

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Tesis previa a la obtención del título de:  
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:  
PLANIFICACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UN OPERADOR MOVIL VIRTUAL  
COMO UNIDAD DE NEGOCIO PARA LA INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN  
AVANZADA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

**AUTOR:  
LEANDRO ALCÍVAR GUEVARA ORTIZ**

**DIRECTOR:  
ESTEBAN MAURICIO INGA ORTEGA**

**Quito, Diciembre de 2014**

## **DECLARATORIA DE AUTORÍA**

Yo, Leandro Alcívar Guevara Ortiz autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, 04 de Diciembre del 2014

---

**Leandro Alcívar Guevara Ortiz**  
**CC: 140060161-1**

**AUTOR**

## **CERTIFICA**

Haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos del trabajo de monografía intitulado **“PLANIFICACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UN OPERADOR MOVIL VIRTUAL COMO UNIDAD DE NEGOCIO PARA LA INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.”** realizada por el Sr. Leandro Alcívar Guevara Ortiz, previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Por cumplir los requisitos autoriza su presentación.

Quito, 04 de Diciembre del 2014

---

**Mstr. Esteban Mauricio Inga Ortega**  
**DIRECTOR**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	I
INTRODUCCIÓN .....	II
CAPÍTULO I.....	1
INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA Y TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN EMPLEADAS.....	1
1.1    Redes Eléctricas Inteligentes.....	1
1.1.1 Beneficios de las Redes Inteligentes.....	5
1.1.2 Tecnologías que hacen posible una Red Inteligente.....	6
1.2    Infraestructura de Medición Avanzada de Energía Eléctrica.....	7
1.2.1 Sistemas AMI.....	7
1.2.2 Componentes.....	10
1.3    Tecnologías de comunicación empleadas en AMI.....	14
1.3.1 Principios básicos de sistemas celulares.....	15
1.3.2 CDMA.....	16
1.3.3 CDMA 2000.....	17
1.3.4 TECNOLOGÍA CDMA 450.....	19
1.3.5 TECNOLOGÍA GPRS.....	21
1.3.6 TECNOLOGÍA LTE.....	25
1.3.7 EVOLUCIÓN A TECNOLOGÍA 5G.....	28
1.4    Análisis de cobertura para zonas urbanas y rurales.....	29
1.4.1 Cobertura del Operador Primario de Red CNT.....	29
1.4.2 Cobertura de OTECEL (MOVISTAR).....	31
1.4.3 Cobertura de CONECEL (CLARO).....	31
CAPÍTULO II.....	33
OPERADOR MÓVIL VIRTUAL PARA INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA.....	33
2.1    MVNO, MVNE, MVNA Y C-MVNO.....	33
2.1.1 Operador de Red Móvil (OMR).....	33

2.1.2 Operador Móvil Virtual (OMV o MVNO).....	34
2.1.3 Operador Móvil Virtual Cognitivo (C-MVNO) .....	45
2.2 Estructura e integración para el funcionamiento de un operador móvil virtual. ....	46
2.3 Requerimientos tecnológicos de un operador móvil virtual sobre AMI. ....	49
2.3.1 Arquitecturas de red para medición inteligente.....	49
2.3.2 Estaciones Base. ....	53
2.4 Regulación y modelo de negocio propuestos para OMV. ....	54
2.4.1 Normativa de los Sistemas Móviles Avanzados en Ecuador.....	54
2.4.2 Normativa para OMVs en Ecuador. ....	56
2.4.3 Modelos de Negocios de los OMV. ....	57
2.5 Esquema operativo de operador móvil virtual para brindar servicios de medición inteligente de energía eléctrica .....	58
CAPÍTULO III.....	61
PLANIFICACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE OPERADORES MÓVILES VIRTUALES PARA SERVICIO DE MEDICIÓN INTELIGENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	61
3.1 Requerimientos de la red celular según características de la información proveniente de AMI.....	61
3.2 Factores determinantes en las tecnologías para implementar un OMV.....	62
3.3 Modelización de la red celular para operar tráfico de AMI y Telefonía Móvil.....	63
3.3.1 Modelamiento del Canal .....	63
3.3.2 Teorema de Shannon- Hartley. ....	70
3.3.3 Algoritmo de Alojamiento (SCHEDULING) .....	71
3.3.4 Equidad o Proporcionalidad (FAIRNESS) .....	74
3.3.5 El Rendimiento. ....	80
3.3.6 Algoritmo Proportional Fair Scheduling.....	82
3.4 Minimización de costos de infraestructura por implementación de un OMV. ....	83
CAPÍTULO IV.....	88
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y FUTUROS TRABAJOS EN OMV. ....	88
4.1 Análisis de óptimo rendimiento de la infraestructura celular para OMV en AMI.....	88
4.2 Análisis de un OMV cognitivo como solución híbrida sobre AMI.....	94

4.3 Análisis de mercado para sostener un OMV en AMI.....	95
4.4 Perspectivas de crecimiento de un OMV para AMI.....	96
Conclusiones.....	97
Recomendaciones.....	99
Referencias .....	100
ANEXOS.....	103
APENDICE A.....	104
APENDICE B.....	106
APENDICE C.....	107
APENDICE D.....	109
APENDICE E.....	111
APENDICE F.....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Evolución de las Redes Inteligentes.....	5
<b>Figura 1.2</b> beneficios de Smart grid. ....	5
<b>Figura 1.3</b> Mapa de proyectos en Medición Inteligente.[5] .....	8
<b>Figura 1.4</b> Principales componentes del Sistema AMI .....	10
<b>Figura 1.5</b> Sistema conceptual celular.....	15
<b>Figura 1.6</b> Estructura de red CDMA 2000. ....	18
<b>Figura 1.7</b> Área de Cobertura CDMA para 450-800-1900MHz. ....	20
<b>Figura 1.8</b> Arquitectura de la red GPRS.....	23
<b>Figura.1.9</b> Infraestructura de EB para Pichincha CTN, OTECEL, CONECEL.....	29
<b>Figura.1.10</b> Mapa de cobertura CNT en Pichincha. ....	30
<b>Figura.1.11</b> Mapa de cobertura OTECEL (MOVISTAR) en Pichincha. ....	31
<b>Figura 1.12</b> Mapa de proyectos en Medición Inteligente .....	32
<b>Figura 2.1</b> Descripción de un Operador Móvil Virtual. ....	35
<b>Figura 2.2</b> Clasificación de los OMVs según cadena de valor en las telecomunicaciones. ....	39
<b>Figura 2.3</b> Operaciones generales de un OMR.....	48

<b>Figura 2.4</b> arquitectura convencional de AMI. (Centralizada).....	50
<b>Figura 2.5</b> Arquitectura de comunicaciones con MDMSs distribuidos. ....	52
<b>Figura 2.6</b> Arquitectura de comunicaciones totalmente distribuida.....	53
<b>Figura 2.7</b> Esquema operativo de unidad de negocio para medición inteligente. ....	60
<b>Figura 3.1</b> diagrama de bloques Rayleigh fading.....	67
<b>Figura 3.2 (a)</b> Rayleigh fading envelope típico.....	68
<b>Figura 3.2 (b)</b> Espectro de potencia Doppler o Doppler power spectrum.....	68
<b>Figura 3.2 (c)</b> Perfil de retardo de potencia estimado o Power Delay Profile.....	69
<b>Figura 3.2 (d)</b> Respuesta al canal de frecuencia o frequency channel response. ....	69
<b>Figura 3.3</b> Sistema de transmisión multi-portador. ....	72
<b>Figura 3.4</b> Arquitectura mestiza AMI- Red celular.....	87
<b>Figura 4.1(a)</b> Proporcionalidad Vs Tiempo .....	88
<b>Figura 4.1 (b)</b> Proporcionalidad Vs Usuarios .....	89
<b>Figura 4.1 (c)</b> Comportamiento de proporcionalidad.....	90
<b>Figura 4.1 (d)</b> Comportamiento de proporcionalidad.....	91
<b>Figura 4.2 (a)</b> Rendimiento Vs Tiempo en % .....	92
<b>Figura 4.2 (b)</b> Rendimiento Vs Tiempo .....	92
<b>Figura 4.3 (a)</b> Rendimiento Vs Usuarios en %.....	93
<b>Figura 4.3 (b)</b> Rendimiento Vs Usuarios .....	94

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Funcionalidades y Necesidades de las Comunicaciones.....	62
<b>Tabla 2.</b> Parámetros de simulación.....	74



## **DEDICATORIA.**

*Este proyecto es dedicado a mis Padres  
quienes fueron un pilar importante en  
el desarrollo del presente documento.  
también se lo dedico a mis amigos quienes  
estuvieron presentes en mi carrera universitaria  
y supieron apoyarme en los momentos difíciles,  
a Viviana Asmal quien con sus consejos y apoyo  
supo sacar lo mejor de mí y así poder finalizar esta  
etapa de mi vida.*

*Leandro Alcivar Guevara Ortiz*

## **AGRADECIMIENTO.**

*Agradezco a los ingenieros quienes fueron los mis mentores y supieron brindarme sus conocimientos, al ingeniero Esteban Inga quien supo guiarme en el desarrollo de este trabajo.*

*Leandro Alcivar Guevara Ortiz*

# RESUMEN

## PLANIFICACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UN OPERADOR MOVIL VIRTUAL COMO UNIDAD DE NEGOCIO PARA LA INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Leandro Alcívar Guevara Ortiz

lguevara@est.ups.edu.ec

Universidad Politécnica Salesiana

*Resumen*—“la presente investigación muestra el estudio que se ha realizado para advertir el desempeño de un sistema de gestión de medición inteligente que articule a una empresa de distribución a través del uso de las telecomunicaciones bajo el concepto de operador móvil virtual, aplicado a la infraestructura de medición avanzada (AMI), el trabajo ha partido de experiencias en otros países y de la particular situación del país, para considerar su factibilidad de implementación.”

*Índice de Términos*—*Redes eléctricas inteligentes; Infraestructura de medición avanzada; operador móvil virtual; operador móvil virtual cognitivo; red celular; redes inalámbricas; cobertura; planificación; programación; proporcionalidad.*

*Abstract*—this research shows that the study has been done to warn of a performance management system that links smart metering at a distribution company through the use of telecommunications under the concept of virtual mobile operator, applied to the measurement infrastructure advanced (AMI), the work has come from experiences in other countries and the particular situation, to consider the feasibility of implementing.

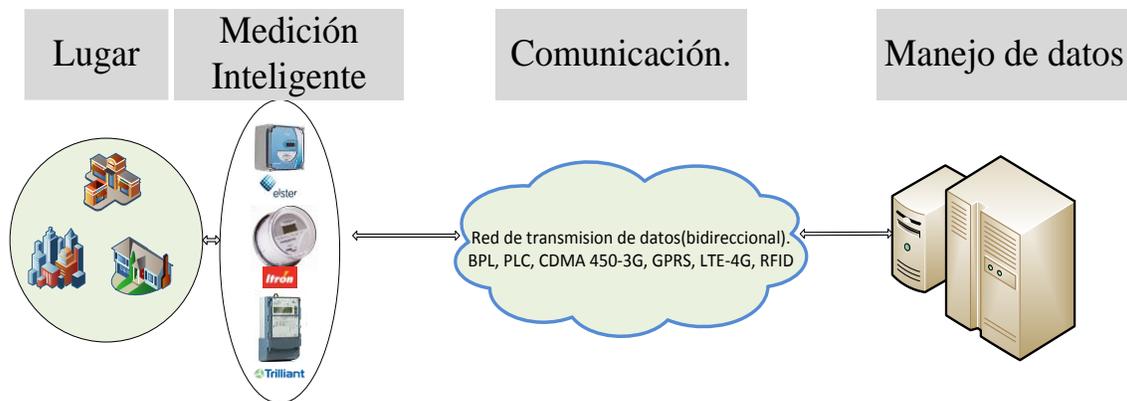
*Keywords*— *Advanced metering infrastructure, MVNO, CMVNO, Cellular network, wireless networks, coverage, planning, programing, fairness.*

## INTRODUCCIÓN

En el mundo de hoy, la necesidad de consumir energía eléctrica es enorme y va en aumento, pero lo que un país tiene que optimizar es el consumo innecesario de energía, ya que esto representa un valor económico que se podría disminuir aplicando las nuevas tecnologías de comunicación y electrónica de potencia para el control del uso de la energía, partiendo de este planteamiento hace varios años atrás nace el concepto de Smart Grid o redes inteligentes, una parte de este gran concepto que envuelve a una red inteligente es la parte de la medición del consumo de los clientes (hablando de empresas distribuidoras), por lo que a nivel mundial se han venido dando casos para mejorar la gestión de la energía de sus respectivos usuarios dándose varias soluciones esparcidas a nivel mundial, implementando soluciones que van de la mano con tecnologías de la telecomunicación.

En Ecuador las empresas encargadas de la distribución eléctrica han visto en este tipo de aplicaciones la posible solución a algunos problemas que se presentan en un sistema de distribución de energía. Entre estos están, pérdidas no técnicas (aumento de generación de potencia a la red), corte y reconexión no inmediata, gastos para realizar medición, entre otros, y a la vez implementando este servicio se busca satisfacer las necesidades del cliente e incluso sobrepasar esas expectativas, brindando o impulsando el surgimiento de otros servicios adicionales para satisfacer la demanda del mismo.

En el Ecuador la generación, transporte y distribución de energía se está orientando a ser más eficiente, sin dejar de lado el cuidado del ambiente, de esta forma el uso e introducción de una Infraestructura de medición inteligente (AMI) a nivel nacional sería de gran ayuda, para lo cual se requieren ciertos aspectos que conlleva la utilización de la antes mencionada medición inteligente, que a nivel general considera los siguientes aspectos:



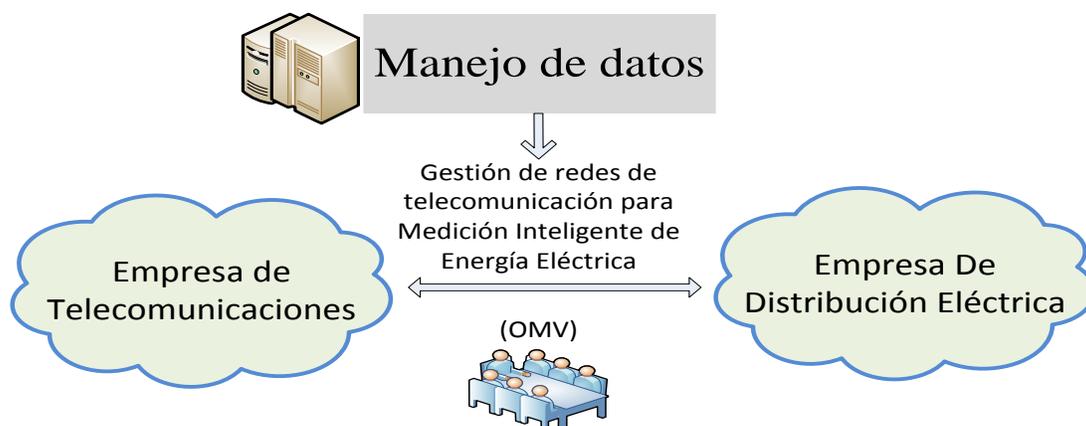
**Figura (a)** Esquema de medición inteligente.

Como se aprecia en la figura a, la medición inteligente de energía eléctrica consta de tres grandes partes, la medición y lo que conlleva su implementación, el medio de comunicación, y finalmente el manejo de los datos obtenidos. Lo que se pretende evaluar y hacia donde se va a orientar este trabajo, es en la constitución de un plan del negocio que permita interactuar entre operadoras de telefonía móvil con la empresa de distribución de energía, utilizando una infraestructura de telecomunicaciones la cual será la vía para llevar información desde los medidores de energía hasta la Empresa Eléctrica.

El problema surge a partir de que la legislación ecuatoriana no permite que empresas de distribución realicen otro tipo de actividad que no esté dentro de su competencia, además que la SENATEL<sup>1</sup> mediante su regularización manifiesta que los requerimientos tecnológicos de comunicación usados por los medidores inteligentes, le competen fundamentalmente a sistemas móviles de telecomunicaciones[1]. Por otro lado, las empresas de distribución tendrían dificultad al llevar a cabo este servicio ya que no cuentan con infraestructura ni la experiencia necesaria, ni el marco legal para administrar este servicio. Otro punto a considerar es que a la empresa de distribución no le interesaría encargarse directamente de la infraestructura y todo lo que conlleva el transporte de los datos generados por los medidores, para su posterior uso por dicha empresa, es decir de una red de telecomunicaciones, aparte de que realizar desde cero todo este proceso de implementación sería muy costoso, y teniendo en cuenta que existe una empresa de

<sup>1</sup> Secretaria Nacional de Telecomunicaciones.

telecomunicaciones estatal que posee una infraestructura de redes ya desplegada, se pretende articular la gestión de la empresa de distribución eléctrica y la empresa de telecomunicaciones a la cual se pretende contratar para el transporte de datos, mediante un operador móvil virtual, para con él cohesionar los dos tipos de servicios, y aprovechando esta alianza se brindara un servicio de calidad y eficiencia, mejorando el ya existente en medición Eléctrica, este comportamiento se advierte en la figura b.



**Figura (b)** Planteamiento del problema.

Para poder llevar a cabo el presente trabajo, es necesario utilizar algunos métodos de investigación como el método descriptivo para citar el orden correspondiente a como ser llevada la investigación, además de ir estructurando adecuadamente toda la información recopilada para de esta forma llevar a cabo los objetivos planteados.

También se partirá de datos históricos en cuanto a historia de los OMVs, es decir el trayecto y las experiencias de otros países en cuanto a la materia, para de alguna manera correlacionar ciertos aspectos y ver si es factible su aplicación en el país; se analizará la historia de los elementos constitutivos de los OMVs, aspectos tecnológicos y regulatorios hasta llegar a la actualidad y ver como se encuentran estos en el país.

El método inductivo, permitirá formular generalizaciones o principios a partir de hechos particulares, es decir partiendo de información particular en cuanto al tema, es necesario llegar a encontrar la información adecuada, para poder ser aplicada al problema planteado e inducir mediante análisis correspondiente las respectivas soluciones que cumplirán las necesidades que surjan en el estudio y finalmente el uso del método deductivo que

permitirá la utilización de leyes, teorías, reglas, conceptos y principios para determinar aspectos concretos, y finalmente método heurístico para generar una nueva metodología a partir de experiencias conocidas, con el fin de solucionar el problema.

# CAPÍTULO I

## INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA Y TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN EMPLEADAS.

El constante avanzar tecnológico en el mundo sugiere que las Redes Eléctricas se conviertan en redes eléctricas inteligentes y un paso para alcanzar este objetivo es poder contar con medición de la energía a través de vías inalámbricas lo cual hace necesaria la articulación de tecnologías específicas en el área de las comunicaciones en el área eléctrica para brindar este servicio.

En este capítulo se mencionara de manera generalizada los conceptos de Redes inteligentes, la tecnología que ocupan y sobre todo se verán las características de los sistemas AMI.

### **1.1 Redes Eléctricas Inteligentes.**

Hablar de redes eléctricas inteligentes o smart grids, es abalanzarse sobre un sin número de conceptos que consideran todos los elementos de una red eléctrica para la generación, transmisión y distribución de energía, y por otro lado de que se sirve toda esta red para hacerla Smart, conceptos de protección, comunicaciones, eficiencia. De esta forma, más bien, el concepto depende de quien esté hablando sobre smart grids, usuarios, vendedores, consultores, académicos etc... Lo que sí está claro es que los usuarios al hablar de Smart grids piensan que hay un cambio significativo en cuanto a la generación, entrega y uso de la energía. Como resultado, Smart grids han llegado a representar un cambio esencial en la forma de direccionar la demanda de energía, seguridad y además están los retos medioambientales que se debe afrontar.

La infraestructura de las redes eléctricas son las que menos han evolucionado en los últimos años, y esto es debido principalmente por el hecho que implica el costo de expandir una red, es decir, brindar el servicio a todos los que lo requieran es mucho más alto que en otras tecnologías como por ejemplo las telecomunicaciones, además, la energía eléctrica actualmente es indispensable y casi todo el mundo hace uso de ella, razón por la cual actualizar una red eléctrica conlleva ralentización en el desarrollo de las mismas.

Para hablar de smart grids, hay que tener claro, que no es algo que se instala en un día y que al siguiente se enciende, es decir, todo un conjunto de soluciones técnicas, económicas, de información, de telecomunicaciones etc... conforman una red inteligente, y estas tecnologías representan un ahorro del gasto en el capital, operación y mantenimiento por lo tanto el cliente también se favorece de estas bondades.

Más ampliamente, el concepto de redes inteligentes tiene muchas otras definiciones e interpretaciones, las cuales dependen también de varios factores, como el país, región y de los impulsos que se den a varias industrias interesadas, como los resultados buscados y los beneficios.

Si se mira desde otro ángulo a una smart grid es preferible no verlo como que es, sino más bien como que es lo que hace y como se benefician las utilidades de terceros, usuarios, el medioambiente, y la economía. La plataforma de tecnología europea (conformada por las partes interesadas en el área y el entorno de la comunidad de investigación) define una Smart grid como: Una red eléctrica que puede integrar inteligentemente las acciones de todos los usuarios conectados a ella - generadores y consumidores, para entregar de manera eficiente sostenible, económica y segura el suministro eléctrico.[2] Por otro lado en Norte América, hay dos definiciones dominantes sobre smart grid, dadas por el departamento de energía (DOE) y por el Instituto de investigación de energía eléctrica (EPRI), las cuales se mencionan a continuación:

U.S. DOE: Se prevé que para el 2030 la red de suministro de energía será totalmente automatizada, capaz de monitorear y controlar cada usuario y nodo, asegurando el flujo de información bidireccional, la electricidad entre la central eléctrica y la aplicación y todos los puntos intermedios.[2]

EPRI: El término ‘Smart Grid’ se refiere a la modernización del sistema de entrega de electricidad, este monitorea, protege y automáticamente optimiza la operación de sus elementos interconectados desde la central y la generación distribuida a lo largo de la red de alto voltaje y el sistema de distribución, usuarios industriales y sistemas de

automatización de edificios, sistemas de almacenamiento de energía y consumidores finales y sus termostatos, vehículos eléctricos, aplicaciones y otros aparatos domésticos. [2]

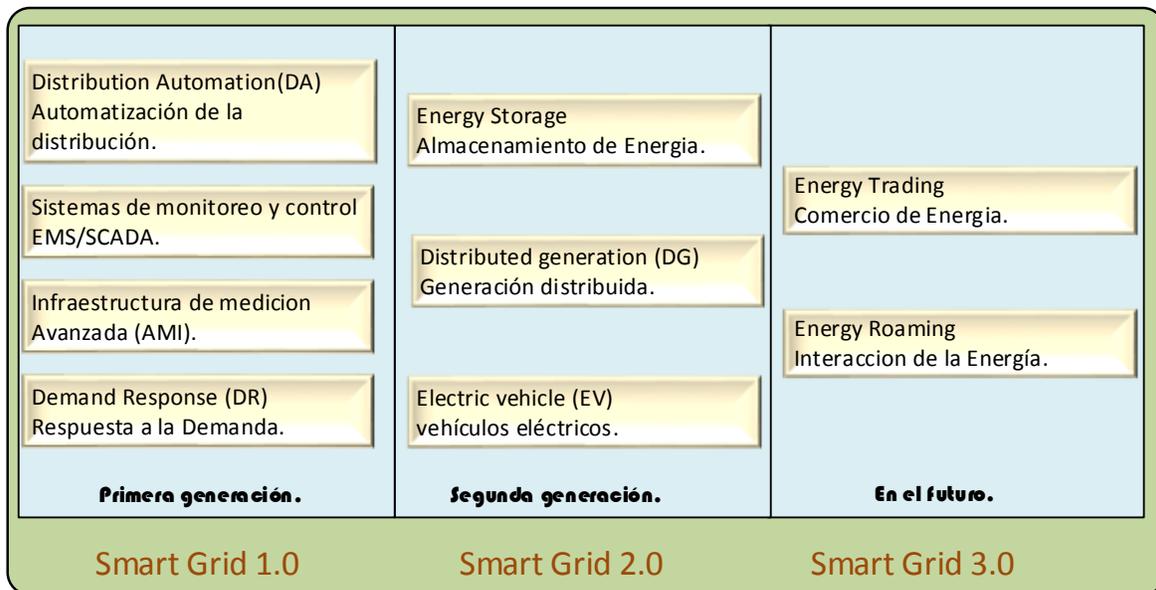
A parte de las definiciones anteriormente vistas, las Smart grids podrían referirse a las nuevas necesidades que puedan aparecer a largo plazo para satisfacer a los usuarios del siglo 21, como se dijo anteriormente, no hay una única solución para crear una red inteligente, sino más bien se enfoca en las metas a cumplir y en satisfacer las necesidades de los mercados emergentes, claro está siempre valiéndose de tecnología con funcionalidades y capacidades para alcanzar una cohesión entre diferentes áreas y poderlas integrar, sin olvidar que estas deberían ser escalables e interoperables. Un punto destacable que tendría que formar parte de una smart grid son los sistemas AMI (Infraestructura de Medición Avanzada). Ya que si se contara con un sistema de estos para la administración del uso y manejo de la electricidad siendo está a través de un canal bidireccional se estaría acercando a la red convencional un poco más a una red inteligente.

Experiencias de otros países en especial de Estados Unidos demuestran que una red eléctrica inteligente se la puede dividir en etapas, de allí que se habla de una smart grid 1.0, smart grid 2.0 y finalmente una smart grid 3.0. Esta clasificación se la da a una red inteligente dependiendo del desarrollo en la cual se enmarque dicha red como se muestra en la figura 1.1, de esta figura se observa claramente que el desarrollo implica escalas de evolución interrelacionadas es decir que no existirá una sin dependencia directa de las anteriores. De esta forma como se observa la primera generación necesita que una red eléctrica tenga el sistema de distribución totalmente automatizado (DA), que implica sistemas de monitoreo y control como EMS/SCADA, por otro lado también es necesario el conocimiento del uso de la energía generada mediante sistemas AMI, y finalmente se necesita de una respuesta a la demanda, es decir gestionar el uso de energía dependiendo de las condiciones del mercado eléctrico. Una vez implementado este conjunto de requerimientos se habla de una Smart grid 1.0. Por otro lado tenemos la segunda generación la misma que no puede surgir sin antes haber sido de primera generación, el cambio significativo implica que, aquí se involucran fuentes no convencionales de energía.

Para hablar de Smart grid 2.0 se requiere un almacenamiento eficaz de energía, así como también es necesario hablar de una generación distribuida (pueden incluir generación fotovoltaica, eólica, etc.), y finalmente se habla de vehículos eléctricos que serán conectados a la red.

El futuro de las redes inteligentes apunta a que el control y uso de la energía evolucione así también como su eficiencia de allí que las Smart grids 3.0 manejen un comercio de energía fluido, debido a que se tendrá información amplia y confiable de los sistemas eléctricos, e incluso se habla de energy roaming es decir compra venta de energía desde y para cualquier parte de la red en cualquier lugar donde se encuentre desplegada una smart grid.

Hay que recalcar que al hablar de Smart grids, se mira también desde un aspecto de madures de dicha red, de allí que se tiene 5 niveles de madures en las redes. En el primer nivel se inicializa el proyecto y se exploran alternativas no se tiene una estrategia aun, se evalúan los modelos de negocio tecnologías y todo lo que contemple el hablar de una red inteligente. En el nivel dos se pone en práctica una investigación funcional se toman las decisiones y se empieza a dar forma al proyecto. El nivel tres de madures implica interoperabilidad de los sistemas ya puestos en marcha, así como un sistema robusto de gestión, y con estas herramientas se puede hablar de un nivel funcional que implica buenos beneficios. El nivel cuatro implica optimización, es decir se habla de mejorar los recursos que se tienen para obtener una mejor respuesta del sistema empleado. Finalmente el nivel cinco implica innovación, innovación en las políticas de nuevos negocios ofertas u otros servicios que se puedan explotar del sistema una vez que se sabe se tienen una red totalmente desarrollada y madura.[3]



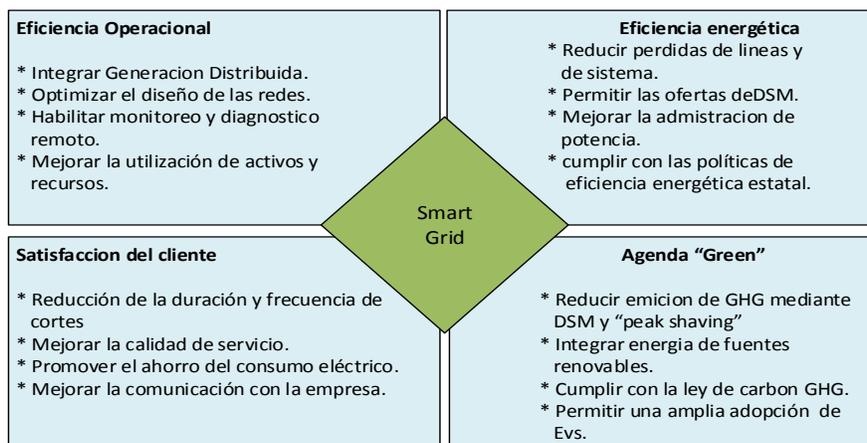
**Figura 1.1** Evolución de las Redes Inteligentes.

### 1.1.1 Beneficios de las Redes Inteligentes.

Las redes inteligentes proporcionan una amplia gama de soluciones a nivel industrial, que terminan convirtiéndose en beneficios tanto para ellos como para sus consumidores.

Las empresas que adoptan las tecnologías para redes inteligentes pueden cosechar beneficios significativos en reducción del capital y costos de operación. Mejorando la calidad del sistema, se incrementa la satisfacción del usuario, además trae consigo un impacto ambiental positivo.

Las redes inteligentes por lo tanto deberían manejar cuatro etapas para que estas sean sostenibles, eficientes y viables, estas se muestran en la siguiente figura.[2]



**Figura 1.2** beneficios de Smart grid.

### **1.1.2 Tecnologías que hacen posible una Red Inteligente.**

Para que una red sea considerada inteligente deben converger tres actores tecnológicos principales. Energía eléctrica, comunicaciones y tecnología de la información. Cada una es necesaria y provee las capas de alto nivel para completar la red inteligente. De esta forma se pueden enumerar las tres capas elementales que se unen para formar la red, la capa física de energía (referente a generación, transmisión, y distribución e inteligencia distribuida); la capa de control y transporte de datos (referente a comunicaciones y control), y finalmente la capa de aplicación (aplicaciones , software de decisión y servicios). [4]

Para llegar a la meta y consecución del desarrollo de las redes inteligentes, se requieren tecnologías existentes y tecnologías que emergerán en el futuro, por lo que la evolución de las redes depende o dependerán de las que a continuación se enumeran.

Las tecnologías inteligentes de medición de parámetros eléctricos e incidentes en la red, que permiten la supervisión remota, el control en tiempo real y acceso a la información de cada uno de los elementos (la medición es un pilar fundamental en las redes inteligentes); Los sistemas de telecomunicaciones integrados, digitales y bidireccionales, que conectan todos los componentes de la red mediante una arquitectura abierta; Desarrollo de software flexible a actualizaciones: descentralizado (firmware de equipos) y centralizado (back-office).

Ahora bien, todas estas tecnologías permiten que la red este robustamente comunicada pero en si lo que hace que sea inteligente es la capa de decisión e inteligencia, la cual está compuesta por todos los programas informáticos que se ejecutan en relés, IEDs, sistemas de automatización de subestaciones, centros de control y back-office empresarial (CIS<sup>2</sup>, CRM<sup>3</sup>, OMS<sup>4</sup>, GIS<sup>5</sup>, etc.).

---

<sup>2</sup> Del inglés “customer information systems” o sistemas de información al cliente.

<sup>3</sup> Del inglés “Customer Relationship Management” o gestión de las relaciones con el cliente.

<sup>4</sup> Del inglés “Outage Management Systems” o sistemas de gestión de interrupciones.

<sup>5</sup> Del inglés “Geographic information system” o sistema de información geográfica.

## **1.2 Infraestructura de Medición Avanzada de Energía Eléctrica**

### **1.2.1 Sistemas AMI.**

*“La Federal Energy Regulatory Commission FERC de los EE.UU. , en el año 2006 define a la Medición Avanzada como: Un sistema de medición que registra el consumo (de los clientes y posiblemente otros parámetros) horariamente o con mayor frecuencia, entregando de manera diaria o en menor tiempo las mediciones hacia una central de recolección a través de una red de comunicación.”[4]*

*“El Electric Power Research Institute EPRI en el 2007 lo define como: Un sistema completo de medición y recolección que incluye medidores (Smart Meters) en el predio del cliente; redes de comunicación entre el cliente y el proveedor del servicio público (electricidad, gas o agua); y un sistema de gestión y recepción de datos que hacen que la información esté a disposición del proveedor de servicios”.[4]*

Por otro lado el proceso de recolección de la información que los medidores eléctricos presentan, hasta hoy en día en algunos lugares se hace de forma manual, por lo que no es una forma muy óptima para generar las facturas de consumo de sus respectivos usuarios, ya que el costo de la misma aumenta, debido a que para efectuar esta tarea se necesita de personal que vaya casa por casa recogiendo la información del consumo. De esta manera nacen los sistemas AMI pero no solo para satisfacer esta necesidad, sino que abre otras posibilidades que no habían sido posibles hacer con el anterior esquema de medición, debido a que los sistemas AMI son sistemas bidireccionales de transferencia de datos la empresa eléctrica puede gestionar de mejor manera el uso de la energía demandada y a su vez brindarle al usuario servicios agregados, por ejemplo el saber cuánto está consumiendo en tiempo real o casi real.

AMI está comprendida por medidores inteligentes, redes de comunicaciones inalámbricas y una red de retorno de datos (data backhaul network). Todas estas brindan en conjunto la recolección de datos medidos en intervalos de tiempo, el procedimiento para el uso en la

medición de ingresos, y la facturación la producción. Los sistemas AMI también brindan funcionalidades auxiliares, incluyendo la información para la administración de cortes y la automatización del corte y reconexión remota. Este componente de las smart grids proyecta involucrar el despliegue de medidores inteligentes que manejen conectividad de red (generalmente comunicaciones inalámbricas, PLC, o BPL), entre los puntos finales de la red y el centro de control de energía, y cualquier hardware o aplicación que permita la interoperabilidad y la respuesta automática utilizando bases de datos compartidas dedicadas.[3]

A lo largo del planeta existen múltiples proyectos de medición inteligente y no solo en el ámbito eléctrico, sino en gas y agua entre otros recursos que se puedan medir, en la figura 1.3 se muestra dichos proyectos.



**Figura 1.3** Mapa de proyectos en Medición Inteligente.[5]

Es importante mencionar que aunque en AMI la pieza fundamental es el medidor se requiere toda una infraestructura de comunicaciones y de sistemas de información y estas deben estar diseñadas de tal manera que garantice la consecución de los beneficios buscados.

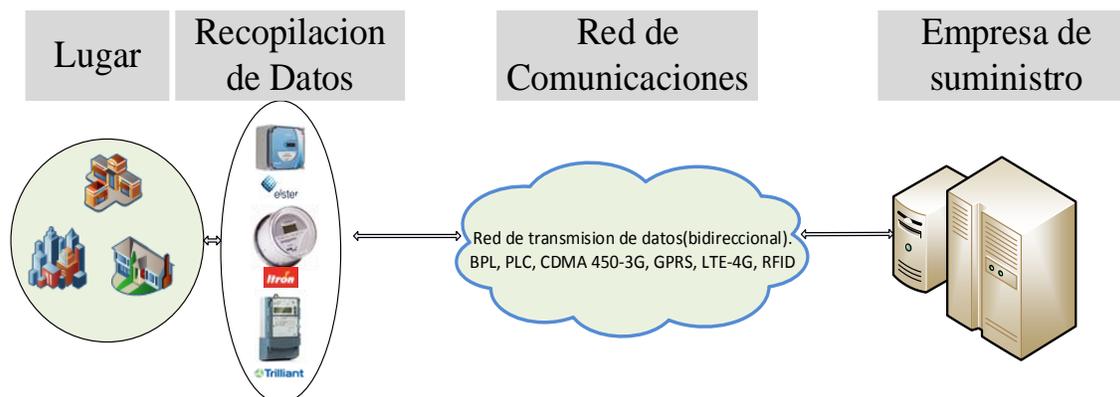
Se ha hablado de lo que es un AMI y algunas características propias del sistema, pero más allá de todas ellas, puede ofrecer muchas otras funciones todo esto dependerá directamente de la creatividad de cada empresa para determinar nuevas aplicaciones y servicios que

podieran ofrecer. Por ejemplo un AMI podría ofrecer permitir el estampado de fecha y hora de manera sincronizada; Medición bidireccional del flujo de energía (recepción y entrega); Capacidad de proporcionar datos por cliente en intervalos con marca de tiempo específico, al menos para cada hora, pero frecuentemente los intervalos suelen ser de 15 o 30 minutos. Otro servicio enfocado a la gestión de la energía puede ser la opción de conexión/desconexión remota para algunos o la totalidad de los medidores; posibilidad de actualización de firmware (bloque de instrucciones de programa grabado en los equipos) de los medidores en forma remota; Capacidad de diagnosticar, vigilar y controlar el estado de la red de comunicaciones; Capacidad de auto detectar, reconfigurar y reparar problemas de comunicación, para garantizar la disponibilidad de las mediciones; Notificación de interrupciones y de restauración del suministro; Alertas sobre la manipulación y detección de fraudes e informes sobre inversión, remoción, inactividad e intermitencias; Capacidad de lectura remota de medidores bajo demanda (cuando se lo solicite); Medición y reporte de eventos y parámetros de calidad de energía (armónicos, interrupciones, tensión mínima, máxima, perfiles), con capacidades de monitorización en tiempo real, configurable por la empresa y detección si el servicio se encuentra fuera de rango; Capacidad de modificación de bandas; Capacidad de lectura de la tensión en los mismos intervalos de lectura del medidor; Memoria para almacenar cantidad específica de días de lecturas (de 7 a 45 días), dependiendo de la empresa); Adaptabilidad de funciones para posibilidad de aplicaciones de prepago; Reporte y registros diarios de lectura de contadores, a menudo en la medianoche; Inclusión de sistemas de almacenamiento de datos (data warehouse) visto como una necesidad de almacenamiento de grandes volúmenes de datos recolectados del sistema AMI; Estrecha integración con el sistema de gestión de datos de medición (MDM) y de este con otros sistemas de gestión con enlaces a la contabilidad, facturación, reportes, gestión de interrupciones y otros aplicativos; Posibilidad de enviar mensajes a los artefactos y equipos de los clientes para soportar programas de respuesta de la demanda; Capacidad de extender el sistema AMI y smart grid a múltiples dispositivos del hogar interconectados como parte de una red aérea de hogar (HAN).

Con todas estas funcionalidades por cumplir es claro que un sistema AMI debe ser robusto y confiable.

### 1.2.2 Componentes.

En la medición inteligente están claros tres factores bien determinados, los recolectores de información (Medidor inteligente), la nube de comunicaciones y finalmente el sistema de gestión de datos medidos.



**Figura 1.4** Principales componentes del Sistema AMI

Si observamos la figura 1.4, en primer lugar se encuentran los recolectores de información el elemento fundamental de los sistemas AMI el Medidor Inteligente, este tiene la particularidad de poder transmitir los datos recolectados y eventos (fallas, reportes de manipulación, etc.) a un sistema de adquisición de datos.

En segundo lugar el componente intermedio de los sistemas AMI es el medio por el cual se pueden transmitir los datos a la base de datos remota, es decir las redes de telecomunicaciones que manejan banda ancha. Broadband over Power Line (BPL), Power Line Carrier Communication (PLCC), redes fijas de radio frecuencia (RF), y las redes públicas, por ejemplo telefonía celular.

Finalmente el sistema de hardware y software que controla las comunicaciones, recibe los datos enviados de los medidores y los almacena puede ser administrado por un Sistema de Gestión de Datos de Medición (MDM), con la finalidad de generar información que sea de utilidad para la empresa distribuidora.

### 1.2.1 Equipos de Medición.

Los Equipos de medición generalmente se encuentran conformados por dos componentes: el medidor como tal y la unidad interfaz del medidor (permite las comunicaciones), juntos se combinan para registrar, almacenar los datos e información y comunicarse con la red.

Los medidores pueden ser clasificados en tres modelos de acuerdo con la funcionalidad que ofrecen.[6]

El **modelo Básico**, típicamente incluye la posibilidad del registro mensual de KWh y el registro mensual de la demanda en KW.

El **modelo Avanzado**, típicamente incluye la posibilidad del registro de intervalos de uso (diario, cada hora o sub-hora) y demanda; Provee notificación de fallas; Provee notificación por manipulación; Proporciona alarmas por voltaje; Puede ser programado a distancia; Soporta TOU (Time of Use), además provee desconexión del servicio a distancia.

El **Modelo Altamente Avanzado**, típicamente incluye la posibilidad de ser direccionado mediante IP además que usa una Interfaz con una red de área local.

Dependiendo del tipo comunicación que vaya a manejar el medidor, será su módulo de comunicaciones, es decir si estuviese operando en una red IP el módulo de comunicaciones debería ser capaz de manejar ese protocolo pero si se requiere cambiar a un sistema GPRS el modulo tendría que ser necesariamente para GPRS, lo que conllevaría al cambio de medidor. La vida útil típica de la mayoría de los medidores avanzados es declarada por los fabricantes como de 20 años.

### 1.2.2 Sistema de Telecomunicaciones.

Uno de los principales problemas que infiere el uso de sistemas AMI, son las comunicaciones debido a que cada medidor debería entregar de forma confiable y segura la información requerida por el sistema de gestión de datos, pero teniendo en cuenta diferentes posibles escenarios donde se localice un medidor, surge la necesidad de que se utilicen tecnologías como: redes celulares, satélite, radio con licencia, radio sin licencia, comunicaciones a través de la red eléctrica, etc., de esta forma surgen muchas configuraciones de red, incluyendo el uso de Wi-Fi y otras redes que tienen que ver con el protocolo IP.

Al parecer un único sistema de comunicaciones no podría abastecer a una empresa de distribución debido a los factores que antes se enumeraron, por falta de cobertura por condiciones montañosas, condiciones de difícil acceso etc., sin embargo el reto es poder llevar a cabo sistemas AMI reutilizando infraestructura que se posee actualmente para bajar los costos que implicaría desplegar una red total mente nueva para el servicio de transmisión de datos.

Las arquitecturas comunes de comunicación son los sistemas jerárquicos, las redes de estrella y malla, y los sistemas de comunicaciones a través de la línea eléctrica. En las redes jerárquicas, los recolectores de datos o concentradores se utilizan normalmente y residen en postes, en los transformadores/subestaciones, o en otras instalaciones para ser el enlace entre el medidor/módulos y el software de gestión de aplicaciones de red. Otros sistemas utilizan una arquitectura más plana que incluye las comunicaciones punto a punto (peer to peer) igual a un concentrador de datos, o “take out point”, que entrega los datos al centro de operaciones a lo largo de varios sistemas de transmisión diferentes, incluyendo telefonía celular, o de otros medios de comunicación como fibra óptica.

Las capacidades del módulo del medidor y las tecnologías para la comunicación empleadas, son las que determinan si el sistema está clasificado como un “One way” o “Two Way”, para fines de intercambio de datos. Por otro lado el mantenimiento de un sistema de dos vías por lo general implica mayor esfuerzo, lo que se traduce como mayor costo para mantener un nivel de fiabilidad óptima. Sin embargo los beneficios que brindan los sistemas de comunicaciones en dos direcciones, justifican el aumento de costos de AMI en lugar de AMR.

### **1.2.3 Sistema de Gestión de datos de Medición.**

El MDMS es una parte con valor estratégico en la consecución de una red Inteligente, los datos leídos de consumos de energía se pueden utilizar para proporcionar información y el contar con información es contar con poder.

Para efectos de la planificación, el sistema MDMS normalmente debe tener una vida útil de

10 años. La implementación de un sistema MDMS deberá estar sincronizado con la implementación del sistema AMI y deberá llevarse a cabo al o cerca del inicio, con el fin de establecer oportunamente las interfaces con otros aplicativos y obtener la eficiencia operativa de las funciones AMI al gestionar los grandes volúmenes de datos que los medidores aportaran.[4]

Existen tres categorías que se desagregan en el análisis del Sistema de Gestión de datos de medición; El Repositorio de Datos (meter Data Repository MDR); El Gestor de Datos (Meter Data Managemet MDM) y finalmente las Aplicaciones de Red Inteligente (Smart Grid I AMI).

#### **1.2.3.1 Repositorio de Datos (meter Data Repository MDR)**

Constituida por la base de datos para el almacenamiento de la información, además de los programas y procedimientos utilizados para procesar la data de los medidores con fines de facturación, está directamente vinculado al sistema de información al cliente (CIS) para el despliegue de los valores facturados y tiempo de uso. Dentro de sus funciones se encuentran la validación, estimación y edición (VEE); Logging (registro) y auditoria; Cálculos de facturación compleja; Carga y recolección de datos; Rendimiento VEE; Confiabilidad y actualización; Copia de seguridad y recuperación, y finalmente la Seguridad y la privacidad de los datos.

#### **1.2.3.2 Gestor de Datos (MDM).**

El gestor o manejador de datos (MDM), proporciona servicios de administración de la data de los medidores inteligentes y permiten que estos se compartan o estén a disposición de otras aplicaciones.

El proporcionar que los consumidores accedan a la información de su sistema, les permite conocer la facturación exacta y sus datos históricos. El acceso se da mediante portales web o cualquier otro medio, como dispositivos móviles, correo electrónico, descarga de PDFs u otros.

Se evidencia la necesidad de que la información debe ser compartida con los clientes, con la finalidad de presentar transparencia y crear confianza, por lo que muchos MDM

proporcionan herramientas y capacidades de portal web y otros proporcionan APIs para que las empresas construyan sus propios portales. Los portales web pueden proporcionar representaciones gráficas interactivas, ofrecer consejos de eficiencia inscribirse en programas de respuesta a la demanda, integrar información, detalles y capacidades de análisis para evaluar las distintas opciones de planes tarifarios y ser una puerta de entrada para el autoservicio de los clientes configurando alertas sobre precios o de consumos y muchas otras aplicaciones más. Dentro de las principales funciones del MDM se encuentran: Servicios de integración; Bus de mensajes; Motor de flujo de trabajo; Un procesador de eventos.

### **1.2.3.3 Aplicaciones de Red Inteligente (Smart Grid/ AMI).**

Un MDM se supone que también puede proveer soporte para aplicaciones de red inteligente, entre las cuales tenemos plataformas para: Precios pico críticos (CPP); Respuesta de la demanda residencial (DR); Soporte para la Red de Área Domiciliara (HAN-BAN-IAN, NAN, MAN, LAN).

## **1.3 Tecnologías de comunicación empleadas en AMI.**

Como se mencionó en el apartado 1.2 las comunicaciones son un eje fundamental en los sistemas AMI, además, estas pueden tener varias configuraciones dependiendo de las tecnologías utilizadas. Como en este documento se enfoca en realizar un OMV para medición inteligente, posteriormente, se hablara específicamente en las tecnologías utilizadas por redes celulares para realizar medición inteligente.

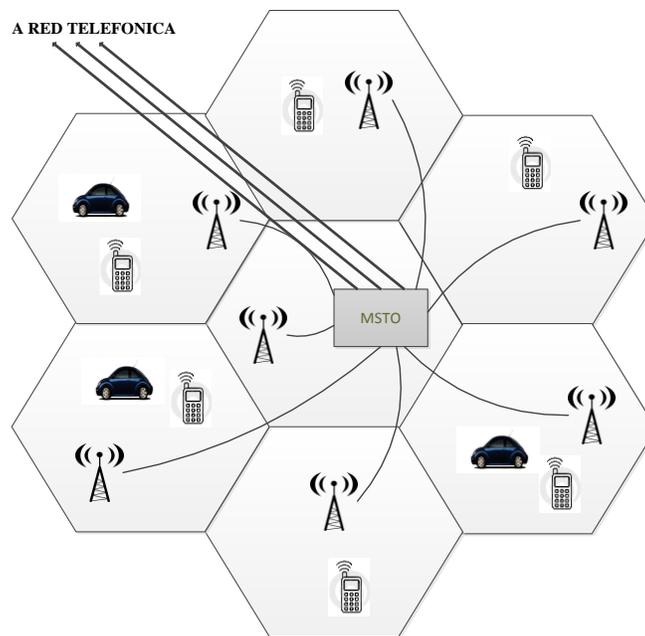
Como ya se había mencionado en el apartado anterior los medidores inteligentes constan de dos partes fundamentales el medidor como tal y el módulo que arma un documento con los datos para posteriormente enviarlos mediante algún sistema de comunicaciones. Es aquí justamente donde entran a formar parte los módulos de transmisión de datos que usan comunicación mediante CDMA, GPRS, LTE, etc., que son plataformas de comunicación que las operadoras telefónicas usualmente usan. Es importante mencionar esto debido a que este documento está orientado a usar la infraestructura de comunicaciones existente de un ORM para que esta sea el canal de comunicaciones entre el medidor y el sistema de gestión

de datos del medidor, y como este principio será aplicado a las condiciones que presenta el Ecuador se hablan exclusivamente de CDMA, GPRS y LTE.

Antes de profundizar en conceptos de las tecnologías utilizadas es necesario conocer un poco mejor a nivel general como están constituidos los sistemas celulares por lo que a continuación se mencionan a nivel general.

### 1.3.1 Principios básicos de sistemas celulares

Los sistemas celulares de radio conectan un terminal móvil con otro usuario, por lo general a través del sistema PSTN<sup>6</sup>. El “otro usuario” es generalmente un teléfono suscrito a la Red Telefónica Pública Conmutada, sin embargo este puede no ser necesariamente un terminal móvil.



**Figura 1.5** Sistema conceptual celular.

La Figura 1.5 muestra la estructura funcional de los sistemas utilizados en la telefonía convencional, el corazón del sistema está representado por la MSTO (Oficina de Conmutación de Telefonía móvil). La MTSO es la que conecta un grupo de

---

<sup>6</sup> Red telefónica Pública conmutada

comunicaciones proporcionándoles una interfaz con la PSTN<sup>7</sup>. El área donde presta servicio un operador móvil está dividida en pequeñas celdas, las cuales idealmente son hexagonales. La topología celular de la red sirve para usar en forma eficiente el limitado espectro radioeléctrico, reutilizando las mismas frecuencias en celdas no adyacentes.

### **1.3.2 CDMA**

CDMA (Acceso Múltiple por División de Código) básicamente separa voz o datos en paquetes para ser transferidos, cada paquete es identificado por un código digital. El receptor recoge cada paquete y los vuelve a dar forma a como fueron enviados, esta operación se realiza a velocidades extremadamente rápidas y para el usuario es casi imperceptible dichas operaciones.

En términos generales, como ya se había enunciado antes, CDMA es un sistema de comunicaciones digitales que usa el espectro radioeléctrico y permite que un elevado número de comunicaciones, compartan simultáneamente el mismo medio de comunicación, por lo que maneja paralelamente un grupo de canales de radio, de forma que cada usuario tiene acceso a cualquier canal. Cada comunicación se codifica digitalmente empleando una clave de encriptación que solamente conocen los terminales involucrados en el proceso de comunicación y dura únicamente durante el tiempo en que la operación es realizada.

Para poder dividir el código o paquetes de datos, existen dos categorías básicas CDMA síncrono (Mediante códigos Ortogonales), y asíncrono (mediante secuencias pseudoaleatorias) pero en este documento no se las estudiarán.

Otra característica inherente a CDMA es la técnica de espectro esparcido/disperso (Spread Spectrum), que se basa en esparcir el espectro de frecuencias de una señal en un ancho de banda mayor que el mínimo necesario para la transmisión. Al llegar la señal esparcida al receptor, esta se recompone, es decir, las frecuencias se juntan otra vez para obtener la señal inicial que ha sido emitida por el emisor. De esta forma, se pueden obtener una serie de enlaces que utilizan la misma banda de frecuencia sin que se produzcan interferencias.

---

<sup>7</sup> Red telefónica Pública conmutada

La técnica de espectro disperso presenta dos modalidades: Frequency Hopping (FH) o Salto de Frecuencia, y Direct Sequence (DS) o Secuencia Directa.

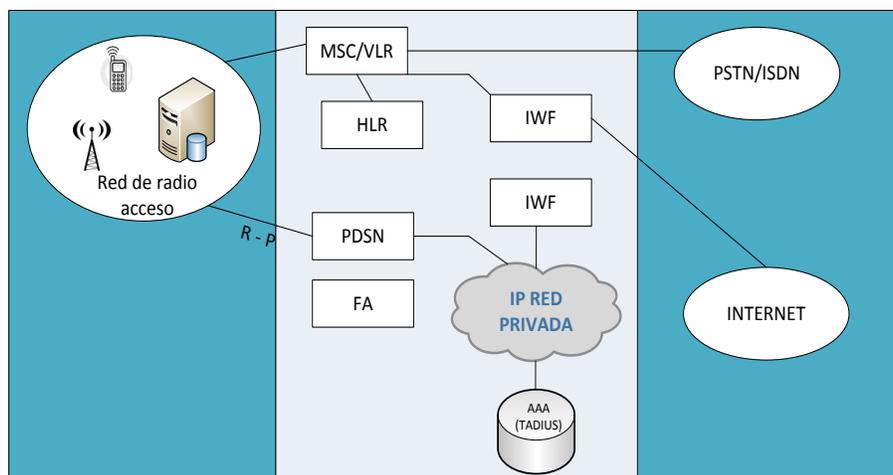
La primera esparce el espectro de la señal transmitiendo una ráfaga corta en una frecuencia, para a continuación saltar a otra frecuencia emitiendo otra ráfaga corta y así sucesivamente. Por otro lado, en la Secuencia Directa, cada símbolo (grupo de bits), se multiplica por un código de esparcimiento llamado secuencia de chip, de forma que el ancho de banda de las frecuencias de la señal es aumentado. La razón entre el número de chips por bit, que se conoce como la relación de esparcimiento, constituye un factor de gran importancia para evaluar la resistencia de la señal ante interferencias.

### **1.3.3 CDMA 2000.**

CDMA 2000 también conocida como CDMA 2000 1X, se basa en la tecnología CDMA (Acceso Múltiple por División de Código), y se ajusta a las nuevas necesidades de los sistemas de comunicación usada para las telecomunicaciones móviles, esto permite un esquema de acceso múltiple para redes digitales, es decir, se usa para enviar voz, datos y señalización entre estaciones base y teléfonos móviles, usando la técnica de Espectro expandido/Disperso (Spread Spectrum).

#### **1.3.3.1 Arquitectura de la red CDMA 2000**

El estudio de la arquitectura que presenta la red CDMA 2000 es muy importante para el estudio de CDMA 450, ya que este funciona bajo CDMA 2000, por lo que en sí, la arquitectura usada para el despliegue de la red es la misma en los dos casos, exceptuando la frecuencia en la que trabajan, y algunos elementos en cuanto a hardware. En la siguiente figura se muestra la arquitectura de la red CDMA 2000.



**Figura 1.6** Estructura de red CDMA 2000.

Como se aprecia en la figura 1.6 la red consta de los siguientes elementos:

**HLR (Home Location Register).**- Base de datos con el registro de los suscriptores y sus respectivos perfiles de servicios.

**MSC/VLR (Mobile Switching Center / Visitor Location Register).** - Es un conmutador digital en modo de conmutación de circuitos (CS, Circuit – Switch) tradicional. Normalmente tiene asociada una base de datos (VLR) que sirve a los terminales activos de la red. Debido a que los servicios de datos en IS-95/CDMA se implementan como pequeñas conexiones de conmutación de circuitos, es necesario incluir un elemento de inter funcionamiento (Inter Working Function, IWF) entre Internet y el MSC.

**PDSN (Packet Data Serving Node),** considerado como el punto de unión con los entornos privados IP. Se trata del punto de terminación del protocolo de enlace PPP (Point to Point Protocol) y está conectado al Subsistema de Estación Base (BSS) a través de la interfaz R-P (Radio- Packet). EL PDSN es responsable también de la gestión de la movilidad y actúa como un Foreign Agent (FA) para la funcionalidad de Mobile IP (MIP).

El servidor AAA (Accounting, Authentication and Authorization) basado en RADIUS (Remote Authorization Dial-In User Service), que contiene la información de provisión de paquetes de datos de los abonados. Se utiliza para labores de autenticación.

### **1.3.4 TECNOLOGÍA CDMA 450**

El CDMA<sup>8</sup> 450, está basado en CDMA 2000 desplegado en la banda de 450 MHz, que incluye varios estándares desarrollados por 3GPP2<sup>9</sup>, publicado por TIA<sup>10</sup> y aprobado por la ITU<sup>11</sup> para IMT-2000<sup>12</sup>, entre los cuales encontramos CDMA2000 1X, CDMAv2000 1xEV-DO y CDMA2000 1xEV-DV, siendo el último un estándar que aún se encuentra en desarrollo.

CDMA 450 combina las eficiencias espectrales, la mayor capacidad de voz, y las altas velocidades de transmisión de datos del CDMA 2000, con la amplia cobertura de la banda 450 MHz.

CDMA 450 surge debido a la necesidad de proveer a los lugares más alejados de la urbe, servicios de telefonía y de internet de banda ancha, ya que la ventaja de usar los 450MHz en esta tecnología, es la gran propagación de la señal con la utilización de una sola estación base como característica principal, además que se calcula que el área de cobertura por dicha estación base, cubre una celda de alrededor de 80km sin ningún tipo de obstáculo, aparte de que en las zonas rurales el espectro radioeléctrico se encuentra relativamente no utilizado, por lo que favorece enormemente su uso.[7] Debido a estas y otras características la ITU<sup>13</sup> reconoció la banda de 450 – 470 MHz para IMT-2000 (International Mobile Telecommunication – 2000).

---

<sup>8</sup> Del inglés “Code División Múltiple Access”

<sup>9</sup> Del inglés “The Third Generation Partnership Project 2”

<sup>10</sup> Del inglés “Telecommunications Industry Association (North America)”

<sup>11</sup> Del inglés “International Mobile Telecommunications”

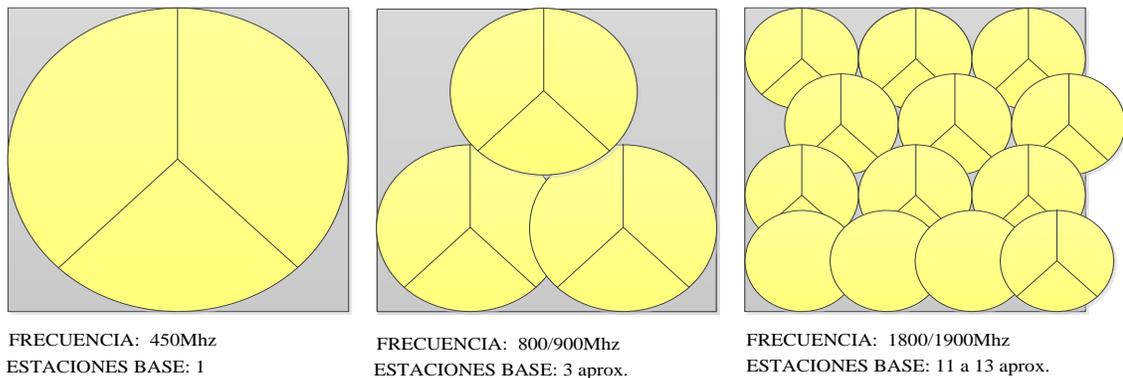
<sup>12</sup> Del inglés “International Mobile Telecommunications-Advanced (IMT-Advanced)”

<sup>13</sup> La UIT o ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas para las tecnologías de la información y la comunicación – TIC

### 1.3.4.1 VENTAJAS DE CDMA 450

Como ventaja principal de CDMA 450, se tiene el gran alcance derivado de una sola estación base.

Analizando el área de cobertura brindada por CDMA 2000 y comparando con CDMA450, según la frecuencia como se muestra en la figura 1.9, se puede ver claramente que en la banda de los 450MHz, hay un ahorro en estaciones base para la misma área de cobertura.



**Figura 1.7** Área de Cobertura CDMA para 450-800-1900MHz.

Como se aprecia en la figura anterior, se cubre la misma área con menos estaciones base, por lo que esto se refleja en el costo de otros factores a momento de seleccionar un medio de comunicación, haciendo de este sistema una opción factible para lugares donde la baja densidad demográfica no amerita inversiones costosas en lo que a infraestructura concierne.

Anteriormente se enunciaron de manera general las principales ventajas de CDMA 450, pero existen muchas otras razones para el uso de esta tecnología, además de su frecuencia de trabajo y área de cobertura, por ejemplo, presenta ventajas competitivas principalmente en economías emergentes en zonas rurales; Ofrece servicio de IMT-2000 (voz de buena calidad); Requiere solamente una pequeña cantidad del espectro (1.25 MHz); Bajo costo total del sistema (equipos en red, instalación y equipos para el usuario final) en comparación con otras soluciones de acceso a transmisión de datos; Bajo costo inicial de inversión de capital, lo cual brinda la posibilidad de ajustar dicha inversión en forma simultánea al crecimiento de la demanda; Se adapta en forma ideal a la cobertura rural de

base amplia y de baja densidad; Normalización internacional y madurez de esta tecnología, basadas en varios años de instalación sobre el terreno, lo que asegura su continua evolución así como la reducción de sus costos mediante economías de escala.

#### **1.3.4.2 CDMA-450 en Ecuador.**

En el Ecuador, mediante resolución 331-C-CONATEL-2008 de 23 de junio de 2008, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones resolvió, en su artículo único: *“Realizar las acciones necesarias para la liberación de una parte de la sub-banda A de CDMA 450, comprendida en los rangos 454,400 – 457,475 MHz y 464,400 – 467,475, en las provincias en las cuales se tenga un número menor o igual a diez (10) concesiones de frecuencias en dichos rangos. En aquellas provincias en las cuales se tenga un número mayor a diez concesiones, la SENATEL deberá verificar la disponibilidad de espectro para la reasignación de los concesionarios salientes y, además, el compromiso del operador entrante de indemnizar a dichos concesionarios. Todo esto con la finalidad de permitir la implementación de sistemas orientados a brindar servicios de telecomunicaciones fijos inalámbricos en áreas rurales.”*. [8]

Teniendo en cuenta las ventajas de CDMA, además que en el Ecuador existe una regulación en cuanto a uso de la banda en los 450MHz, y que los principales organismos internacionales que regulan las comunicaciones sugieren el uso de CDMA 450 para zonas demográficamente menos densas, empresas como la CNT y ETAPA(CUENCA) han venido brindando servicios de telefonía inalámbrica y acceso a datos para sus respectivos clientes en las zonas rurales del País.[9] Esto se corrobora, ingresando en los respectivos portales web de las empresas, y verificando los servicios que ofrecen, por ejemplo, en la CNT brinda servicio de internet EVDO que es una solución para CDMA 450.

#### **1.3.5 TECNOLOGÍA GPRS<sup>14</sup>**

General Packet Radio Service o Servicio General de Paquetes vía Radio (GPRS), es una extensión del Global System for Mobile Communications o Sistema Global para

---

<sup>14</sup> General Packet Radio Service o Servicio General de Paquetes vía Radio

Comunicaciones Móviles (GSM), para la transmisión de datos mediante conmutación de paquetes,[10] esta tecnología funciona de forma paralela a la red GSM, que funciona mediante conmutación de circuitos.

GPRS nace con la finalidad de solucionar los problemas que GSM produce a la hora de acceder a navegación en la red de internet, problemas como la baja velocidad de transferencia de 9.6Kbps, la cual limita la cantidad de servicios que internet ofrece, además si se considera que la navegación se paga por tiempo consumido, los costos se elevan de manera exorbitante. Estos y otros factores, sugieren que GPRS sea la solución a los problemas de acceso a datos en la red GSM.

GPRS es una tecnología que comparte el rango de frecuencias de la red GSM usando la transmisión de datos por medio de 'paquetes', ya que la conmutación de paquetes es un procedimiento más adecuado para transmitir datos.

Con el sistema GPRS, el usuario puede navegar en internet a través de protocolos TCP/IP X.25, CLNP (Connectionless Network Protocol), sin necesidad de utilizar otro tipo de conexiones intermedias por conmutación de circuitos.[11]

Explicando un poco más el modo de operación de GPRS, la diferencia entre un sistema por conmutación de circuitos (GSM) con el de conmutación de paquetes (GPRS), radica en que en el primero, cada conexión establecida se dedica solo al usuario que la ha solicitado, mientras tanto, en la segunda se permite la transmisión de paquetes en modalidad link by link, es decir, los paquetes de la información se encaminan en fases separadas a través de los diversos nodos de soporte del servicio, denominados GSN (Gateway Support Node). De esta manera, una vez que el paquete ha sido transmitido por la interfaz de radio entre el móvil y la estación base (BS), se liberan recursos, y así estos pueden ser utilizados por otro usuario.

Los recursos en GPRS son gestionados según la técnica “context reservation”, es decir, se tiende a preservar la información de las peticiones de servicio que se encuentran, o bien activas, o las que se encuentran momentáneamente en espera, por tanto los recursos de radio se usan solo cuando existe la necesidad de enviar o recibir datos. Como los recursos de una celda se dividen para el total de usuarios dentro de la celda, la eficiencia del sistema

es considerado muy eficiente en comparación con GSM, dicho esto se puede decir que GPRS, está dirigido a aplicaciones como la medición inteligente, ya que cada usuario (medidor) solo requiere conexión en un instante de tiempo determinado para transmitir datos.

Algunas características de GPRS son el tener una velocidad de transferencia teórica de 171.2Kbs; Conexión permanente; Tiempo de establecimiento de conexión inferior al segundo; Pago por cantidad de información transmitida, no por tiempo de conexión.

Con estos antecedentes, se presenta GPRS como un sustituto eficiente para juntar los servicios los de datos con los de voz, naciendo así una portadora de datos paralela a la de voz.

### 1.3.5.1 Arquitectura de la red GPRS.

En la siguiente figura se muestra el esquema que junta la tecnología GSM para voz con la estructura de datos llamada también GPRS.

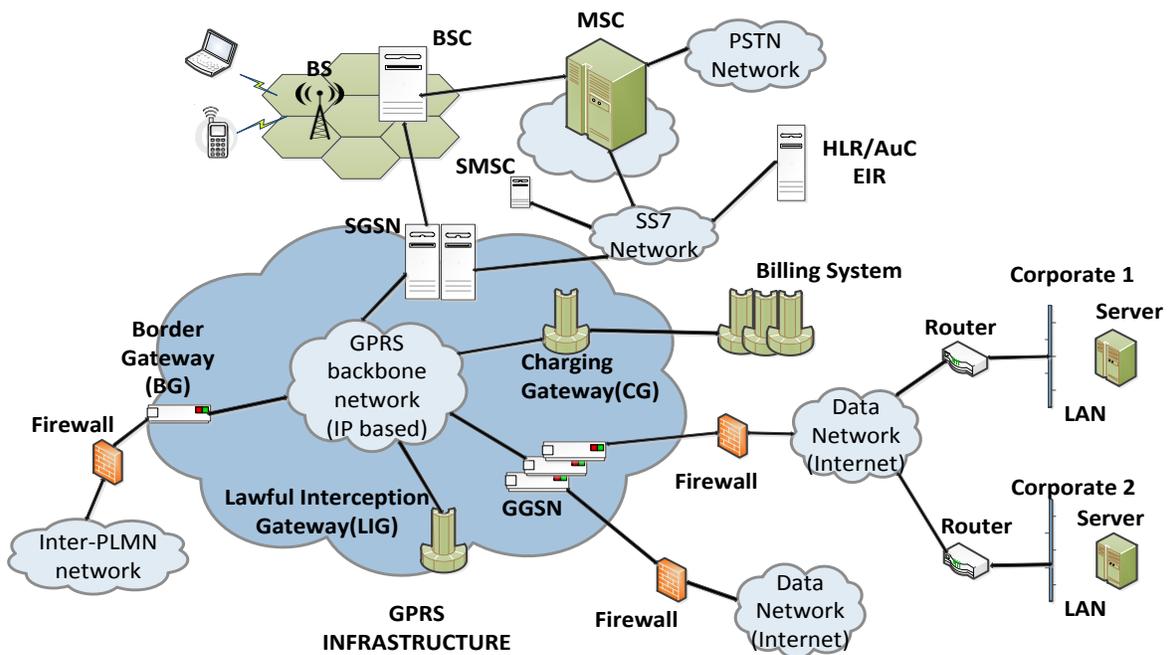


Figura 1.8 Arquitectura de la red GPRS.

En el gráfico anterior se aprecia las estructuras inherentes al sistema GSM que son:

BS.- Base Station o Estación Base.

BSC.- Base station controller o Controlador de Estaciones Base.

MSC.- Mobile Switching Center o Centro de conmutación móvil.

SMSC.- Short Message Service Center o Central de Servicio de Mensajes Cortos.

HLR.- Home location register o Ubicación de registro.

Por otro lado tenemos la red de Sistema de Señalización por canal común n.º 7 (SS7) que es un conjunto de protocolos de señalización telefónica empleado en la mayor parte de redes telefónicas mundiales. Su principal propósito es el establecimiento y finalización de llamadas, si bien tiene otros usos, y finalmente la public switched telephone network (PSTN) Red pública de telefonía conmutada. Término general que se refiere a la diversidad de redes y servicios telefónicos existentes a nivel mundial.

Ahora bien, en cuanto a la red GPRS incluye nuevos elementos como son: El nodo de soporte GSN (Gateway Support Node) es el elemento principal de la infraestructura. Existen dos tipos de nodos GSN: Unos de entrada (Serving GPRS Support Node, SGSN), que proporcionan conectividad a las BSC (Base Station Controller) de GSM y otros de salida (Gateways GPRS Support Node, GGSN), que interconectan el sistema con redes de datos externas. Estos routers pueden administrar la movilidad de los usuarios a través de los registros de GPRS y son capaces de entregar los paquetes de datos a las estaciones móviles, independientemente de su posición.

Si a hardware se refiere los GSN pueden estar integrados en el MSC (Mobile Switching Center) o pueden ser elementos separados de la red.

A parte de los nodos antes mencionados, también se añade un nodo más al sistema GPRS, el BG (Border Gateway), que es necesario principalmente por razones de seguridad y está situado en la conexión con la red troncal (Backbone) Inter-PLMN. Mediante él se pueden intercambiar datos con otras PLMNs (Public Land Mobile Network). Una PLMN es una red de telefonía móvil.

Otro elemento que aparece en el sistema GPRS son las CG (Charging Gateway), y los Nodos de los Firewalls o barreras, cuya misión es proteger a la red de accesos no deseados,

pues en GPRS los nodos tienen direcciones IP, y por lo tanto son vulnerables de ataques externos.[11]

#### **1.3.5.2 GPRS EN ECUADOR.**

En el Ecuador los sistemas móviles de comunicación tuvieron un desarrollo evolutivo, apareciendo en primer lugar la denominada primera generación (1G), continuando con la segunda generación (2G), GPRS viene a ser y formar parte de los sistemas (2.5G) que es la transición entre 2G y 3G. La generación 2.5G corresponde a mejoras tecnológicas en las redes 2G, específicamente si hablamos de GPRS esta incluye la transmisión por paquetes, se puede utilizar servicios WAP (Wireless Application Protocol o protocolo de aplicaciones inalámbricas).

Las ORMs que operan con esta tecnología son OTECEL (MOVISTAR) y CONECEL (CLARO) CNT por otro lado tiene infraestructura CDMA y LTE.

#### **1.3.6 TECNOLOGÍA LTE**

Long Term Evolution (LTE) es una tecnología de plataforma de radio que permite a los operadores lograr rendimientos máximos incluso mayores que HSPA+<sup>15</sup> en el ancho de banda de espectro superior.[12]

LTE es parte del camino evolutivo GSM de banda ancha móvil, a raíz de EDGE<sup>16</sup>, UMTS<sup>17</sup>, HSPA y HSPA Evolution (HSPA+). Aunque HSPA y su evolución se posicionan firmemente a ser la tecnología de datos móviles dominante para la próxima década, la familia de estándares 3GPP<sup>18</sup> debe evolucionar hacia el futuro. HSPA + ofrecerá el escalón hacia LTE para muchos operadores.

---

<sup>15</sup> HSPA+, también conocido como Evolved HSPA (HSPA Evolucionado), es un estándar de internet móvil definido en la versión 7 de 3GPP y posteriores.

<sup>16</sup> EDGE, Enhanced Data Rates for GSM Evolution (Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM).

<sup>17</sup> UMTS, Universal Mobile Telecommunications System (Sistema universal de telecomunicaciones móviles).

<sup>18</sup> El Proyecto Asociación de Tercera Generación o más conocido por el acrónimo inglés 3GPP 3rd Generation Partnership Project, es una colaboración de grupos de asociaciones de telecomunicaciones, conocidos como Miembros Organizativos.

El objetivo general para LTE, es proporcionar una tecnología de acceso por radio de alto rendimiento, que ofrece velocidad incluso en vehículos en movimiento, además LTE puede coexistir fácilmente con HSPA y redes anteriores. Debido a ancho de banda escalable, los operadores son capaces de migrar fácilmente sus redes y usuarios de HSPA a LTE a través del tiempo.

LTE asume una arquitectura completa de la red de Protocolo de Internet, y está diseñada para soportar voz dentro del dominio de paquetes. Incorpora las técnicas de radio más avanzadas, para alcanzar los niveles de rendimiento más allá de lo que va a ser práctico con los enfoques de CDMA, además, de la misma forma que 3G coexiste con 2G formando redes integradas, LTE puede coexistir con dichas redes, el acceso a una u otra red dependerá de los dispositivos, estos pueden ser incluso dispositivos multimodo y funcionarán a través LTE/3G o LTE/3G/2G, dependiendo de las circunstancias del mercado.

Desde hace muchos años, un verdadero estándar en el mundo ha sido uno de los objetivos de la industria celular. En GSM dominado tecnologías 2G todavía había fragmentación con CDMA y TDMA, así como con iDEN<sup>19</sup>. Con el paso a las redes 3G, casi todos los operadores TDMA migraron a la ruta de tecnología 3GPP. Sin embargo, la brecha histórica se mantuvo entre GSM y CDMA. Es con el siguiente paso de la evolución de la tecnología, que ha surgido la oportunidad para una tecnología estándar global. Muchos operadores han convergido en la tecnología con la que creen que ellos y sus clientes podrán obtener y ofrecer los mayores beneficios. Esa tecnología es Long Term Evolution. La mayoría de los principales operadores, fabricantes de dispositivos y de infraestructura, así como los proveedores de contenidos de soporte, ven a LTE como la tecnología móvil del futuro. Los operadores entre ellos líderes GSM-HSPA y CDMA operadores EV-DO, así como recién licenciados y los operadores de WiMAX, están haciendo, los compromisos estratégicos a largo plazo para las redes LTE. Todos los caminos conducen a LTE.[12] Lo cual es importante recalcar ya que con el tiempo las empresas que se ubican en el mercado de la

---

<sup>19</sup> iDEN Red Mejorada Digital Integrada (Integrated Digital Enhanced Network) es una tecnología inalámbrica desarrollada por Motorola en 1994, proporciona a los usuarios múltiples servicios en un único e integrado sistema de comunicaciones móviles.

energía, estarán involucradas en el uso de tecnologías de comunicación, que permitan el acceso a medios de transmisión de grandes cantidades de datos, para de esta manera usarlas en aplicaciones específicas en su área, y hasta se podría hablar de brindar servicios agregados a sus usuarios.

LTE no está basado en WCDMA al igual que UMTS, en el downlink el método de acceso escogido es OFDMA y en el uplink se usa el método de acceso Single Carrier Frequency Division Multiple Acces (SC-FDMA), proporcionando ortogonalidad entre usuarios, reduciendo las interferencias y mejorando la capacidad de la red, además, se incorpora el uso de múltiples antenas.

El sistema puede operar de dos formas mediante Frequency Division Duplex (FDD) y Time Division Duplex (TDD). LTE permite flexibilidad en el espectro, donde el ancho de banda puede ser escogido entre 1.4MHz y 20MHz, dependiendo de la disponibilidad del espectro.

En el ancho de banda de 20MHz se puede alcanzar una tasa de datos de hasta 300Mbps y 75Mbps en downlink y uplink respectivamente, además de que se consigue la reducción de latencia, comparada con otros servicios a 10ms para la transmisión de un paquete desde la red al dispositivo del usuario.

Como ya se mencionó anteriormente la tecnología LTE representa grandes beneficios entre los cuales están: Downlink velocidades de datos pico de hasta 326 Mbps con un ancho de banda de 20 MHz; Velocidades de datos pico de enlace ascendente de hasta 86,4 Mbps con un ancho de banda de 20 MHz; Operar en los modos TDD y FDD; Ancho de banda escalable hasta 20 MHz, cubriendo 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz y 20 MHz en la fase de estudio; Aumento de la eficiencia espectral sobre la Versión 6 HSPA por dos a cuatro veces; Latencia reducida, hasta 10 milisegundos (ms) veces de ida y vuelta entre el equipo de usuario y la estación base, y a menos de 100 ms tiempos de transición de inactivo a activo.

#### **1.3.6.1 LTE en Ecuador.**

El pasado año en el mes de Octubre las empresas CNT y Alcatel- Lucent probaron de manera exitosa, la tecnología que permite mayores beneficios tales como mayor capacidad y velocidades de descarga hasta 100 Mbps, ideales para los usuarios más exigentes que

utilizan de manera continua un aparato móvil con conexión a internet, con lo cual requieren un gran ancho de banda.

Estas empresas despliegan la primera red de banda ancha móvil 4G LTE en Ecuador, que conecta Guayaquil, Cuenca, Machala y Loja, así como las principales ciudades de la costa del Pacífico y el sur de país siendo las pioneras en hacerlo en el país. La nueva red provee mayor capacidad para banda ancha móvil por lo cual habilita una gama de servicios y aplicaciones en dispositivos móviles a velocidades de descarga de hasta 100 megabits por segundo (Mbps) y de subida de 40 Mbps en bajada. Estas velocidades permiten a CNT ofrecer servicios fijos, móviles y convergentes mejorados, como streaming de Video de alta definición.

CNT utiliza las estaciones base 4G LTE Base Stations y el sistema de gestión 5620 Service Aware (5620 SAM) de Arcatel-Lucent, los directivos de CNT contemplan también que la cobertura de servicios de banda ancha 4G LTE también se extenderá zonas rurales de Ecuador donde la cobertura actual es limitada o inexistente así la CNT busca mejorar la capacidad de su red de datos y ampliar la cobertura nacional, incluyendo el despliegue de nuevos servicios, como video HD, juegos avanzados en línea, M2M<sup>20</sup>, telepresencia, teleeducación, seguridad, etc.[13]

### **1.3.7 EVOLUCIÓN A TECNOLOGÍA 5G**

Como sus siglas lo indican 5G indica que serán la quinta generación de las comunicaciones móviles, actualmente no se encuentra estandarizado pero las empresas de telecomunicaciones piensan que podrá estar operativa para el 2020, un ejemplo de esto y sus características que aún no se encuentran bien definidas es la compañía sueca Ericsson que ha logrado alcanzar una velocidad de transmisión de hasta los 5Gbps lo cual indica que es una tecnología que promete en cuanto a la transmisión de datos y además está pensada para conectar todo con esa velocidad ya que es 250 veces mayor a la que ofrece LTE.

---

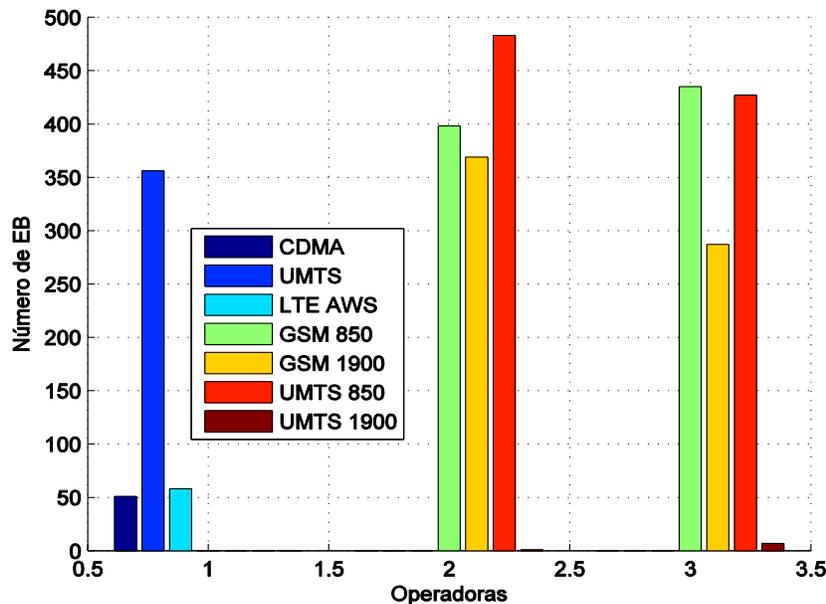
<sup>20</sup> M2M (Machine to Machine o Máquina a Máquina) es un concepto genérico que se refiere al intercambio de información o comunicación en formato de datos entre dos máquinas remotas.

#### 1.4 Análisis de cobertura para zonas urbanas y rurales.

El análisis se realizó aislando un área del territorio Ecuatoriano, específicamente el área que conforma la provincia de Pichincha.

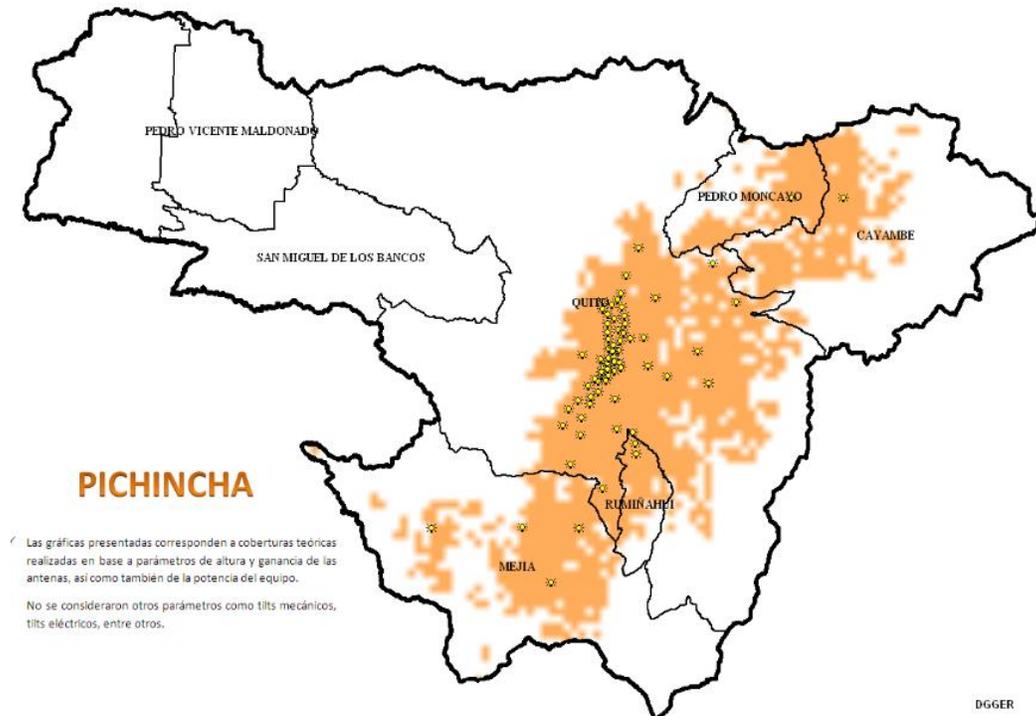
##### 1.4.1 Cobertura del Operador Primario de Red CNT.

La corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), hasta el mes de Septiembre del 2014 tuvo en operación y bajo su control, Radio Bases con tecnología CDMA, UMTS, LTE-AWS[14], en la figura 1.9 se advierte la cantidad de estaciones base según la tecnología utilizada por cada operador donde en primer lugar se encuentra CNT, seguido por OTECELY finamente CONECEL.



**Figura.1.9** Infraestructura de EB para Pichincha CTN, OTECEL, CONECEL

Para CNT las estaciones base se encuentran distribuidas en diferentes zonas de la Provincia proporcionando un área de cobertura como se indica en la siguiente figura.



**Figura.1.10** Mapa de cobertura CNT en Pichincha.

**Fuente.** SENATEL.

Como se puede apreciar anteriormente no se mencionó la tecnología GSM/GPRS en la infraestructura de CNT, esto se da debido a que CNT mantiene un contrato con OTECEL (MOVISTAR) conocido como Roamig Nacional para el uso compartido de infraestructura GSM/GPRS, es decir CNT le arrienda la infraestructura a MOVISTAR y de esta forma brinda servicios a través de GSM/GPRS.

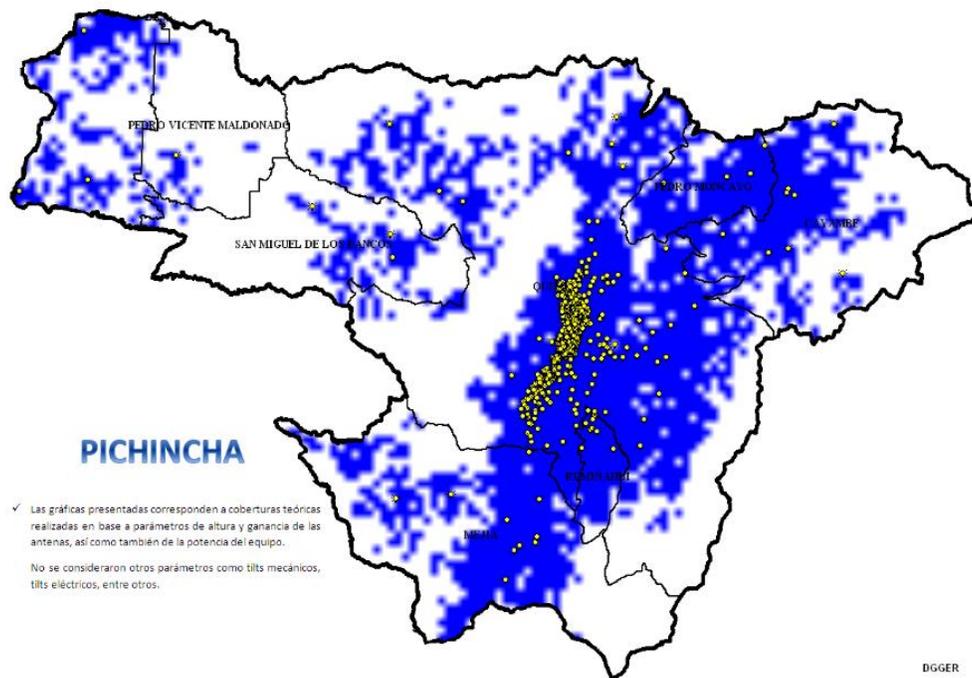
Valiéndose de la figura 1.10 y 1.11 se observa que la CNT hace uso de las radio bases que se encuentran fuera de su rango de cobertura por lo que puede brindar servicio a los usuarios fuera de su alcance especialmente en zonas rurales.

Ahora, según lo visto anteriormente, si lo trasladamos a zonas en el cual los medidores inteligentes pueden ser instalados, se aprecia que la mayoría de los cantones de la provincia de Pichincha podrían instalar un medidor con comunicación GSM/GPRS o CDMA según sea el caso.

#### 1.4.2 Cobertura de OTECEL (MOVISTAR).

La operadora Movistar tiene infraestructura de 2da y 3ra generación, y al contrario que la CNT no maneja infraestructura con tecnología CDMA como se aprecia en la figura 1.9.

Las radiobases y las áreas de cobertura que mantuvo MOVISTAR hasta Septiembre del 2014 se muestra en la figura 1.9.[14]

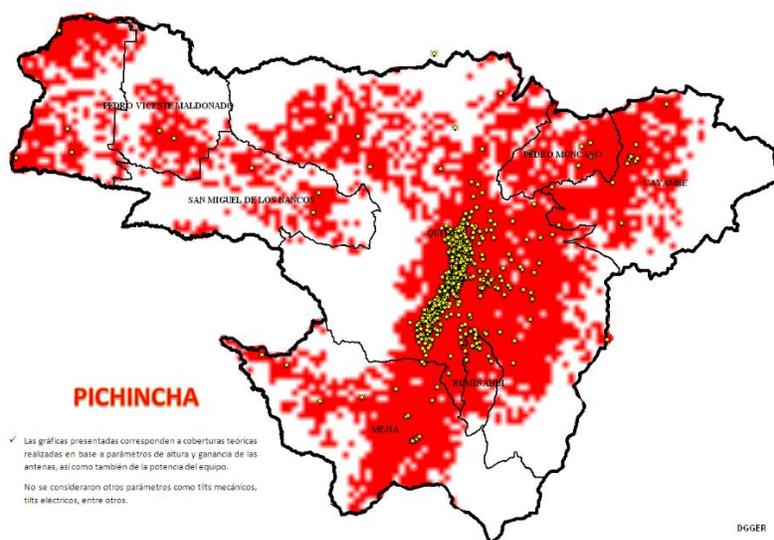


**Figura.1.11** Mapa de cobertura OTECEL (MOVISTAR) en Pichincha.

**Fuente.** SENATEL.

#### 1.4.3 Cobertura de CONECEL (CLARO).

La operadora Claro por otra parte maneja tecnología GSM y UMTS, el número de estaciones base se la observa en la figura 1.9, por otro lado la cobertura de esta operadora se puede ver a continuación.



**Figura 1.12** Mapa de proyectos en Medición Inteligente

**Fuente:** SENATEL

Como se aprecia en los mapas anteriores se puede determinar que si un OMV interesado en brindar el servicio AMI para medición de energía eléctrica, este podría escoger entre las tres operadoras para llegar a un acuerdo. Dependerá claro está de que dichas operadoras móviles puedan alojar un OMV, es decir que cumplan con los requerimientos técnicos exigidos por los medidores inteligentes para de esta forma favorecerse mutuamente y brindar un buen servicio. También existe la posibilidad de que si dado el caso en un lugar donde existe un abonado eléctrico y no hay cobertura del operador móvil el OMV pudiera hacer otro contrato con otro operador móvil que si tenga cobertura en dicha zona y así solucionar este problema.

## **CAPÍTULO II**

### **OPERADOR MÓVIL VIRTUAL PARA INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA.**

Algunas empresas en el mundo, actualmente, gracias al desarrollo de las llamadas Smart Grids o Redes Inteligentes se vieron obligadas al desarrollo de contadores de energía eléctrica que integren servicios de lectura, corte, reconexión es decir el control y monitoreo remoto en tiempo real de los mismos, por lo que hoy en día es común ver que estos aparatos estén diseñados para poder transmitir datos valiéndose de redes de comunicación a través de diferentes canales de comunicación. Por lo que en este apartado se habla de la situación técnica y tecnológica del Ecuador respecto a operadores móviles convencionales y su posible capacidad para la prestación de infraestructura para el uso de un operador móvil virtual, así también se hablará de los requerimientos tecnológicos de los medidores inteligentes para poder llevar a cabo el transporte de los datos obtenidos por dichos equipos, además, también se analizarán los estándares y protocolos que usan los contadores eléctricos que actualmente existen en el mercado.

#### **2.1 MVNO, MVNE, MVNA Y C-MVNO.**

Para poder comprender de una mejor forma los conceptos de MVNO y C-MVNO que posteriormente se mencionaran, es necesario entender en que consiste un operador de red móvil por lo que a continuación se menciona.

##### **2.1.1 Operador de Red Móvil (OMR).**

Un operador de red móvil aquel que brinda una forma de comunicación donde uno o más interlocutores participan mediante acceso por vía radio, además el interlocutor o usuario tiene la facilidad de desplazarse durante la comunicación siempre y cuando se encuentre dentro del área de cobertura brindada por dicho operador. Esta facilidad que permite al usuario desplazarse y mantenerse comunicado son las características esenciales que han hecho de la telefonía móvil un servicio tan popular, actualmente se adicionan muchos servicios extras que principalmente están involucrados con la navegación web y redes sociales.

El operador de Red Móvil por tanto es quien tiene concesionado un espectro de radio frecuencia, además de cumplir con todas las normas legales que el país donde se encuentre operando define.

### **2.1.2 Operador Móvil Virtual (OMV o MVNO).**

Definir que es un Operador Móvil virtual (OMV) o en inglés Mobile Virtual Network Operator (MVNO) no es una tarea sencilla, debido a que varios organismos a nivel mundial lo definen de distinta forma, sin embargo todos los conceptos encontrados en diversas fuentes apuntan a un concepto en general de aquí que la ITU lo define como un operador que proporciona servicios de comunicaciones móviles a usuarios sin tener red propia y bajo licencias otorgadas por los gobiernos [15], por otro lado la Oficina de Telecomunicaciones (Ofitel), entidad de reglamentación del Reino Unido, define a los MVNO como los que realizan actividades efectuadas por otras organizaciones, ofreciendo servicios móviles pero sin emitir su propia tarjeta SIM<sup>21</sup> [16]. Las definiciones antes mencionadas no son las únicas, ni las más claras, sin embargo, se puede conceptuar a un Operador Móvil Virtual como un operador que brinda servicios móviles, sin contar con espectro radioeléctrico asignado para prestar sus servicios. Se toma en cuenta también el hecho de que un OMV puede poseer en su infraestructura, centros de conmutación, transmisión, facturación y recursos de numeración, por lo que no necesita una inversión tan elevada como los operadores ya establecidos u OMR.[17]

Por lo tanto, partiendo de las definiciones anteriores, los operadores móviles virtuales serán considerados o clasificados dependiendo de cómo se ubiquen debajo de un operador anfitrión, es decir dependiendo de los acuerdos comerciales que se ejecuten entre los dos organismos, además que la estructura y funcionamiento de un OMV está relacionada directamente con la de un Operador Móvil Convencional, en definitiva podrían considerarse como sistemas similares marcados por su diferencia en el uso del espectro radioeléctrico.[18]

Entonces la estructura de un OMV dependerá de la negociación de la compra de exceso de

---

<sup>21</sup> Subscriber Identity Module, o en español Módulo de Identificación de Abonado.

capacidad a los ORM<sup>22</sup>, o a su vez la compra de cierto ancho de banda de frecuencia para la reventa a los clientes, aspecto que se presenta en el siguiente gráfico con efecto de tener una idea más clara de cómo se ubica un operador móvil virtual a la par de una red anfitrión.

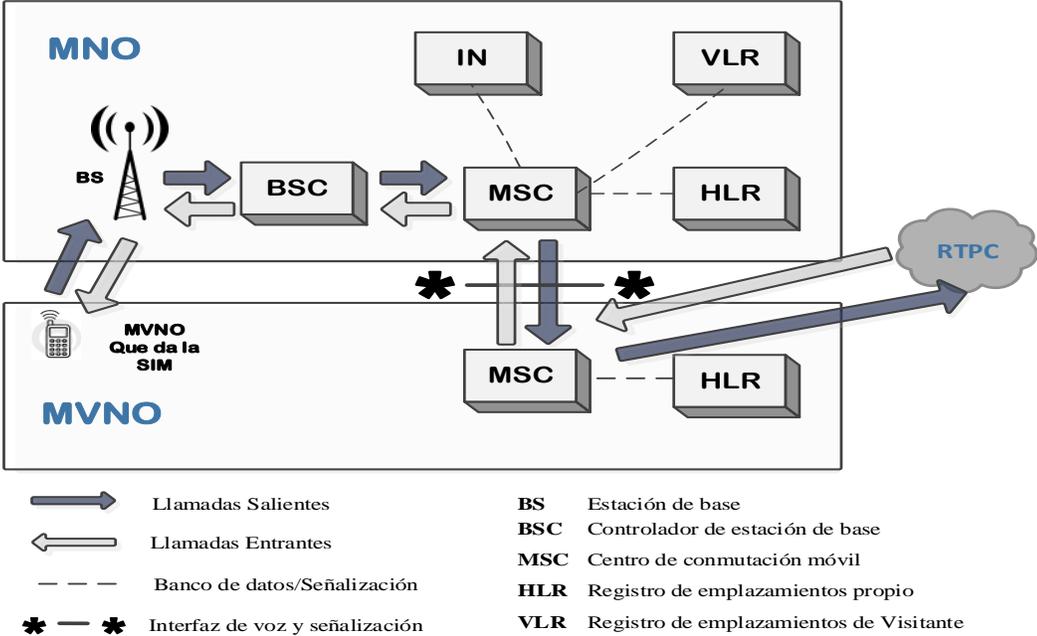


Figura 2.1 Descripción de un Operador Móvil Virtual.

Como se puede apreciar en la figura anterior, la interconexión entre los dos operadores se realiza entre interfaces que manejan protocolos de datos, a través de alguna puerta de enlace, la misma que hace el trabajo de señalización y conversión a otros protocolos empleados en redes móviles.

**2.1.2.1 Clasificación de Operadores Móviles Virtuales.**

Un OMV se muestra a los clientes como una empresa completa, no importa que grado de dependencia tecnológica o reutilización de recursos del anfitrión se tenga, esto debido a que al momento de analizar su funcionamiento se lo hace de forma general, y de esta forma se abordara en este trabajo, tomando en cuenta nada más que a un OMV le falta el uso de espectro para brindar sus servicios.

<sup>22</sup> Operador de Red Móvil.

En la práctica, la forma de proceder de los operadores Móviles varía según el mercado[19]. Por lo general, un OMV no posee ninguna infraestructura, ni un centro de conmutación de telefonía móvil (MSC), y principalmente no posee un segmento de radio en su red de acceso, Algunos pueden poseer su propio registro de localización (HLR), que sugiere mayor flexibilidad a la hora de utilizar varias redes del mismo Operador Móvil o de Varios, por lo que llevar a cabo una clasificación exacta para los OMV's, es un poco complicado al igual que ocurre en el momento de conceptualarlo, se sabe lo que no tiene, pero no existe un consenso sobre lo que un OMV debe tener. De esta manera los OMV's desplegados en diferentes países funcionan bajo esquemas diferentes que dependen de las condiciones locales y su respectiva regulación.

#### **2.1.2.1.1 Clasificación de los OMVs según los niveles de integración operacional.**

Las clasificaciones que se hacen a los OMVs se presentan según el nivel de integración operacional que se pueda dar entre un OMR y un OMV, de donde se despliegan tres divisiones.

En primer lugar encontramos un OMV completo, el cual se caracteriza por que generalmente tiene la capacidad de administrar por su propia cuenta la inteligencia de la red móvil.[17] Es aquel que únicamente de la cadena de valores no posee el espectro radioeléctrico para poder brindar servicio a sus usuarios, es decir, depende del sistema anfitrión únicamente en la parte de acceso de radio. Este tipo de operador tiene su propio 'core' de red incluido, el Centro de Conmutación Móvil (MSC), además que necesita una amplia interconexión con las redes fija y móvil y depende de las redes móviles únicamente para los servicios mínimos que no pueda suministrar por sí mismos, porque no cuenta con licencia para utilizar el espectro radioeléctrico.[19]

Dicho esto es necesario revisar qué puntos conciernen a este tipo de operador móvil virtual, y a continuación se enumeran: Red de conmutación de circuitos (CircuitCore); Red de conmutación de paquetes (PaquetCore); Red de operación y mantenimiento (NMS/OSS); Red Inteligente (IN); Centro de facturación, centro de atención al cliente y plataforma de servicios de valor agregado (VAS); Gestión de datos completa de la tarjeta de usuario (SIM).

En segundo lugar se tiene un OMV que es considerado como un revendedor de servicios, y como su nombre lo indica simplemente revende servicios bajo su propio nombre o marca comercial, su estructura la conforma la parte de marca propia, ventas y marketing, el resto de las fases es operada por un MVNE (Enabler Network Virtual Mobile), a través de este el OMV obtiene la infraestructura y los servicios necesarios para funcionar. Este tipo de OMV utiliza la conmutación del OM sobre el que trabaja, pero cuenta con su propio Registro de ubicación base (HLR) o posee un HLR en conjunto con el OM. Puede tener una tarjeta SIM exclusiva e incluso un código de red propio.[19]

Finalmente como tercer y último nivel se encuentran los modelos híbridos de OMVs, estos están constituidos según el nivel de operación al cual puedan llegar, pero hay que distinguir que no son considerados OMV completos debido a que no se encargan de manejar todas las fases de operación, y dichas fases de operación no abarcadas son realizadas por un MVNE.[17]

#### **2.1.2.1.2 Clasificación de los OMVs según modelos de negocios.**

Por otro lado existe otra forma de clasificar a los operadores móviles virtuales, de acuerdo al modelo de negocio que se pretenda emprender y claro está, que la misma está ligada a la cadena de valor del operador anfitrión.

Esta clasificación depende de la estrategia empleada por la empresa para relacionarse con un OMV, con esto el OMV debe establecer qué modelo de negocio es el adecuado por lo que debe tener en cuenta si el OMV tendrá un carácter complementario con el operador anfitrión, o será un competidor de este.

Si se decide por ser un operador complementario del OMR, esto significara que la oferta planteada cubrirá segmentos del mercado que el anfitrión no cubre debido a su naturaleza empresarial o por su capacidad, Por lo que se dice que los OMVs de este tipo son compradores de capacidad operativa, comercial y de tráfico de datos al por mayor.

De la misma forma si se opta por ser un competidor con operadores establecidos, se debe establecer agresivas estrategias en precios, generando productos y servicios diferenciados.

Sumado a todo esto que el OMV tiene que establecer su punto de operación dentro de la cadena de valor, para poder estructurar un eficiente modelo de negocios apegado a sus metas. A continuación se enumera la clasificación de acuerdo al modelo de negocio.

### **Revendedores de servicios.**

Como su nombre lo indican estos OMVs revenden los productos y servicios del OMR quien por lo general establece qué productos serán comercializados. Esto quiere decir que el OMV compra capacidad de red como mayorista y la vende a sus usuarios como minorista. Este OMV solo distribuye dichos productos haciendo uso de su marca y canales de distribución.

La dependencia de las operaciones en relación con el operador anfitrión se pierden debido a que no posee control sobre las entidades de red, de esta manera estos OMVs presentan menor riesgo asumido a costa de una menor capacidad de crear servicios diferenciados, por lo que la principal forma de competir es el precio.

### **Proveedores de servicios.**

Estos OMVs manejan algunos recursos de red necesarios para prestar servicios como es el manejo de sistemas para gestionar los registros de datos de llamada (CDR) que proporciona el OMR, otro aspecto es que usa las principales entidades del núcleo de red, finalmente este OMV implementa la tarjeta de identidad de usuario SIM. Por lo que puede variar los servicios ofrecidos por el OMR.

Con este nivel de operación, los OMVs de este tipo buscan tener sino en su totalidad al menos una gran parte del control del registro de usuarios de su red, por lo que se dan casos de que los OMVs implementen su propia entidad encargada de estos registros conocida como Home Local Register (HLR). A pesar de esto, el control sobre los datos del tráfico de sus usuarios es limitado, haciendo del OMV dependiente de la información que el OMR otorgue. Este tipo de OMV es considerado híbrido según la clasificación por niveles de integración. Es uno de los más usados en el mundo, el cual se diferencia a través de promociones en sus servicios.

### **Proveedores de servicios avanzados y proveedores de servicios de red.**

Además de lo que infiere a OMVs proveedores de servicios este proveedor ejecuta la gestión de plataformas de servicios, De esta forma puede proveer aplicaciones avanzadas como juegos multi-jugador. Todo esto se ejecuta debido a que se usa la inteligencia de la red móvil, es decir, que maneja entidades propias del núcleo de red, este puede o no ser

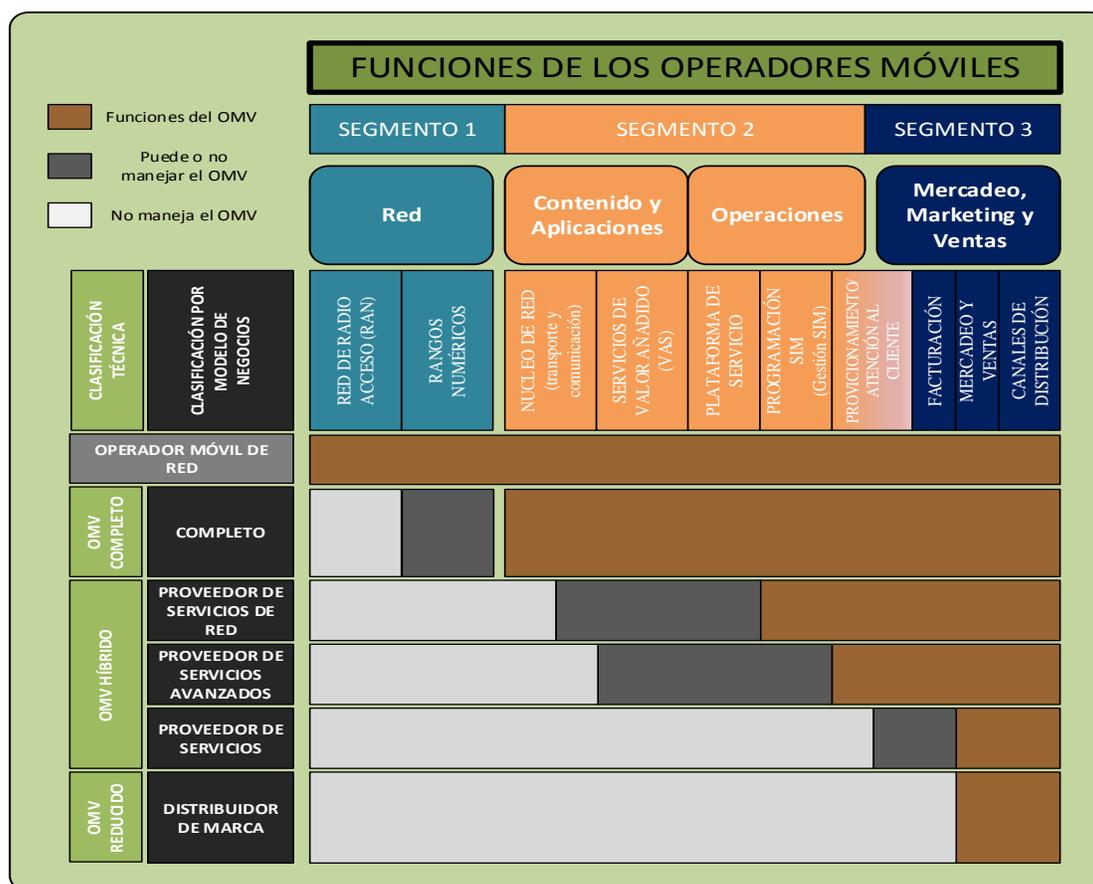
parte del OMV. Es decir, el OMV puede arrendar dicho núcleo de la red del OMR, a esto se lo conoce como proveedor de servicios de red, que de forma principal adiciona la capacidad de manejar itinerancia (roaming) sin la necesidad de terceros.

### OMVs Completos.

Como su nombre lo indica este OMV integra todas las operaciones de un OMR lógicamente exceptuando la infraestructura de red de acceso.

Este modelo de negocio de OMV lo usan mayoritariamente empresas de telecomunicaciones que buscan mejorar sus beneficios a través de sinergias operativas. Como este modelo maneja un núcleo de red completo, los costos por tráfico internacional se reducen, haciendo que sea atractivo ante actores del mercado fijo. Así como este modelo tiene sus ventajas, presenta una desventaja fundamental que es el costo de inversión, dado que este es mayor comparado con los anteriores.

En la figura 2.2 se puede apreciar de mejor manera las clasificaciones antes mencionadas.



**Figura 2.2** Clasificación de los OMVs según cadena de valor en las telecomunicaciones.

### **2.1.2.1.3 Clasificación de los OMVs según estrategias de mercado.**

Existe otra forma de clasificar a los OMVs de forma diferente a como se lo realizó en los dos casos anteriores, esta clasificación se basa en las estrategias de mercado que asumen los OMVs para ser aceptados e implementados mas no por la cadena de valores.

#### **OMVs de descuento.**

Ofrecen sus servicios tan solo para clientes prepago por lo que proponen precios competitivos para los segmentos de mercado con ingresos más bajos.

Su estrategia se base en ofrecer servicios simples como, voz y SMS y ninguna oferta de datos y ofrecen los teléfonos más baratos. Un tipo de estas empresas es Virgin Mobile US.

#### **OMVs de nicho de mercado.**

Este tipo de OMVs analiza los nichos de mercado que son ignorados por parte de los operadores tradicionales, y en base a esto generan propuestas de servicios: Clientes jóvenes, grupos empresariales específicos, etnias entre otros. Estos segmentos de mercado son muchas veces valiosos pero necesitan ofertas de servicios específicos con valor añadido. Estas ofertas son complementos del servicio de los OMR y buscan ser atractivas para aquellos clientes no tomados en cuenta.

Ejemplos de estos OMVs son Ultra Mobile que opera en la red de T-Mobile y que ha sido implementado con el objeto de permitir a sus abonados enviar dinero a otras personas en el extranjero a través de sus teléfonos, y Ay Yildiz que es un OMV dedicado a ofrecer servicios para la comunidad turca de Alemania combinando bajos costos y descargas de música gratis.[20]

#### **OMVs de reventa al por menor.**

Prestan servicios a clientes finales a través de puntos de venta existentes. Los suscriptores pueden adquirir la tarjeta SIM y la recarga de su cuenta durante una visita a un supermercado. Se apalancan en la habilidad para demostrar sus características como empresa y en la venta de accesorios. Además buscan canales de distribución con menor costo a los usados por operadores tradicionales.

### **OMVs basados en distribución y publicidad.**

Brindan una cantidad determinada de tiempo aire, SMS y contenido a sus clientes a cambio de que estos reenvíen publicidad. Blyk en el Reino Unido es el operador más conocido en este sector y tiene como operadores de red a T-Mobile y Orange.

### **OMVs basados en marca.**

Básicamente estos OVMs ofrecen servicios similares a los operadores móviles tradicionales, la diferencia está en que estos aprovechan sus fuertes marcas reconocibles y la fidelización de sus clientes. Un ejemplo claro de este operador es Virgin Mobile UK, que aprovecho la reputación ganada por su marca en el reino unido y actualmente está en américa del norte e incluso en centro américa y américa del sur.

#### **2.1.2.2 MVNE y MVNA.**

El mercado de las telecomunicaciones móviles es muy complejo y sirve a un grupo general de consumidores, el acceso de los OMVs forma parte de la solución a este problema por lo que los OMVs se orientan a servir a un segmento clave o brindar algún servicio específico para poder competir en el mercado.

Dado que un OMV puede nacer de la nada, es decir sin tener experiencia en servicios de telecomunicaciones, surgen dos posibles actores en el mercado, el MVNA (Agregador de Redes Móviles Virtuales) y el MVNE (Habilitador de Redes Móviles Virtuales).

El primero nace con la intención ser un intermediario entre un ORM y el OMV debido a que el o el grupo de OMVs puedan efectuar una negociación atractiva con el ORM dada la incapacidad o la inexperiencia de los mismos para hacerlo en función de sus beneficios.

Los MVNE por otro lado proporcionan infraestructura tecnológica y los servicios requeridos por un OMV, para que estos no se preocupen por aspectos técnicos propios de las telecomunicaciones.

### **2.2.2.3 OMVs en el Mundo.**

Los operadores Móviles Virtuales están sujetos directamente de las normas que cada región tenga, es decir no existe definiciones específicas sino más bien se toma un modelo y se lo adapta a cada situación puntual en un País de allí que en este apartado surge la necesidad de hacer un recuento de cómo han ido evolucionando los OMV internacionalmente, tanto es el caso que en algunos países la figura de OMV es aceptada legalmente y su operación es un hecho, por otro lado en otros países como el nuestro aún no existe esta figura pero sin embargo está en discusión su aceptación y aplicación.

#### **OMVs en Europa.**

España introduce la figura de OMV través de una orden la CTE/601/2002(anulada) la cual delegaba a la Comisión de Mercado de las Telecomunicaciones (CMT) que otorgara la licencia “A2” la cual permitía la prestación de servicios de OMV, siempre que existiera un acuerdo comercial entre los operadores Virtuales y Los operadores móviles tradicionales. Esta orden daba paso a los denominados OMV completos, hasta el año 2003 cuando surge la Ley General de Telecomunicaciones, la cual establece que para poder sacar el mayor beneficio a una red o para poder prestar un servicio de comunicaciones electrónicas, no es necesaria la obtención de una licencia, sino basta con la aprobación por parte del CMT para operar [21].

Ahora como sucede en Ecuador actualmente para llegar a dar paso a los OMV existió un proceso, y eso se puede ver claramente en la normativa que se puede encontrar en la página de la CMT de España, esta normativa obliga a los ORM's a cumplir con ciertos requisitos para que los OMV's puedan operar.

Un caso especial ocurrió en Bruselas ya que este país siempre mantuvo un marco regulatorio que permitía la aparición de nuevos operadores esto debido a que el país buscaba variar el mercado telefónico, por lo que no se dio el caso de España es decir no se obligó a los operadores tradicionales a acatar ninguna imposición [22].

Holanda es un país Europeo donde los Operadores Móviles Virtuales han tenido la mayor acogida llegando a tener alrededor de ochenta y dos en funcionamiento. En el mercado descrito intervienen varios tipos de empresas tales como cadenas minoristas, organizaciones de caridad, operadores de telefonía fija, entre otras [23].

Finlandia es un país que se caracteriza más que por los servicios que brindan los

Operadores Móviles Virtuales, por los precios que se crean mediante la competencia en el mercado. La entrada de los OMV condujo a que las operadoras móviles en este país bajaran sus costos ya que se creó competencia pensando justamente mejorar los servicios hacia el cliente [24].

En el reino unido, los operadores quienes se encontraban encabezando el mercado de comunicaciones decidieron abrir sus redes voluntariamente a los OMVs. El primer operador móvil Virtual obtuvo gran éxito adquiriendo cerca del 8% del mercado en cinco años, traducido a dólares este porcentaje supera fácilmente los 4 millones de dólares [25].

En Francia los operadores Móviles virtuales tienen un alto grado de incidencia llegando alrededor de cincuenta, pero debido a que los acuerdos mediante los que operan en conjunto con los OMVs, estos han sabido mantenerse posicionados principalmente por que dichos acuerdos fueron hechos en base a los términos de los operadores Móviles tradicionales [26].

El primer Operador Móvil virtual en implementarse en Alemania fue Tchibo Mobil en octubre del 2004. En la actualidad existen alrededor de veinte y nueve OMVs. La presencia de estos operadores introdujo competencia en el mercado de telefonía móvil provocando en consecuencia la reducción de precios en las tarifas de las llamadas [27].

En Italia se dio un caso especial debido a que fue un país donde por decreto se impidió la operación de OMVs. Los operadores anfitriones no tenían la obligación de abrir sus redes a solicitudes de Operadores Móviles Virtuales. En lugar de esto el ente encargado de la regulación en Italia AGCOM manifestó que los ORMs tienen que poseer cierto nivel de protección para de esta forma poder desarrollar negocios de redes 3G [24].

### **OMVs en Oceanía**

En Australia existe un total de cuarenta y tres OMVs en funcionamiento desde el año 2000. Sin embargo aún no se ha sacado el máximo provecho a todos los servicios que pueden brindar el mercado de los Operadores Virtuales [28].

### **OMVs en Asia**

Hon-Kong es uno de los países que tiene fuerte incidencia dentro de lo que a mercado de telefonía móvil respecta teniendo un gran crecimiento anual. En cuanto a OMVs este país asiático tiene 11 Operadores Móviles virtuales. El organismo de que regula las telecomunicaciones es la Office of communications Authority (OFCA) [29].

En Japón el gobierno debido a experiencias adquiridas por el primer Operador Móvil Virtual, decidió motivar la penetración de los OMVs estableciendo directrices que faciliten su entrada al mercado de Telecomunicaciones. El operador Movil Virtual que ocupa la primera posición es Japan Communication Ine y se destaca por ofrecer servicios como Personal Handy-Phone (PHS), actividad de la que se destaca su operación con redes Wireless, por lo que el usuario tiene acceso a internet de forma continua [30],[31].

En malasia están presentes 12 Operadores Móviles Virtuales, pero para que un operador de esta clase pueda funcionar se requiere de una licencia otorgada por la entidad de regulación de este país, esta es la Malaysian Communications & Multimedia Commission (MCMC). Para la emisión de dicha licencia se tiene que presentar una propuesta de operación y mercado la cual será evaluada y si es el caso aceptada o rechazada [32], [33].

#### **OMV en Norteamérica.**

La innovación es el fuerte en este país, enfocado claro esta hacia la explotación de OMVs, estos operadores promueven en el mercado la generación de contenidos, por ejemplo servicios de datos inalámbricos, servicios de valor añadido y contenido Multimedia, por lo mismo esto ha permitido que el número de OMVs en este país llegue a cerca ciento cincuenta que se encuentran operando desde el 2002.

Para que un operador Móvil Virtual opere es necesario que los mismos se registren en la Federal Communications Commission (FCC) además en la Compañía administradora del Servicio Universal USAC sus siglas en inglés (Universal Service Administrative Company) [34].

#### **OMVs en Latinoamérica.**

Al mencionar los países de América Latina es hablar de países tercermundistas en vías de desarrollo, este desarrollo abarca muchos campos y como no el de las telecomunicaciones, el mismo que ha tenido un crecimiento considerable pero no comparable con la situación de los países Europeos y Asiáticos. Hablar de OMVs en Latinoamérica es nuevo pero estudios muestran que la región presenta una gran posibilidad de operar bajo esta figura ya que el índice de penetración móvil sobrepasa al 100% fácilmente en el 2011 [35].

El proceso por consiguiente conlleva consecuencias desde el ámbito político hasta el margen económico de una región. [35] En si en América latina los OMVs aún se encuentran en proceso de maduración por lo tanto no hay como analizar mucha

información de los mismos, pero si se sabe que la telefonía móvil ha estado ligada a monopolios por industrias internacionales ya que las normas que regían a estos países se hacían de acuerdo a decisiones Políticas las cuales no siempre fueron favorables hacia los clientes finales.

En el 2011 Costa Rica se convierte en el país que lanza el primer minorista cuando Costa Rica Electronics y Minoristas Mobiliarios: Grupo Monge & Casa Blanca, Introducen al mercado el OMV Fullmovil [36].

Brasil por otro lado fue uno de los primeros países donde se obtuvo aceptación de la figura de un Operador Móvil Virtual ya que esta llega en el año 2010, Anatel concedió licencias tipo OMV a la compañía de seguros Porto Seguro y al Proveedor de servicio VoIP Sermatel Comercio, las dos compañías unieron esfuerzos para solicitar al segundo operador móvil posicionado en el mercado TIM infraestructura de red, y el resto de operaciones a un MVNE para operar como OMV neto [37].

La evolución de los OMVs en la región es Relativamente nueva siendo Chile y Colombia con mayos actividad es el área. Chile fue el primero en aprobar una ley específica para dar paso al desarrollo de los OMVs. Para febrero de este año el regulador chileno Subtel recibió veinte y seis solicitudes de licencias de las empresas interesadas en operar bajo este concepto. Un ejemplo de lo dicho anteriormente es Virgin Mobile Latin America (VMLA) este operador inauguro su primer OMV en el país chileno, y el éxito que ha tenido es gracias a su estrategia de mercado enfocado a segmentos “Juveniles”. Este grupo VMLA tiene previsto planes de expansión a otros Países de la región como Brasil, Colombia, México, Argentina, Perú, Uruguay y Bolivia [35].

### **2.1.3 Operador Móvil Virtual Cognitivo (C-MVNO)**

El espectro inalámbrico típicamente es considerado como un recurso escaso, y está asignado de acuerdo a una licencia estática proporcionada por el ente que lo regula. Mediciones de campo hechas al espectro utilizado por un operador móvil, muestran que sin embargo, la mayoría de las bandas del espectro se encuentran a menudo infrautilizadas incluso en locaciones como áreas urbanas que están densamente pobladas. A partir de esta posibilidad de ocupar esos vacíos inutilizados que se crean, nace la propuesta de utilizar tecnología cognitiva de radio (cognitive radio technology), la cual posibilita que un

dispositivo de radio cambie inteligente y flexiblemente sus parámetros operacionales para hacerlos coincidir con el entorno de radio. Dentro de las funciones del dispositivo está el de censar y ocupar de otra manera los inutilizados “spectrum holes” en el tiempo y espacio sin violar claro esta los derechos de los usuarios que tienen licencia.

Otro enfoque para alcanzar la utilización más eficiente del espectro es el arriendo dinámico del espectro (dynamic spectrum leasing), donde el dueño del espectro permite a una red secundaria o usuarios secundarios usar temporalmente el espectro no utilizado, a cambio claro está de un valor monetario.

Los C-MVNO sirven de interfaz entre un tradicional dueño del espectro y los usuarios secundarios. El dueño del espectro tiene una concesión de cierto rango del espectro, donde parte de este es usado por los usuarios principales que serían los usuarios a los cuales les brinda servicios. Ahora, un C-MVNO puede arrendar dinámicamente el espectro temporalmente no usado por el dueño del mismo, y censar las bandas activas usadas por los usuarios principales en busca de spectrum holes o huecos blancos, una vez cumplido este proceso los resultados obtenidos se traducen en ancho de banda disponible para revender a otros usuarios o usuarios secundarios.

Comparado con OMV tradicional quien a menudo realiza contratos fijos a largo plazo para el uso del espectro, la característica clave de un C-MVNO es la disponibilidad de adquirir espectro en tiempos cortos ósea que se adquirirá una determinada cantidad del espectro a través de los procesos de censado (sensing) y arrendamiento dinámico (dynamic leasing).[38]

Comparado con arrendar todo el espectro como lo hace un OMV tradicional, utilizar el censado del espectro favorece a los costos por dicho arrendamiento ya que se estaría pagando lo que se utiliza.

## **2.2 Estructura e integración para el funcionamiento de un operador móvil virtual.**

Para iniciar el análisis de la estructura a tener un OMV en medición eléctrica, se parte del marco regulatorio en las telecomunicaciones con el que se determina alcances y limitaciones de la empresa a plantearse, por lo que de la resolución del CONATEL para

OMVs se tiene dos tipos de OMVs el completo y el medio, y será en base a la definición de estos, que se adopte el método más conveniente para la integración de un OMV para medición eléctrica con un ORM; Por otro lado está el que la empresa de distribución eléctrica requiera este servicio y esté dispuesta a valerse de un OMV para conseguir dicho objetivo. Esto se justifica mediante la institucionalización de un Mapa de Ruta para el Programa Redes Inteligentes Ecuador denominado REDIE por parte del MEER, en el que 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 costo/beneficio 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. [39]

Otro punto importante antes de hablar de estructura, es ver el mercado al cual se va a atacar, dicho esto se establece que el OMV se dedicará exclusiva y únicamente a el manejo de la información adquirida de los medidores a través de la red de telefonía, de tal manera que se establecerá como el intermediario entre la operadora de telecomunicaciones y la empresa de distribución eléctrica. Analizando esta situación se puede establecer también la infraestructura necesaria para que el OMV empiece su operación.

Un OMV debe tener la capacidad de integrarse de manera exitosa con el OMR, de esta forma debe crearse una dependencia que satisfaga las necesidades de sus respectivos usuarios. La arquitectura de red con la que los operadores móviles convencionales trabajan se la puede dividir en función de las principales operaciones necesarias para brindar su servicio, a esto se lo llama cadena de valor, es importante mencionar que la cadena de valor debido, los niveles abarcados por el OMV de dicha cadena, tendrá mayor o menor integración con el OMR anfitrión.

Las operaciones o funciones de las que se hablaron anteriormente, dependen de la estrategia de entrada y posicionamiento de mercado que el OMV adopte, por tanto es importante mencionar cuales son estas funciones. Partiendo de que un OMR está compuesto por tres segmentos, dos áreas que representan el funcionamiento relacionado específicamente el área de las telecomunicaciones y una más que no está dentro de este sector, pero que es de suma importancia, se tiene[40] :

**Segmento 1.-** Se constituye por toda la infraestructura para el acceso de radio. Es exclusiva del OMR ya que esta será arrendada por el OMV.

**Segmento 2.-** El servicio que los abonados reciben es brindado por elementos o entidades de red estos elementos se dividen a su vez en dos partes. La primera corresponde a funciones necesarias para poner en marcha el contenido y las aplicaciones. En segundo lugar se tiene las operaciones de gestión de la tarjeta de identificación de suscriptor (SIM). Este segmento se encarga de las operaciones de conmutación de circuitos o de paquetes para el transporte de datos, servicios como SMS o correo de voz, además del registro de abonados, control de itinerancia de los mismos, protección de datos entre otros.

**Segmento 3.-** Aquí se dan todas las funciones que engloban a mercadeo y ventas, es decir que este segmento se encuentra en definitiva en contacto directo con el cliente. Los servicios que se puedan ofrecer al cliente dependen del servicio que brinde el segmento 2. Para tener una mejor idea de lo anteriormente comentado se presenta la siguiente figura donde se muestra las funciones de los operadores y la cadena de valores en cada segmento.



**Figura 2.3** Operaciones generales de un OMR.

De la figura anterior, si observamos los dos últimos segmentos es aquí donde el operador móvil virtual aparece como nuevo actor de mercado, es decir se puede enfocar a un mercado específico donde el detecte que puede satisfacer una necesidad, en el caso de este documento el enfoque que el OMV debería coger es del solo brindar servicios a las empresas distribuidoras para medición inteligente de energía eléctrica.

La cadena de valor también permite establecer un modelo de negocios que esté de acuerdo con las necesidades del operador móvil virtual, de tal forma que se pude llegar a establecer

el nivel de relación con el que van a trabajar. Por lo que un OMV puede ser desde un revendedor completo de servicios a ser un OMV completo que difiere de un OMR tan solo por no poseer en su estructura una red propia de acceso.

Por otro lado es importante resaltar que si un OMR decide dar arrendamiento de parte de su red, independientemente del nivel de integración este debe tener reservado capacidad para brindar servicios a su nuevo usuario que sería el OMV, cumpliendo claro esta los estándares de calidad del servicio especificados por el ente regulador.

### **2.3 Requerimientos tecnológicos de un operador móvil virtual sobre AMI.**

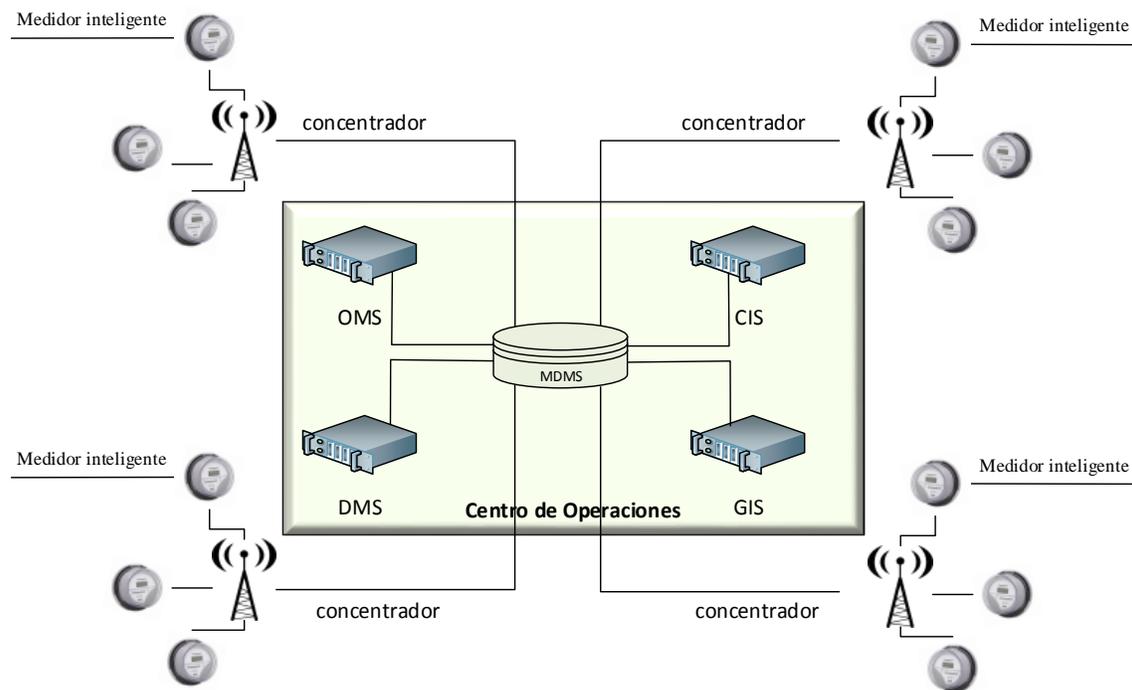
Es claro que un OMV necesita que el operador anfitrión cumpla con algunas características para poder manejar algún tipo de negocio si se quiere realizar un sistema AMI a través de este. Se puede hablar entonces de que como primer punto de análisis se encuentra las tecnologías usadas en las comunicaciones de los medidores, pues si el OMR no soporta este tipo de comunicaciones, las mismas no se pueden dar. Otro punto de vista a ser tomado en cuenta es la estructura que se usara según como se encuentren distribuidos los medidores en el campo y según esta estructura se tomara la decisión de saber que tecnologías son las más adecuadas para el fin antes mencionado.

#### **2.3.1 Arquitecturas de red para medición inteligente**

Como se ha venido mencionando a lo largo de este documento, un sistema AMI es un sistema que mide, colecta y analiza datos acerca del uso y la calidad de la energía obtenidos mediante medidores inteligentes, y se comunica con dispositivos de medición a solicitud o en el plazo previsto, además los sistemas AMI proveen conexiones inteligentes entre usuarios y operadores del sistema, basadas en la información intercambiada entre los dos lados.

Debido al rol principal que representa el intercambio de información en una Smart Grid, la gestión de los datos es una de las labores más importantes consideradas por la misma. De esta forma en AMI existe un componente llamado data management system (MDMS) o sistema de gestión de datos. Un MDMS es una base de datos que permite almacenar grandes cantidades de datos y gestionar los mismos para luego darles uso en posteriores eventos. También cuenta con poderosas herramientas analíticas que hacen posible la interacción con la operación y los sistemas de gestión incluyendo outage management

system (OMS) o sistema de gestión de cortes; geographic information system (GIS) o sistema geográfico de información; consumer information system (CIS) o sistema de información al consumidor, que gestiona la facturación de servicios públicos y la información del cliente y distribution management system (DMS) o sistema de gestión de la distribución, que proporciona la gestión de calidad de la energía y la previsión de carga basado en los datos obtenidos del medidor. Como se mencionó anteriormente la figura 2.4 muestra una arquitectura AMI tradicional.



**Figura 2.4** arquitectura convencional de AMI. (Centralizada)

Como se aprecia en la figura anterior el MDMS está rodeado por los principales servicios de operación y gestión.

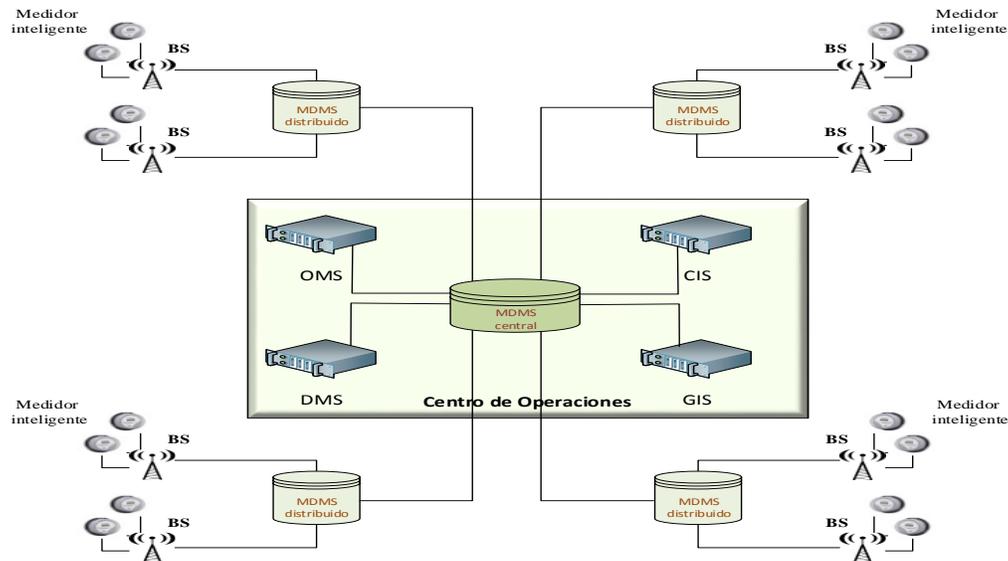
Como se mencionó anteriormente esta es la arquitectura convencional, esto no quiere decir que sea necesariamente la más óptima para solucionar un problema dado específico en un lugar, de allí que nace la clasificación de arquitecturas de comunicación para sistemas AMI en redes inteligentes[41]. Estas son la arquitectura de comunicación con MDMS distribuidos; arquitectura de comunicación totalmente distribuida y arquitectura de comunicaciones Centralizada.

### **2.3.1.1 Arquitectura de comunicaciones Centralizada**

En la arquitectura centralizada como se aprecia en la figura 2.4 el MDMS está localizado en el centro de operaciones, esto facilita la gestión de los datos en los equipos, y por lo tanto todos los servicios de operación y de gestión pueden obtener los datos de un único servidor de la forma más rápida. Pero también existen desventajas, por ejemplo que este sistema no es escalable es decir no puede crecer según la demanda o si lo hace implica más inconvenientes, como que no sea escalable en términos de las comunicaciones de los datos, es posible que se den cuellos de botella en zonas cercanas a el centro de operaciones, un retraso en las comunicaciones e incluso se puede dar la pérdida de datos cuando hay demasiada congestión.[41]

### **2.3.1.2 Arquitectura de comunicaciones con MDMSs distribuidos.**

Como se puede observar en la figura 2.5 múltiples MDMSs están desplegados cerca de los medidores inteligentes dentro de una zona específica y estos estarán encargados de almacenar y procesar los datos obtenidos por los medidores inteligentes, la distancia de la comunicación para la recolección de información se reduce en gran medida en comparación con la arquitectura centralizada y los recursos necesarios correspondientes son significativamente reducidos. Por otra parte, aunque la distancia de comunicación para el uso de la información aumenta, la información en bruto ha sido procesada y consolidada en el MDMS distribuido. Así, el ancho de banda necesario para transmitir información de un MDMS distribuido hacia el central es reducido comparado con el modelo centralizado. Esto conduce a un ahorro significativo, posiblemente, del total de recursos de comunicación.



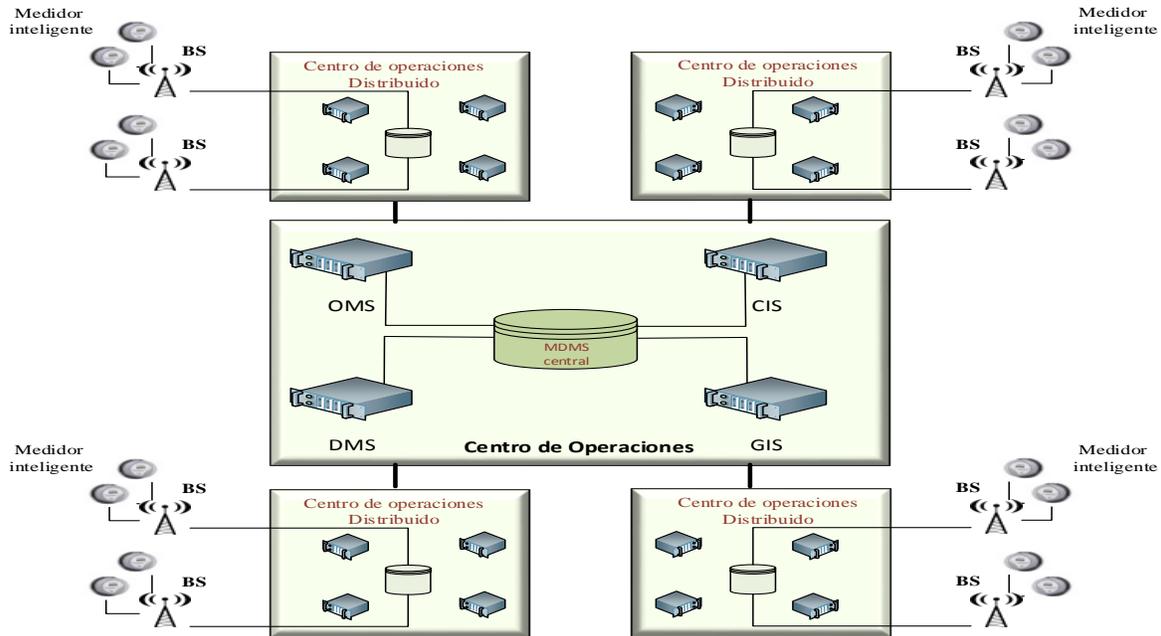
**Figura 2.5** Arquitectura de comunicaciones con MDMSs distribuidos.

### 2.3.1.3 Arquitectura de comunicaciones totalmente distribuida.

El costo de la arquitectura de comunicaciones mostrada en la figura 2.5 puede ser fuertemente reducida si la operación original y el servidor de gestión también son descentralizados. Como se muestra en la figura 2.6, una implementación práctica de esta arquitectura de comunicación totalmente distribuida es colocar un servidor de operación y gestión con cada MDMS.

El ancho de banda de comunicación necesario usado en este caso es principalmente para el intercambio de información entre cada servidor distribuido y el servidor central, que se puede ver como una constante, ya que no se verá afectado por el número de medidores inteligentes o la frecuencia de muestreo de los mismos. Por ejemplo, si hay un servidor de gestión de interrupciones en cada uno de los MDMS distribuidos, las situaciones más anormales pueden ser manejadas localmente. Es decir que la única información que necesita ser enviada al servidor centralizado OMS es la información sumaria sobre la calidad de energía del cliente en la zona administrada por este MDMS.

Esta información de resumen no cambia con el número de usuarios o la frecuencia de muestreo.



**Figura 2.6** Arquitectura de comunicaciones totalmente distribuida.

### 2.3.2 Estaciones Base.

Con anterioridad se vio las clásicas arquitecturas usadas para la transmisión de datos en una red AMI, de lo cual se observa que el elemento principal considerado a ser usado en este trabajo dentro del marco anteriormente descrito son las estaciones base, ya que estas proporcionarían el enlace de comunicaciones para transmitir datos a través de telefonía celular para llevarlos a los respectivos MDMSs. Por lo cual es necesario conocer los elementos que una estación base (BS) debe contener para poder cumplir con este objetivo.

Las estaciones bases son los elementos de una red celular encargados de gestionar las comunicaciones móviles realizadas dentro de su zona de cobertura, además de enlazarlas con el resto del sistema, donde se enlazarán con otras redes móviles o fijas. Los elementos más visibles de una estación base son las antenas estas pueden ser para diferentes frecuencias y tecnologías, aquí se emite energía electromagnética necesaria para establecer la comunicación con los usuarios de teléfonos móviles. Otros elementos que forman parte de una estación base son los equipos electrónicos transmisores/receptores, y una serie de elementos auxiliares de conexión al sistema radiante para su correcto funcionamiento. Cabe

mencionar que también forman parte de las estaciones base lo que implica a infraestructura como las torres metálicas, soportes, pararrayos, tomas de tierra etc.

## **2.4 Regulación y modelo de negocio propuestos para OMV.**

### **2.4.1 Normativa de los Sistemas Móviles Avanzados en Ecuador.**

Analizar la normativa que existe en el Ecuador para sistemas móviles avanzados es de vital importancia en este trabajo debido a que es fundamental saber bajo qué aspectos legales un OMV podría operar.

Ahora bien los documentos considerados para el análisis parten de la misma constitución del país, aprobada en el 2008, y derivándonos hacia aquellas reglas más específicas como la ley Especial de Telecomunicaciones Reformada y su reglamento General, hasta llegar a los que se relacionan más directamente con los mercados para los sistemas móviles avanzados

A partir de lo dicho anteriormente se tiene:

Constitución del Ecuador.

Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada (LETR)

Reglamento General a la ley Especial de Telecomunicaciones Reformada (RGLETR)

Reglamento para Otorgar Concesiones de los Servicios de Telecomunicaciones.

Reglamento para la Prestación del Servicio Móvil Avanzado (SMA)

Reglamento de Interconexión.

Planes Técnicos Fundamentales (PTF).

La constitución de la República del Ecuador aprobada en el 2008 establece condiciones en lo que respecta a Telecomunicaciones específicamente con respecto a competencias exclusivas del Estado central; una de las cuales en el literal 10 están el Espectro Radioeléctrico y el régimen general de comunicaciones.

El capítulo quinto, Titulado “sectores estratégicos, servicios y empresas públicas”, es de gran importancia, debido a que en algunos de sus artículos se aborda el tema de las telecomunicaciones y del análisis de los mismos se puede inferir que de alguna manera se presenta contrapuesto a la libre competencia, lo cual le resta importancia al artículo treinta y ocho de la LETR, que hace alusión a dicho tema. Esto influiría directamente en la forma

en que manejen los mercados de telecomunicaciones del país, siendo uno de ellos el mercado de los Sistemas Móviles Avanzados, a donde es que se enfoca un Operador Móvil Virtual. El artículo trescientos trece de el mismo capítulo establece que *“El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos...”*, [42] en los sectores que se enuncian esta inmersos los sistemas de telecomunicaciones y el espectro radioeléctrico. Según el artículo antes mencionado el estado tiene inferencia directa sobre cómo se lleve a cabo con las telecomunicaciones a nivel Nacional es decir tomando parte en toma de decisiones en cuanto a precios, tarifas, vera que los servicios públicos sean equitativos y será en si quien establecerá su control y regulación esto lo confirmamos en el artículo trescientos catorce en donde se señala que *“El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de [...], telecomunicaciones, [...], y los demás que determine la ley”*. A demás que *“El Estado garantizará que los servicios públicos y su provisión respondan a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad. El Estado dispondrá que los precios y tarifas de los servicios públicos sean equitativos, y establecerá su control y regulación”*. [42]

En el año 2002 la CONATEL dispuso mediante resolución la garantía de que los sistemas de telecomunicación avanzada no fuesen monopolizados indicando que se brindarán en régimen de libre competencia, evitando los monopolios, prácticas restrictivas o de abuso de posición dominante, y la competencia desleal, garantizando la seguridad nacional y promoviendo la eficiencia, universalidad, accesibilidad, continuidad y la calidad del servicio. [43]

A través de esta resolución se enumeran doce capítulos en cada uno de ellos se define como deben operar los sistemas móviles Avanzados sus obligaciones y los rangos de frecuencia en los que deben trabajar así como también derechos y obligaciones del operador y el usuario. [43]

A continuación se enumeran los temas que regula esta resolución:

Título habilitante para prestar el SMA.

Asignación y uso del espectro radioeléctrico.  
Redes de telecomunicaciones para el SMA.  
Estaciones móviles terrestres del SMA.  
Obligaciones y los derechos de los prestadores del SMA.  
Derechos y obligaciones de los usuarios.  
Parámetros y metas de calidad del servicio.  
Régimen de tasas y tarifas.  
Régimen de interconexión.  
Las infracciones y sanciones.  
Cumplimiento de los planes técnicos fundamentales.

#### **2.4.2 Normativa para OMVs en Ecuador.**

La normativa para OMVs, en Ecuador es nueva se hizo oficial a través de la resolución TEL-627-20-CONATEL-2014 la cual resuelve el “REGLAMENTO PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO BAJO LA MODALIDAD DE OPERADORES MÓVILES VIRTUALES PARA FOMENTAR LA SANA Y LEAL COMPETENCIA.” Misma que define a un OMV como: “Es el operador habilitado por la SENATEL, que para la prestación del SMA no utiliza su propio espectro radioeléctrico (frecuencias esenciales) y lo hace a través del acceso a la red de un Operador Móvil Establecido Anfitrión, OMEA, bajo las condiciones determinadas en el presente reglamento, con la posibilidad de poder usar otras frecuencias (frecuencias no esenciales) para la conectividad entre su propia red. Sin perjuicio de la existencia de otras modalidades...”, [44] también se definen los modelos de negocio mediante los cuales los OMVs operaran en el país estos son OMV Completo, y OMV Intermedio.

El CONATEL define a un OMV completo como: “Es el operador que utiliza su propia infraestructura de red y requiere solamente la utilización de la red de acceso del OMEA (operador móvil que alberga al OMV) ya que no cuenta con su propio espectro radioeléctrico (frecuencias esenciales), por lo que puede desarrollar su propia marca y tener total independencia respecto a la fijación de sus precios finales, la oferta de servicios de valor agregado, entre otras estrategias de competencia.” [44] Así mismo la definición para un OMV Intermedio dice: “Es el operador que cuenta con cierta infraestructura de red y

que implementa su infraestructura de servicios que contempla los sistemas de facturación y plataformas de atención al cliente.”

Así de esta manera la figura de un OMV orientado a medición inteligente se hace factible al menos en forma normativa y considerando los tipos de OMVs planteados se ajustan fácilmente a ser utilizado en sistemas AMI. Para tener acceso a dichas figuras el OMV solicitara acceso a la red del OMR planteando algún tipo de acuerdo comercial y si no se llega a un acuerdo la Secretaria Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL) determinara las condiciones técnicas, legales y económicas que regirán el acceso a la red del operador móvil tradicional.

### **2.4.3 Modelos de Negocios de los OMV.**

Para hablar de los modelos de negocio de los OMVs, se tiene en cuenta, primordialmente la cadena de valor propia de los operadores de red involucrados en el área de las telecomunicaciones. Como ya se vio en el literal 2.2 la cadena de valor indica diversos tipos de OMVs en función del nivel de integración lograda entre las dos partes.

Los servicios que brindara la empresa a sus abonados serán los que determinen que tipo de OMV será constituido, por lo que esto sugiere a identificar estrategias para explotar el nicho de mercado al que se apunta. En la figura 2.2 se muestran los modelos de negocio según el nivel de relación en la cadena de valor manejada por los ORMs.

Como ya se vio en el literal 2.1 los modelos de negocio están ligados al grado de dependencia en la cadena de valores por lo que se tienen:

OMV Reducido o distribuidor de marca.

OMV Proveedor de servicios.

OMV Proveedor de servicios avanzados.

OMV Proveedor de Servicios de red.

OMV Completo.

La selección de un modelo de negocio para un OMV si bien está orientada a las telecomunicaciones, y brindar servicios de telefonía móvil, se basa en las condiciones de mercado que presente el país o región en donde se desea incursionar. En este trabajo se

intenta seleccionar un modelo de negocio que permita brindar otro servicio que no es parte de las telecomunicaciones pero sin embargo no podría llevarse a cabo sin ellas. Debido a esto para aplicar medición inteligente de energía eléctrica es adecuado decir que se obtaría por seleccionar un modelo completo es decir manejar toda la cadena de valores exceptuando la infraestructura de red lógicamente, debido a que se busca brindar un servicio propio de los sistemas eléctricos.

## **2.5 Esquema operativo de operador móvil virtual para brindar servicios de medición inteligente de energía eléctrica**

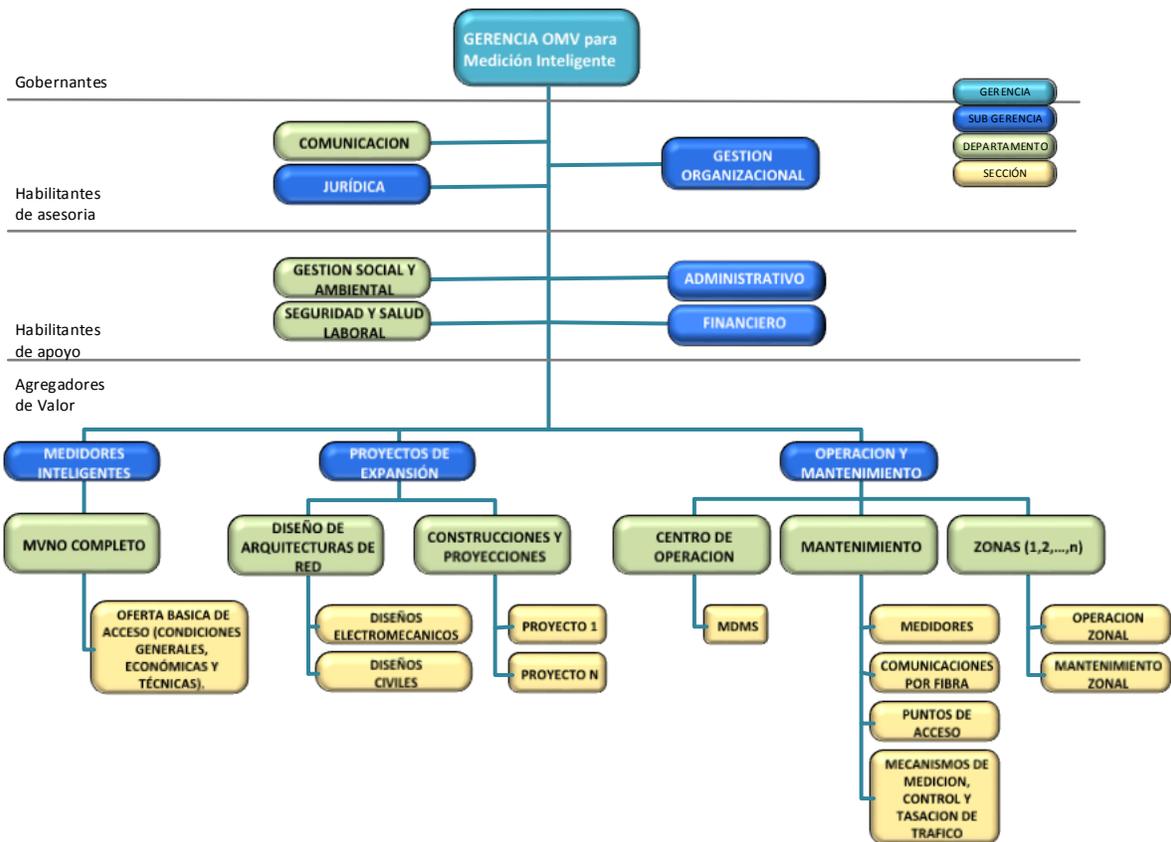
En el marco de crear una unidad de negocio mediante la implementación de un OMV para medición inteligente, surge la necesidad de esquematizar un modelo de operación que permita a un ORM brindar ciertos servicios característicos de la telefonía celular orientados a crear un OMV para sistemas AMI.

Partiendo de los modelos de negocio propuestos por el reglamento para OMV's en Ecuador, se plantea el uso de un OMV Completo, esto debido a que la unidad de negocio que maneja un OMV para medición inteligente requerirá ser autónomo, y con esto se refiere a que constara con todos los servicios que se puedan ser requeridos de la cadena de valor de las telecomunicaciones para ser usados en sistemas AMI.

Ahora bien, de lo enunciado anteriormente se puede decir que la unidad de negocio que maneja este concepto contendrá cuatro niveles jerárquicos para el adecuado manejo de la empresa, en el primer nivel se encontrara la Gerencia de la Unidad de Negocio quien se encargara de gestionar que todos los demás niveles cumplan sus respectivos objetivos de acuerdo a un plan que se plantee; En el segundo nivel se encontraran las sub gerencias Jurídica y de gestión organizacional, donde la primera se encargara de manejar el ámbito legal de la unidad de negocio y así consolidarse como una empresa seria, la segunda se encargara de velar por el desarrollo organizacional de la empresa y de esta forma poder llegar a ser una empresa eficiente. También se halla en este nivel el departamento de comunicación, quien se encargara de manejar los procesos de producción, circulación, recepción y usos de mensajes y procesos comunicativos en la empresa. A este departamento y gerencias se las conocerá como habilitantes de asesoría, ya que estarán vinculadas directamente con la gerencia.

En el tercer nivel se encontraran los habilitantes de apoyo debido a que estarán más vinculados con las áreas operativas del esquema. De aquí que encontramos las subgerencias Administrativa y Financiera, y los departamentos de gestión social y Ambiental; Seguridad y Salud Laboral.

Finalmente en cuarto lugar del esquema se encontraran los agregadores de valor, que son nada más que las áreas de desempeño que cumplirá la unidad de negocio, aquí encontraremos a la subgerencia de Medición inteligente quien se encargara de las relaciones de carácter económicas generales y técnicas que existirán entre el operador móvil anfitrión y la unidad de negocio. Se tiene también la subgerencia de proyectos de expansión, la cual realizara proyectos de expansión para cubrir la mayor cantidad de área con el servicio de medición inteligente, esto se realizara mediante dos departamentos el primero de diseño y el segundo de construcción. Finalmente se tiene la subgerencia de Operación y mantenimiento, quien como su nombre lo indica se encargara de las labores que el sistema requiera para su correcto funcionamiento y desempeño, así como de programar un mantenimiento de acuerdo a las exigencias normalizadas internacionalmente para el mejor desempeño de los elementos tecnológicos usados en medición inteligente. Cabe resaltar que el centro de operaciones es el núcleo del sistema AMI, donde se encaminaran los datos obtenidos a todas las aplicaciones que se vayan a dar a los mismos, la arquitectura de la red que se vaya a desplegar para gestionar la información recolectada dependerá de las políticas a ser consideradas para la obtención de la información, es decir se tomara en cuenta el despliegue actual de las estaciones base del operador anfitrión, dado que solo realizando un análisis de cobertura existente se podrá escoger que tipo de arquitectura de comunicaciones es la adecuada a desplegar para llevar la información hacia el centro de control, esta sin embargo se entiende que será mucho más económica que el desplegar todo un sistema de comunicaciones para cumplir dicho fin, en la figura 2.7 se advierte el esquema planteado anteriormente.



**Figura 2.7** Esquema operativo de unidad de negocio para medición inteligente.

## CAPÍTULO III

### **PLANIFICACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE OPERADORES MÓVILES VIRTUALES PARA SERVICIO DE MEDICIÓN INTELIGENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

En este capítulo se estudia la posibilidad de implementar el uso de un OMV dedicado a sistemas AMI, valiéndose de un análisis que garantice la coexistencia de los medidores inteligentes en una red celular con los usuarios típicos de la misma, sin que esta presente fallos, tanto para los medidores como para los usuarios principales de la red. Además se analizan los costos de infraestructura que implica el uso de un OMV para dicho fin.

#### **3.1 Requerimientos de la red celular según características de la información proveniente de AMI.**

Es lógico pensar que un medidor de energía requiere ciertas características para realizar de manera exitosa el envío o recepción de datos mediante algún sistema de comunicaciones, dichas características se aprecian en la tabla 1, por lo que la red celular que alojara a las comunicaciones de los medidores tendrá que cumplir con estas características mínimas para así garantizar un buen servicio. Aparte de cumplir con dichos requisitos mínimos el ORM también debe garantizar que la calidad del servicio no bajara para los usuarios primarios (usuarios celulares convencionales), sino que el sistema funcionara de manera exitosa alojando a los dos tipos de usuarios, ya que el número de medidores (usuarios secundarios) ira creciendo con el tiempo por lo que supone un gran impacto del uso del recurso radioeléctrico, dado que el uso del espectro por parte de los usuarios primarios es aleatorio y por tiempos variantes el espectro no aprovechado en determinadas zonas es amplio, por esta razón se estima que si es factible que un usuario secundario suba información a la red cada cierto tiempo ya que los requisitos vistos en la tabla 1 son mínimos comparados con los usados por los teléfonos móviles. El tiempo en el cual se enviara la información procedente de AMI está considerado cada 15 a 30 minutos[45] esto debido a que la variación del consumo es significativa durante este periodo de tiempo y que se ha demostrado que con esta frecuencia de envío son muy manejables los sistemas AMI de lo

contrario la red de comunicaciones podría presentar fallos, dado el alto número de medidores pensados a instalarse.

Requerimiento	Rango
Ancho de banda	10-100 Kbps/nodo, 500 Kbps por retorno.
latencia	2 – 15 seg
Confiabilidad	99 – 99.99%
Seguridad	Alta
Respaldo de energía	No es necesario

**Tabla 1.** Funcionalidades y Necesidades de las Comunicaciones. [46]

### 3.2 Factores determinantes en las tecnologías para implementar un OMV.

Al momento de hablar de un OMV surgen factores directamente asociados a las comunicaciones móviles, es decir, como el OMV depende de un OMR anfitrión, este está relacionado directamente a la capacidad de operación que ofrece el mismo y toda la infraestructura de comunicaciones desplegada por él, entonces, se podría decir que el principal factor determinante es el OMR anfitrión. Ahora bien si hablamos de tecnologías usadas por el OMR si se hace un análisis de la infraestructura que se necesitara para brindar el servicio a un OMV pues esencialmente estaríamos observando que las estaciones base son el eje fundamental ya que en ellas se instalara los dispositivos eléctricos y electrónicos que variaran dependiendo del nivel de integración que vayan a realizar el OMR con el OMV en cuestión, es decir, si se vincularan en sistemas 2G, 3G o 4G.

Según el marco regulatorio en el país sobresalen también factores a ser tomados en cuenta por una empresa que quiera brindar servicio móvil avanzado (SMA) mediante la figura de OMV, por ejemplo se menciona que el OMR tiene que crear una Oferta Básica de Acceso para la prestación de servicios de OMV, es decir las condiciones que ellos como arrendatarios del espectro radioeléctrico, ofrecen a las empresas interesadas. Los factores económicos son otro punto crucial a tomar en cuenta ya que este punto se negociara en primera instancia directamente entre las partes interesadas y si dado el caso no se llegara a un acuerdo el ente regulador será quien establezca el acuerdo según un estudio previo.

### **3.3 Modelización de la red celular para operar tráfico de AMI y Telefonía Móvil.**

El problema detectado a solucionar, es que hay incertidumbre al desconocer si un sistema celular puede operar con normalidad, si se dará el caso en el que una operadora convencional divide su recurso radioeléctrico para compartirlo entre dos tipos de usuarios, los que llamaremos usuarios primarios (usuarios convencionales de telefonía móvil) y los que se denominaran como usuarios secundarios (medidores inteligentes), dicho esto resulta crucial el simular el comportamiento que tendrán las comunicaciones incluyendo los requisitos que presenta un medidor inteligente.

Con el objeto de observar el comportamiento del problema antes citado, primero definimos que la modulación a ser evaluada es Ortogonal frequency división multiplexing (OFDM) la cual es usada en redes 4G, debido a que es una de las técnicas para la transmisión de señales a través de canales inalámbricos, además que es usada por los medidores inteligentes. OFDM ha sido adoptada en varios estándares propuestos por la IEE como el 802.11. OFDM convierte un canal selectivo de frecuencias en canales paralelos o sub canales de frecuencia plana. Las subportadoras tienen un mínimo de separación de frecuencia requerida para mantener la ortogonalidad de sus correspondientes formas de onda en el dominio de tiempo, sin embargo, el espectro de la señal correspondiente a las diferentes subportadoras se superponen en la frecuencia. Por lo tanto, el ancho de banda disponible es usado muy eficientemente. Si se dispone de los conocimientos del canal en el transmisor, el transmisor OFDM puede adaptar su estrategia de señalización para que coincida con el canal.

#### **3.3.1 Modelamiento del Canal**

Entender el comportamiento del medio inalámbrico es esencial para apreciar el razonamiento detrás de un diseño para protocolos de comunicación inalámbrica (wireless). En particular, los diseños del protocolo de capa física y el medio de acceso están influenciados en gran medida por el comportamiento del canal, que varía considerablemente en diferentes ubicaciones.

Un diseño efectivo, valoración, e instalación de una red de radio requiere una adecuada caracterización del canal. Las características del canal varían de un medioambiente a otro, y las características particulares determinan la factibilidad de usar la técnica de comunicación propuesta en un determinado entorno de operación. Tener una caracterización precisa del canal para cada banda de frecuencia y un modelo matemático detallado del canal, permite a un diseñador o usuario de un sistema inalámbrico predecir la cobertura de señal, tasa de datos alcanzable, y los atributos de rendimiento específicos de los esquemas alternativos de señalización y de recepción.

La red inalámbrica (wireless) considerada en este documento opera a una frecuencia de 2.4GHz de acuerdo con la norma IEEE 802.11 en la cual se basan las redes WLANs. Las frecuencias en la región de los pocos gigahertz tienen varias características atractivas para ser utilizadas en las redes de información inalámbricas. A estas frecuencias un transmisor con una potencia inferior a 1 W puede proporcionar distancias de cobertura del orden de unos pocos kilómetros, según sea necesario para las radio comunicaciones celulares urbanas. Además, a estas frecuencias el tamaño de una antena eficiente puede ser del orden de una pulgada, y la separación de la antena que es muy pequeña puede proporcionar señales recibidas no correlacionadas adecuadas para lograr la diversidad en la señal recibida.

Para lograr hacer un modelamiento adecuado del canal se basó en algunos parámetros de modelado ya que sin estos no se puede hablar de un modelamiento adecuado, entre los cuales tenemos el Fading and Multipath Channels. El primer término se usa en las comunicaciones inalámbricas, el fading es la desviación de la atenuación que afecta a una señal a través de ciertos medios de propagación. El fading puede variar con el tiempo, la posición geográfica o la frecuencia de radio, y con frecuencia se modela como un proceso aleatorio. Un fading channel o canal de desvanecimiento es un canal de comunicación que comprende el fading. En los sistemas inalámbricos, el fading o desvanecimiento puede ser debido a la propagación por trayectos múltiples (multipath), o debido a la sombra de los obstáculos que afectan a la propagación de la onda, a veces referido como sombra de desvanecimiento o shadow fading, para un mejor entendimiento del tema se sugiere leer [47].

La simulación del fading es muy importante para el diseño y evaluación del desempeño de los módems inalámbricos porque muchas veces no podemos encontrar soluciones de forma cerrada y así comparar el rendimiento de varias técnicas de modulación y codificación a través de canales inalámbricos. Para simular un canal de banda estrecha, se necesita generar un proceso aleatorio con una función específica de envelope fading o medio de desvanecimiento y un específico Espectro Doppler. Un simulador de banda ancha es un grupo de simuladores de banda estrecha con diferentes ganancias conectados entre sí a través de una línea de retardo con derivaciones. Después de generar una variable aleatoria con la función de distribución para envelope fading, pasando la variable aleatoria a través de un filtro con una forma espectral específica, se asemeja el espectro Doppler del canal. Por otro lado se puede generar una serie de osciladores con frecuencias diferentes y añadir las salidas para formar el espectro específico. El primer enfoque ha sido ampliamente utilizado en las simulaciones de una variedad de canales de desvanecimiento. El segundo enfoque se utiliza a menudo en las simulaciones de canal de radio móvil, basado en la suposición de Clarke de dispersión isotrópica [48]. En este documento es considerado el desvanecimiento “Rayleigh fading”, por lo que se considera que no hay ninguna línea de visión directa entre el transmisor y el receptor.

### **3.3.1.1 Filtrado de ruido gaussiano**

Un enfoque ampliamente usado para simulación de fading radio channels, es construir un desvanecimiento de la señal de en fase y en cuadratura con fuentes de ruido gaussiano. Debido a que el proceso de ruido gaussiano complejo tiene una probabilidad de densidad de Rayleigh, la salida de dicho simulador simulara con precisión el desvanecimiento de Rayleigh. En este enfoque, aplicando el filtrado adecuado a las fuentes de ruido Gaussiano proporciona el espectro Doppler del canal de interés. La figura 3.1 muestra un diagrama de bloques de la técnica básica para la simulación de desvanecimiento de Rayleigh como una señal de RF mediante un proceso de ruido Gaussiano filtrado, en cada línea de derivación. Si un canal de trayectorias múltiples se compone de un conjunto de componentes discretos resolubles que se originan como reflejos de estructuras más pequeñas, por ejemplo, casas, montañas pequeñas, etc. Se lo llama un canal de multitrayecto discreto. El modelo en su

forma más general tiene además variables de ganancia de taps, variables de retraso, y variables de número de taps.

La respuesta al impulso de paso bajo equivalente de un canal multitrayecto discreto está dado por.

$$\tilde{c}(\tau, t) = \sum_{k=1}^{K(t)} \tilde{a}_k(\tau_k(t), t) \delta(\tau - \tau_k(t)) \quad (1)$$

Para muchos canales se puede suponer como una aproximación razonable de que el número de componentes discretos es constante y los valores de retardo varían muy lentamente y también se puede asumir constantes. Estas suposiciones también se hacen para los canales de "referencia" que son para estudios de sistemas. El modelo entonces se simplifica a.

$$\tilde{c}(\tau, t) = \sum_{k=1}^K \tilde{a}_k(t) \delta(\tau - \tau_k) \quad (2)$$

Donde  $\tilde{a}_k(t)$  y  $\tau_k$  la atenuación compleja del tap y el retraso del tap respectivamente. En este documento se simulara solamente una atenuación del tap debido a que se simulara un entorno urbano.

El número de derivaciones (taps) requeridas por el modelo de banda limitada es generalmente pequeño. Se determinara el número de taps estimando el límite de banda para un PDP<sup>23</sup>, determinando la máxima potencia de retardo de propagación  $T_m$  en el que la magnitud de la dispersión del retardo es todavía relevante. En esas simulaciones, las señales de los componentes en los cuales la potencia del receptor cae bajo 20dbm del componente más fuerte no serán consideradas.

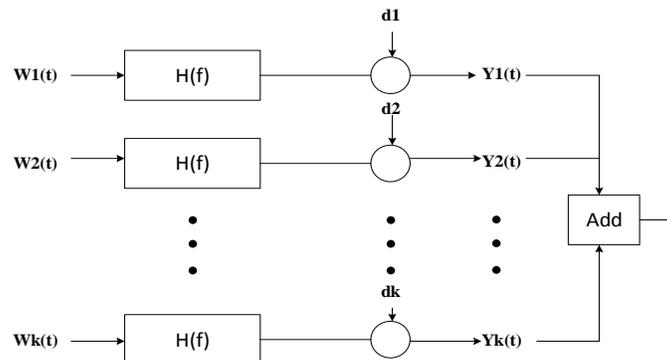
Como podemos observar en la figura 3.1 el proceso de ganancia de taps para el modelo de canal multitrayecto discreto es sencillo. Este empieza con un conjunto de  $K$  complejos

---

<sup>23</sup> Del inglés Power delay profile.

procesos independientes,  $(W_i(t), i = 1, 2, \dots, k)$  donde la magnitud es una variable compleja gaussiana con media de cero y varianza unitaria, y la fase uniformemente distribuida entre cero y  $2\pi$ . Este proceso es filtrado para obtener un apropiado espectro Doppler ( $H(f)$ ), luego se escalara para producir la amplitud deseada del canal discreto ( $d_i, i = 1, 2, \dots, k$ ). Finalmente todos los taps tienen que ser añadidos al modelo de canal multitrayecto.

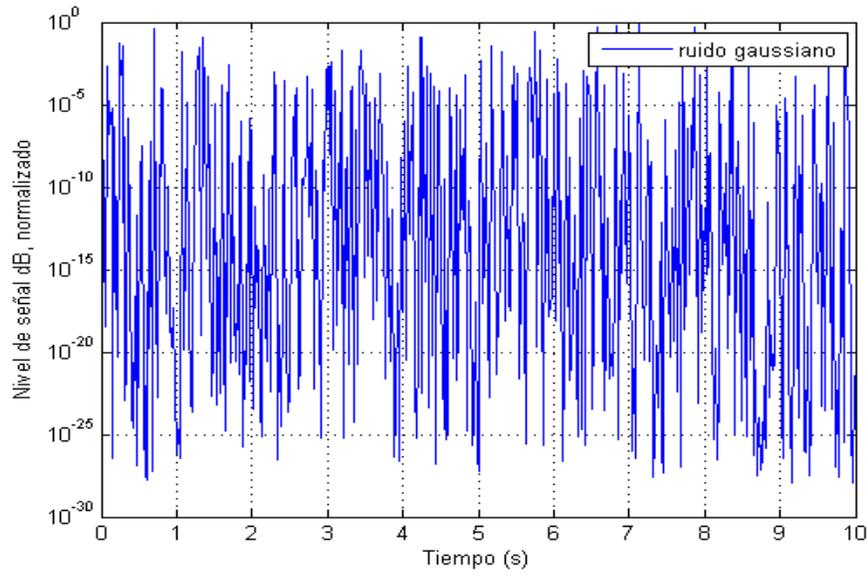
Esta técnica es recomendada por el comité de estandarización JTC para la simulación de canales con fading[49].



**Figura 3.1** diagrama de bloques Rayleigh fading.

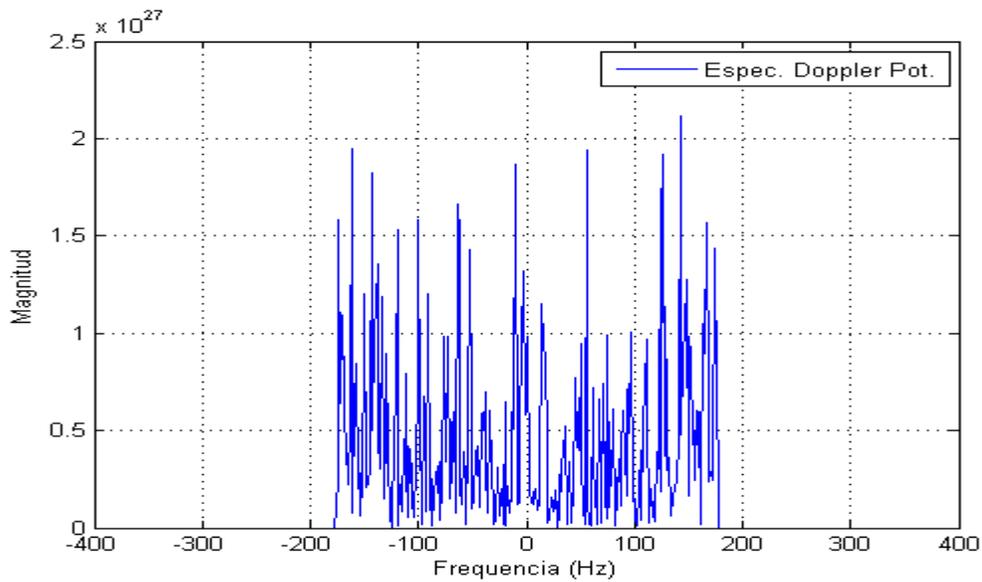
De acuerdo al modelo teórico explicado anteriormente para su simulación se realizó una función en matlab para de esta forma ver el comportamiento de fading radio channel. Para ver la programación revisar el apéndice A.

Como se vio en 2.3.1.1 anteriormente fading radio channel puede ser construida en fase y en cuadratura con fuentes de ruido gaussiano. En la figura 3.2 (a) se observa un Rayleigh fading envelope típico. Como se observa, la señal contiene atenuaciones y picos, cada atenuación corresponde con una interferencia destructiva entre los taps que llegan de diferentes paths o caminos por otro lado los picos se corresponden con las interferencias constructivas.



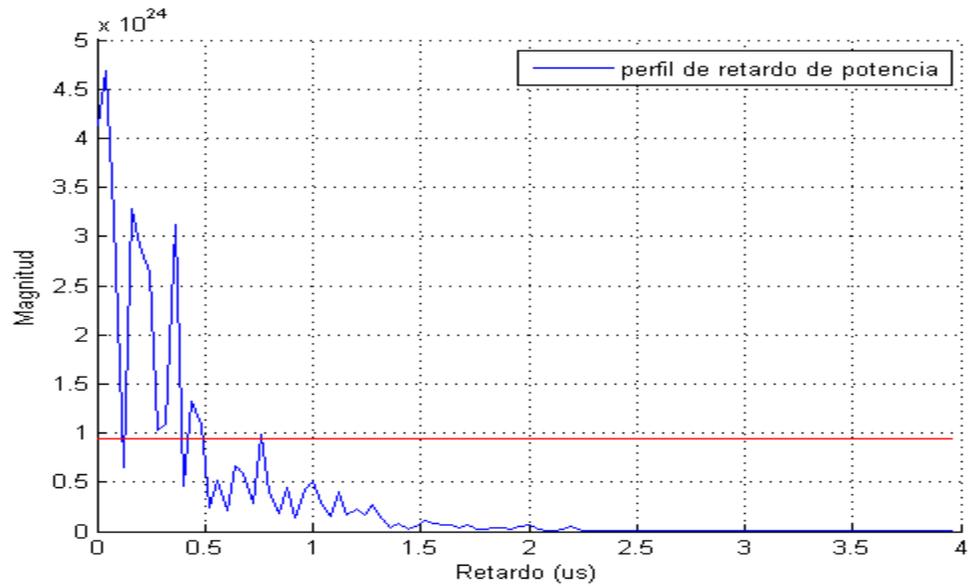
**Figura 3.2 (a)** Rayleigh fading envelope típico.

En la figura 3.2 (b) se observa el Espectro de potencia Doppler o Doppler power spectrum donde  $f_{d\max}$  se encuentra alrededor de los 180 Hz esto debido a que la velocidad de movimiento con la que se calculo fue de 80Km/h.



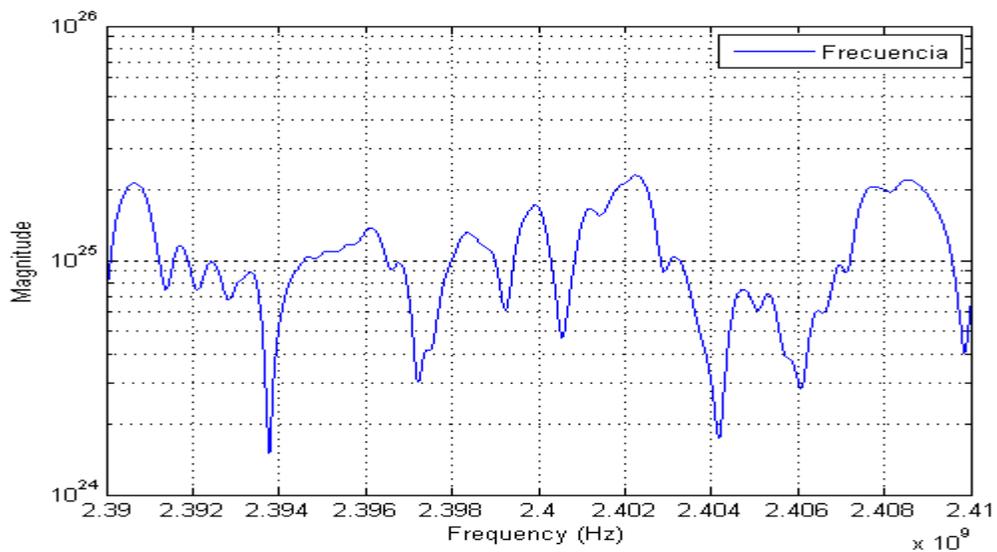
**Figura 3.2 (b)** Espectro de potencia Doppler o Doppler power spectrum.

En la figura 3.2 (c) se graficó un perfil de retardo de potencia estimado (PDP) de una determinada ventana de estimación, la cual simula un entorno urbano y donde  $T_m$  se encuentra entre los 0.5us[47].



**Figura 3.2 (c)** Perfil de retardo de potencia estimado o Power Delay Profile.

Finalmente la figura 3.2 (d) la respuesta al canal de frecuencia o frequency channel response es graficada con un ancho de banda de 10MHz, de acuerdo con la dispersión del retardo.



**Figura 3.2 (d)** Respuesta al canal de frecuencia o frequency channel response.

El resultado del modelo aplicado para simular fading radio channel, se usa después para generar una matriz de capacidades de transmisión mediante el teorema de Shannon para  $n$  usuarios y con esta poder aplicar un algoritmo de proportional fairness y así obtener datos que sean útiles a la hora de simular un entorno de comunicaciones móviles real en el cual se encontraran los medidores inteligentes.

### 3.3.2 Teorema de Shannon- Hartley.

En teoría de la información, el teorema de Shannon-Hartley es una aplicación del teorema de codificación para canales con ruido. Un caso muy frecuente es el de un canal de comunicación analógico continuo en el tiempo que presenta un ruido gaussiano.

El teorema de Shannon- Hartley establece que la capacidad de canal es, para un ancho de banda finito continuo en el tiempo y con un canal sujeto a ruido gaussiano.

Si tuviéramos una cosa tal como un ancho de banda infinito, un canal analógico sin ruido, se podría transmitir cantidades ilimitadas de datos libres de errores por unidad de tiempo. Sin embargo, en la práctica las señales tienen las dos limitaciones interferencia por ruido y un ancho de banda limitado.

Sorprendentemente, las limitaciones de ancho de banda por sí solas no imponen un límite a la máxima transferencia de información. Esto se da porque aún es posible que la señal asuma un número infinito de diferentes niveles de tensión en cada ciclo. Con cada nivel ligeramente diferente siendo asignado un significado diferente o secuencia de bit. Si combinamos las limitaciones de ruido y ancho de banda, sin embargo, se ha encontrado que hay un límite a la cantidad de información que se puede transferir, incluso cuando se utilizan técnicas de codificación multinivel inteligentes. Considerando todas las posibles técnicas de codificación multinivel y multifase, el teorema brinda una tasa máxima teórica de datos limpios  $C$  con una potencia media de la señal dada que puede ser enviada a través de un canal de comunicación analógico por lo que se tiene:

$$C = B \log_2(1 + SNR) \quad (3)$$

Donde  $C$  es la capacidad del canal en bits por segundo, netos de corrección de errores;  $B$  es el ancho de banda del canal en Hertz y  $SNR$  es la relación señal de ruido de la señal de comunicación a la interferencia de ruido gaussiano expresada como una relación de potencia recta (no en decibeles).

La tasa de información máxima que puede ser utilizada causando una probabilidad despreciable de errores en la salida se llama la capacidad del canal, en las simulaciones,  $C$  es tomada como la tasa de información del canal.

Para las simulaciones se creó una función en Matlab que obtenga la tasa de información del canal, esta se puede encontrar en el Apéndice B.

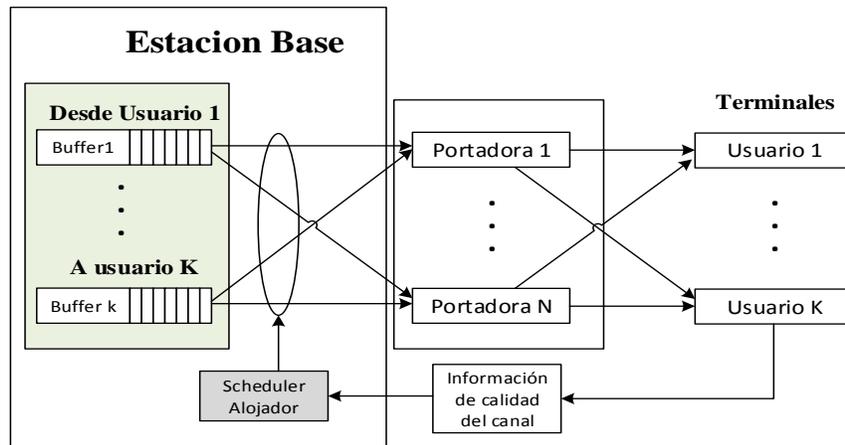
### **3.3.3 Algoritmo de Alojamiento (SCHEDULING)**

Es este apartado se verá un algoritmo de Scheduling, PFS proportional fairnes scheduling, con el cual se pretende sacar el mayor rendimiento posible a una red Wireless en donde se usan transmisión de datos pero a la vez preservando la equidad de los usuarios que en ella se encuentran.

El sistema bajo consideración como ya se había mencionado anteriormente es OFDM, sistema que cuenta con frequency-division multiple access (FDMA) y time-division multiple access (TDMA) que se encuentran presentes en redes 4G. Una información perfecta para el estado del canal es asumida tanto para las estaciones base como para los usuarios móviles y fijos. Es decir, que la ganancia del canal en cada subportadora debido a path loss, shadowing, y multipath fading se asume que es conocida.

Cada sub portadora puede ser usada únicamente por un usuario en cualquier momento dado. El alojamiento en las sub portadoras es realizado por las estaciones base BS y los usuarios son notificados en que sub-portadora ha sido escogida para ellos. Considere un sistema con  $K$  usuarios,  $n$  sub-portadoras y el tiempo dividido en time slots. En cada time slot, cada usuario alojado  $K$  transmitirá en una sub-portadora asignada para él. Algoritmos de asignación de igual potencia son tomados en consideración, los cuales simplemente distribuyen la potencia de transmisión igualmente entre todas las sub-portadoras, con esto el objetivo final es encontrar una asignación de sub-portadoras, la cual permita a cada

usuario satisfacer sus requerimientos, maximizando el rendimiento sin comprometer la equidad. El sistema descrito se muestra en la figura 3.3



**Figura 3.3** Sistema de transmisión multi-portador.

### 3.3.4.1 Conceptualización del problema a resolver con PF.

En este sistema, la realimentación de la calidad del canal del usuario  $k$  en el time slot  $t$  de la BS es en términos de una tasa de transferencia de datos solicitada  $R_{k,n}(t)$ , este es el tipo de datos que el usuario  $k$  puede soportar en la sub portadora  $n$ .

El algoritmo de scheduling funciona como sigue. Realiza un seguimiento del rendimiento medio  $T_{k,n}(t)$ , de cada usuario en cada sub portadora en una ventana más allá de la longitud  $t_c$  tiempo. En un time slot  $t$ , el algoritmo de Scheduling simplemente transmite en cada sub portadora para el usuario  $k^*$ , el más grande entre todos los usuarios activos en el sistema.

$$\frac{R_{k,n}(t)}{T_{k,n}(t)} \quad (4)$$

El rendimiento medio  $T_{k,n}(t)$  se puede actualizar utilizando un filtro de pasa bajos ponderado exponencialmente.

$$T_{k,n}(t) = \begin{cases} \left(1 - \frac{1}{t_c}\right)T_{k,n}(t) + \frac{1}{t_c}R_{k,n}(t) & k = k^*(t) \\ \left(1 - \frac{1}{t_c}\right)T_{k,n}(t) & k \neq k^*(t) \end{cases} \quad (5)$$

En este documento, el algoritmo de PFS utiliza sub portadoras tomado de forma independiente cada una. Entonces, se tiene que calcular que usuario tiene el valor más grande dado por la ecuación (1) en cada sub portadora y time slot, con el fin de asignar esta sub portadora a ese usuario. También, hay que actualizar el rendimiento promedio de los usuarios, dado por la ecuación (2) en cada sub-portadora y time slot. Por lo tanto, el PFS trata cada sub portadora de forma independiente una de otra y se tiene que actualizar el sistema cada time slot. Este algoritmo no tiene en cuenta los requerimientos de velocidad de los usuarios, y la asignación de la potencia convencional no se considera ya que tiene algunos puntos débiles que degradan el rendimiento del sistema cuando se emplea en un entorno heterogéneo en el canal de usuario. Un algoritmo de igualdad de asignación de potencia se toma en consideración, que simplemente distribuye la potencia de transmisión en partes iguales entre las sub-portadoras.

### 3.3.4.2 El parámetro $t_c$ o tiempo.

El parámetro  $t_c$  está ligado a la escala de tiempo de latencia de la aplicación. Los picos son definidos con respecto a esta escala de tiempo. Si la escala de tiempo es grande, entonces el rendimiento es promediado en una escala de tiempo más grande y el scheduler puede permitirse esperar más tiempo antes de programar un usuario cuando el canal realiza un pico muy alto.

El valor más grande del parámetro  $t_c$  es  $t_c = \infty$ , en esta situación los recursos de asignación de acuerdo con algoritmo de PFS se decide únicamente por SNR instantánea. Conduciendo a un máximo rendimiento del sistema y a características pobres de equidad. Por otra parte, el valor mínimo del parámetro  $t_c$  es  $t_c = 1$ , en esta situación el scheduling llega a ser equitativo. Por lo tanto,  $t_c$  significa el equilibrio entre la equidad y el rendimiento. En la tabla1, se muestra los parámetros de simulación del rendimiento de este algoritmo que es analizado y comparado a través de una simulación por computadora en MATLAB.

PARAMETROS	VALOR
Time slots	100
Sub-Portadoras	16
Tc/Tiempo	de 1 to 1000s
Usuarios	10 a 100
Velocidad del dispositivo (km/h)	0

**Tabla 2.** Parámetros de simulación.

Para la simulación se creó una función en matlab, revisar el apéndice C.

### 3.3.4 Equidad o Proporcionalidad (FAIRNESS)

Fairness o Equidad es una característica deseable de la red inalámbrica, ya que ofrece protección entre usuarios. Esto significa que el flujo de tráfico de un usuario que no opera adecuadamente no puede afectar el flujo de tráfico de otro usuario.

La Equidad de un sistema, los usuarios en un sistema, o un algoritmo de scheduling no son expresados usualmente en términos de un valor cuantitativo. Más bien, la equidad es usualmente expresada en términos más amplios. Generalmente, un sistema se considera que es equitativo (fair) o inequitativo (unfair) en base a si el sistema cumple con ciertos criterios. Tales criterios son por lo general en términos de rendimiento o de retardo. Por ejemplo, un algoritmo de planificación (scheduling) puede ser considerado como inequitativo si algún usuario recibe una capacidad de menos de  $X$  bits / seg. Otro ejemplo puede ser que un sistema sea considerado equitativo si la probabilidad de que cualquier usuario experimentando un retardo mayor que  $t$  sea menor que  $p$ ; si la probabilidad es mayor que  $p$  el sistema es inequitativo. La razón detrás de las definiciones propuestas es ver si un valor para “fairness” de un sistema o un algoritmo de scheduling puede ser definido de forma similar a como Shannon<sup>24</sup> define un valor para la “información” de una fuente. El valor para fairness debe tener sentido matemático como también sentido semántico. La definición de Shannon fue basada en probabilidades de eventos. En comparación, las medidas propuestas de fairness se basan en la proporción de recursos

---

<sup>24</sup> Hace referencia al teorema de Shannon-Hartley.

asignados. Para poder evaluar fairness, se propone dos tipos de usuarios, de igual y desigual ponderación.

### 3.4.1 Usuarios ponderados igualmente. (equally weighted users)

Los “recursos” en cuestión dependen de las circunstancias bajo las cuales la definición es aplicada. Ejemplos posibles incluyen número de bits o paquetes enviados a los usuarios, o la cantidad de ancho de banda, tiempo, o slots en los cuales cada usuario es asignado. La proporción para cada usuario sería entonces el número o la cantidad de paquetes, ancho de banda, slots, etc. Asignados a cada usuario, en relación con el total asignado a todos los usuarios en el sistema.

Para una variable o proceso aleatorio  $X$ , la auto-información “self-information” del evento  $X = x_i$  es:

$$I(x_i) = \log \frac{1}{P_{x_i}} = -\log(P_{x_i}) \quad (6)$$

Donde  $P_{x_i}$  es la probabilidad del evento  $X = x_i$ .

Una medida para fairness puede ser definida de manera similar, pero utilizando proporciones en lugar de probabilidades. En el caso donde todos los  $N$  usuarios de un sistema se consideran iguales, la definición para la auto-equidad “self-fairness” de un usuario dado es:

$$F_i = \frac{-\log p_i}{-\log \left(\frac{1}{N}\right)} = -\frac{\log p_i}{\log N} \quad (7)$$

Donde  $p_i$ , es la proporción del recurso asignado al usuario  $i$ , y el término  $\log N$  es un factor de normalización. La auto-inequidad “self-unfairness” de un usuario también puede ser definida simplemente como la inversa de la auto-equidad “self-fairness” teniendo entonces:

$$U_i = \frac{1}{F_i} = \frac{-\log N}{\log p_i} \quad (8)$$

**Promedio de equidad “fairness” y promedio de inequidad “unfairness”.**

Dada la auto-información “self-information” de los N posibles eventos del proceso X dada por  $-\log(P_{x_i})$ , el promedio de la auto-información “self-information” en el proceso X se puede encontrar a través de:

$$H(X) = \sum_{k=1}^N \frac{P(x_k)}{I(x_k)} = - \sum_{k=1}^N P(x_k) \log P(x_k) \quad (9)$$

Similarmente, la definición propuesta para el promedio de equidad “average fairness” de un sistema de N usuarios es:

$$\bar{F} = \sum_{k=1}^N P_k F_k = - \sum_{k=1}^N P_k \frac{\log P_k}{\log N} \quad (10)$$

Y el promedio de inequidad “average unfairness” es dado por:

$$\bar{U} = \sum_{k=1}^N P_k U_k = - \sum_{k=1}^N P_k \frac{\log N}{\log P_k} \quad (11)$$

**Consideraciones a ser tomadas en cuenta para Usuarios ponderados igualmente.**

Las definiciones anteriores conllevan a unas interesantes propiedades:

Cuando un usuario consume exactamente su parte correspondiente del recurso (es decir la proporción de  $1/N$ ), el valor de la auto equidad “self-fairness” y la auto inequidad “self-unfairness” para ese usuario es la unidad.

Como la cantidad de recursos que el usuario consume aumenta, se necesita una cantidad creciente de distancia de los otros usuarios en el sistema. Así, ese usuario se convierte en menos proporcional “less fair” o más inproporcional “more unfair”, y consecuentemente, el

valor de auto equidad “self-fairness” y auto inequidad “self-unfairness” para ese usuario decrementa y aumenta respectivamente.

Por el contrario, como un usuario consume menos recursos, con el objeto de brindar estos en favor de los otros usuarios en el sistema, ese usuario se vuelve más equitativo “much fair” o menos inequitativo “less unfair”, y correspondientemente, los valores de auto equidad “self-fairness” y auto inequidad “self-unfairness” para ese usuario incrementan y decremantan respectivamente.

En el límite, cuando un usuario consume todos los recursos disponibles, el resto de los usuarios en el sistema serán codiciosos a ser menos equitativos “less fair” o más inequitativos “more unfair”. Así, lógicamente, el valor para auto inequidad “self-unfairness” para ese usuario debería ser el valor posible más alto, infinito, que de hecho resulta ser el caso en la definición propuesta. La auto equidad “self-fairness” para el usuario en cuestión llega a ser cero, y es el valor más bajo que puede obtener.

Similarmente, en el límite cuando un usuario no consume recursos, ese usuario cede su recurso no utilizado para ser aprovechado por los otros usuarios del sistema. Así, no hay forma posible para que ese usuario sea muy equitativo “much fair” o menos inequitativo “less unfair”. Esto es reflejado en los valores resultantes de infinito y cero para self-fairness y self-unfairnes, respectivamente.

El valor para el promedio de equidad “average fairness” del sistema de N usuarios oscila entre 0 y 1, además, el valor máximo, la unidad es alcanzada solo cuando todos los usuarios en el sistema consumen exactamente su proporción asignada del recurso (es decir,  $p_1 = p_2 = \dots = p_N = 1/N$ ). El mínimo de cero ocurre en el límite cuando un usuario consume todo el recurso asignado mientras que los otros N-1 usuarios se quedan privados del mismo.

Similarmente, el promedio de inequidad “average unfairness” oscila entre 1 e infinito, con los valores extremos inferior y superior ocurriendo bajo las mismas condiciones que los valores máximos y mínimos, respectivamente, para el promedio de equidad “average

fairness”. Es decir, que se alcanzara el valor de la unidad solo si todos los usuarios consumen su proporción asignada del recurso, y resultara infinito si un solo usuario consume todo el recurso asignado.

La función en matlab que considera los parámetros antes mostrados se encuentra en el apéndice D.

### 3.4.2 Usuarios ponderados desigualmente (unequal weighted users)

Las definiciones anteriores se extienden ahora al caso más general cuando individualmente los usuarios pueden tener diferentes coeficientes (por ejemplo, para alcanzar diferentes niveles de QoS). En [50], los autores afirman que para un sistema de  $N$  usuarios con un conjunto de flujos atrasados  $B(t)$  durante el intervalo de tiempo  $[t_1, t_2]$  un sistema de colas es proporcional si:

$$\forall i, j \in B(t_1, t_2), \left| \frac{W_i(t_1, t_2)}{r_i} - \frac{W_j(t_1, t_2)}{r_j} \right| = 0 \quad (12)$$

Donde  $W_j$ , es la capacidad concedida a flujir  $j$  (es decir, los recursos asignados para que fluya  $j$ ), y  $r_j$  es la ponderación del usuario  $j$ . A partir de esto, se puede demostrar que la proporción de los recursos asignados al usuario  $j$  que se considera que es equitativa (en otras palabras, la proporción de los recursos que el usuario  $j$  debería recibir para que el sistema sea equitativo) está dada por:

$$P_{fair,j} = \frac{r_j}{r_T} \quad (13)$$

Donde  $r_T$  es la suma de las ponderaciones de todos los usuarios. De la proporción anterior, se puede deducir que la fórmula para la auto equidad ponderada “self-fairness weighed” de un usuario se convierte en:

$$F_j = \frac{\log P_j}{\log r_j / r_T} \quad (14)$$

El auto inequidad ponderada “weigthed self-unfairness” de un usuario es la inversa de la ecuación anterior:

$$U_j = \frac{\log r_j / r_T}{\log P_j} \quad (15)$$

**Promedio ponderado de Equidad e Inequidad (Weighted Average fairness and unfairness).**

Sería conveniente definir el promedio ponderado de equidad “Weighted Average fairness” como  $\sum_{k=1}^N p_k F_k$ , como en el caso de los usuarios ponderados iguales (equal weighted users). Sin embargo, es imposible hacer esta definición y aun así mantener las propiedades discutidas antes. En lugar de ello, el promedio ponderado de equidad “weighted Average fairness” de un sistema puede ser definido como:

$$\bar{F} = \frac{r_T \sum_{k=1}^N C_k p_k F_k}{\sum_{k=1}^N C_k r_k} \quad (16)$$

Los valores  $C_k$  son constantes de normalización.

$$C_k = \frac{1 + \frac{1}{\ln(r_1/r_T)}}{1 + \frac{1}{\ln(r_k/r_T)}} \quad (17)$$

Su propósito es asegurar que el valor máximo del promedio ponderado de equidad “weighted avregare fairness” se la unidad (como en el caso de los usuarios ponderados igualmente “equal weighted”), y que el máximo ocurra cuando un usuario consuma exactamente su proporción de los recursos.

### **Consideraciones a ser tomadas en cuenta para usuarios ponderados desigualmente.**

Las definiciones anteriormente sugieren algunas propiedades interesantes:

Las definiciones para ponderación muestran las mismas propiedades que en el caso de las propiedades para la ponderación igualitaria. La única diferencia es que el valor de 1 ocurre para, weighted self-fairness, self-unfairness, average fairness, y average unfairness cuando  $p_k = r_k/r_T$ ,  $k = 1, 2, \dots, N$ , en lugar de  $p_k = 1/N$  como antes.

Tenga en cuenta que hay una escala de tiempo implícito en las proporciones. Es decir, las proporciones de la asignación de recurso se miden durante un cierto periodo de tiempo. Dado que el periodo usado puede ser arbitrario, las medidas propuestas se pueden utilizar para examinar tanto la proporcionalidad a corto plazo y la proporcionalidad a largo plazo de los sistemas.

#### **3.3.5 El Rendimiento.**

Hay un interés considerable que mantiene la industria con respecto al rendimiento de la transmisión de datos a través de Wireless, aquí se discute acerca de uno de las propiedades más importantes en los sistemas de información, el rendimiento. El rendimiento es comúnmente considerado dentro de un marco de trabajo que optimiza el rendimiento del sistema y es medido según cuanta información puede ser transmitida y recibida por unidad de tiempo con una despreciable probabilidad de error.

##### **3.3.5.1 Capacidad del canal.**

En la entrada de un sistema de comunicación, fuentes de símbolos discretas se asignan en una secuencia de símbolos de canal. Los símbolos de canal son transmitidos a través de un canal Wireless que puede ser de naturaleza randomica. Adicionalmente, ruido randomico es añadido a los símbolos del canal.

En general, es posible que dos diferentes secuencias de entrada puedan dar lugar a la misma secuencia de salida, causando que diferentes secuencias de entrada sean confundibles en la salida. Para evitar esta situación, un subconjunto no confundible de secuencias de entrada deben ser escogidas, de manera que con una alta probabilidad, haya una única secuencia de

entrada causante de un resultado específico a la salida. Entonces es posible reconstruir todas las secuencias de entrada en la salida con una probabilidad insignificante de error.

Una medida de cuanta información puede ser transmitida y recibida con una insignificante probabilidad de error es llamada capacidad del canal (channel capacity). Pero por simplificación, para determinar esta medida potencial del canal, se asume que el canal puede soportar la mayoría de  $C$  bits por ranura de tiempo (time slots), donde  $C$  es la capacidad del canal de acuerdo con el teorema de Shannon-Hartley.

### 3.3.5.1.1 Capacidad de Corte.

Otra medida de la capacidad del canal que es frecuentemente usada es la capacidad de interrupción o capacidad de corte. Con la capacidad de interrupción, la capacidad del canal es asociada a una probabilidad de interrupción. La capacidad es tratada como una variable aleatoria la cual depende de la respuesta instantánea del canal y permanece constante durante la transmisión de un bloque con codificación de longitud finita de la información. Si la capacidad del canal cae por debajo de la capacidad de interrupción, no hay posibilidad de que el bloque de transmisión de información pueda ser decodificado sin errores, sin que se emplee un esquema de codificación. La probabilidad que la capacidad sea menor que la capacidad de interrupción denotada por  $C_{outage}$  es  $q$ . Esto puede ser expresado en términos matemáticos por:

$$P\{C \leq C_{outage}\} = q \quad (18)$$

En este caso, la ecuación 18 representa un límite superior debido a que hay una probabilidad finita  $q$  que la capacidad del canal sea menor que la capacidad de interrupción. Esto también puede ser escrito con un límite inferior, representando el caso en el que haya una probabilidad finita  $(1 - q)$  que la capacidad del canal sea mayor que  $C_{outage}$ , que se muestra a continuación:

$$P\{C > C_{outage}\} = (1 - q) \quad (19)$$

La función creada en matlab para el rendimiento del algoritmo PFS se encuentra en el apéndice E.

### **3.3.6 Algoritmo Proportional Fair Scheduling**

El algoritmo propuesto Proportional Fair Scheduling, se usa debido a que este algoritmo permite maximizar el rendimiento de un sistema y a la vez mantener la proporcionalidad entre los usuarios que usan el mismo.

Para implementar la idea de la diversidad multiusuario en un sistema real (medidores inteligentes y teléfonos celulares), inmediatamente aparecen dos factores con los cuales tenemos que trabajar, la proporcionalidad (fairness) y el retraso (delay). En una situación ideal cuando las estadísticas de desvanecimiento de los usuarios son las mismas, la estrategia anterior, no sólo maximiza la capacidad total del sistema, sino también el rendimiento de los usuarios individuales. Pero en la realidad, las estadísticas no son simétricas; hay usuarios que están más cerca de las estaciones base (BS) con un promedio mejor de SNR; Hay usuarios quienes están en movimiento y otros que están estacionarios; Hay algunos usuarios quienes están en un entorno con dispersión muy grande así como quienes no se encuentran con dicha dispersión. Por otra parte, la estrategia sólo se refiere a la maximización de rendimientos promedio a largo plazo; En la práctica, hay requerimientos de latencia, en cuyo caso el rendimiento promedio sobre la escala de tiempo de retardo es la medida del rendimiento de interés. Lo que llevo a desarrollar un algoritmo que cumpla con estos parámetros basándose principalmente en SNR producidos aleatoriamente para después según estos valores encontrar la capacidad mediante Shannon para cada usuario en cada subcanal y cada time slot.

## Pseudo código<sup>25</sup>

---

### **Algoritmo para máximo rendimiento sin comprometer la equidad del sistema**

- Paso 1:** encuentre *matriz\_shanon* (n-usuarios,n-timeslots, n-subportadoras)
- Paso2:** para todo  $usuario_i, timeslot_t, subportadora_c \in matriz\_shanon$   
**Haga:** scheduling según capacidad de  $usuario_i$   
 $usuario_i = \max\_val \in matriz\_shanon$   
Capacidad =  $\max\_val\_usuario \in matriz\_shanon$
- Paso3:** problema primario: **encuentre** fairness (Usuarios,T,C)  
**Para todo:** usuario alojado  $\in usuario_i$
- Paso4:** problema secundario: **encuentre** throughput (Usuarios,T,C)  
**Para todo:** usuario alojado  $\in usuario_i$  Encontrar rendimiento equivalente
- Paso5:** terminar
- 

### **3.4 Minimización de costos de infraestructura por implementación de un OMV.**

Al hablar de costos de infraestructura para OMVs, se habla de costos por reutilizar tecnologías empleadas en telefonía celular convencional, que además deberán presentar características de flexibilidad en su crecimiento, cobertura y bajo costo. Y de esta manera obtener una infraestructura que permita la correcta planeación y escalabilidad de la misma. La infraestructura antes mencionada, también requiere que el intercambio de información que llevara a cabo mediante algún medio de comunicación sea el adecuado y sustentable a lo largo del tiempo.

Como se vio en el apartado 2.3.1 se estudia la posibilidad de ocupar 3 tipos de arquitecturas para el transporte de información recolectada por las estaciones base, la arquitectura de comunicación con MDMS distribuidos; arquitectura de comunicación totalmente distribuida y finalmente la arquitectura de comunicaciones Centralizada. De las cuales se descarta la centralizada ya que esta no permite mayor flexibilidad en cuanto al crecimiento y expansión de los usuarios.

En países alrededor del mundo se han desarrollado soluciones con respecto a infraestructura para sistemas AMI totalmente nuevas, sin introducir el concepto de reutilización de

---

<sup>25</sup> La programación del algoritmo antes enunciado se la encuentra en el apéndice F.

infraestructura a través OMVs, por lo que se estima que el costo de utilizar una infraestructura dedicada a sistemas AMI nueva es mucho más grande que reusar una infraestructura existente en redes móviles, mediante la cual coexistirán los dos servicios sacándole al máximo provecho. Esta solución busca ser de bajo impacto económico a través de la minimización de costos por eliminar gastos relacionados al mantenimiento y operación de la red de comunicaciones, al contrario de lo que una infraestructura única dedicada a AMI significaría. Así, el camino a seguir son sistemas híbridos que coexistan, agrupando diferentes tipos de tecnologías para cumplir un fin determinado.

Algunos autores se han propuesto resolver este problema de costos para encontrar la implementación más óptima de un sistema con MDMS distribuidos, utilizando el algoritmo de greedy, ya que este permite encontrar el mínimo costo asociado a implementación de la mejor infraestructura para el sistema. En [51] por ejemplo se tiene una solución en la que se busca minimizar los costos de infraestructura para sistemas comunes AMI con MDMS distribuidos que a continuación se describe:

El producto entre la distancia y el ancho de banda acumulado o Accumulate bandwidth distance product (ABDP) de una fuente o concentrador en una arquitectura con MDMS distribuidos consiste en dos partes: 1) la recolección de la información ABDP, la cual representa el costo de comunicación entre un concentrador a su respectivo MDMS distribuido, y 2) el uso de la información ABDP, la cual representa el costo de comunicación desde el MDMS al centro de Operaciones. Como los costos de transmisión de datos a través de una red celular no entran en análisis son despreciables, ya que solo se analiza el costo que representa crear los MDMS a la empresa de distribución. Se asume que el costo de despliegue del equipo de comunicaciones (fibra óptica routers etc.) es proporcional a ABDP, y este costo puede ser obtenido multiplicando ABDP por un coeficiente de costo unitario,  $\beta$ . El costo de despliegue para un MDMS distribuido es sumado al costo necesario de un ABDP, para así obtener el costo de la función objetivo del problema de optimización. Obteniendo de esta forma la función que minimiza el costo total del problema de optimización y está dado por:

$$\min \beta \left( \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N \lambda_i d_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^M \alpha \sum_{i=1}^N \lambda_i x_{ij} C_j \right) + \sum_{j=1}^M F_j y_j \quad (20)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^M x_{ij} = 0 \quad (21)$$

$$x_{ij} = 0 \vee 1 \quad (22)$$

$$y_j = 0 \vee 1 \quad (23)$$

Dónde:

A Tamaño del área de servicio ( $\alpha a$ )  $Km^2$

$\alpha$  La relación de los datos refinados que necesitan los servicios de operación y de gestión a través de los datos brutos recogidos por MDMS

$\beta$  Costo unitario del producto ancho de banda – distancia ( $Mbps \times Km/\$$ )

$C_j$  Distancia desde el MDMS<sub>j</sub> al centro de operaciones ( $Km$ )

$d_{ij}$  Distancia desde el concentrador  $i$  hacia el MDMS<sub>j</sub> ( $Km$ )

$F_j$  Costo de despliegue de un MDMS en una localización  $j$  ( $\$$ )

$\gamma$  Ancho de banda usado para intercambio de información entre un servidor distribuido y un servidor centralizado ( $Mbps$ )

$\lambda_i$  Tasa de generación de mensajes en cada concentrador  $i$  ( $Mbps$ )

$M$  Número total de los lugares candidatos para un MDMS

$N$  Número total de concentradores

$x_{ij}$  Indicador: está o no conectado el concentrador  $i$  al MDMS<sub>j</sub>

$y_j$  Indicador: si es o no un lugar  $j$  candidato este es escogido para desplegar un MDMS

En la formulación anterior se observa que no existe restricción de capacidad para cada MDMS. Las restricciones (21) y (22) son requeridas para asegurar que solo un concentrador esté conectado a un MDMS. El costo de despliegue de un MDMS está incluido cuando un MDMS<sub>j</sub> es seleccionado ( $y_j = 1$ ). Las soluciones de esta formulación proporcionan finalmente lugares candidatos para ubicar MDMS y el costo total mínimo asociado a los mismos. Finalmente simulado en un programa computacional estos datos los autores del trabajo demuestran que de aplicar este tipo de algoritmo con este problema,

efectivamente los costos para la implementación de MDMS distribuidos se minimizan comparado con un sistema con MDMS central.

Por otro lado en [52] los autores analizan un algoritmo de agrupamiento K-means que emula el comportamiento de una estación base a la cual se le asignan usuarios conectados a la misma, los cuales serían celulares y medidores inteligentes, por otro lado se utiliza un algoritmo greedy llamado dijkstra el que me permite encontrar el camino más corto según las distancias de las aristas en una malla conformada por puntos que en este caso serían las estaciones base que conforman conexiones formando una malla parcial. El algoritmo planteado lo usan para optimizar el número de estaciones base en una red celular incorporando los dos tipos de usuarios (medidores y celulares), por otro lado también obtienen el recorrido más corto para llevar los datos desde las estaciones hacia el MDMS más cercano si se hablara de una infraestructura con MDMS distribuidos. Por lo que la optimización planteada se encuentra fuertemente ligada a los costos asociados por infraestructura de comunicación donde se optimizan los enlaces usados para la transición de datos. El algoritmo usado por los autores se muestra a continuación:

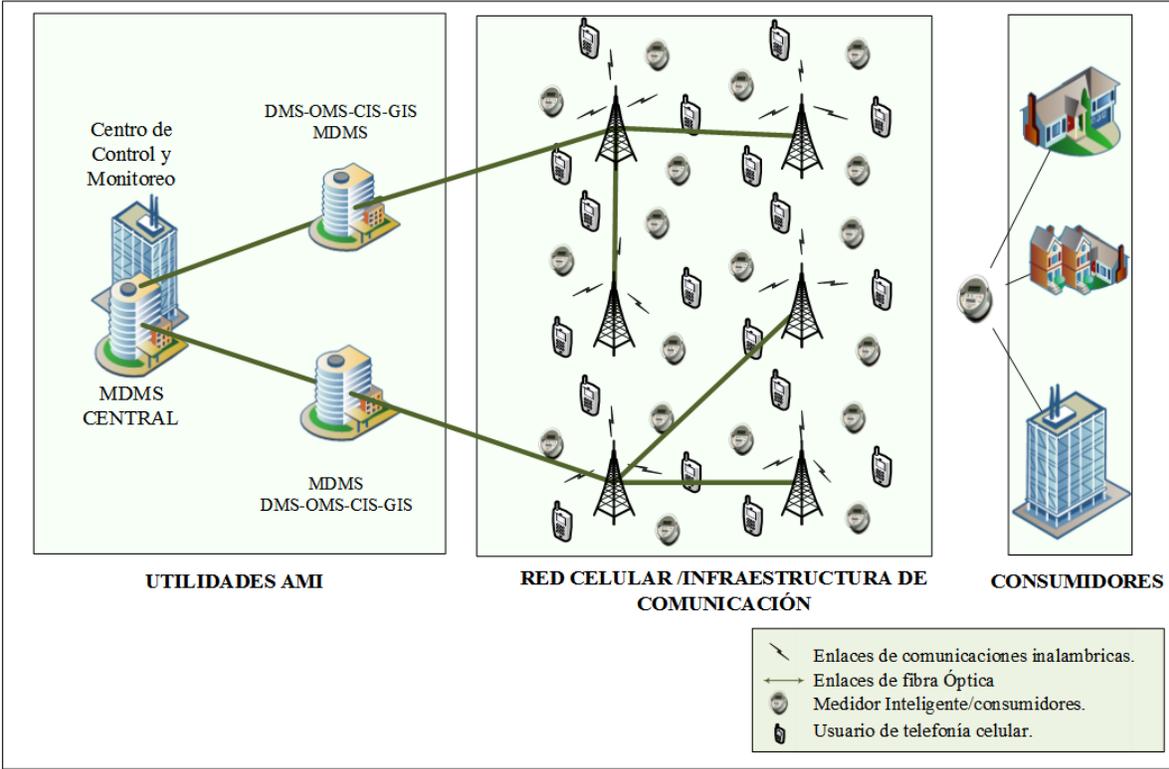
---

### Algoritmo de optimización de BS y uso de enlaces

---

- Paso 1:**  $K=N/M$
- Paso2:** k-means (clústeres, k)
- Si**  $\max\{\text{clúster}_i\} > M$ , ir a Paso2
- Paso3: Para todo:**  $\text{clúster}_i \in \text{clústreres}$
- Haga:**  $C_i$ centro de masa = sitio de  $b_i \in \text{BS}$
- Paso4: Para todo:**  $b_i, b_j \in \text{BS}$
- Si:**  $l_{ij}$ = enlace factible, **Haga:** Simplex ( $b_i, \text{CO}, G_i$ )
- Paso5:**
- Paso6:** Problema primario: encuentre  $l_{ij}$  saturados
- Haga  $G_i = G_i - l_{ij}$  saturados
- Paso7:** Problema secundario: dijkstra ( $b_i, \text{CO}, G_i$ )  
Si existen rutas  $\langle b_i, \text{CO} \rangle$ , ir a Paso 6  
Caso contrario terminar e ir a Paso 5
-

Asociando los dos estudios antes mencionados un esquema general de los problemas resueltos se muestra en la figura 3.4, donde se muestra de forma ideal el camino tomado para transportar los datos hasta el centro de control y monitoreo.



**Figura 3.4** Arquitectura mestiza AMI- Red celular

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS Y FUTUROS TRABAJOS EN OMV.

En este apartado se analiza los resultados que presenta el algoritmo planteado en el capítulo III proportional fair scheduling, donde las simulaciones se realizaron en Matlab R2013a y se analiza la posibilidad de realización de la propuesta hecha para medición inteligente basándose en un OMV para la gestión de los datos de lectura obtenidos por los medidores.

#### 4.1 Análisis de óptimo rendimiento de la infraestructura celular para OMV en AMI.

En el capítulo anterior en el apartado 3.3 se planteó una solución al problema que existiría en un caso hipotético de que una empresa de comunicaciones celulares aloje en su red más usuarios siendo estos usuarios fijos (medidores) los cuales tendrán que compartir el recurso radioeléctrico para la transmisión de datos se planteó el problema desde la perspectiva de que este recurso debe alojar a todos los usuarios maximizando el rendimiento del canal de transmisión y su vez conservando la proporcionalidad entre los usuarios que se encuentren en la red, es decir darles apertura a todos los usuarios para que utilicen el recurso sin comprometer niveles de calidad.

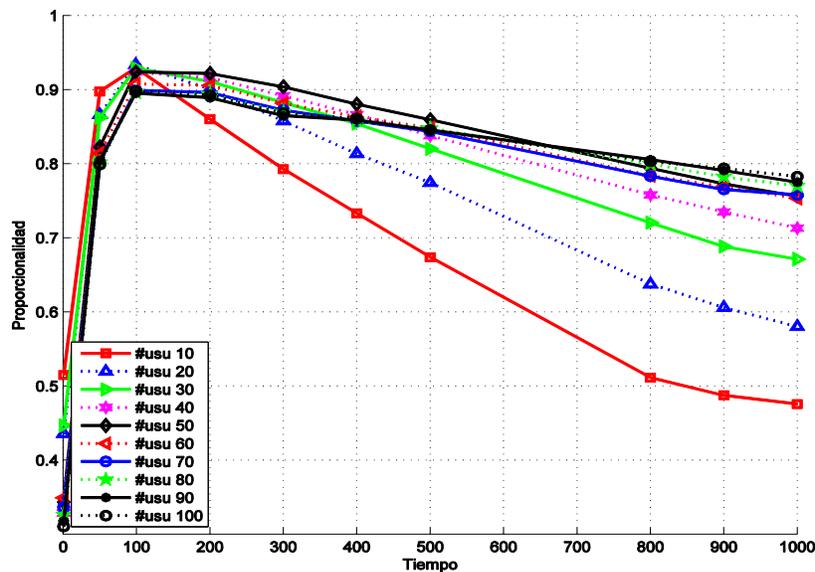


Figura 4.1(a) Proporcionalidad Vs Tiempo

El comportamiento que se muestra en la figura 2, al inicio se observa que existe un pico de subida que es despreciable debido a que en la programación del algoritmo se usó una velocidad de 0 Km/h, esta velocidad representa a los medidores inteligentes esto causa que al inicio los valores se encuentren cercanos al cero, pero seguidamente se aprecia que el sistema se desempeña de una forma adecuada según pasa el tiempo.

En la figura 4.1(a) se observa el comportamiento del algoritmo planteado para garantizar la proporcionalidad de acuerdo al número de usuarios que ocupan el sistema, donde 1 significa hay equidad para todos los usuarios, por otro lado, mientras se acerca a 0 el comportamiento es menos equitativo por lo que tal vez un usuario este necesitando mayores recursos, como se puede apreciar para un número pequeño de usuarios existe proporcionalidad y conforme aumentan los usuarios se sigue garantizando la misma llegando a ser mucho más proporcional. Por otro lado en la figura 4.1 (b) se advierte el comportamiento dado para proporcionalidad pero en este caso con relación a los usuarios en el sistema.

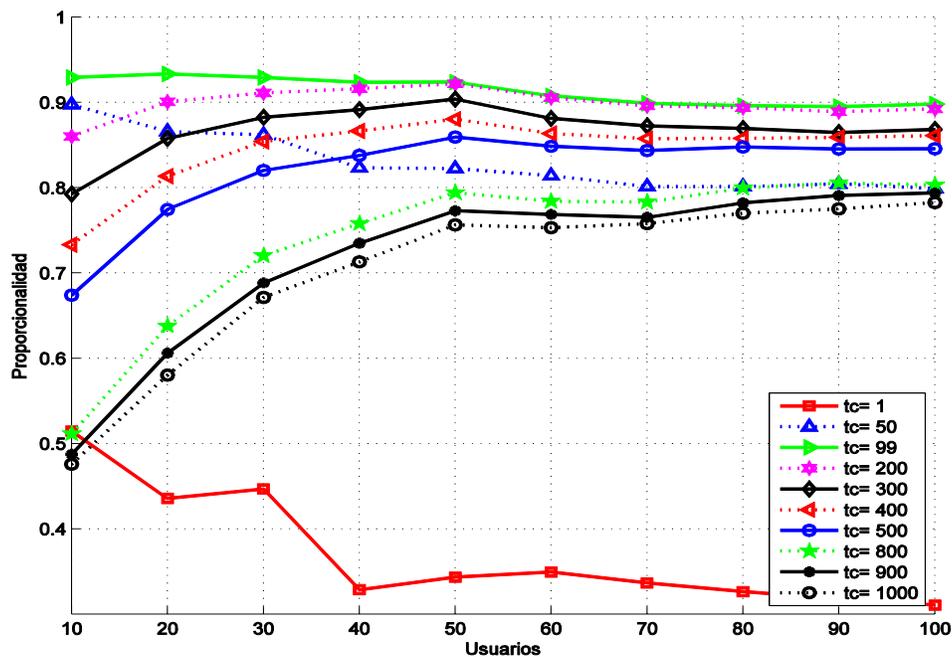
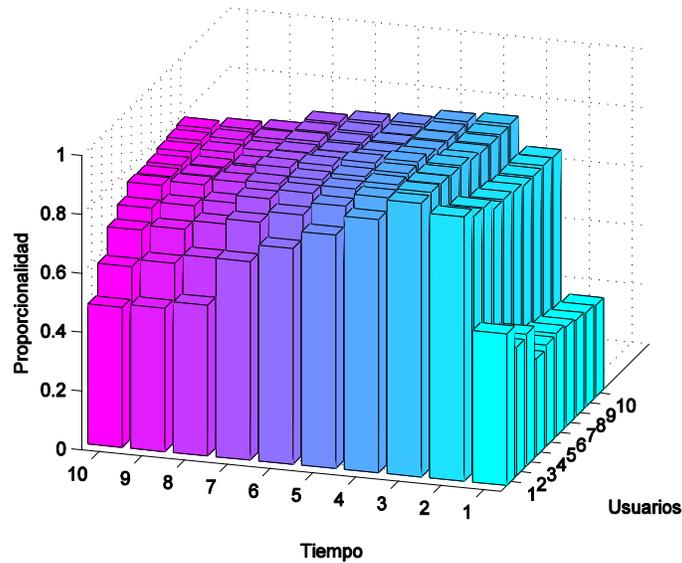


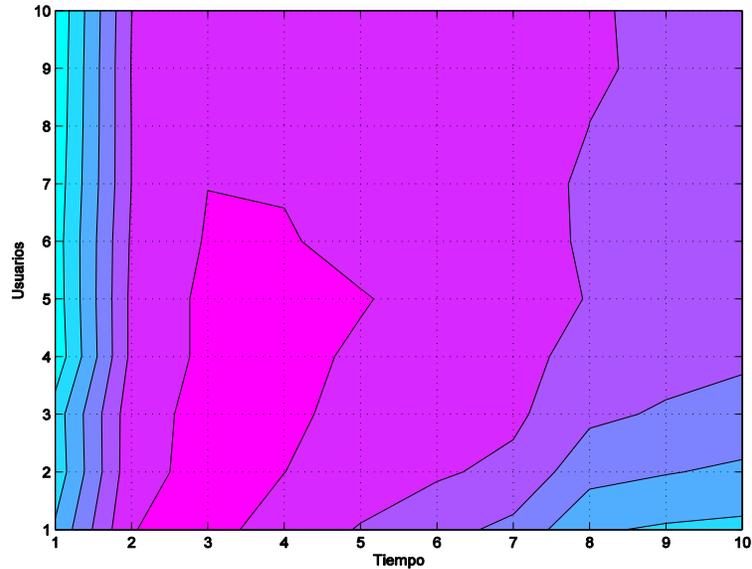
Figura 4.1 (b) Proporcionalidad Vs Usuarios

Otra forma de ver los resultados obtenidos se los presenta en la gráfica 4.1 (c), y 4.1 (d) donde se aprecia en forma de barras los valores de proporcionalidad para cada usuario y en que parte del tiempo se encuentran los valores más altos respectivamente.



**Figura 4.1 (c)** Comportamiento de proporcionalidad.

Como se mencionó anteriormente la figura 4 muestra el comportamiento de proporcionalidad ubicando la proporcionalidad del sistema en el eje x; en el eje y se encuentra representado el tiempo y finalmente en el eje z se aprecian los valores obtenidos de acuerdo a los usuarios que se encuentran en el sistema donde 1 equivaldría al menor número de usuarios y 10 al mayor número de usuarios, y como se puede observar el sistema siempre muestra un comportamiento de proporcionalidad sin importar el aumento de los usuarios, esto nos demuestra que el sistema puede soportar de una manera satisfactoria el uso del espectro compartido.



**Figura 4.1 (d)** Comportamiento de proporcionalidad.

En la figura 4.1(d) se puede observar el mismo comportamiento mostrado en la figura 4, el eje x indica los usuarios, el eje y por otro lado el tiempo, donde los colores magenta indican los puntos cuando el sistema llega a ser más proporcional conforme al tiempo para los usuarios, mientras que los colores celeste y morado indican valores más bajos, se puede hacer una comparación con la figura 4.1(c), donde efectivamente se puede apreciar que los colores descritos anteriormente se corresponden a los valores de proporcionalidad

El rendimiento que se obtiene de acuerdo al algoritmo de proportional fairness Scheduling se lo observa en la figura 4.2 (a), donde se puede apreciar que el rendimiento tiende mostrar un comportamiento semejante para todos los usuarios en el sistema.

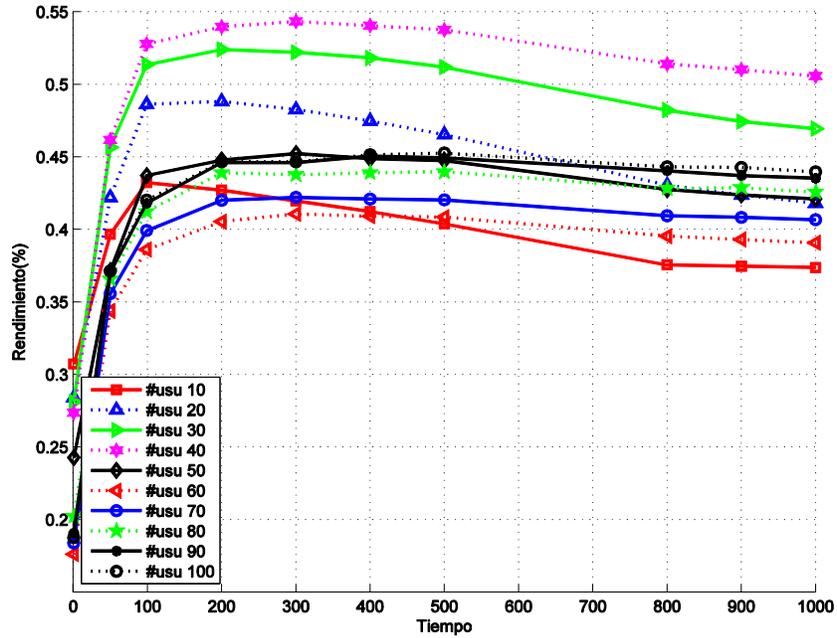


Figura 4.2 (a) Rendimiento Vs Tiempo en %

El mismo proceso lo podemos observar desde otra perspectiva en la figura 4.2 (b) donde se grafica los Mbps que son usados por los usuarios.

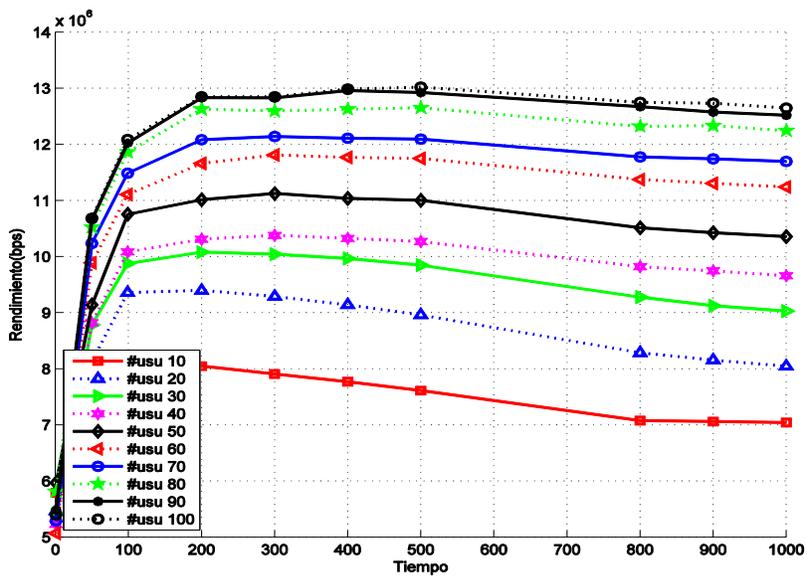


Figura 4.2 (b) Rendimiento Vs Tiempo

Los mismos resultados mostrados anteriormente se pueden observar en las figuras 4.3(a) y 4.3 (b) desde la perspectiva de los usuarios para cada intervalo de tiempo.

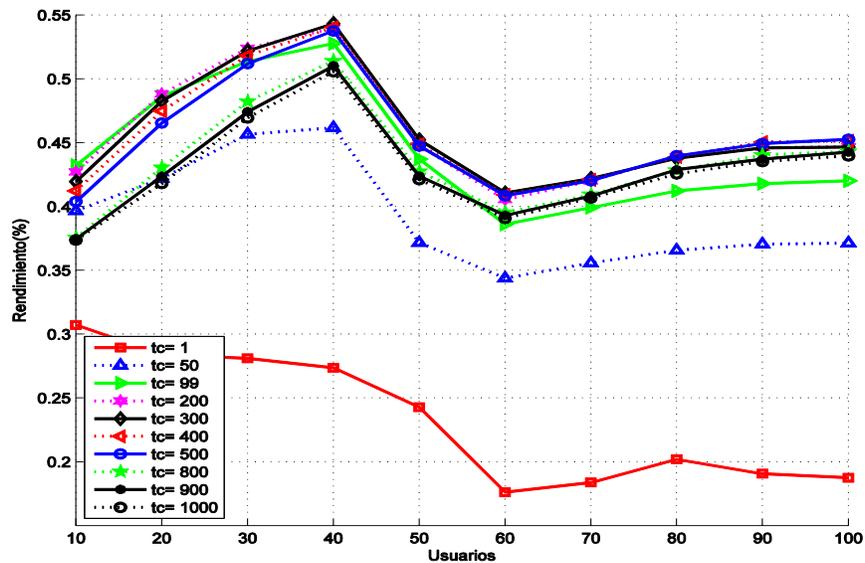


Figura 4.3 (a) Rendimiento Vs Usuarios en %

Como se mencionó con anterioridad la figura 4.3 (a) muestra el rendimiento que brinda el sistema de acuerdo al número de usuarios que se encuentran en el mismo para cada intervalo de tiempo, se puede observar que para un tiempo igual a 1 existe un rendimiento bajo esto se da debido a el pico que se forma al inicio del programa, el cual es despreciable, pero a partir de allí se muestra un rendimiento semejante para todos los usuarios, esto demuestra que sin importar el aumento de usuarios se garantiza un funcionamiento adecuado del mismo.

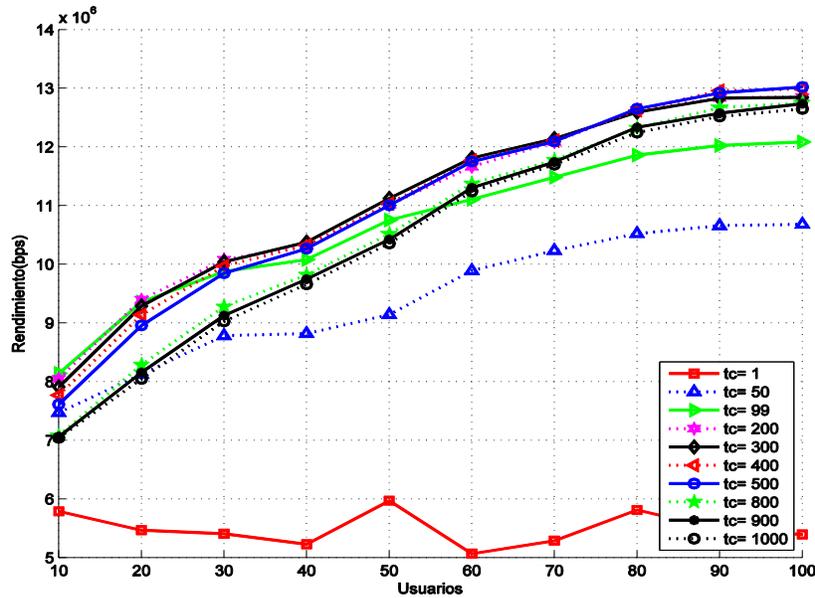


Figura 4.3 (b) Rendimiento Vs Usuarios

De las gráficas antes vistas se puede concluir que el algoritmo actúa efectivamente brindando equidad a los usuarios que se encuentran en el sistema independientemente si son teléfonos celulares o medidores inteligentes y mientras mayor sea el número de usuarios siempre tiende a ser proporcional, por otro lado el rendimiento de este algoritmo se visualiza que tiende a sacar el máximo provecho es decir que se trata de mantener un rendimiento promedio de igual forma que en el caso anterior aunque se incrementen los usuarios en el sistema y por lo tanto esto garantiza que el recurso compartido pueda ser utilizado por los usuarios primarios y los secundarios.

#### 4.2 Análisis de un OMV cognitivo como solución híbrida sobre AMI.

Un OMV cognitivo representa como ya se lo había enunciado en 2.1.3 representa aún más un ahorro significativo de costos por uso de la red celular, ya que en este caso no se pagara por usar todo la red sino el usar estrictamente lo que se requiera para el transporte de los datos, como se vio anteriormente existe un ahorro de costos si solo se arrienda la infraestructura de comunicaciones, pero este costo bajara notablemente si dado el caso se usa un OMV cognitivo por las razones explicadas anteriormente.

### **4.3 Análisis de mercado para sostener un OMV en AMI.**

Dado que en el Ecuador no existe un proyecto que albergue un sistema AMI mixto como se lo ha venido planteando y que una de las necesidades de las redes eléctricas es precisamente la gestión eficiente de la energía suministrada a los usuarios, un OMV vinculado al sector eléctrico es totalmente viable para poder reducir costos en cuanto a implementar nueva infraestructura. Ahora bien como se conoce en el Ecuador existen tres operadoras que pueden albergar dicho OMV para sistemas AMI y como existen varias empresas de distribución a nivel nacional el mercado sería único, además que es un mercado totalmente nuevo donde se esperaría que todos los usuarios de las empresas de distribución lleguen a ser parte del uso de un OMV híbrido para sistemas AMI, además, el usar sistemas de telecomunicaciones celulares abre la posibilidad de brindar al usuario otros servicios complementarios como la compra de electricidad pre-pagada por ejemplo.

Ahora bien si se dará el caso de que una empresa bajo el concepto de unidad de negocio para sistemas AMI surja, esta sería netamente una empresa monopolista ya que será la encargada de manejar todo lo que se refiere al sistema AMI dentro del territorio Ecuatoriano, es decir se estaría hablando de que gestionaría todo el sistema nacional para dar un ejemplo se puede ver cómo funciona el sistema de transmisión ecuatoriano donde TRASELECTRIC es la empresa encargada de la transmisión de la energía a nivel nacional. En el ámbito de las telecomunicaciones el OMV para sistemas AMI no influiría de manera directa en el mercado, ya que este no sería un competidor de los mismos dado que su enfoque no es brindar servicios que los ORMs si lo hacen sino por el contrario brindar otro tipo de servicios totalmente diferentes.

En el Ecuador dado el mercado de telecomunicaciones es de tipo oligopolista, por lo que los entes reguladores para dar apertura al ingreso de un OMV buscaran que los posibles OMVs nuevos siempre ataquen a un nicho de mercado nuevo, y en lo que respecta a un OMV para sistemas AMI encaja perfectamente dentro de este contexto.

#### **4.4 Perspectivas de crecimiento de un OMV para AMI**

Las perspectivas de crecimiento son realmente amplias, dado que los usuarios según pase el tiempo y con nuevas tecnologías que cada vez requieren mayor suministro de energía estos no van a dejar de crecer por lo que de darse un OMV para medición inteligente tiene un nicho en el mercado asegurado, además que a donde se apunta finalmente es llegar a una red eléctrica inteligente que albergue todo y que todo esté conectado entre sí.

## CONCLUSIONES

Analizando los antecedentes de las comunicaciones que se vieron en el capítulo I y II, plantear una unidad de negocio para medición inteligente en el Ecuador actualmente es posible y además resultaría una alternativa excelente en comparación al servicio que se brinda hoy en día, mejorándolo y además añadiendo servicios de valor agregado para los usuarios.

Según avanzan la tecnología para comunicaciones inalámbricas se abre la posibilidad de utilizar aquellas que van quedando rezagadas para otros fines, por ejemplo la CDMA una tecnología que los celulares casi no usan bien podría ser reutilizada para operar un OMV en sectores rurales.

Dado que la red de comunicaciones de las operadoras convencionales en el País, cubren en mayor o menor proporción el territorio ecuatoriano, la unidad de negocio que se plantea podría arrendar la red a las tres operadoras dependiendo de los lugares a los que se quieran llegar con el servicio de medición inteligente.

El algoritmo planteado en el capítulo III, demuestra que es posible el uso de infraestructura de red de un operador anfitrión al cual está vinculado un OMV para medición de energía eléctrica, específicamente se comprobó que la red puede aceptar el tráfico que generaran los medidores inteligentes una vez estos ingresen al sistema, compartiendo el recurso radioeléctrico que es limitado. Se comprobó también que la red de telecomunicaciones puede soportar  $n$  usuarios y  $m$  celulares si se proporciona una correcta gestión del uso del recurso radioeléctrico el cual se define como fairness, garantizando de esta forma que todos los usuarios puedan hacer uso del mismo y como es lógico sacándole el máximo rendimiento.

Por otro lado a través del análisis del costo de infraestructura se demuestra que planteando un esquema de MDSMs distribuidos se puede optimizar las distancias para transportar los datos desde las estaciones base hasta la empresa encargada de la gestión de los mismos, dado que menores distancias significa optimizar los enlaces, bajando de esta forma los

costos que se requerirían al crear un sistema de comunicaciones netamente dedicados para sistemas AMI, y esto a su vez permite la coexistencia con otro tipo de tráfico. También se llega a la conclusión que el mejor esquema de infraestructura que se acopla a las necesidades del país es aquella que cuenta con MDMS distribuidos, esto debido a que es la que plantea mayor grado de flexibilidad al momento de expandirse, es decir presenta un esquema que puede ir creciendo de acuerdo al crecimiento de los usuarios sin presentarse mayor grado de complejidad al momento de acoplar nuevos usuarios al sistema.

Por otro lado si se implementara un C-MVNO que soporte AMI, se puede usar utilizando los huecos blancos que existen en las comunicaciones celulares y de esta manera mejorar el escenario donde cohabitaran los dos tipos de servicios, ya que los medidores solo utilizaran el recurso cuando existan estos huecos de tal forma que el espectro radioeléctrico garantice la coexistencia de ambos servicios, considerando el respectivo crecimiento que se dará en ambos servicios.

Dado que una de las necesidades en los sistemas de distribución de energía es precisamente la medición, utilizar OMV como solución es una alternativa muy viable, además, que el mercado para este servicio es totalmente nuevo, se garantiza una ganancia económica tanto para las empresas de telecomunicaciones como para las empresas de distribución, además de tener una plataforma que permita gestionar de mejor manera el consumo de los usuarios.

## **RECOMENDACIONES**

Dado que esta investigación se la realizó analizando la viabilidad del recurso compartido manteniendo la proporcionalidad, en un trabajo futuro se podría analizar que los medidores garanticen la transmisión de datos y si no se pudo transmitir volver a intentar hasta garantizar que la información ha llegado a su destino.

Como es bien conocido la señal de telefonía no cubre todas las zonas donde se encuentran los usuarios, por lo que otro trabajo podría apuntar a utilizar las frecuencias de TV para transmitir los datos donde no exista cobertura ya que en el Ecuador se va a migrar a TV digital, por lo que el recurso que ahora es ocupado para este fin quedara libre y podría ser usado por sistemas AMI.

Existe un inconveniente en cuanto a la normalización de quipos para los sistemas AMI dado que cada empresa que produce esta tecnología crea un sistema que únicamente trabaja con los mismos equipos de la misma marca es decir no existe interoperabilidad, esto puede y causa problemas si se desarrolla un sistema AMI, por lo que se deberá tomar muy en cuenta bajo que marcas se puede crear un sistema AMI eficiente.

## REFERENCIAS

- [1] “Transparencia | Secretaría Nacional de Telecomunicaciones | Ecuador.” [Online]. Available: <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/transparencia/>. [Accessed: 16-Oct-2013].
- [2] S. Borlase, *Smart Grids: Infrastructure, Technology, and Solutions*. CRC Press, 2012, p. 607.
- [3] A. Carvallo and J. Cooper, *The Advanced Smart Grid: Edge Power Driving Sustainability*. Boston: Artech House, 2011, p. 225.
- [4] Alvarado B. Johan M., “SERVICIOS DE MEDICIÓN AVANZADA (AMI) PARA REDES INTELIGENTES Y SU ADAPTABILIDAD EN EL MARCO DE LA LEGISLACIÓN ECUATORIANA.PDF.” .
- [5] “Smart Metering Projects Map - Google Maps.” [Online]. Available: <https://maps.google.co.uk/maps/ms?ie=UTF8&oe=UTF8&msa=0&msid=115519311058367534348.0000011362ac6d7d21187&mid=1383833583&dg=feature>. [Accessed: 20-May-2014].
- [6] Rochester Gas and Electric Corporation, “Advanced Metering Infrastructure Update.” May-2007.
- [7] CDMA Americas Congress, “CDMA 450 Mhz una solución para zonas rurales.pdf.” .
- [8] CONATEL, “RESOLUCION 331-C-CONATEL-2008.pdf.” .
- [9] “Regional 5 de la CNT EP presentó su informe de gestión.” [Online]. Available: <http://www.cnt.gob.ec/index.php/categoria-noticias/918-regional-5-de-la-cnt-ep-presento-su-informe-de-gestion>. [Accessed: 08-Apr-2014].
- [10] Audrey Selian, “GSM-FINAL.doc.” .
- [11] “Protocolo GPRS.pdf.” .
- [12] “LTE, Long Term Evolution, Technology, 4G Americas.” [Online]. Available: <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page&sectionid=249>. [Accessed: 13-Mar-2014].
- [13] “RED MÓVIL 4G DE CNT - una nueva experiencia que une más al Ecuador.” [Online]. Available: <http://www.cnt.gob.ec/index.php/categoria-noticias/743-red-movil-4g-de-cnt-una-nueva-experiencia-que-une-mas-al-ecuador>. [Accessed: 13-Mar-2014].
- [14] “Biblioteca | Secretaría Nacional de Telecomunicaciones | Ecuador.” [Online]. Available: <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/biblioteca/>. [Accessed: 15-Apr-2014].
- [15] “UIT.” [Online]. Available: <http://www.itu.int/es/Pages/default.aspx>.
- [16] “OPERADORES DE RED VIRTUAL MÓVIL.” [Online]. Available: <http://www.itu.int/itu-news/issue/2001/08/mvno-es.html>. [Accessed: 26-Jun-2013].
- [17] O. E. F. Inga Juan P., “Modelos de negocios para OMV en el Ecuador,” *INGENIUS*, p. 7, 2013.
- [18] M. J. Jara Valle, “Establecimiento de las condiciones técnicas y regulatorias que permitan el ingreso de operadores Móviles Virtuales en el mercado de los servicios Móviles Avanzados en el Ecuador.” 2009.
- [19] K. Pousttchi and Y. Hufenbach, “Analyzing and Categorization of the Business Model of Virtual Operators,” 2009, pp. 87–92.
- [20] “Strategyand-Mobile-Virtual-Network-Operators-MVNO-Competition-MENA.pdf.” [Online]. Available: <http://www.strategyand.pwc.com/media/file/Strategyand-Mobile-Virtual-Network-Operators-MVNO-Competition-MENA.pdf>. [Accessed: 03-Jun-2014].
- [21] CMT, “ley 32/2003, de 3 de noviembre, General de Telecomunicaciones.” [Online]. Available: [http://www.cmt.es/c/document\\_library/get\\_file?uuid=9cdb8e6d-ccc9-4ef8-a2c6-d99cd846679b&groupId=10138](http://www.cmt.es/c/document_library/get_file?uuid=9cdb8e6d-ccc9-4ef8-a2c6-d99cd846679b&groupId=10138). [Accessed: 01-Jul-2013].
- [22] “Bruselas autoriza la aparición de los OMV en España.” [Online]. Available: <http://www.idg.es/cio/estructura/imprimir.asp?id=45587&cat=not>. [Accessed: 02-Jul-2013].

- [23] H. Ergas, P. Waters, and M. Dodd, “Regulatory approaches to mobile virtual network operators (MVNOs),” *Study Prep. Vodafone*, 2005.
- [24] R. Copeland and N. Crespi, “Modelling multi-MNO business for MVNOs in their evolution to LTE, VoLTE & advanced policy,” 2011, pp. 295–300.
- [25] “Ofcom | Infrastructure Report - 2012 Update.” [Online]. Available: <http://stakeholders.ofcom.org.uk/market-data-research/other/telecoms-research/broadband-speeds/infrastructure-report-2012/>. [Accessed: 02-Jul-2013].
- [26] “France MVNO Companies | Prepaid MVNO.” [Online]. Available: <http://www.prepaidmvno.com/mvno-companies/eu-mvno-companies/france-mvno-companies/>. [Accessed: 02-Jul-2013].
- [27] “Germany MVNO Companies | Prepaid MVNO.” [Online]. Available: <http://www.prepaidmvno.com/mvno-companies/eu-mvno-companies/germany-mvno-companies/>. [Accessed: 02-Jul-2013].
- [28] “Australian MVNO Companies | Prepaid MVNO.” [Online]. Available: <http://www.prepaidmvno.com/mvno-companies/asia-pacific-mvno-companies/australian-mvno-companies/>. [Accessed: 02-Jul-2013].
- [29] “Hong Kong MVNO Companies | Prepaid MVNO.” [Online]. Available: <http://www.prepaidmvno.com/mvno-companies/asia-pacific-mvno-companies/hong-kong-mvno-companies/>. [Accessed: 02-Jul-2013].
- [30] A. of R. Industries and Businesses, *Personal handy phone system: ARIB standard: version 2*. Association of Radio Industries and Businesses, 1996.
- [31] “Japan MVNO Companies | Prepaid MVNO.” [Online]. Available: <http://www.prepaidmvno.com/mvno-companies/asia-pacific-mvno-companies/japan-mvno-companies/>. [Accessed: 02-Jul-2013].
- [32] MCMC, “Guidelines on Regulatory framework for 3G MVNO.” 2005.
- [33] “Malaysia MVNO Companies | Prepaid MVNO.” [Online]. Available: <http://www.prepaidmvno.com/mvno-companies/asia-pacific-mvno-companies/malaysia-mvno-companies/>. [Accessed: 02-Jul-2013].
- [34] “MVNO Licensing and Regulation | TelecomLawyer.net.” [Online]. Available: [http://www.telecomlawyer.net/?page\\_id=76](http://www.telecomlawyer.net/?page_id=76). [Accessed: 02-Jul-2013].
- [35] Signals Telecom Group, “MVNOs en América Latina White Paper.” .
- [36] ““Costa Rica es un mercado con un potencial enorme de desarrollo.”” [Online]. Available: <http://www.signalstelecomnews.com/index.php/entrevistas/947-costa-rica-es-un-mercado-con-un-potencial-enorme-de-desarrollo>. [Accessed: 02-Jul-2013].
- [37] “History | Sisteer.” [Online]. Available: <http://www.sisteer.com/history>. [Accessed: 02-Jul-2013].
- [38] B. S. Lingjie Duan, Jianwei Huang, “Cognitive Mobile Virtual Network Operator: Investment and Pricing with Supply Uncertainty,” 2010.
- [39] “n10\_Inga\_Arias\_Orejuela\_Inga.pdf.”
- [40] “Análisis Técnico, Económico y Regulatorio para el Ingreso de Un Operador Móvil Virtual en el Ecuador.”
- [41] J. Zhou, R. Q. Hu, and Y. Qian, “Scalable distributed communication architectures to support advanced metering infrastructure in smart grid,” *Parallel Distrib. Syst. IEEE Trans.*, vol. 23, no. 9, pp. 1632–1642, 2012.
- [42] A. C. del Ecuador and T. CONSTITUCIONAL, “Constitución de la República del Ecuador,” *Extraído el*, vol. 21, 2008.
- [43] CONATEL, “Reglamento para la prestación del servicio móvil avanzado.” 2002.
- [44] CONATEL, “REGLAMENTO PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO BAJO LA MODALIDAD DE OPERADORES MÓVILES VIRTUALES PARA FOMENTAR LA SANA Y LEAL COMPETENCIA.pdf.” .

- [45] F. Zavoda, “Advanced distribution automation (ADA) applications and power quality in Smart Grids,” 2010, pp. 1–7.
- [46] I. E. Reid and H. A. Stevens, *Smart Meters and the Smart Grid: Privacy and Cybersecurity Considerations*. Hauppauge, N.Y. : Lancaster: Nova Science Pub Inc, 2012, p. 153.
- [47] “Ejemplos Scheduling.pdf.” [Online]. Available: [https://copy.com/web/users/user-11434556/copy/Scheduling\\_7\\_Julio\\_LatinCom\\_o\\_22\\_Junio\\_IFEEC/Proportional\\_Fairness/Ejemplos\\_Scheduling.pdf?download=1](https://copy.com/web/users/user-11434556/copy/Scheduling_7_Julio_LatinCom_o_22_Junio_IFEEC/Proportional_Fairness/Ejemplos_Scheduling.pdf?download=1). [Accessed: 05-Jun-2014].
- [48] “A Statistical Theory of Mobile-Radio Reception - Clarke - 2013 - Bell System Technical Journal - Wiley Online Library.” [Online]. Available: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/j.1538-7305.1968.tb00069.x/abstract>. [Accessed: 11-Nov-2014].
- [49] Joint Technical Committee for PCS T1 R1P1.4, ““Technical Report on RF Channel Characterization and System Deployment.”” Sep-1994.
- [50] VADUVUR BHARGHAVA, SONGWU LU, and THYAGARAJA N, “Fair Queuing in Wireless networks: Issues and Approaches.” .
- [51] G. Barai and K. Raahemifar, “Optimization of distributed communication architectures in advanced metering infrastructure of smart grid,” *2014 IEEE 27th Can. Conf. Electr. Comput. Eng.*, pp. 1–6, May 2014.
- [52] E. Inga, G. Arevalo, and R. Hincapie, “Optimal deployment of cellular networks for Advanced Measurement Infrastructure in Smart Grid,” 2014, pp. 1–6.

# ANEXOS

## APENDICE A

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%Nombre: FGN_model
%Autor: Leandro Guevara
%Fecha: Noviembre 2014
%Ultima modificación: Noviembre 2014
%Support: MATLAB r2013a
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%Description: esta funcion genera una señal de fading en fase y
cuadratura
%para una función de ruido gaussiano. aplicando el filtro adecuado
%se provee el espectro doppler. una linea plana es simula y la respuesta
%del canal es dividida en diferentes subcanales.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%Argumentos de Entrada:
%v, velocidad del usuario en km/h (entre 3 and 80 km/h).
%C, numero de sub-portadoras por canal.
%T, numero de time slots
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%argumentos de salida
%fo, frecuencia de coherencia.
%CH, matriz que almacena los usuarios(respuesta del canal).
%Noise, storing noise level.
%I, fft points (sample rate)

function [fo, CH, Noise, I]=FGN_model(v,C,T)

%Parameters
fc=2.4*10.^9; %frecuencia de la portadora (Hz)
v=v*1000/3600; %transformo la velocidad del movil de (Km/h) a(m/s)
c=3*10.^8; %velocidad de la luz (m/s)
fd=fc*v/c; %Frecuencia maxima Doppler
wd=2*pi*fd;
Q=100; %taps resolution
I=2048; %fft resolution in tau direction
N=500; %vector length t and f
t=0.001:10/N:10; %vector t
f=-2*fd:4*fd/N:2*fd-4*fd/N; %vector f
tau=0.0001:4/Q:4; %tap delay until 4us, typical urban area

%matrix initialization
real=zeros(Q,N);
imag=zeros(Q,N);
expo=zeros(Q,N);
envcomplex=zeros(Q,N);
expo=zeros(Q,N);
complex=zeros(Q,N);
auxTm=zeros(1,Q);
yt=zeros(Q,I);
```

```

Yf=zeros(Q,N);
ppf=zeros(I,I);
CH=zeros(C,(I/C)*T); %Channel filtered to generate subchannels

%complex white Gaussian process, unit variance, zero mean
real=randn(Q,N);
imag=randn(Q,N);
envcomplex=(real+j*imag)/sqrt(2);
expo=exp(j*(2*pi*rand(Q,N))); %phase uniformly distributed [0 2pi]
complex=envcomplex.*expo; %wi(t)
complexf=fft(complex); %Wi(f) fft transformada rapida de furier

%one tap loss model
loss=2-exp(t/15);
complexloss=complex(1,:).*loss;

%Power Spectral Density by Jake's model
for i=1:N
    if f(i)>-fd && f(i)<fd
        S(i)=1/(pi*fd*(sqrt(1-(f(i).^2)/fd.^2)));
    else
        S(i)=0;
    end
end

%filtering Gaussian process
for q=1:Q
    Yf(q,:)=sqrt(S).*complexf(q,:);
end

%Matrix in time domain
for q=1:Q
    yt(q,:)=ifft(Yf(q,:),I);
end

%Exponential decaying according to different environments
%Urban Area
for q=1:Q
    e(q)=exp(-q/10);
    yt(q,:)=e(q).*yt(q,:);
end

%almost one tap (one way)
%for q=1:Q
% e(q)=exp(-q);
% yt(q,:)=e(q).*yt(q,:);
%end

%computing Tm
threshold=0.2; %threshold level 20%
for tslot=1:T
    auxTm(tslot)=threshold.*max(abs(yt(:,tslot)));
end
for tslot=1:T

```

```

    aux2Tm(tslot)=0; %aux to compute position
for q=1:Q
    if abs(yt(q,tslot))>auxTm(tslot)
        aux2Tm(tslot)=aux2Tm(tslot)+1;
    end
end
Tm(tslot)=tau(aux2Tm(tslot)); %delay spread
fo(tslot)=1/(Tm(tslot)*10.^(-6)); %coherence bandwidth in Hz
end

%for plotting one example
tauf=2400*1e6-2*fo(10):4*fo(10)/I:2400*1e6+2*fo(10)-(4*fo(10)/I);
auxTm(1,:)=auxTm(10); %to plote threshold level

%Spaced-frequency correlation function
for tslot=1:T
    ppf(:,tslot)=fftshift(fft(yt(:,tslot),I));
end

%channel response now is a row
ppf=ppf';
for tslot=1:T
    Noise(tslot)=mean(abs(ppf(tslot,:)))/4;
end

%CH, matrix which stores subchannel responses at each row of length I/C
aux2=floor(I/C);
aux1=aux2-1;

for tslot=1:T
    for c=1:C
        CH(c,1+(I/C)*(tslot-1):(I/C)*tslot)=ppf(tslot,1+aux1*(c-1):aux2+aux1*(c-1));
    end
end
end

```

## APENDICE B

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%Nombre: matriz_shanon
%Autor: Leandro Guevara
%Fecha: Noviembre 2014
%Ultima modificación: Noviembre 2014
%Support: MATLAB r2013a
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%Description: esta funcion genera una matriz en base a el teorema
%de shannon usando el modelo de ruido FNG_model.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%Argumentos de Entrada:
%Users, usuarios del sistema
%C, numero de subcanales

```

```

%T, number of time slots.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%argumentos de salida
%Raux, matriz capacidad de shanon
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
function [Raux]=matriz_shanon(users,C,T)

R=zeros(C,T*users);
%Store in a matrix R (Cx(T*users)), the different values of rate, for
each
%user, subcarrier and time slot

for u=1:users
    [fo, CHH, Noise, I]=FGN_model(3,C,T); %v=3km/h, user walking //pongo
0 sin movilidad en medidor
    for tslot=1:T
        for c=1:C
            R(c,tslot+T*(u-
1))=(fo(tslot)/C)*log2(1+mean(abs(CHH(c,1+(I/C)*(tslot-
1):(I/C)*tslot)))/Noise(tslot));

        end
    end
end
Raux=R;

```

## APENDICE C

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%Nombre: throughput_fairness_Vs_tc_PFS
%Autor: Leandro Guevara
%Fecha: Noviembre 2014
%Ultima modificación: Noviembre 2014
%Support: MATLAB r2013a
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%Description: esta funcion calcula la proporcionalidad y la capacidad del
%sistema versus al parametro tc o tiempo para el algoritmo de
proportional
%fairness scheduling.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%Argumentos de Entrada:
%users, numero de diferntes usuarios.
%C, numero de sub-canales por canal.
%T, nuemro de time slots a calcular.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%argumentos de salida
%val_equi_PFS, matriz que almacena los valores para PFS.
%val_rend_PFS, matriz que almacena los valores para rendimiento.
%val_tc, matriz que almacena los valores para de tc calculados.

```

```

%val_rend2_PFS, matriz que almacena los valores para rendimiento en
funcion de %.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%

function [val_equi_PFS, val_rend_PFS,
val_tc,val_rend2_PFS]=throughput_fairness_Vs_tc_PFS(users,C,T,R)

% limitinf = 178989.818; %bps
% limitsup = 1860347.932; %bps
% paso= C-2;
% salto=(limitsup-limitinf)/paso;

%valores para tc
tc=[1:49:100 200:100:500 800:100:1000];
%matriz de inicializacion
auxPFS=zeros(C,T);
%auxthroughput_PFS=zeros(length(tc),T);

%matrix to store user ID
XPFS=zeros(C,T);

%Store in a matrix, R (Cx(T*users)), the different values of rate, for
each
%user, subcarrier and time slot.
%R=zeros(C,T*users);
Th=zeros(C,T*users);

epsilon=0.001; %average throughput initialization

%At first time slot, average throughput = epsilon for all users

for u=1:users
    Th(:,1+T*(u-1))=epsilon; %Initial average throughput
end

%if you want to take channel B (user B) stronger than other channels
%R(:,T+1:2*T)=1.4*R(:,T+1:2*T);

%u=1:users;

%=====
%PFS algorithm:b
%XPFS, matrix which stores who is scheduled according to PFS
for p=1:length(tc)
    for s=1:T
        for c=1:C
            aux3=R(c,s:T:T*users) ./Th(c,s:T:T*users);
            for t=s:T:T*users
                if (R(c,t) ./Th(c,t)) ==max(aux3)
                    XPFS(c,s)=ceil(t/T);
                    auxPFS(c,s)=R(c,t);
                    Th(c,t+1)=(1-1/tc(p))*Th(c,t)+1/tc(p)*R(c,t);
                end
            end
        end
    end
end

```

```

                else
                    Th(c,t+1)=(1-1/tc(p))*Th(c,t);
                end
            end
        end
    end

%Calculo la proporcionalidad y el rendimiento

[FPFS(p)] = fairness(users,C,T,XPFS);
[throughput_PFS(p)] = throughput(auxPFS,T);

auxthroughput_PFS(p,:)=sum(auxPFS); %PFS algorithm

end
valmax=max(max(auxthroughput_PFS)); %saco el valor maximo de la matriz
throughput_maxval=throughput_PFS./valmax;
%=====
%variables a ser adquiridas en el main
val_equi_PFS= FPFS;
val_rend_PFS=throughput_PFS;
val_rend2_PFS=throughput_maxval;
%val_rend2_PFS=valmax;
val_tc=tc;

```

## APENDICE D

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%Nombre: fairness
%Autor: Leandro Guevara
%Fecha: Noviembre 2014
%Ultima modificación: Noviembre 2014
%Support: MATLAB r2013a
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%Description: esta funcion calcula la proporcionalidad de el algoritmo
%de scheduling, con iguales y desiguales usuarios ponderados. 0<F<1
%si F=1, todos los usuarios en el sistema consumen exactamente el recurso
%designado para cada uno
%if F=0, entonces un usuario consume todo los recursos de alojamiento.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%argumentos de entrada
%users, numero de diferentes respuestas de canal.
%C, numero de sub0canales por canal.
%T, numero de time slots.
%XPFS, matriz que almacena los usuarios asignados.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%output arguments:
%FPFS, proporcionalidad de acuerdo al algoritmo
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%

```

```

function [FPFS]=fairness(users,C,T,XPFS)

%matrix initialization
%vector that store the number of time that one user is scheduled

PPFS=zeros(1,users);

%PFS algorithm cuantas veces fue alojado cada usuario en la matriz del
%squeduling.
for c=1:C
    for t=1:T
        for u=1:users
            if XPFS(c,t)==u
                PPFS(u)=PPFS(u)+1;
                break;
            end
        end
    end
end
%computing index fairness according to equal weighted users
for u=1:users
    if PPFS(u)==0
        aux1PFS(u)=0;
    else
        aux1PFS(u)=- (PPFS(u) / (C*T)) * (log(PPFS(u) / (C*T))) / (log(users));
    end
end
FPFS=sum(aux1PFS); %0<F<1

```

## APENDICE E

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%Nombre: throughput
%Autor: Leandro Guevara
%Fecha: Noviembre 2014
%Ultima modificación: Noviembre 2014
%Support: MATLAB r2013a
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%Description: esta funcion calcula el rendimiento del sistema de acuerdo a
%el algoritmo de alojamiento proportional fairness scheduling.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%Argumentos de Entrada:
%auxPFS, matriz que almacena el valor con el que cada usuario transmite
por
%cada sub-portadora y cada time slot.
%users, numero de diferentes respuestas de canal.
%T, numero de time slots.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%argumentos de salida
%throughput_PFS, matriz de rendimiento promedio almacenado de acuerdo a
PFS
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%

function [throughput_PFS]=throughput (auxPFS,T)

%matrix initialization
%auxiliary matrix
auxthroughput_PFS=zeros (1,T);

for t=1:T
    auxthroughput_PFS (t)=sum (auxPFS (:,t)); %PFS algorithm
end
maxval=max (auxthroughput_PFS);
throughput_PFS=mean (auxthroughput_PFS); %PFS algorithm %mean significa
promedio mean(a,1) promedio de las columnas default
```

## APENDICE F

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%Nombre: main.
%Autor: Leandro Guevara
%Fecha: Noviembre 2014
%Ultima modificación: Noviembre 2014
%Support: MATLAB r2013a
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%Description: este scrip realiza las respectivas llamadas a las funciones
%para graficar resultados.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%Argumentos de Entrada:
%users, numero de diferntes usuarios.
%C, numero de sub-canales por canal.
%T, nuemro de time slots a calcular.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%argumentos de salida
%no hay argumentos de salida.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%

%===variables de
Inicializacion=====
clc
clear
j=0;
l=1;
num_graf=10;      %numero interacciones para conseguir graficas para los
datos
mat_prop={'r-s' 'b:^' 'g->' 'm:h' 'k-d' 'r:<' 'b-o' 'g:p' 'k-*' 'k:o'};
%vector con características de los graficos

%===Datos de entrada a la llamada=====
usuarios=100;     %numero de usuarios totales
users=usuarios;
C=16;            %numero de subcanales por canal
T=100;          %numero de time slots por usuario

%desarrollo=====
%calculo matriz para 100 usuarios en funcion al teorema de Shanon
[R]= matriz_shanon(users,C,T) ;

%algoritmo para ejecutar las graficas.

for i=10:10:usuarios
    %seleciono datos de la matriz R de acuerdo con el numero de usuarios
    if i==10
        Raux=zeros(C,T*users*0.10);
        for f=1:C
            for c=1:T*users*0.10
                Raux(f,c)=R(f,c);
            end
        end
    end
end
```

```

        end
    end
end
if i==20
    Raux=zeros(C,T*users*0.20);
    for f=1:C
        for c=1:T*users*0.20
            Raux(f,c)=R(f,c);
        end
    end
end
if i==30
    Raux=zeros(C,T*users*0.30);
    for f=1:C
        for c=1:T*users*0.30
            Raux(f,c)=R(f,c);
        end
    end
end
if i==40
    Raux=zeros(C,T*users*0.40);
    for f=1:C
        for c=1:T*users*0.40
            Raux(f,c)=R(f,c);
        end
    end
end
if i==50
    Raux=zeros(C,T*users*0.50);
    for f=1:C
        for c=1:T*users*0.50
            Raux(f,c)=R(f,c);
        end
    end
end
if i==60
    Raux=zeros(C,T*users*0.60);
    for f=1:C
        for c=1:T*users*0.60
            Raux(f,c)=R(f,c);
        end
    end
end
if i==70
    Raux=zeros(C,T*users*0.70);
    for f=1:C
        for c=1:T*users*0.70
            Raux(f,c)=R(f,c);
        end
    end
end
if i==80
    Raux=zeros(C,T*users*0.80);
    for f=1:C
        for c=1:T*users*0.80
            Raux(f,c)=R(f,c);
        end
    end
end

```

```

        end
    end
    if i==90
        Raux=zeros(C,T*users*0.90);
        for f=1:C
            for c=1:T*users*0.90
                Raux(f,c)=R(f,c);
            end
        end
    end
    if i==100
        Raux=zeros(C,T*users*1);
        for f=1:C
            for c=1:T*users*1
                Raux(f,c)=R(f,c);
            end
        end
    end
end

%=====
if j<num_graf
    [val_equi_PFS, val_rend_PFS, val_tc,
    val_rend2_PFS]=throughput_fairness_Vs_tc_PFS(i,C,T,Raux);
    j=j+1;
    %auxmaxval(j,:)=val_rend2_PFS;
    %maxval=max(auxmaxval);
    %=====
    %almaceno datos de las graficas filas representan usuarios columnas
    periodo
    matgrafpfs(j,:)=val_equi_PFS;
    matgrafbps(j,:)=val_rend_PFS;
    matgrafpor(j,:)=val_rend2_PFS;

    %=====
    %GRAFICOS
    %grafico de fairness vs tc
    figure(3)
    hold on
    grid on
    %axis([0 41 0 1.1]);
    prop_lin=char(mat_prop(1,j)); %hago compatible para ejecutar cada valor
    puesto en la matriz de propiedades de linea
    plot(val_tc,val_equi_PFS,prop_lin,'LineWidth',1.5,'markersize',6)
    leyendas={'#usu 10' '#usu 20' '#usu 30' '#usu 40' '#usu 50' '#usu 60'
    '#usu 70' '#usu 80' '#usu 90' '#usu 100'}; %CAMBIAR DE SER NECESARIO.
    legend(leyendas,'location','southwest');
    %legend(leyendas);
    %title('Equidad del Sistema');
    xlabel('Tiempo');
    ylabel('Proporcionalidad');
    if j == 10
        print ('-dpng','-r800','EQUIDAD vs TIEMPO (1a)');
    end
    hold off

```

```

%grafico de rendimiento(bps) vs tc
figure (4)
%axis([0 40 (7*10^5) (2.1*10^7)]);
hold on
grid on
prop_lin=char(mat_prop(1,j)); %hago compatible para ejecutar cada valor
puesto en la matriz de propiedades de linea
plot(val_tc,val_rend_PFS,prop_lin,'LineWidth',1.5,'markersize',6)
leyendas={'#usu 10' '#usu 20' '#usu 30' '#usu 40' '#usu 50' '#usu 60'
'#usu 70' '#usu 80' '#usu 90' '#usu 100'}; %CAMBIAR DE SER NECESARIO.
legend(leyendas,'Location','southwest');
%legend(leyendas);
%title('Capacidad del Sistema');
xlabel('Tiempo');
ylabel('Rendimiento(bps)');
if j == 10
    print ('-dpng','-r800','RENDIMIENTO vs TIEMPO (2a)');
end
hold off

%grafico de rendimiento(%) vs tc
figure (5)
%axis([0 1000 0 1]);
hold on
grid on
prop_lin=char(mat_prop(1,j)); %hago compatible para ejecutar cada valor
puesto en la matriz de propiedades de linea
plot(val_tc,val_rend2_PFS,prop_lin,'LineWidth',1.5,'markersize',6)
leyendas={'#usu 10' '#usu 20' '#usu 30' '#usu 40' '#usu 50' '#usu 60'
'#usu 70' '#usu 80' '#usu 90' '#usu 100'}; %CAMBIAR DE SER NECESARIO.
legend(leyendas,'Location','southwest');
%legend(leyendas);
%title('Capacidad del Sistema');
xlabel('Tiempo');
ylabel('Rendimiento(%)');
if j == 10
    print ('-dpng','-r800','RENDIMIENTO vs TIEMPO (3a) ');
end
hold off

end
end

%rendporcentual=matgrafbps/maxval;

%=====
%graficos cambiando el eje
%grafico de rendimiento(%) vs #usuarios
mtrusers=(10:10:usuarios); %creo vector con el numero de usuarios que se
plotean

for j=1:10

```

```

figure (6)
hold on
grid on
prop_lin=char(mat_prop(1,j)); %hago compatible para ejecutar cada
valor puesto en la matriz de propiedades de linea

plot(mtrusers,matgrafpfs(:,j),prop_lin,'LineWidth',1.5,'markersize',6)
leyendas={'tc= 1' 'tc= 50' 'tc= 99' 'tc= 200' 'tc= 300' 'tc= 400'
'tc= 500' 'tc= 800' 'tc= 900' 'tc= 1000'}; %CAMBIAR DE SER NECESARIO.
legend(leyendas,'Location','southeast');
%legend(leyendas);
%title('Capacidad del Sistema');
xlabel('Usuarios');
ylabel('Proporcionalidad');
if j == 10
    print ('-dpng','-r800','EQUIDAD vs USUARIOS (1b)');
end
hold off

figure (7)
hold on
grid on
prop_lin=char(mat_prop(1,j)); %hago compatible para ejecutar cada
valor puesto en la matriz de propiedades de linea

plot(mtrusers,matgrafbps(:,j),prop_lin,'LineWidth',1.5,'markersize',6)
leyendas={'tc= 1' 'tc= 50' 'tc= 99' 'tc= 200' 'tc= 300' 'tc= 400'
'tc= 500' 'tc= 800' 'tc= 900' 'tc= 1000'}; %CAMBIAR DE SER NECESARIO.
legend(leyendas,'Location','southeast');
%legend(leyendas);
%title('Capacidad del Sistema');
xlabel('Usuarios');
ylabel('Rendimiento(bps)');
if j == 10
    print ('-dpng','-r800','RENDIMIENTO vs USUARIOS (2b)');
end
hold off

figure (8)
hold on
grid on
prop_lin=char(mat_prop(1,j)); %hago compatible para ejecutar cada
valor puesto en la matriz de propiedades de linea

plot(mtrusers,matgrafpor(:,j),prop_lin,'LineWidth',1.5,'markersize',6)
leyendas={'tc= 1' 'tc= 50' 'tc= 99' 'tc= 200' 'tc= 300' 'tc= 400'
'tc= 500' 'tc= 800' 'tc= 900' 'tc= 1000'}; %CAMBIAR DE SER NECESARIO.
legend(leyendas,'Location','southwest');
%legend(leyendas);
%title('Capacidad del Sistema');
xlabel('Usuarios');
ylabel('Rendimiento(%)');
if j == 10
    print ('-dpng','-r800','RENDIMIENTO vs USUARIOS (3b)');
end

```

```

    hold off

end

%=====
figure (10)
bar3(matgrafpfs)
colormap cool
hold on
grid on
%title('IMT-A - MAC Power management')
xlabel('Tiempo')
ylabel('Usuarios')
zlabel('Proporcionalidad')
%print -dpng -r800 barras fairness
hold off
%=====
figure (11)
contourf(matgrafpfs)
colormap cool
hold on
grid on
%title('IMT-A - MAC Power management')
xlabel('Tiempo')
ylabel('Usuarios')
print -dpng -r800 contornofairness
hold off

```