urbanos que poseen mayor capacidad adquisitiva en comparación con el rural con el objeto de mejorar la cartera del negocio.

Bajo esta concepción también es posible considerar que, en lugar de implementar un OMV, se utilice un habilitador para los operadores móviles virtuales o *mobile virtual network enablers* (MVNE) [39] para que éste se encargue tan solo del *backoffice* y las mismas empresas eléctricas mantengan el control total de la comercialización.

### 3. Conclusiones

Las conclusiones deben obtenerse, por tanto, a partir de algo más que de los simples datos registrados. De hecho, unos datos o resultados pueden tener un sentido u otro y por tanto, pueden llevarnos a unas conclusiones y otras, dependiendo del marco conceptual que justifica nuestra investigación, de la metodología seguida, de los objetivos propuestos, etc.

La planificación en el Ecuador es una obligación constitucional del Estado y sus resultados son de cumplimiento obligatorio para el sector público e indicativo para los otros sectores. Dentro de la planificación del sector eléctrico, se tiene previsto el desarrollo del Programa de Redes Inteligentes Ecuador – REDIE, cuyo mapa de ruta considera al desarrollo de la infraestructura de las telecomunicaciones, como viable para ser ejecutado dentro del período 2013-2017. Dentro de este contexto, las principales conclusiones en el orden técnico son las siguientes:

En este artículo presentamos propuestas sobre experiencias analizadas de medición inteligente de energía eléctrica en Ecuador y de nuevas opciones referentes a implementar la infraestructura tecnológica para mejorar los servicios de eficiencia energética para los clientes de las empresas de distribución eléctrica, además de comentar las premisas de investigaciones en dos soluciones para reutilización de infraestructura del medio de comunicación a través de protocolos ya existentes usados en telefonía móvil, permitiendo así soportar las soluciones en una *Smart Grid*; nosotros definimos como la llave del éxito para llegar a una implementación de una *Smart Grid* la facilidad para lograr el intercambio de información en tiempo real, además de presentar una opción de negocio que facilite la gestión de las redes de telecomunicación inalámbrica en los futuros proyectos que se presenten en el sector de la industria eléctrica a través de los MVNO.

La implementación de un OMV para solventar el problema de integrar capacidades de comunicación con detalles de la generación y consumo eléctrico en los hogares, permite aplicar y realizar el control de consumo, notificación de corte y, en general, brindar servicios relacionados.

El OMV es una de las opciones más adecuadas para gestionar negocios relacionados con telemática y sistemas de comunicación inalámbricos móviles debido

a que la inversión es mucho menor comparándola con la que realiza un operador móvil tradicional.

Cada contador de energía que se utilice para servicios M2M debe ser un dispositivo que, además de tomar la información relacionada con el consumo energético, sea capaz de conectarse con la red de datos móvil para usar la red de acceso del OMR mientras el OMV se encarga principalmente de la atención al cliente. Sin embargo, debido a las necesidades de red de este tipo de negocio, el OMR debe disponer del control total de su núcleo de red y considerar a cada terminal como un equipo móvil tradicional.

Los métodos de regulación de tensión analizados se encargan del cambio del perfil de tensión en una barra frente a las fluctuaciones de carga y factor de potencia, con el fin de mantener el voltaje en los rangos permisibles, asegurando calidad del servicio al consumidor.

Por otro lado, los algoritmos de optimización entero mixta para un óptimo consumo y control de demanda en un hogar, permiten abarcar todas las variables del problema, minimizar funciones objetivos propuestas, con restricciones operacionales presentes en un hogar.

### Referencias

- [1] MEER, CONELEC, CENACE, CELEC, “Programa Redes Inteligentes Ecuador - Mapa de Ruta,” MEER, CONELEC, CENACE, CELEC, Tech. Rep., 2013.
- [2] F. Gonzalo, J. Luque, and A. González, “Necesidad de un sistema de gestión de redes de telecomunicación,” *Energía: Ingeniería energética y medioambiental*, vol. 23, no. 6, pp. 89–94, 1997.
- [3] F. Gonzalo and J. Luque, “The nomos project: a way to fulfil the quality requirements for power utilities telecommunication networks,” in *CIGRE Symposium on Integrated Control and Communication Systems*, 1995.
- [4] V. Orejuela, “Situación del sector eléctrico,” in *4to Congreso Nacional de Electricidad y Energías Alternativas*, Diciembre 2012.
- [5] —, “Energías Renovables,” in *Conferencia*. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, Junio 2012.
- [6] —, “Situación del Sector Eléctrico,” in *Conferencia de Energía Sustentable*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca, Septiembre 2012.
- [7] CONELEC, “Plan Maestro de Electrificación,” 2012-2021, p. 264.
- [8] MEER, “Acuerdo Ministerial No. 301,” Enero, 25 2013.

- [9] S. Pal and S. Nath, "An intelligent on line voltage regulation in power distribution system," in *Power, Control and Embedded Systems (ICPCES), 2010 International Conference on*. IEEE, 2010, pp. 1–5.
- [10] *ANSI Standard C84.1-2011, Electric Power Systems and Equipment - Voltage Ratings (60 Hertz)*, ANSI Std.
- [11] K. Kumar and M. Selvan, "Planning and operation of distributed generations in distribution systems for improved voltage profile," in *Power Systems Conference and Exposition, 2009. PSCE'09. IEEE/PES*. IEEE, 2009, pp. 1–7.
- [12] H. Ohtsuki, A. Yokoyama, and Y. Sekine, "Reverse action of on-load tap changer in association with voltage collapse," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 6, no. 1, pp. 300–306, 1991.
- [13] L. S. Vargas and C. A. Cañizares, "Time dependence of controls to avoid voltage collapse," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 15, no. 4, pp. 1367–1375, 2000.
- [14] B. Milosevic and M. Begovic, "Capacitor placement for conservative voltage reduction on distribution feeders," *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol. 19, no. 3, pp. 1360–1367, 2004.
- [15] J.-y. Park, S.-r. Nam, and J.-k. Park, "Control of a ultc considering the dispatch schedule of capacitors in a distribution system," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 22, no. 2, pp. 755–761, 2007.
- [16] F. Gubina and B. Strmcnik, "A simple approach to voltage stability assessment in radial networks," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 12, no. 3, pp. 1121–1128, 1997.
- [17] M. Bozchalui, S. Hashmi, H. Hassen, C. Canizares, and K. Bhattacharya, "Optimal operation of residential energy hubs in smart grids," *Smart Grid, IEEE Transactions on*, vol. 3, no. 4, pp. 1755–1766, 2012.
- [18] Z. Chen, L. Wu, and Y. Fu, "Real-time price-based demand response management for residential appliances via stochastic optimization and robust optimization," *Smart Grid, IEEE Transactions on*, vol. 3, no. 4, pp. 1822–1831, 2012.
- [19] V. Gungor, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergut, C. Buccella, C. Cecati, and G. Hancke, "Smart grid technologies: Communication technologies and standards," *Industrial Informatics, IEEE Transactions on*, vol. 7, no. 4, pp. 529–539, 2011.
- [20] E. M. Inga, "Redes de comunicación en smart grid," *Ingenius*, no. 7, pp. 36–55, 2012.
- [21] Elster Metering, "Elster Metering - DM600 GSM/GPRS modem for meters," <http://www.elstermetering.com/en/881.html>, Mayo 2013.
- [22] OpenWay CENTRON, "OpenWay CENTRON," <https://www.itron.com/>, Mayo 2013.
- [23] S. Keemink and B. Roos, "Security analysis of dutch smart metering systems," Universiteit van Amsterdam, The Netherlands, Tech. Rep., July 2008.
- [24] GE Digital Energy, "Smart Metering: ANSI Meters," <http://www.gedigitalenergy.com/>, Mayo 2013.
- [25] D. Rivero and C. Karorero, "Evolución de la tecnología celular GSM hacia la generación 3.75," *Tlatemoani*, no. 7, p. 10, Septiembre 2011.
- [26] J. Zhu and R. Pecem, "A novel automatic utility data collection system using ieee 802.15. 4-compliant wireless mesh networks," in *Proc. of the IAJC-IJME International Conference*, vol. 86, 2008.
- [27] D. Ghosh, D. Schrader, W. Schulze, and S. Wicker, "Economic analysis of privacy-aware advanced metering infrastructure adoption," in *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), IEEE PES*, 2012, pp. 1–4.
- [28] Z. Fan, G. Kalogridis, C. Efthymiou, M. Sooriyabandara, M. Serizawa, and J. McGeehan, "The new frontier of communications research: smart grid and smart metering," in *Proceedings of the 1st International Conference on Energy-Efficient Computing and Networking*. ACM, 2010, pp. 115–118.
- [29] S. Dye, *End-to-End M2M*. Mind Commerce, 2011.
- [30] ITU, "Operadores de red virtual móvil," <http://www.itu.int/itu-news/issue/2001/08/mvno-es.html>, 2001.
- [31] CONATEL, "CONATEL - SVA - INFRAESTRUCTURA - Densidad y Participación," CONATEL, Tech. Rep.
- [32] SUPERTEL, "Contratos de concesión del Servicio Móvil Avanzado," SUPERTEL, Tech. Rep., 2013.
- [33] Consejo Nacional de Telecomunicaciones, "Resolución tel-804-29-conatel-2012," Consejo Nacional de Telecomunicaciones, Ecuador, Tech. Rep., 2012.

- 
- [34] J. Inga and E. Ordóñez, “Análisis técnico, económico y regulatorio para el ingreso de un Operador Móvil Virtual en el Ecuador,” Maestría en Gestión de Telecomunicaciones, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2013.
- [35] Superintendencia de Telecomunicaciones, “Evolución de la telefonía móvil en Ecuador,” *Revista institucional*, vol. 13, pp. 1–6, 2012.
- [36] G. Wu, S. Talwar, K. Johnsson, N. Himayat, and K. Johnson, “M2m: From mobile to embedded internet,” *Communications Magazine, IEEE*, vol. 49, no. 4, pp. 36–43, 2011.
- [37] E. Inga, “La telefonía móvil de cuarta generación 4G y Long Term Evolution,” *Ingenius*, no. 4, pp. 3–12, 2010.
- [38] Departamento Nacional de Planeación de Colombia (DPN) , “Analizar las condiciones técnicas, económicas, de mercado y de impacto de la implementación de operadores móviles virtuales en Colombia.” Colombia, Programa de apoyo al proceso de participación privada y concesión en infraestructura Tercera Etapa, 2011.
- [39] A. De los Ríos, “Nuevas entrantes en el sector de las telecomunicaciones,” *Tendencias*, pp. 53–55, 2007. [Online]. Available: <http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit160/53-55.pdf>