

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA**

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

**TEMA:**

**FACTIBILIDAD TÉCNICA DE IMPLEMENTACIÓN DE SMART METERING  
EN ZONAS RURALES CON TECNOLOGÍAS DE RADIO COGNITIVA EN  
LOS ESPACIOS EN BLANCO DE TELEVISIÓN.**

**AUTOR:**

**CÉSAR HUMBERTO GUANOLUISA CRUZ**

**DIRECTOR:**

**EDWIN GUILLERMO QUEL HERMOSA**

**Quito, Febrero de 2015**

## **DECLARATORIA DE AUTORÍA:**

Yo, César Humberto Guanoluisa Cruz 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, 21 de Febrero del 2015

---

**César Humberto Guanoluisa Cruz**  
**CC: 1715542732**

**AUTOR**

**CERTIFICA:**

Haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos teóricos y técnicos del informe de la tesis, así como la investigación respecto a la “FACTIBILIDAD TÉCNICA DE IMPLEMENTACIÓN DE SMART METERING EN ZONAS RURALES CON TECNOLOGÍAS DE RADIO COGNITIVA EN LOS ESPACIOS EN BLANCO DE TELEVISIÓN” realizada por el Sr. César Humberto Guanoluisa Cruz, previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Por cumplir los requisitos autoriza su presentación.

Quito, 21 de Febrero del 2015

---

**Ing. Edwin Guillermo Quel Hermosa**  
**DIRECTOR**

## **DEDICATORIA.**

### ***César Humberto Guanoluisa Cruz***

*A mis queridos hijos: Derek Leandro y  
Brandon Vinicio, quienes alumbran mi  
camino y fueron el motivo para culminar  
mi carrera a pesar de los obstáculos.*

*A mis padres, Olga Beatriz Cruz y César  
Aníbal Guanoluisa, por darme la  
oportunidad de seguir adelante con mis  
estudios, por inculcarme buenos  
principios y hacerme un hombre de bien.*

*A mi amada esposa, Jessica Iza, quien me  
supo brindar su apoyo incondicional para  
terminar la carrera.*

*A mis hermanas y cuñados que siempre  
estuvieron apoyándome en mí carrera  
universitaria.*

*A mi gran amigo Rommel Tayán, quien  
me supo dar su apoyo y consejo para  
iniciar mis estudios universitarios.*

## **AGRADECIMIENTO.**

***César Humberto Guanoluisa Cruz***

*A la Universidad Politécnica Salesiana.*

*A la Facultad de Ingenierías.*

*Al Ing. Edwin Quel mi Director, quien  
impartió sus conocimientos y experiencias  
como docente y amigo.*

*A mis amigos y compañeros que de una  
u otra forma estuvieron siempre en mi  
vida universitaria.*

*Por último al Ing. Pedro Jarrín, quien  
me apoyo desde el primer momento en que  
llegué a Electro Group.*

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	2
REDES INTELIGENTES Y SMART METERING A NIVEL MUNDIAL.....	2
1.1    Redes inteligentes Smart Grid .....	2
1.1.1    Sistemas eléctricos.....	2
1.1.2    Tecnologías de la Información y la Comunicación TIC .....	4
1.1.3    Concepto y definición de Smart Grid .....	5
1.2    Smart Metering .....	6
1.2.1    Medidores Inteligentes .....	7
1.2.2    Infraestructura del sistema de medición inteligente AMI.....	9
1.3    Proyectos a nivel mundial.....	13
1.3.1    Smart Metering en Italia .....	13
1.3.2    Smart Metering en Estados Unidos.....	14
1.3.3    Smart Metering en Canadá.....	15
1.3.4    Smart Metering en Reino Unido .....	15
1.3.5    Smart Metering en China .....	16
1.3.6    Smart Metering en Japón .....	16
CAPÍTULO II .....	18
ANÁLISIS TÉCNICO DE LA RADIO COGNITIVA Y LOS ESPACIOS EN BLANCO DE TELEVISIÓN .....	18
2.1    Características técnicas de operación de Radio Cognitiva.....	18
2.1.1    Radio Definida por Software SDR .....	19
2.1.2    Radio Cognitiva.....	21
2.1.3    Arquitectura de Radio Cognitiva.....	23
2.1.4    Estandarización y regularización de la Radio Cognitiva .....	25
2.2    Bandas atribuidas para la operación de televisión abierta .....	27
2.2.1    Atribuciones de Espectro en América Latina .....	29
2.2.2    Atribuciones de Espectro en Ecuador.....	30
2.3    Situación actual de los espacios en blanco de televisión en las zonas rurales .....	33
2.3.1    Métodos de acceso.....	35
2.3.2    Estandarización y Aplicaciones .....	37
CAPÍTULO III.....	40
REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SMART METERING .....	40
3.1    Situación geográfica del área rural.....	40
3.2    Demanda de medición inteligente en el área rural residencial.....	41
3.3    Arquitectura de operación de Smart Metering .....	43

3.3.1 Red de Medida.....	44
3.3.2 Red de Acceso .....	45
3.3.3 Red de Transporte.....	45
3.3.4 Utilidades de Oficina.....	45
3.4 Análisis del equipamiento disponible para la implementación de Smart Metering.....	47
3.4.1 Medidor Inteligente y Modulo de Comunicación.....	47
3.4.2 Concentrador de Datos y Repetidoras .....	48
3.4.3 Equipo Local de Cliente y Estación Base.....	50
3.4.4 Servidores y Bases de Datos.....	51
3.5 Determinación de la capacidad para la transmisión de la información de Smart Metering en el área rural.....	52
3.5.1 Planificación de la Radiofrecuencia y Demanda de tráfico .....	52
3.5.2 Análisis de Cobertura para las zonas rurales .....	53
CAPÍTULO IV .....	55
ANÁLISIS TÉCNICO DE LA FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE SMART METERING EN LAS ZONAS RURALES CON TECNOLOGÍAS DE RADIO COGNITIVA.....	55
4.1 Análisis del uso de tecnología de radio cognitiva en los espacios en blanco de televisión aplicada a Smart Metering.....	55
4.1.1 Base de Datos y Estación Base TVWS.....	55
4.1.2 CPE con tecnología de Radio Cognitiva .....	58
4.1.3 Estación Base con tecnología de Radio Cognitiva .....	59
4.2 Caracterización de la red de transporte y factibilidad técnica para la implementación de Smart Metering en las zonas rurales .....	62
4.2.1 Tasa de transmisión de cada medidor .....	63
4.2.2 Información almacenada en cada CCU .....	64
CONCLUSIONES .....	68
RECOMENDACIONES.....	70
Referencias.....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Modelo energético actual. ....	3
Figura 1.2 Ventajas y desventajas de las TIC. ....	4
Figura 1.3 Modelo conceptual de Smart Grid.....	5
Figura 1.4 Los cinco dominios de la Smart Grid. ....	6
Figura 1.5 Ejemplos de Medidores que pueden ser conectados a una red AMI .....	8
Figura 1.6 Reparto del mercado de fabricantes de contadores inteligentes .....	9
Figura 1.7 Infraestructura del sistema AMI.....	10
Figura 2.1 Estructura de un SDR. ....	20
Figura 2.2 Modelo conceptual de Radio Cognitiva. ....	23
Figura 2.3 Modelo de un sistema de Radio Cognitivo.....	25
Figura 2.4 Ejemplo de implementación de IEEE 802.22.....	26
Figura 2.5 Comparación de redes inalámbricas estándar con IEEE 802.22 RAN. ....	27
Figura 2.6 Espacios en blanco en señales de TV. ....	34
Figura 2.7 Modelo conceptual de la Base de Datos Georeferenciada.....	37
Figura 3.1 Arquitectura de Operación de Smart Metering IEEE802.22. ....	44
Figura 3.2 Estructura de las Utilidades de Oficina. ....	46
Figura 4.1 Captura de pantalla de la interfaz de administración de la WSBS. ....	56
Figura 4.2 Estación Base para Espacios en Blanco (WSBS).....	57
Figura 4.3 Arquitectura del sistema. ....	57
Figura 4.4 Prototipo de Tablet y Estación Base WLAN con TVWS.....	59
Figura 4.5 Prototipo basado en IEEE 802.22 externamente. ....	60
Figura 4.6 Prototipo basado en IEEE 802.22 internamente. ....	60
Figura 4.7 Red Multihop basado en IEEE 802.22 y IEEE 802.11af.....	61
Figura 4.8 Modulaciones soportadas por IEEE 802.22 en función de la distancia de conectividad.....	66
Figura 4.9 Comparación de disponibilidad de canales en la zona Urbana, Suburbana y Rural.....	67
Figura 4.10 Esquema simplificado de la red con radio cognitiva para Smart Metering en zona rural. ....	67



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Atribución de canales de televisión abierta.....	31
Tabla 2.2 Zonas geográficas de operación de televisión abierta.....	32
Tabla 2.3 Grupos de canales para VHF.....	33
Tabla 2.4 Grupos de canales para UHF.....	33
Tabla 3.1 Población Urbana y Rural por Provincia. ....	41
Tabla 3.2 Cobertura de servicio eléctrico por Provincia.....	42
Tabla 3.3 Cobertura de servicio por Área de concesión de las Eléctricas. ....	43
Tabla 3.4 Especificaciones para Web server y Data server. ....	52
Tabla 3.5 Capacidad de canales basados en estándar IEEE 802.22.....	53
Tabla 3.6 Áreas de las zonas consideradas no habitables en territorio continental. ....	54
Tabla 4.1 Especificaciones del prototipo CPE de NICT.....	58
Tabla 4.2 Funcionalidades y necesidades de las comunicaciones. ....	62

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I: Especificaciones Técnicas Medidor CENTRON C1S de ITRON .....	77
Anexo II: Especificaciones Técnicas del CCU 100 de ITRON .....	79
Anexo III: Especificaciones Técnicas de Repeater 100 de ITRON .....	81
Anexo IV: Catálogo Choice Connect de ITRON.....	83

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

<b>KWh</b>	Kilovatio hora
<b>Km</b>	Kilómetro
<b>KV</b>	Kilovoltio
<b>GW</b>	Gigavatio
<b>MHz</b>	Megahertz
<b>MW</b>	Megavatio
<b>dBm</b>	Decibelio-milivatio
<b>GHz</b>	Gigahertz
<b>Mbps</b>	Megabit por segundo
<b>V</b>	Voltaje
<b>I</b>	Corriente
<b>A</b>	Amperios
<b>rms</b>	Valor eficaz
<b>mW</b>	Milivatio
<b>dBi</b>	Decibelio isótropo
<b>dB</b>	Decibelios
<b>s</b>	Segundos
<b>Hz</b>	Hertz
<b>b</b>	Bits
<b>Hab</b>	Habitantes
<b>Km<sup>2</sup></b>	Kilómetro cuadrado
<b>Kbps</b>	Kilobit por segundo
<b>Kbytes</b>	Kilobytes
<b>bps</b>	Bits por segundo

# Factibilidad Técnica de Implementación de Smart Metering en Zonas Rurales con Tecnologías de Radio Cognitiva en los Espacios en Blanco de Televisión

César Humberto Guanoluisa Cruz

cesarguanoluisaupsq@msn.com

Universidad Politécnica Salesiana

*Resumen*—La medición inteligente se ha convertido en un tema de suma importancia en la actualidad y ya se establecen normativas para su implementación y se desarrollan proyectos piloto con el uso de nuevos dispositivos. Uno de los mayores problemas es la captura de datos del consumo de energía KWh, principalmente en los residenciales que se encuentran en las zonas rurales los cuales conforman una cartera importante de clientes. El método utilizado por las distribuidoras en Ecuador consiste en una lectura por parte de personal técnico en cada pantalla de medidor y posteriormente transferida hasta el departamento de facturación; todo el proceso es manual. Esto implica eventuales errores de información, poca eficiencia y pérdida de recursos. El presente documento detalla una posible solución que consiste en implementar el diseño de una red WRAN, basada en el estándar IEEE 802.22 con el uso de tecnología de radio cognitiva para la automatización de un sistema de lectura remota de los medidores por medio de comunicación vía radio frecuencia. La investigación es de tipo descriptiva con un análisis de tecnologías y equipos disponibles en la actualidad, por lo que los resultados son válidos únicamente dentro del lapso de tiempo actual y de manera generalizada para la zona objeto de estudio.

---

# Technical Feasibility of Implementing Smart Metering in Rural Areas with Cognitive Radio Technologies in the TV White Spaces

César Humberto Guanoluisa Cruz  
cesarguanoluisaupsq@msn.com  
Universidad Politécnica Salesiana

*Abstract*—Smart Metering has become a very important topic nowadays, established regulations for the implementation and construction for pilot projects they have been developed with the use of new devices. One of the biggest problems is the accuracy of the data for the energy consumption in [KWh], mainly for residential houses located in rural areas which are an important portfolio of clients. The method used by distributors in Ecuador is that a technician collects the reading in each screen of the meters and then he transferred to the billing department; the entire process is manual. That implies any informational errors, inefficiency and waste of resources. This document details a possible solution, that is to implement the design of a WRAN network based on the IEEE 802.22 standard using the cognitive radio technology for an automating a system of remote metering using radio frequency communication. The research is descriptive with an analysis of technology and equipment available nowadays, so that the results are valid only within the current period of time and generalized for the area of study.

## INTRODUCCIÓN

Las redes eléctricas son enormes tejidos que cobijan una ciudad, una provincia, un país e incluso llegan a cobijar todo un continente. Conocer el modo de consumo individual, es decir, la forma como se comporta cada una de las casas que hacen parte de este gran tejido eléctrico, es una tarea sumamente difícil y costosa con los sistemas tradicionales de medición con que operan actualmente las empresas.

Para un sistema de medida remota (Smart Metering) que permita a las empresas eléctricas hacer una lectura detallada del consumo doméstico desde un centro de control, los contadores tradicionales no están en la capacidad de realizar este tipo de mediciones, sin embargo en la actualidad es necesario un control en la pérdida técnica y no técnica de energía, un mejor conocimiento del usuario en sus hábitos de consumo y una mayor eficacia del sistema eléctrico de distribución.

Para la implementación de Smart Metering es relevante entender cómo las tecnologías de redes inteligentes pueden ser integradas con el fin de producir un sistema benéfico tanto para los proveedores de servicios públicos como para los operadores de las TIC (Tecnología de la Información y la Comunicación) y los usuarios.

La implementación de Smart Metering es necesaria y fundamental para de esta manera tener una conexión directa con todos los clientes de las zonas rurales, sin embargo la principal problemática radica en la manera y la tecnología que se utilizará para realizar dicha conexión; para lo cual en zonas rurales se podría utilizar los espacios en blanco de los canales de televisión, cuya cobertura oscila entre 60 Km a 150 Km.

Para tener una conexión directa con los usuarios surge la alternativa de uso de tecnologías de radio cognitiva en los espacios en blanco de televisión, sin embargo, es necesario analizar desde el punto de vista técnico si este método de conexión con el usuario final es el adecuado para la cantidad de información a transportar y la factibilidad técnica de su implementación para la medición inteligente de la energía eléctrica (Smart Metering).

# CAPÍTULO I

## REDES INTELIGENTES Y SMART METERING A NIVEL MUNDIAL

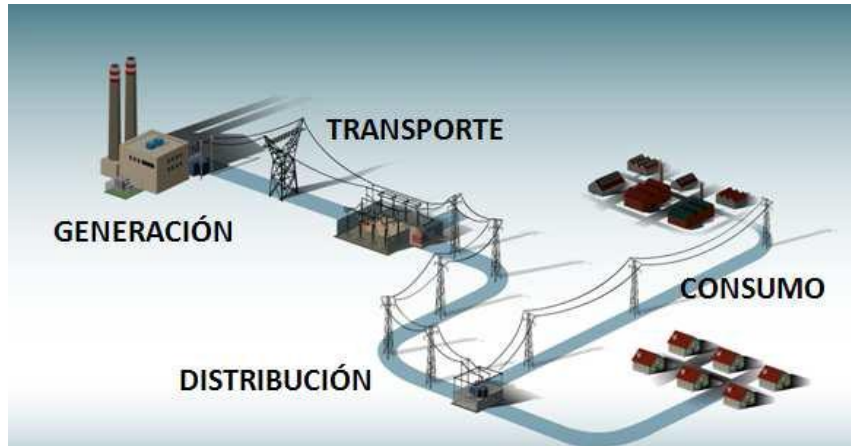
En este capítulo se tratará sobre los conceptos, estructura, y beneficios de las redes inteligentes incluyendo la conservación y eficiencia energética y del Smart Metering, así como de las dificultades y la importancia de una red inteligente en el mundo de hoy. También se discuten varios proyectos alrededor del mundo sobre la medición inteligente, sus resultados y las tendencias del Smart Metering en algunos países.

### 1.1 Redes inteligentes Smart Grid

#### 1.1.1 Sistemas eléctricos

El sector eléctrico, durante décadas y específicamente desde hace unos 70 años [1], ha continuado desarrollándose de la misma manera y basado en la misma conceptualización de líneas de transmisión y distribución eléctrica, transformadores e infraestructuras, donde la electricidad que entregan fluye unidireccionalmente desde los centros de generación (sean estos hidráulicos, térmicos, nucleares o las recientes denominadas renovables como la eólica o solar) hasta donde se encuentran los usuarios finales. Estos centros de generación, generalmente son diseñados para que su funcionamiento sea lejos de las poblaciones.

El modelo energético que tienen estos sistemas, cumple con una cadena que tiene un orden específico ver Figura 1.1. La primera etapa consiste en la generación de la energía; pasa por la etapa de transporte de energía a través de las líneas de transmisión; para luego en la etapa de distribución, la energía de las redes de media tensión (MT) es transformada a sistemas de baja tensión (BT) en los centros de transformación, para que finalmente pueda ser utilizada por el usuario final en la etapa de consumo [2].



*Figura 1.1 Modelo energético actual.*

*Fuente: (Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica/Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones), "SMART GRIDS Y LA EVOLUCIÓN DE LA RED," España, 201, p. 15.*

En este tipo de sistemas, la fiabilidad de funcionamiento depende principalmente de la reserva de energía que dispone el sistema. Es decir que, asegurando un exceso de capacidad eléctrica, se puede responder a la posible demanda de energía. Durante el transporte y la distribución eléctrica se pierde parte de la energía, es por esta razón, que en la etapa de transporte la transmisión de energía se realiza a muy alta tensión (200 KV y/o 400 KV), ya que se asegura unas pérdidas de energía menores. A medida que se acercan a los usuarios finales, se debe conseguir valores de energía dentro de la baja tensión, valores menores a los 132 KV. Esta operación se realiza en los centros de transformación utilizando transformadores, seccionadores, equipos de medición, equipos de control, etc. Los cuales deben soportar las necesidades futuras al igual que toda la infraestructura.

En los sistemas eléctricos actuales, las inversiones se basan principalmente en el seguimiento predictivo de la demanda. El sistema eléctrico prevé el consumo de energía y supervisa en tiempo real las etapas de generación y transporte con el fin de que las centrales produzcan la demanda real de los consumidores, ya que no se puede almacenar grandes cantidades de energía y tanto el consumo eléctrico como la generación deben ser iguales en todo momento. Con el avance de las tecnologías, se han realizado cambios sustanciales en la operación y mercado eléctrico en los centros de control mediante redes de comunicaciones, los cuales gestionan principalmente la red de transporte monitoreando su estado y sus parámetros eléctricos. Sin embargo en la etapa de distribución hacia el consumidor final no existen cambios notorios y queda mucho por hacer a pesar de que en el futuro serán un factor clave en las redes inteligentes [2].



### 1.1.2 Tecnologías de la Información y la Comunicación TIC

La innovación y la tecnología han cambiado radicalmente todos los sectores industriales, y el sector eléctrico no es la excepción. Las TIC ver Figura 1.2, actualmente se usan en todos los sectores de educación, salud, industria, entretenimiento, etc. Tanto que han llegado a tomar un rol muy importante en nuestra sociedad, con la implementación de las TIC, ahora se administra, transmite y se comparte la mayor cantidad de información posible en las distintas ramas de la ingeniería [3].

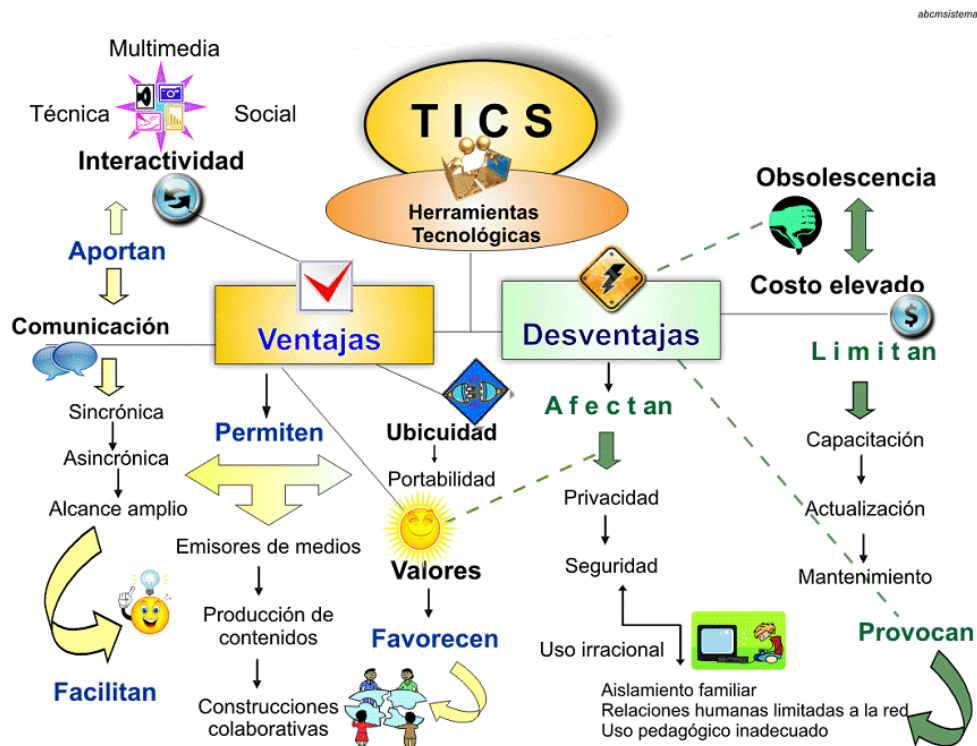


Figura 1.2 Ventajas y desventajas de las TIC.

Fuente: "Conceptos y características de las Tics." [Online]. Available: <http://tuondigital.bligoo.com.mx/conceptos-y-caracteristicas-de-las-tics#.VERApWeSwgy>. [Accessed: 19-Oct-2014].

El uso de TIC en redes eléctricas inteligentes implica la utilización de tecnología informática para la optimización de la producción y distribución de electricidad, con el fin de equilibrar de mejor manera la oferta y la demanda entre productores y consumidores. La consecución de este equilibrio puede generar unos ahorros considerables al sistema eléctrico, evitando cuantiosas pérdidas que se producen actualmente por el transporte de energía [4] [5].

### 1.1.3 Concepto y definición de Smart Grid

La nueva infraestructura eléctrica debe ser más fuerte y estable, económica y eficiente, respetuosa con el medio ambiente y segura en toda su infraestructura, ya que esto es vital para sustentar una sociedad cada vez más digital, ya que hoy en día en promedio, en una vivienda de clase media existen algunos dispositivos inteligentes (Smartphones, SmartTVs, PCs, Laptops, Tablets, etc.), y la Smart Grid tiene que integrar las tecnologías avanzadas de monitoreo y adquisición de datos, con los métodos de control y comunicaciones en la red eléctrica ver Figura 1.3 [6].

Por lo tanto la Smart Grid o red inteligente integra comunicaciones en una red eléctrica que soporta la nueva generación de energía interactiva y servicios de comunicación, y suministra electricidad de calidad digital al usuario final. Permitiendo la autogestión de incidencias como son: las desestabilizaciones, los cortes energéticos, las sobrecargas, y con la facilidad de adaptarse a la gran variedad de modalidades de generación y almacenamiento energético. Estas características potenciarán la participación activa de todos los consumidores facilitando el florecimiento de nuevos mercados.

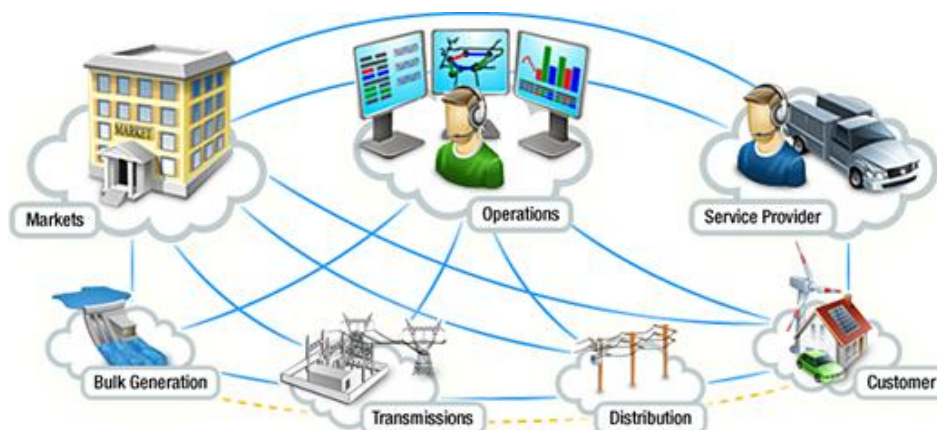


Figura 1.3 Modelo conceptual de Smart Grid.

Fuente: "Smart Grid Conceptual Framework Diagram - IEEE Smart Grid." [Online]. Available: <http://smartgrid.ieee.org/ieee-smart-grid/smart-grid-conceptual-model>. [Accessed: 15-Oct-2014].

Existen varias definiciones de Smart Grid, entre ellas las de: According to the Smart Grid Communications Task Force; The US Department of Energy; The Department of Environment, Water, Heritage and the Art of Australian Government [1], y a pesar de que no existe una definición exacta, se puede decir que la Smart Grid básicamente es un sistema de suministro eléctrico inteligente que tiene integrado moderna tecnología digital que proporciona información en tiempo real y bidireccional de tal manera que el sistema es

eficiente, seguro y fiable trayendo consigo beneficios tanto para las empresas generadoras como para los consumidores. El Smart Grid combina infraestructura eléctrica con las TIC.

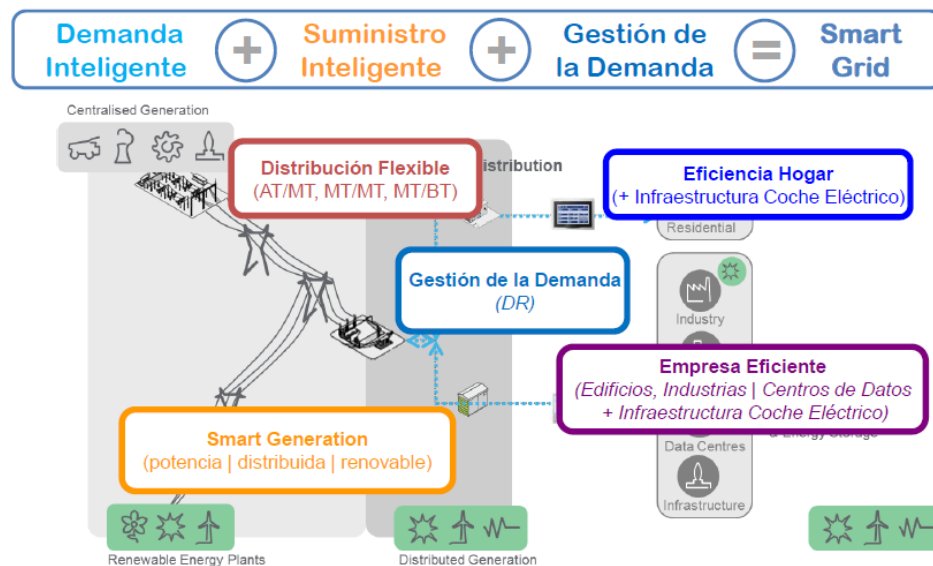


Figura 1.4 Los cinco dominios de la Smart Grid.

Fuente: (MEER/Programa de Redes Inteligentes Ecuador), "Redes Inteligentes y Generación Distribuida," Galapagos, 2013, p. 8.

Ver Figura 1.4 y observar los cinco dominios de una Red Inteligente, los cuales permitirán alcanzar mayor cantidad de objetivos medioambientales, integrar porcentajes crecientes de energías no gestionables como las renovables eólicas o solar y además soportar la conexión de vehículos eléctricos puros o híbridos. En definitiva, la infraestructura de una Smart Grid debe estar diseñada para obtener una demanda inteligente, que suministre energía inteligentemente y que además permita la gestión de la misma [7].

## 1.2 Smart Metering

La medición de parámetros en sistemas eléctricos, hidráulicos, mecánicos, etc. se han visto afectados debido a los avances tecnológicos y a los nuevos requerimientos para la medición de estos. En la actualidad se requiere realizar mediciones en tiempo real y discriminación horaria y además se requiere de comunicación bidireccional, es decir enviar y recibir información en los diferentes sistemas. Esta nueva forma de medir se denomina Smart Metering o medición inteligente, y consiste en realizar el proceso de medición por el cual se cuantifica y transmite en tiempo real la información de las cantidades de energía consumidas o producidas para su gestión si la medición es principalmente como energía

eléctrica, y si la medición se realiza en el caso de gas u otro recurso como agua o fluido calo portador entonces se denomina Submetering [4]. El Smart Metering se ha convertido en una brillante solución que permitirá a los clientes reducir su consumo y ahorrar sus costos energéticos mediante la implementación de tres fases primordiales en su estructura. Estas son: Instalación de medidores inteligentes, implementación de dispositivos de control y desarrollar enlaces de comunicación. La tendencia es implementar estos sistemas inteligentes alrededor de todo el mundo, para ello se han puesto en marcha grandes proyectos energéticos donde sus resultados, tendencias y avances tecnológicos se discuten entre los países involucrados.

### **1.2.1 Medidores Inteligentes**

El Medidor Inteligente (Smart Meter) se constituye en el elemento principal de los sistemas de medición inteligente y gracias a los avances de la electrónica y telecomunicaciones ahora tiene mayores prestaciones y servicios que los medidores electromecánicos convencionales de estado sólido.

El Smart Meter mide el consumo de energía de la misma manera que un contador tradicional, pero tiene la capacidad de comunicarse permitiendo que los datos sean leídos remotamente para mostrarlos en un dispositivo dentro del predio o transmitirlos hacia el exterior de forma segura, es decir, que eliminan la necesidad de la lectura del medidor manualmente y garantizan la exactitud en los valores de las facturas. El medidor inteligente también puede recibir información de forma remota, por ejemplo, para actualizar información sobre las tarifas o cambiar el tipo de consumo a modo de prepago.

Según las funcionalidades o servicios que aportan los medidores inteligentes se dividen en dos grandes grupos.

El primer grupo es el de los Medidores de Lectura Automática, AMR (Automatic Meter Reading), son medidores habilitados para la tele-medida, y se consideran como los medidores inteligentes de primera generación. El medidor es un elemento pasivo con comunicación unidireccional, y permite la lectura de la energía de manera remota con el único fin de utilizar los datos a efectos de facturación o seguimiento solamente. Estos medidores están en operación desde hace aproximadamente 20 años, por lo que su evolución es inminente para los nuevos requerimientos en Smart Metering, puesto que se plantean operaciones de tele-gestión por parte de las empresas de servicios públicos con el

fin de realizar determinadas acciones de control como cortes o reconexiones del suministro eléctrico entre otras cosas.

El segundo grupo de medidores inteligentes, concierne a los de tecnología de Infraestructura de Medición Avanzada, AMI (Advanced Metering Infrastructure), que supera el alcance de los AMR, ya que este medidor inteligente puede ser leído y gestionado de manera remota mediante una comunicación bidireccional, permitiendo el intercambio de información entre el usuario y el proveedor del servicio eléctrico a través del medidor inteligente que está instalado en su domicilio. Además proporciona mayor cantidad de información y parámetros eléctricos que son utilizados para realizar análisis e informes de ingeniería avanzada.

Ver Figura 1.5 y observar algunos ejemplos de medidores inteligentes AMI.



Figura 1.5 Ejemplos de Medidores que pueden ser conectados a una red AMI  
Fuente: (NYISO Symposium), "The Future is Now: Energy Efficiency, Demand Response and Advanced Metering," 2007, p. 89.

Ver Figura 1.5 donde muestra los medidores eléctricos de avanzada que registran el consumo de energía en intervalos de una hora o menos y transmiten esta información por lo menos una vez cada 24 horas a través de la red de comunicación a la empresa de servicios con el fin de facturación y/o monitoreo [8].

Las compañías: Landis & Gyr, Itron y Sensus, son las principales proveedoras de Medidores inteligentes, aunque de ellos solamente Landis & Gyr y Itron operan en las tres áreas del AMI. Ver Figura 1.6.

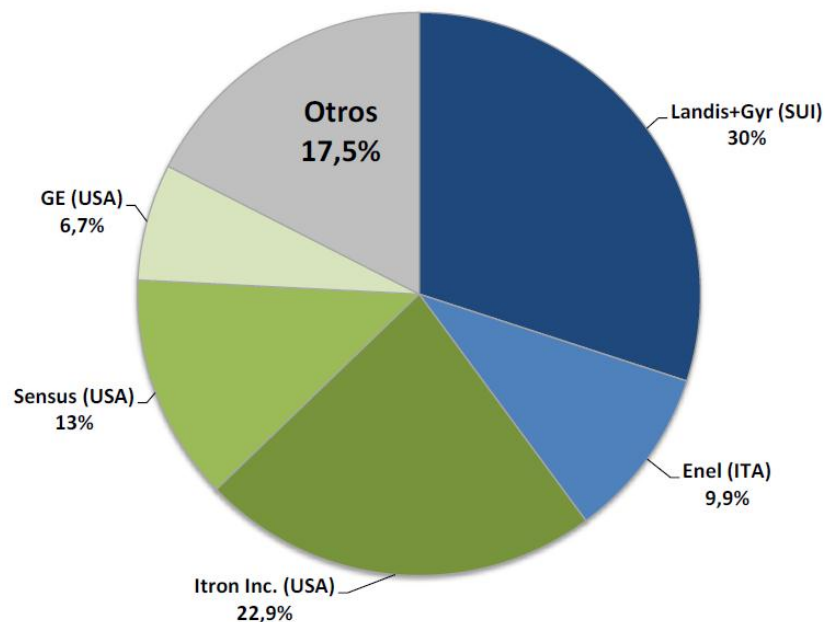


Figura 1.6 Reparto del mercado de fabricantes de contadores inteligentes  
Fuente: (FUNSEAM/CITCEA-Universitat Politècnica de Catalunya), "Smart Grids : Tecnologías prioritarias," Catalunya, 2013, p. 17.

Entre las posibles funcionalidades de los Smart Meters AMI destacan las siguientes:

- Medir el flujo de energía en ambos sentidos, por lo que puede emplearse tanto para medir generación como consumo.
- Medir potencia activa y potencia reactiva.
- Registrar medidas en breves intervalos de tiempo (rondando los 5 minutos), de manera que se pueden analizar los hábitos de consumo de los clientes.
- Recibir señales desde el centro de control de la distribuidora y enviar los datos a éste. De este modo, se evita enviar a un operario para la lectura del contador, y permite cambiar la potencia contratada de manera remota, sin tener que cambiar físicamente el elemento de control de potencia del consumidor.
- Gestionar eventos y alarmas, ya sean generados por el contador o no. Así, se puede detectar si el contador está conectado, etc.

### 1.2.2 Infraestructura del sistema de medición inteligente AMI

El sistema de medición inteligente AMI consiste en tres componentes principales en su infraestructura, ver Figura 1.7 donde se indica estos componentes los cuales son: Componentes de Campo, Componentes de Comunicaciones y Los Componentes de Back Office [9].



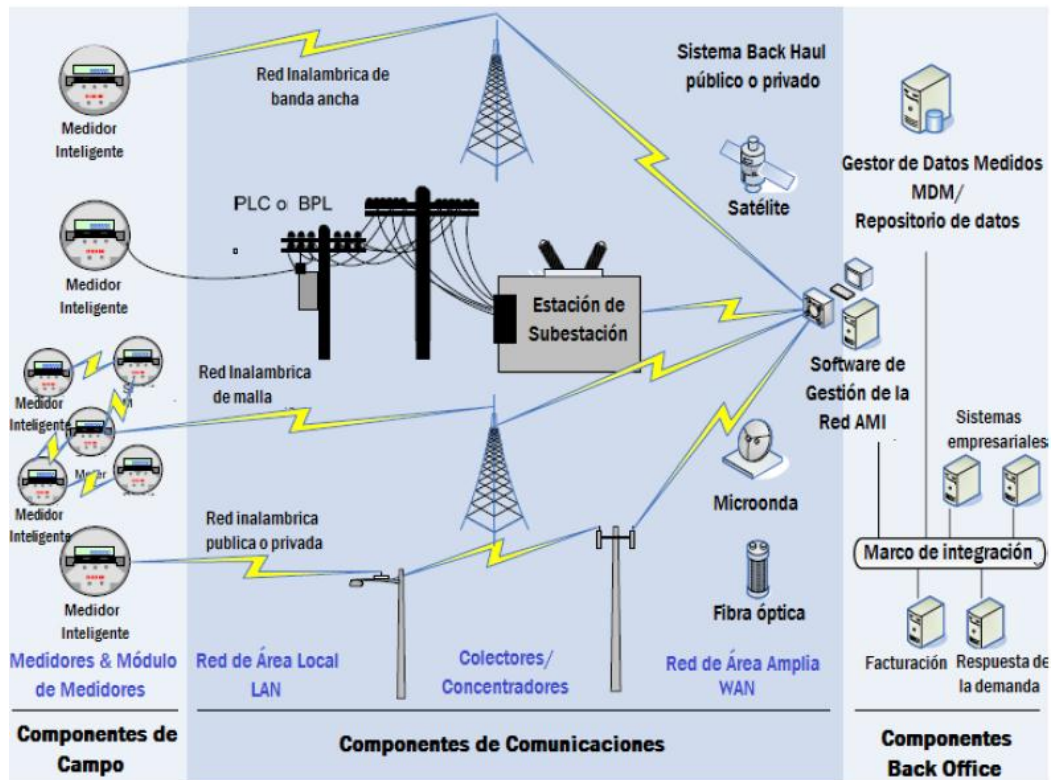


Figura 1.7 Infraestructura del sistema AMI

Fuente: M. Coronel, "Estudio para la implementación del sistema de infraestructura de medición avanzada (AMI) en la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.," UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA, 2011, p. 64.

### a) Componentes de Campo

Los dispositivos que se consideran dentro de este campo son los Smart Meters así como los Concentradores de Datos o Puertas de Enlace (Gateway), a estos últimos se los conoce como cabeceras (head-end). Los medidores inteligentes se encargan de realizar la medición en el lugar donde se encuentra el domicilio del usuario, y estos de manera programada o cuando se requiera transmiten la información registrada a un concentrador de datos o Gateway que por lo general están ubicados en las subestaciones y/o en los transformadores de distribución. Estos concentradores son equipos con una mayor capacidad de almacenamiento de información y pueden recolectar la información de varios medidores inteligentes, para luego transmitir la información obtenida a través de la red de comunicación hacia la empresa de servicios.

La recolección de datos se realiza en intervalos de tiempo determinados de quince o sesenta minutos, cuando la recolección programada ha fallado, la cabecera puede reprogramarse de manera automática para reintentar recolectar nuevamente la información

de los Smart Meters. Así mismo, las cabeceras se encargan del enrutamiento de la información de los eventos de los medidores inteligentes, la configuración remota de los mismos y principalmente la gestión de las sesiones de comunicación.

Existe en el mercado una amplia gama de concentradores de datos, los cuales tiene un sin número de características dependiendo del fabricante, pero entre las más importantes tenemos las siguientes:

- Detecta automáticamente nuevos medidores inteligentes conectados a la red durante su instalación.
- Son resistentes y robustos para su instalación a la intemperie por lo que se pueden instalar en cualquier punto de la red de distribución.
- Monitorea, recolecta y transmite la información de los medidores incluyendo su buen funcionamiento así como datos de consumo y parámetros eléctricos adicionales.
- El firmware se puede actualizar de manera remota.
- Comprime los datos con el fin de reducir el uso del ancho de banda para la comunicación por cable o inalámbricamente en protocolos IP.
- Garantiza la privacidad de información ya que tienen seguridad cifrada de datos.
- Soporte de tecnologías y medios de comunicación.
- Mantiene la fecha y hora exacta.

#### ***b) Componentes de Comunicación***

Para el intercambio de la información entre el usuario y la empresa de servicio eléctrico es necesario una red de comunicación AMI, la cual puede constar de varios medios y tecnologías diferentes incluso redes de comunicación híbridas para la transmisión de datos como por ejemplo: fibra óptica, microondas, redes inalámbricas, etc. Siendo las más utilizadas en Smart Metering las siguientes [10]:

- **Red Inalámbrica (Wireless Network):** La principal ventaja de estas tecnologías están en el ahorro que estas representan al no tener que realizar el cableado para las conexiones de los nodos de comunicación, permitiendo una mayor libertad en el movimiento de los nodos conectados, de tal forma que la transmisión de datos se realiza sin la necesidad de conexiones físicas vía internet de alta velocidad. Así mismo permiten un gran alcance dependiendo de la potencia de la base transmisora y



la conexión de una gran cantidad de dispositivos a la red. El punto bajo de esta tecnología radica en su seguridad, ya que posee niveles muy bajos de seguridad, y las señales pueden verse afectadas por objetos, arboles, paredes, etc. Incluso puede verse afectada por otras ondas electromagnéticas o aparatos electrónicos cercanos. Su velocidad de transmisión de datos es menor en comparación con una red cableada ya que su ancho de banda es menor.

- **Red PLC (Power Line Communications):** Esta tecnología permite el acceso a internet de banda ancha utilizando las líneas eléctricas convencionales, ya que convierte la línea eléctrica tradicional en una línea digital de alta velocidad, permitiendo transmitir las señales de radio habilitando la comunicación de datos en la red eléctrica. A esta red no le afectan los obstáculos y su ancho de banda es mayor que el de una red inalámbrica, pero al igual que esta, la velocidad de conexión se divide entre todos los dispositivos conectados. En ocasiones pueden presentarse problemas de conectividad o interferencias, ya que, se utiliza un medio de transmisión diseñado con propósitos distintos de la transmisión de datos.
- **Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (Global System for Mobile communications, GSM):** Esta tecnología digital utiliza un sistema estándar completamente definido a través de teléfonos móviles, el cual por ser digital, permite al usuario navegar por internet. La red GSM tiene una cobertura extensa ya que cuenta con un espectro armonizado lo que permite su uso generalizado en todo el mundo, por esta razón se puede implementar en empresas de servicio eléctrico que no disponen de una infraestructura de comunicación propia, y en donde es necesaria la transmisión de datos AMI; sin embargo, su ancho de banda podría tornarse lento si varios dispositivos comparten el mismo ancho de banda, y esto puede ocasionar interferencias en la transmisión de datos. Así mismo, esta tecnología podría ocasionar problemas a determinados dispositivos electrónicos debido a que utiliza tecnología de pulso-transmisión.
- **Red de Retorno (Backhaul):** Esta red permite la conexión entre los equipos de telecomunicaciones encargados de realizar el tráfico de información en las redes de datos, redes de telefonía celular, otros tipos de redes de comunicación y para interconectar redes entre si utilizando diferentes tipos de tecnologías alámbricas o

inalámbricas. Esta red tiene una gran flexibilidad ya que soporta las redes tradicionales de transporte tales como el 2G y 3G, así como las tecnologías futuras como por ejemplo el 4G LTE (Long Term Evolution).

### ***c) Componentes de Back Office (Gestión Empresarial)***

El objetivo principal del sistema de gestión empresarial consiste en una óptima administración de los datos AMI que fueron recolectados desde el medidor inteligente al concentrador de datos y transmitidos a la red mediante la infraestructura de telecomunicaciones de la empresa de servicio eléctrico, permitiendo así, todas las funcionalidades de AMI de tal manera que permite nuevas aplicaciones inteligentes para el cliente y el proveedor del servicio eléctrico. Mediante un Software de Gestión que es parte primordial del sistema, se realizan varias actividades de control y monitoreo de la información tales como la automatización del proceso de lectura de los medidores y el control a distancia de corte y reconexión de los mismos.

Actualmente, debido a la gran demanda de medidores inteligentes en determinadas áreas geográficas, la provisión del sistema de Gestión Empresarial AMI, incluye el Software de Gestión y la Plataforma MDM (Meter Data Management), los cuales permiten implementar las soluciones AMI de acuerdo a los requisitos de la empresa de servicios y a las capacidades de soluciones inteligentes que ofrezcan.

## **1.3 Proyectos a nivel mundial**

Muchos países alrededor del mundo están dispuestos a invertir en proyectos de redes inteligentes. Existen una gran cantidad de proyectos importantes y proyectos piloto sobre Smart Metering en algunos países con el fin de lograr eficiencia y conservación de energía. A continuación se muestra el resumen de varios proyectos [2].

### **1.3.1 Smart Metering en Italia**

Antes de iniciar con los proyectos de medición inteligente, Italia tenía el costo más elevado en consumo de energía que de otros países europeos. El precio de la electricidad también era elevado. Se necesitaba un sistema eficiente para la conservación de la energía, así como para la detección de fraudes con el fin de minimizar el costo de la electricidad y reducir las emisiones de carbono. El estado a través de ENEL [11], instaló 30 millones de medidores inteligentes en un lapso de cinco años, desde el año 2000 hasta el 2005. El costo

total fue de aproximadamente 70 euros por casa. Los ahorros que ENEL tiene son de 500 millones de euros al año aproximadamente y la inversión total será pagada a finales de esta década. El consumo total de energía de los hogares ha caído en un 5 % como resultado del cambio (en oposición al aumento de alrededor del 1.5 % al año en el Reino Unido). Los medidores inteligentes han proporcionado más características al sistema eléctrico, incluyendo el corte y reconexión de la demanda, la facturación remota, la detección interrupción del servicio así como fraudes. Así mismo, se han creado nuevos planes prepago para los clientes. Utilizando la tecnología PLC y basados en los estándares de Echelon Corporation, para transmitir los datos a una oficina central, Italia ha mostrado un buen ejemplo al mundo en cuanto al ahorro de energía se refiere, mediante la implementación de la medición inteligente.

### **1.3.2 Smart Metering en Estados Unidos**

California es el principal estado en EE.UU. donde se utilizan los medidores inteligentes a gran escala. Estos experimentan una gran demanda de energía en verano por alrededor de 50 a 100 horas por año. Y la razón principal está en el consumo de energía para el aire acondicionado. Por esta razón fue necesario un sistema eficiente de energía para reducir esta demanda en cierta medida. Antes de regulación energética de California del norte aprobaron un proyecto para instalar 9 millones de Smart Meters con la compañía Pacific Gas and Electric (PG & E) en 2006. Con el uso de estos medidores se pudo obtener el consumo eléctrico de cada hogar en una base horaria que permitió a PG & E fijar precios que variaban según la estación y la hora del día, premiando a los usuarios que cambiaban el uso de energía a los periodos de poca actividad.

La Comisión de Servicios Públicos de California aprobó una oferta para la implementación de Smart Meters por 1.7 billones de dólares a la empresa PG & E. Esto ha permitido seguir adelante con inversiones importantes en la implementación de medición inteligente con el fin de lograr la eficiencia y conservación de energía eléctrica. Así como una respuesta rápida a los cortes de energía restaurando el servicio de una manera ágil y rápida debido a los mensajes de los servicios de consumo que envía el medidor inteligente. Los clientes pueden controlar sus patrones de consumo online y mejorar la gestión de su uso. El usuario es muy consciente de los sistemas de tarifas y de la adopción de medidas para ahorrar su consumo energético al cambiar el uso de la energía en horas pico. Una gran

cantidad de empresas en EE.UU. están dispuestas a utilizar medidores inteligentes, sin embargo, el proyecto más importante es el de PG & E en 2010.

El Departamento de Agua y Energía de Los Ángeles que es el servicio municipal más grande de EEUU; ha decidido ampliar su medición AMI. Los comercios y clientes industriales optan por la medición AMI para ahorrar el consumo en sus facturas, ya que pueden ajustar sus niveles de consumo con los datos proporcionados por los Smart Meters. Últimamente esto ha causado la reducción del consumo en la factura mensual de electricidad, así como de las emisiones de carbono.

Austin Energy que facilita la electricidad a 400 mil clientes comenzó a desplegar una malla de red Radio Frecuencia (RF) de dos vías en 2008. La cobertura estimada de dicha red era de aproximadamente 260 mil medidores inteligentes. Oncor Electric Delivery utiliza sistemas de medición avanzada que soportan una transmisión de datos en intervalos de 15 minutos, desconexiones remotas y una red de área local. Este sistema proporciona mensajes de texto, indicadores de precios y control de carga para usuarios residenciales a través de los Smart Meters.

### **1.3.3 Smart Metering en Canadá**

El proyecto de Smart Meters en Ontario ha sido calificado como exitoso en Canadá. Las personas que cuentan de medidores inteligentes se les cobran las tarifas usando una escala móvil basada en el uso de energía durante el día. Los precios van desde un máximo de 9.3 centavos de dólar por KWh a una baja de 2.9 centavos de dólar por KWh. Costaría mucho menos utilizar los electrodomésticos grandes después de las diez de la noche en el verano, usar el aire acondicionado menos durante las tardes, Lavar la ropa únicamente los fines de semana también permiten ahorrar dinero. El Consejo de Energía de Ontario dijo que los costos de consumo energético se recuperarán en el transcurso del tiempo. El Consejo estimó que el costo para instalar medidores inteligentes en toda la provincia superará el 1 billón de dólares. Esto implica un aumento de entre uno y cuatro dólares al mes a la factura eléctrica media.

### **1.3.4 Smart Metering en Reino Unido**

En el Reino Unido la mayoría de los medidores convencionales han sido sustituidos por los inteligentes. Esto fue considerado como el proyecto más grande jamás realizado que

implica 27 millones de clientes residenciales. Más del 40 % de los beneficios son identificados en negocios donde los ahorros de tarifas se logran a través del tiempo de uso. Los defensores de este proyecto dijeron que las ventajas a los operadores del sistema se darán en términos de ahorros de carbón.

### **1.3.5 Smart Metering en China**

Actualmente China está invirtiendo en gran escala en la expansión de la infraestructura de la energía nacional para que coincida con el rápido aumento de la demanda debido a su crecimiento económico muy rápido y un rápido desarrollo de sus tecnologías. Por otro lado, tienen una distribución geográfica irregular de generación de energía y de consumo. La State Grid Corporation of China está involucrada en la construcción de redes inteligentes. La empresa adquirió el 70 % de los 17.4 millones de unidades de medidores inteligentes enviados en todo el mundo en el primer trimestre de 2011. De acuerdo con los objetivos del gobierno, China va a producir más de 300 millones de contadores inteligentes los próximos 5 años. La mayor parte de la energía de China (alrededor del 70 %) es generada por el carbón orgánico, por lo tanto, el gobierno ha comenzado a desplazar la demanda de energía por fuentes renovables.

La meta es alcanzar el 15 % de la oferta total de energía mediante el uso de fuentes de energía renovables para el año 2020. Se apunta hacia la energía solar y eólica. China apoya el desarrollo de una eólica nacional y un centro de investigación solar. Las emisiones de dióxido de carbono se reducirán en 10.5 millones de toneladas en los próximos 10 años. Así mismo ha declarado que las emisiones de carbono por unidad de producto interno bruto (PIB) se reducirán de un 40 % a un 50 % desde el año 2008 hasta el año 2020. El gobierno también ha facilitado el desarrollo de autos eléctricos. La red eléctrica vieja será reemplazada por una Smart Grid y la primera ciudad verde del mundo también se está construyendo en China.

### **1.3.6 Smart Metering en Japón**

Japón ya implementó la Smart Grid, que implica y compromete a las comunidades en todo el estado. Ahora se ha convertido en un socio ideal para el desarrollo de Smart Grids y ha recibido un reconocimiento internacional. El desarrollo económico, reducción en el costo de energía, mejora en la fiabilidad de la red eléctrica, y más calidad del medio

ambiente se lograra a través de la Smart Grid.

En 2009, el gobierno Japonés explicó que iban a reducir las emisiones de carbono en un 75 % de las de 1990 o dos tercios de las de 2005. Teniendo que suministrar 28 GW y 53 GW de energía fotovoltaica a la red en 2020 y 2030 para reducir las emisiones de carbono. Por lo tanto, tres comisiones de estudio han sido creadas desde el año 2008 por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria.

Después del tsunami y el desastre de Fukushima, Japón se enfrentó a los apagones y escasez de oferta energética. A partir de entonces la Compañía de Energía Eléctrica de Tokio comenzó a suministrar Smart Meters a 10 millones de clientes. Redes a gran escala serán desarrolladas a futuro, capaces de manejar potencia como el internet maneja datos.

## CAPÍTULO II

### ANÁLISIS TÉCNICO DE LA RADIO COGNITIVA Y LOS ESPACIOS EN BLANCO DE TELEVISIÓN

En este capítulo se trata sobre el tema central de la tesis; la Radio Cognitiva, donde se define su concepto, sus principales funciones y además se realiza un breve informe de sus principales características y las tecnologías que utiliza. Así mismo, se da un breve resumen para entender en qué consiste y la definición de los espacios en blanco (White Spaces) del espectro radioeléctrico de televisión abierta.

#### 2.1 Características técnicas de operación de Radio Cognitiva

El crecimiento constante de las tecnologías de radio en los últimos años ha obligado a buscar nuevas maneras de optimizar el uso del espectro radioeléctrico. Está claro que el uso del espectro actualmente no es el más eficiente, por lo que se han planteado nuevas tecnologías que permitan hacer uso del espectro eficientemente.

Sabemos que los Organismos Internacionales reciben fuertes presiones de los mercados para establecer normalizaciones a tiempo, pero a su vez deben mantener la flexibilidad suficiente para permitir la innovación tecnológica y la creatividad de los departamentos de Investigación y Desarrollo de las empresas; mientras que de su parte, los operadores tienen intereses cada vez más “globalizados” y los fabricantes de terminales desearían que los nuevos sistemas tuvieran una aplicación universal, para evitar la fragmentación del mercado y poder ofrecer un servicio utilizable en cualquier región del mundo.

Hasta ahora, estas exigencias han tenido un carácter contradictorio y los esfuerzos de una normalización mundial han fracasado en su mayor parte. Sin embargo, para poder considerar la integración de múltiples arquitecturas de comunicaciones no sólo se debe tomar en cuenta el nivel de hardware sino también la parte de software que establece los pasos a seguir para realizar una comunicación.

Los protocolos o pila de protocolos en las capas superiores del modelo OSI (Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos) por sus siglas en inglés; permiten la comunicación y el entendimiento de la misma en una comunicación de datos. La comunicación de la capa física a nivel hardware, hasta la capa de aplicación (software) está directamente ligada y es imposible pasar de un nivel al otro sin requerir de servicios y funciones los cuales se

encuentran dentro de las capas intermedias.

Así como en su momento no fue posible establecer una norma única para la televisión a color, ni para la TV Digital Terrestre entre EU, Europa y Japón, así como para la telefonía celular de segunda generación en Europa y otros países (GSM) son incompatibles con el empleado en EU y demás países de su órbita de influencia tecnológica.

Desde la creación y evolución constante de normas para 2.5G, 3G, existe una gran incompatibilidad entre tecnologías de redes inalámbricas utilizadas por diferentes países. Desde una perspectiva comercial y global, este problema inhibe el uso de servicios de roaming y otras facilidades por lo que esta es una de las grandes oportunidades de SDR (Radio Definido por Software), ya que el aspecto económico es de suma importancia, para la integración transparente de diversas arquitecturas de comunicación.

En los noventa el desarrollo de la SDR; hasta la primera década del 2000 ha permitido que la tecnología de Radio Cognitiva empiece a tomar fuerza en varios sistemas de comunicaciones.

### **2.1.1 Radio Definida por Software SDR**

El término “Radio Definido por Software” fue acuñado por Joe Mitola en 1991 para referirse a “radios” reconfigurables. Es decir, una misma pieza de hardware capaz de realizar diferentes funciones en diferente tiempo. De esta manera plantea el hecho de contar con un dispositivo de hardware de “propósito general” en el ámbito de comunicaciones. Este concepto ha logrado abrir un amplio panorama de oportunidades para la industria de las comunicaciones y la investigación en ese mismo sentido.

Por lo tanto se puede definir al SDR como una radio sustancialmente definida por un software de control el cual provee técnicas de modulación, operaciones de banda angosta y banda ancha, funciones de seguridad en comunicaciones y requerimientos de forma de onda y cuyo comportamiento en la capa física del modelo OSI puede ser considerablemente alterado a través de cambios en su software. Es decir que los componentes que se han implementado por hardware (por ejemplo, mezcladores, filtros, amplificadores, moduladores, demoduladores, detectores, etc.) ahora se implementarán utilizando software en una computadora u otros dispositivos.



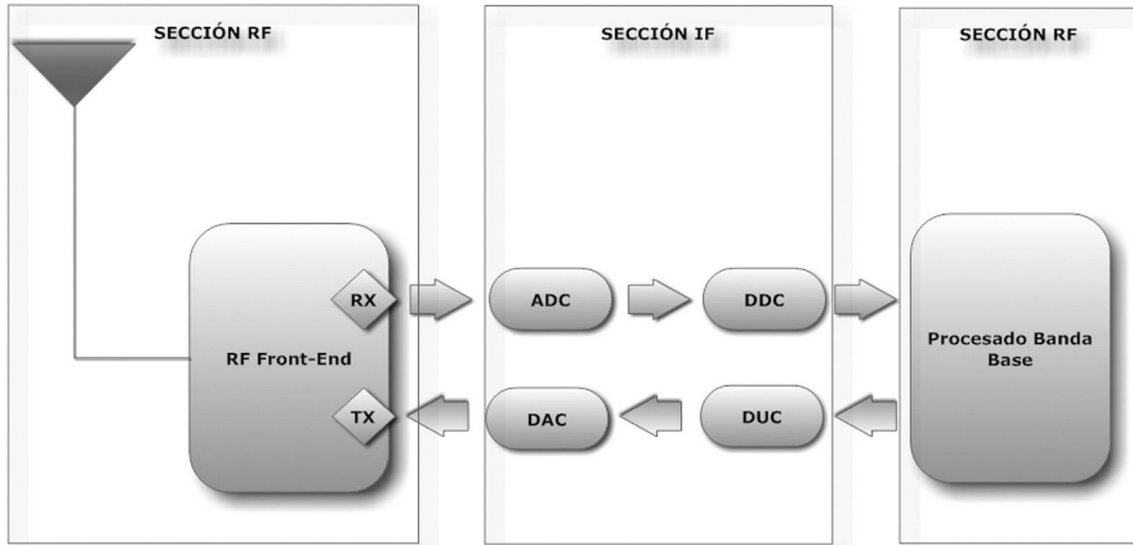


Figura 2.1 Estructura de un SDR.

Fuente: A. Renter, "Radio cognitiva – Estado del arte," *Rev. Sist. y Telemática*, vol. 9, no. 16, pp. 34, 2011.

El SDR realiza la conversión de la señal análoga a digital en la etapa de Frecuencia Intermedia (IF), tras un filtrado selectivo. La estructura básica de un sistema SDR se compone de tres bloques o etapas, tal y como se muestra en la Figura 2.1. La etapa de RF se encarga de transmitir/recibir las señales de radiofrecuencia para, en el caso de recepción, adecuarlas y convertirlas a frecuencia intermedia o bien, en el caso de transmisión, amplificar y modular las señales de IF adecuándolas para su posterior transmisión vía radio.

El SDR pretende sustituir todas las funciones analógicas por funciones digitales, teniendo como objetivo final conectar un equipo totalmente digital a la antena que hace de interfaz con el aire. Este objetivo final es difícil de implementar debido a las limitaciones tecnológicas, principalmente porque los convertidores ADC (analógico digitales) no trabajan en las bandas de radiofrecuencia y carecen del ancho de banda adecuado. Ya que las realizaciones habituales tienen una sección de radiofrecuencia, y el muestreo de la señal se hace a una frecuencia más baja.

El proyecto militar estadounidense SpeakEasy, fue la primera implementación conocida del concepto SDR cuyo objetivo principal era establecer más de diez tipos de tecnologías de telecomunicaciones inalámbricas (las más usadas por el ejército americano) en un solo equipo programable, que operaría en un rango de frecuencias desde los 2 MHz hasta los 200 MHz. Logrando sustituir 750.000 equipos por 180.000 SDR. Dicho proyecto empezó en 1991 y sólo en 1995 fue posible lograr todos los objetivos planteados. Incluyendo la

posibilidad de actualizar su código para así tener en cuenta posibles futuros estándares. Sin embargo, en el proyecto inicial sólo se podía mantener una comunicación a la vez, por lo cual se modificó y se planteó una segunda fase del mismo, en la que se trabajaron aspectos como la disminución de peso y coste, el incremento de la capacidad de procesamiento, la simultaneidad de comunicaciones y el diseño basado en software libre.

Actualmente, un grupo independiente conocido como el SDR Forum (Software Defined Radio Forum), formado por la industria, científicos, ingenieros y organismos reguladores, es el encargado de dirigir el desarrollo de la tecnología SDR. Desde el punto de vista técnico, se considera que SDR es una buena alternativa para la integración y convergencia de tecnologías inalámbricas, pero su implementación comercial aun impone ciertos retos, sobre todo de tipo económico, por los costos de los equipos necesarios. Sin embargo, los avances tecnológicos a corto plazo, sobretodo en el campo de la microelectrónica; harán posible que los estándares puedan adoptarlo y crear así un verdadero soporte de capa física para la convergencia y la interoperabilidad, lo cual hará posible ir hacia un nivel superior del concepto SDR mediante la Radio Cognitiva [12].

### **2.1.2 Radio Cognitiva**

La Radio Cognitiva (CR) por sus siglas en inglés, es la convergencia de muchos equipos que tienen acceso a redes computacionales locales e inalámbricas. La Radio Cognitiva ofrece beneficios a los usuarios ya que es un smart radio capaz de utilizar su capacidad de Radio Cognitiva de manera óptima para interactuar con el medio ambiente que la rodea, empleando el aprendizaje sobre el medio ambiente y utilizando el conocimiento aprendido para mejorar la comunicación, de esta forma ofrece diversas aplicaciones en diferentes sectores para ayudarnos a realizar diferentes tareas, facilitando nuestra vida diaria [13].

La Radio Cognitiva puede interpretarse de distintas formas, en un inicio se pensó como una ampliación del Radio Definido por Software, también llamada “Radio Cognitiva completa”. Más adelante, se pensó que podía basarse en aplicaciones del SDR. Estas interpretaciones no son incorrectas ya que se puede evolucionar de un SDR a una CR, y por tanto basarse en sus aplicaciones, lo cierto es que ésta también puede manejarse como un tema completamente independiente, ya que, no necesariamente depende del SDR, sino de cómo se implementé.

La CR es una forma de la comunicación inalámbrica en la que un transceptor inteligente

puede detectar los canales de comunicación que se están utilizando y los que no se están utilizando, y al instante pasar a los canales no empleados, evitando al mismo tiempo los ocupados. Esto optimiza el uso del espectro de radio frecuencia (RF) y la posibilidad de reducir al mínimo la interferencia a otros usuarios.

La Radio Cognitiva es un paradigma de la comunicación inalámbrica en la cual tanto las redes como los mismos nodos inalámbricos cambian los parámetros particulares de transmisión o de recepción para ejecutar su cometido de forma eficiente sin interferir con los usuarios autorizados. Esta alteración de parámetros está basada en la observación de varios factores del entorno interno y externo de la CR, tales como el espectro de radiofrecuencia, el comportamiento del usuario y el estado de la red.

Existen varios tipos de Radio Cognitiva, las cuales dependen del conjunto de parámetros que se tienen en consideración a la hora de tomar decisiones sobre la alteración de la transmisión y recepción o bien dependiendo de las partes del espectro disponibles para la Radio Cognitiva; estos son:

- **Radio Cognitiva completa o “Radio de Mitola”.-** Cualquier parámetro observado en un nodo inalámbrico y/o una red se tiene en cuenta a la hora de tomar decisiones sobre el cambio de parámetros de transmisión y/o recepción.
- **Radio Cognitiva detectora del espectro.-** Es un caso especial de la radio completamente cognitiva en la cual sólo se observa el espectro de radiofrecuencia.
- **Radio Cognitiva de banda bajo licencia.-** Cuando la Radio Cognitiva es capaz de usar bandas asignadas a usuarios bajo licencia, además de la utilización de bandas de libre uso como la banda UNII o la banda ISM. Uno de los sistemas similares a la Radio Cognitiva de banda bajo licencia es la especificación IEEE 802.15.
- **Radio Cognitiva de banda de libre acceso.-** Cuando la Radio Cognitiva sólo puede utilizar las partes de libre acceso del espectro de radiofrecuencia. Un ejemplo de este tipo de radio es la IEEE 802.19.

Algunas de las aplicaciones y características de la CR detectora de espectro incluyen las redes de emergencia y el aumento de la capacidad de las redes WLAN así como la ampliación de la distancia de la transmisión. Al actualizar total o parcialmente el hardware en sus equipos, a través de la alteración de programas informáticos, puede:

- Reducir la necesidad de sustitución del hardware.
- Menor fabricación de hardware, sustitución, costo y mano de obra.
- Facilitar la disponibilidad de las aplicaciones.
- Reducir la complejidad de hardware.
- Eliminar la cadena de hardware redundante.
- Percibir el entorno en el que opera, mediante técnicas de spectrum sensing.
- Poseer conciencia de dicho entorno, así como de sus propias capacidades y recursos.
- Variar y adaptar, de forma inteligente, sus parámetros de transmisión/recepción.
- Poder actuar tanto de transmisor como de receptor, de forma autónoma.

Con el amplio despliegue de la CR, cada nodo puede también ser capaz de descargar actualizaciones de software de nodos vecinos. Ellos pueden colaborar entre sí para compartir recursos, hardware, software [12].

### 2.1.3 Arquitectura de Radio Cognitiva

La arquitectura del sistema de CR es una plataforma independiente, definida por un paquete de algoritmos mediante software, llamado motor cognitivo, con una interfaz general de radio. Dentro del motor cognitivo los módulos funcionales son diferentes y están definidos para tener en cuenta las capacidades cognitivas como conciencia, razonamiento, creación de soluciones óptimas y control adaptable del radio.

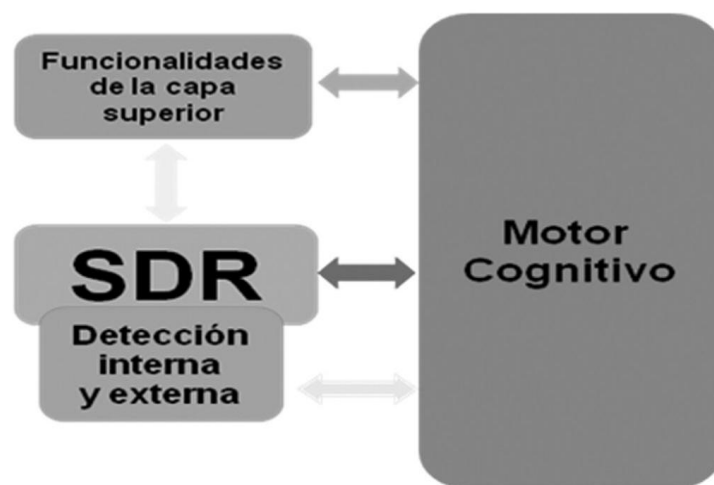


Figura 2.2 Modelo conceptual de Radio Cognitiva.

Fuente: A. Renter, "Radio cognitiva – Estado del arte," Rev. Sist. y Telemática, vol. 9, no. 16, pp. 42, 2011.

Una solución general del radio cognitivo está definida en la forma del paquete del software que pueda trabajar con plataformas de radio reconfigurable para proveer funcionalidad cognitiva. Este paquete de software, llamado motor cognitivo, consta de un conjunto de mecanismos generales de aprendizaje y algoritmos de aplicaciones específicas, que puede ser aplicado para plataformas de radio con implementación de hardware. Como se muestra en el bloque de la arquitectura del sistema del radio cognitivo representado en forma de diagrama ver Figura 2.2, donde el motor cognitivo maneja recursos y adapta la operación del radio para optimizar su función.

Como se ilustra en Figura 2.2, un paquete de software de algoritmos, llamado el motor cognitivo (CE, Cognitive Engine) le da a la radio funcionalidades cognitivas combinando los procesos de aprendizaje de maquina con la radio operación.

Un núcleo de aprendizaje de maquina se desarrolla para dotar de capacidades cognitivas a aplicaciones inalámbricas. El refuerzo en el aprendizaje y la optimización evolutiva son los principios claves del diseño del núcleo de aprendizaje. Un ciclo doble de conocimientos queda integrado al núcleo de aprendizaje.

Cualquier radio con un nivel apropiado de capacidad de reconfiguración puede soportar y ser controlado por el CE, a través de la plataforma de una interface de radio independiente. Gracias a que el CE no es una plataforma específica, es posible implementar conocimientos generales y aprendizaje en la solución de una variedad de problemas de aplicativos.

La funcionalidad cognitiva se enfoca en las capas 1 a 3; ver Figura 2.3; para asegurar optimización entre ellas. Los algoritmos de cognición generales pueden ser extendidos a las capas altas y configurados para reunir los requerimientos específicos de varias aplicaciones.

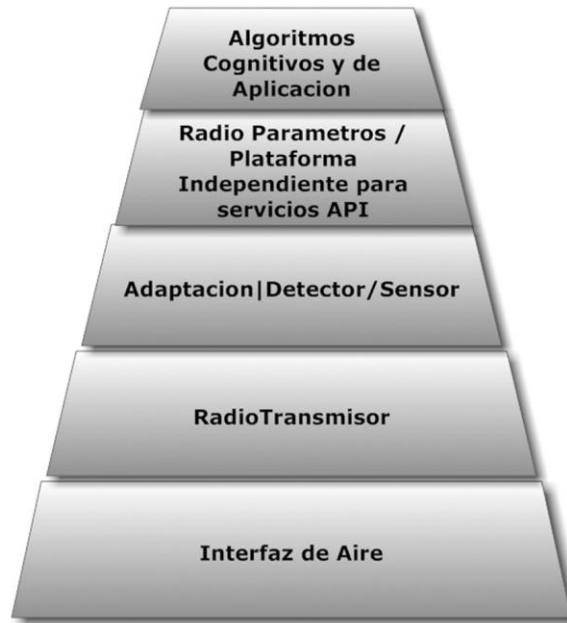


Figura 2.3 Modelo de un sistema de Radio Cognitivo.

Fuente: A. Renter, "Radio cognitiva – Estado del arte," *Rev. Sist. y Telemática*, vol. 9, no. 16, pp. 39, 2011.

Como un nodo de red, por naturaleza la CR puede trabajar de manera individual o acompañado de gestores de recursos y optimizadores de desempeño. Su estructura de aprendizaje consta de tres pasos: reconocimiento, razonamiento y adaptación. Se puede implementar con flexibilidad. Tanto de manera centralizada, como un nodo CR totalmente funcional, o ser distribuido a través de la red, donde cada parte de ella va a requerir un nivel distinto de inteligencia y diferentes capas de optimización [12] [14].

#### **2.1.4 Estandarización y regularización de la Radio Cognitiva**

Puesto que la mayor parte del trabajo de investigación está enfocada en la CR detectora del espectro particularmente con la utilización de bandas de TV para la comunicación la IEEE 802.22 [15], es el primer estándar mundial basado en tecnología CR. Se pretende que sea un estándar para redes inalámbricas de área regional (WRAN, Wireless Regional Access Network), centrándose en la construcción de redes WRAN punto-multipunto fijas, que utilizarían las bandas UHF – VHF de televisión entre los 54 MHz y los 862 MHz.

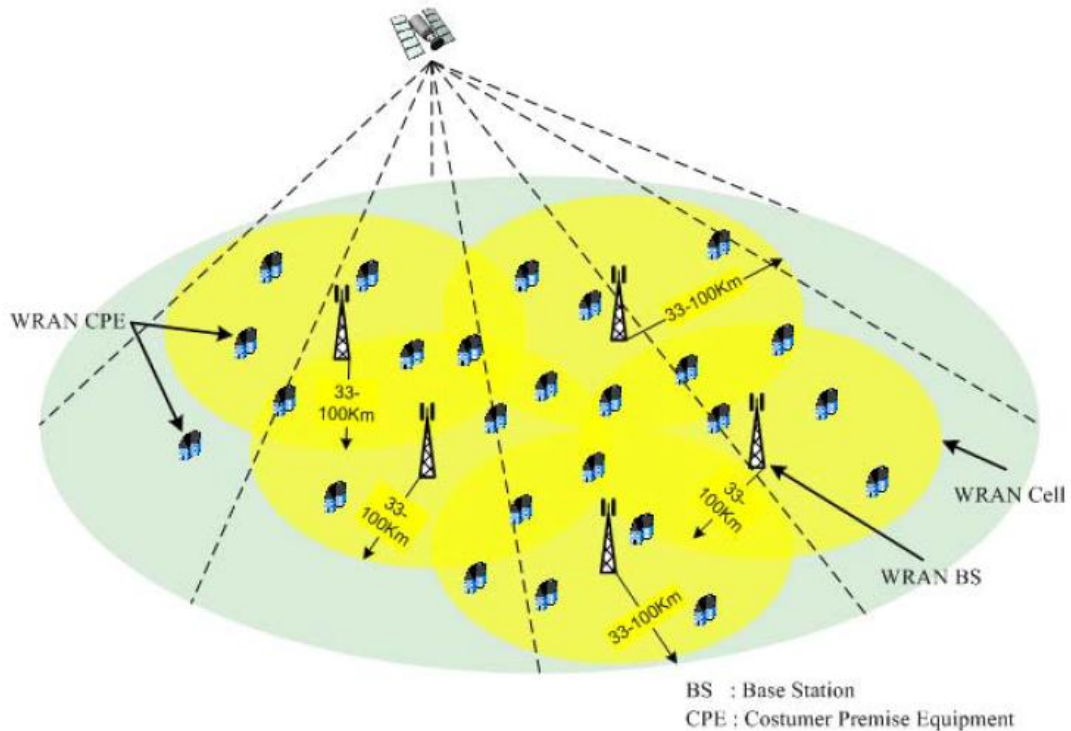


Figura 2.4 Ejemplo de implementación de IEEE 802.22.

Fuente: C. Cordeiro, K. Challapali, and D. Birru, "IEEE 802.22: An Introduction to the First Wireless Standard based on Cognitive Radios," *J. Commun.*, vol. 1, no. 1, pp. 40, 2006.

En IEEE 802.22 se propone el uso tanto de los canales de televisión como de las bandas de guarda. En el proyecto se especifica una interfaz inalámbrica fija punto-multipunto, donde una estación base controla su celda y los usuarios presentes en la misma, a los que se denomina CPE (Consumer Premise Equipment). Esta estación base se ocupa de realizar el spectrum sensing, dando instrucciones a los distintos CPE para que tomen las medidas necesarias, ver Figura 2.4.

El grupo de trabajo IEEE 802.22 se formó en 2004. La principal diferencia entre el 802.22 y los anteriores estándares IEEE 802 es el radio de cobertura de las estaciones base. Ver Figura 2.5, Actualmente, se continúa trabajando en el proceso de estandarización. Por ejemplo, puesto que está pensado para operar en bandas asignadas a sistemas de televisión, en dicho estándar se especifican los umbrales para desocupar un canal ante la presencia de las siguientes señales:

- Televisión Digital: -116 dBm sobre un canal de 6 MHz.
- Televisión Analógica (NTSC): -94 dBm en el pico de la portadora.
- Micrófonos inalámbricos: -107 dBm en un ancho de banda de 200 KHz.

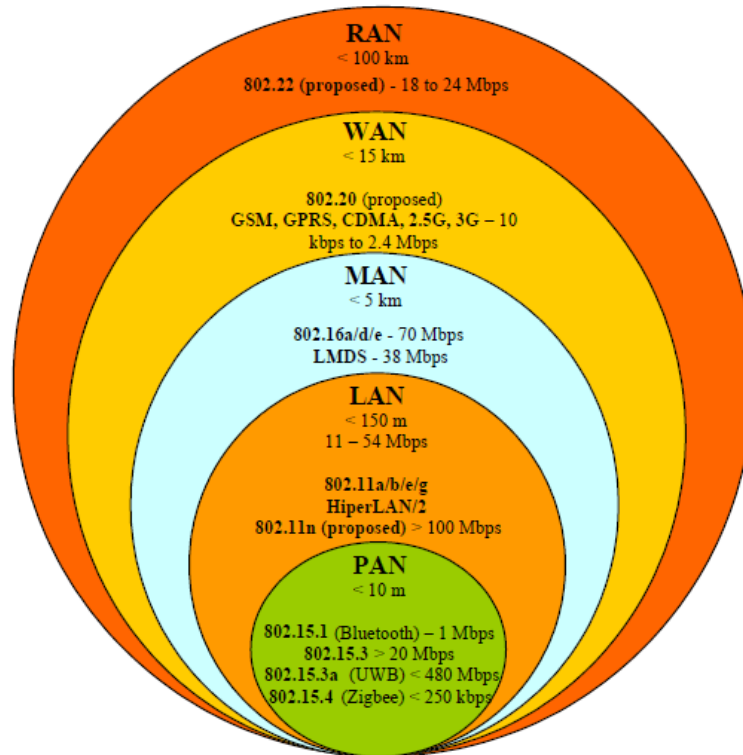


Figura 2.5 Comparación de redes inalámbricas estándar con IEEE 802.22 RAN.

Fuente: C. Cordeiro, K. Challapali, and D. Birru, "IEEE 802.22: An Introduction to the First Wireless Standard based on Cognitive Radios," *J. Commun.*, vol. 1, no. 1, pp. 40, 2006.

Para mitigar la interferencia sobre estas señales, el protocolo 802.22 considera la utilización de tablas de ocupación de espectro, las cuáles serían actualizadas vía software, tanto por el propio CR como por el administrador del sistema. Además, también establece límites sobre la máxima potencia transmitida e interferencias sobre bandas adyacentes [15].

## 2.2 Bandas atribuidas para la operación de televisión abierta

El Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá (IDRC) por sus siglas en inglés, financia el proyecto de investigación de la Asociación para el Progreso de las Comunicaciones (APC), sobre el uso del espectro en el marco del proyecto Action Research Network, el cual busca brindar una comprensión de las políticas regulatorias del espectro radioeléctrico en África, Asia y América Latina. Dicho proyecto analiza cómo se asigna el espectro, quiénes lo asignan y bajo qué marcos regulatorios. Igualmente examina el real alcance de la denominada "escasez del espectro", particularmente teniendo en cuenta la evolución de las nuevas tecnologías como la Radio Cognitiva y nuevos protocolos de transmisión.



Dichos estudios investigativos se han realizado en varios países de América Latina como son el caso de Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Con el fin de determinar en lo posible, informaciones y visiones, especialmente en tres aspectos:

- La infraestructura esencial para la universalización de la banda ancha, es decir, viabilizar la masificación con calidad del acceso permanente a internet.
- Las posibilidades de participación de las sociedades en la toma de decisiones que tienen que ver con la regulación del espectro radioeléctrico. Y por último;
- El uso de nuevas tecnologías que permitan aprovechar el espectro subutilizado o facilitar el uso secundario del espectro. Así como las oportunidades y desafíos en los procesos decisorios relacionados con el uso comunitario del espectro, en particular confrontados con las alternativas para la atribución del “dividendo digital”.

La nueva Estrategia Ecuador Digital, que complementa o reemplaza el anterior Plan Nacional de Conectividad propone extender la implantación de fibra óptica a solo 401 Km de fibra para las provincias de Azuay, Bolívar, Cañar, Cotopaxi, El Oro, Esmeraldas, Guayas, Loja, Los Ríos, Manabí, Morona Santiago, Napo, Pichincha y Tungurahua. Por lo tanto, el alcance de la red de fibra a todas las localidades se realizará por medio de radios digitales de alta velocidad con enlaces fijos punto-a-punto y operando en frecuencias entre 5 GHz y 40 GHz. No existen datos precisos sobre el número de usuarios o municipios a los que se llegará con el plan para fines del período 2017.

El servicio de internet en sus modalidades, fijas y móviles alcanzaba en junio de 2011 casi el 30 % de la población de Ecuador, cinco veces más que el número de usuarios de internet del año 2006. Por otra parte, la telefonía móvil tiene gran cobertura en áreas urbanas, y un 68 % en zonas rurales.

El Plan Nacional de Conectividad ecuatoriano tiene como metas principales; triplicar el número de conexiones de banda ancha para 2016; dotar de servicio de internet a todas las escuelas públicas urbanas y al 55 % de las escuelas en zonas rurales conectadas por banda ancha; así como también al 50 % de los centros de salud pública, a 450 cooperativas rurales y unos 60 centros de rehabilitación social.

En Ecuador, actualmente el ente regulador del espectro es el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL). Y el organismo ejecutor del monitoreo y fiscalización,

es la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL). El Ministerio de Telecomunicaciones es el órgano ejecutivo formulador de políticas y es quien controla las políticas de CONATEL, en tal virtud no hay un ente regulador autónomo para la gobernanza de las telecomunicaciones, tal como sucede en Colombia, Perú y Venezuela.

### **2.2.1 Atribuciones de Espectro en América Latina**

La tabla de atribuciones de espectro generalmente incluye la propuesta por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) en un país determinado. Esta tabla es muy larga, por lo tanto, es importante tener una idea clara de las atribuciones entre 50 MHz y 6 GHz. Este espacio es considerado como el “filet mignon” del espectro para las aplicaciones típicas de radio FM, TV y transmisión de datos.

En Latinoamérica, los espacio de televisión están entre los 54 MHz a los 216 MHz (canales VHF 2 a 13) y de los 470 MHz a los 890 MHz (canales UHF 14 a 83). Por otra parte; el canal 37 está reservado a radioastronomía, en Estados Unidos, Canadá y otros países, y los canales 52 a 83 son atribuidos a servicios móviles terrestres y están en general en disputa para uso con tecnologías 4G – LTE.

El “dividendo digital” según la UIT considera a las porciones del espectro originalmente asignado a TV analógica que no serán utilizadas en la TV digital desde los 47 MHz hasta los 68 MHz; de los 174 MHz a los 230 MHz en VHF y de los 470 MHz hasta los 862 MHz en UHF. Estas porciones de banda están o estarán en disputa con la migración a la televisión digital. Con respecto a los “espacios en blanco de TV” que son los canales de separación en cada región sin señal para eliminar la interferencia entre canales activos; no están claros los criterios para la asignación de espectros, que para la TV digital ya no existen [16].

Por tal motivo, se debe buscar definir canales o porciones de esta parte del espectro disponible para uso comunitario mediante el empleo de las nuevas tecnologías de Radio Cognitiva por lo que es inevitable discutir este tema de política pública importantísimo para cada país.

En la regulación del espectro solo se encuentran definiciones de unos pocos y estrechos rangos de frecuencia establecidos, en general a partir de recomendaciones de la UIT, como “no licenciados”. Una expresión inadecuada, ya que todos los rangos son licenciados, variando solamente los criterios más o menos flexibles para su utilización.

Si las innovaciones ofrecidas por la implantación de la TV digital y las tecnologías de radio cognitiva se combinan con una regulación que haga viable el uso efectivo de rangos de frecuencia a nivel local. El avance de estas tecnologías puede hacer bastante más viable el llamado “uso secundario” de porciones del espectro ya asignadas que estén solo parcialmente en uso, además de la búsqueda automática de frecuencias libres de los espacios en blanco (uso automatizado).

En nuestra región por ejemplo, los canales de TV analógica ocupan un ancho de banda de 6 MHz. Utilizando transmisión digital con tecnologías avanzadas de modulación como la usada en redes 4G – LTE, se pueden alcanzar densidades de datos de más de 15 bits por Hz. En tal virtud, en teoría, en 6 MHz se podrían enviar más de 90 Mb/s comparado a los aproximadamente 20 Mb/s del broadcasting de la TV digital, lo que también viabiliza un sinnúmero de aplicaciones comunitarias.

Las frecuencias ocupadas actualmente por la TV analógica (700 MHz) versus las frecuencias WiFi, son de largo alcance, ya que realizan transmisiones que alcanzan cerca de cuatro veces la distancia de las de 2.4 GHz, en las mismas condiciones de propagación, lo que amplía la importancia de su uso para transmisión de datos en áreas de baja densidad de población (zonas rurales). Además su costo/beneficio es crucial ya que una red en 700 MHz necesita de un número menor de estaciones repetidoras para cubrir una misma área [17].

### 2.2.2 Atribuciones de Espectro en Ecuador

La Televisión Abierta en el Ecuador opera bajo la Norma Técnica expedida con Resolución N° 1779-CONARTEL-01 del 27 de abril de 2001, la cual define el marco técnico que permite la asignación de canales para la operación de estaciones de radiodifusión de televisión abierta analógica.

En la citada Norma [18] [19], se especifica que el ancho de banda de cada canal es de 6 MHz, así como identifica las bandas de frecuencias y los canales asignados para la operación de canales de televisión abierta tal como se muestra a continuación:

BANDA DE FRECUENCIAS	CANAL	RANGO DE FRECUENCIAS MHz	PORTADORA DE VIDEO (MHz)	PORTADORA DE AUDIO (MHz)
VHF I (54-72 MHz)	2	54-60	55,25	59,75
	3	60-66	61,25	65,75
	4	66-72	67,25	71,75

BANDA DE FRECUENCIAS	CANAL	RANGO DE FRECUENCIAS MHz	PORTADORA DE VIDEO (MHz)	PORTADORA DE AUDIO (MHz)
VHF I (76-88 MHz)	5	76-82	77,25	81,75
	6	82-88	83,25	87,75
VHF III (174-216 MHz)	7	174-180	175,25	179,75
	8	180-186	181,25	185,75
	9	186-192	187,25	191,75
	10	192-198	193,25	197,75
	11	198-204	199,25	203,75
	12	204-210	205,25	209,75
	13	210-216	211,25	215,75
UHF IV (470-482 MHz)	14	470-476	471,25	475,75
	15	476-482	477,25	481,75
UHF IV (512-608 MHz)	21	512-518	513,25	517,75
	22	518-524	519,25	523,75
	23	524-530	525,25	529,75
	24	530-536	531,25	535,75
	25	536-542	537,25	541,75
	26	542-548	543,25	547,75
	27	548-554	549,25	553,75
	28	554-560	555,25	559,75
	29	560-566	561,25	565,75
	30	566-572	567,25	571,75
	31	572-578	573,25	577,75
	32	578-584	579,25	583,75
	33	584-590	585,25	589,75
	34	590-596	591,25	595,75
UHF IV (614-644 MHz)	35	596-602	597,25	601,75
	36	602-608	603,25	607,75
	38	614-620	615,25	619,75
	39	620-626	621,25	625,75
	40	626-632	627,25	631,75
UHF V (644- 698 MHz)	41	632-638	633,25	637,75
	42	638-644	639,25	643,75
	43	644-650	645,25	649,75
	44	650-656	651,25	655,75
	45	656-662	657,25	661,75
	46	662-668	663,25	667,75
	47	668-674	669,25	673,75
	48	674-680	675,25	679,75
	49	680-686	681,25	685,75
	50	686-692	687,25	691,75
	51	692-698	693,25	697,75

Tabla 2.1 Atribución de canales de televisión abierta.

Fuente: (Superintendencia de Telecomunicaciones/Dirección Nacional de Gestión y Control de Radiodifusión y Televisión), "OPERACION DE LAS ESTACIONES DE TELEVISIÓN ABIERTA ANALÓGICA EN CANALES ADYACENTES DE LA BANDA III VHF," Quito, 2013, pp. 18-19.

Para la asignación de canales de televisión abierta a Nivel nacional se establecen áreas de operación (Zonas Geográficas) a las cuales se les asigna un grupo de canales para evitar interferencias, tal como se muestra a continuación:

ZONA GEOGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA GEOGRÁFICA	GRUPO DE CANALES VHF	GRUPO DE CANALES UHF
A	Provincia de Azuay excepto zona norte (cantones Sigüig, Chordeleg, Gualaceo, Paute, Guachapala, El Pan y Sevilla de Oro), y zona occidental de la Cordillera Occidental de la provincia de Azuay.	A1 y B2	G1 y G4
B	Provincias de Bolívar, excepto la zona occidental de la cordillera Occidental de Los Andes de la provincia de Bolívar.	A1 y B2	G1 y G4
C	Provincia del Carchi, incluye las poblaciones de Pimampiro, Juncal, Valle del Chota y Batallón Yaguachi de la provincia de Imbabura.	A1 y B1	G1 y G4
D	Provincias de Orellana y Sucumbios.	A1 y B2	G1 y G4
E	Provincia de Esmeraldas, excepto Rosa Zárate y Muisne.	A1 y B2	G1 y G3
G	Provincia del Guayas, excepto Gral. Villamil, El Empalme, Palestina y Balao, se incluye La Troncal, Suscal y zona occidental de la Cordillera Occidental de provincias de Cañar y Azuay.	A1 y B1	G2 y G4
F	Provincia de Santa Elena y Gral. Villamil.	A1 y B2	G1 y G3
H	Provincia de Chimborazo, excepto las estribaciones occidentales de la cordillera Occidental.	A1 y B2	G1 y G4
J	Provincia de Imbabura, excepto las poblaciones de Pimampiro, Juncal, Valle del Chota, Batallón Yaguachi.	A2 y B2	G2 y G3
L1	Provincia de Loja, excepto cantones de Loja, Catamayo, Saraguro, Amaluza y zona occidental de la Cordillera Occidental.	A2 y B1	G2 y G3
L2	Provincia de Loja: cantones Loja, Catamayo y Saraguro.	A1 y B2	G2 y G3
M1	Provincia de Manabí, zona norte (desde Bahía de Caraquez hacia el norte), excepto El Carmen y Flavio Alfaro; se incluye Muisne.	A2 y B1	G1 y G4
M2	Provincia de Manabí, zona sur, comprende poblaciones localizadas al sur de la ciudad de Bahía de Caraquez, excepto Pichincha.	A1 y B2	G2 y G3
N	Provincia de Napo.	A1 y B2	G2 y G4
Ñ	Provincia de Cañar, excepto zona occidental Cordillera Occidental (Suscal, La Troncal) e incluye zona norte provincia de Azuay.	A2 y B1	G2 y G3
O	Provincia de El Oro y zona occidental de la Cordillera Occidental de la provincia de Loja e incluye Balao de la provincia del Guayas.	A2 y B2	G1 y G3
P	Provincia de Pichincha, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental de la provincia de Pichincha (Los Bancos, P.V. Maldonado).	A1 y B1	G1 y G4
K	Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, incluye El Carmen, Rosa Zárate, Flavio Alfaro, P.V. Maldonado y Los Bancos.	A1 y B2	G1 y G3
R1	Provincia de Los Ríos, excepto Quevedo, Buena Fe, Mocache y Valencia e incluye Balzar, Colimes, Palestina y zona occidental Cordillera Occidental de las provincias de Bolívar y Chimborazo.	A1 y B1	G2 y G4
R2	Provincia de Los Ríos, Quevedo, Buena Fe, Mocache, Valencia, La Maná, El Corazón y zona occidental de la Cordillera Occidental de la provincia de Cotopaxi.	A2 y B2	G1 y G3
S1	Provincia de Morona Santiago, excepto Palora y cantón Gral. Plaza al sur.	A2 y B2	G2 y G4
S2	Provincia de Morona Santiago, cantón Gral. Plaza al sur.	A1 y B2	G2 y G4
T	Provincias de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental.	A1 y B1	G2 y G3
X	Provincia de Pastaza, incluye Palora de la provincia de Morona Santiago.	A1 y B2	G1 y G3
Y	Provincia de Galápagos.	A1 y B2	G1 y G3
Z	Provincia de Zamora Chinchipe, incluye cantón Amaluza.	A1 y B2	G1 y G3

Tabla 2.2 Zonas geográficas de operación de televisión abierta.

Fuente: (Superintendencia de Telecomunicaciones/Dirección Nacional de Gestión y Control de Radiodifusión y Televisión), "OPERACION DE LAS ESTACIONES DE TELEVISIÓN ABIERTA ANALÓGICA EN CANALES ADYACENTES DE LA BANDA III VHF," Quito, 2013, p. 21.

Donde los grupos de canales están conformados de la siguiente manera.

Para Televisión VHF:

GRUPO	CANALES
A1	2, 4, 5
A2	3, 6
B1	8, 10, 12
B2	7, 9, 11, 13

*Tabla 2.3 Grupos de canales para VHF.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Para Televisión UHF:

GRUPO	CANALES
G1	14, 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35
G2	15, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36
G3	39, 41, 43, 45, 47, 49, 51
G4	38, 40, 42, 44, 46, 48, 50

*Tabla 2.4 Grupos de canales para UHF.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede observar para la operación de estaciones de televisión abierta se asignan grupos de canales a cada zona geográfica, los cuales no tienen un orden ascendente continuo, esto se lo realiza a fin de evitar interferencias, sin embargo al asignar de esta manera se deja de utilizar un canal (espacio en blanco de televisión) en cada una de las zonas geográficas [20].

### **2.3 Situación actual de los espacios en blanco de televisión en las zonas rurales**

Los espacios en blanco de TV son los canales de separación en cada región sin señal para eliminar la interferencia entre canales activos y pueden ser utilizados para transmitir datos. Ver Figura 2.6 [16].

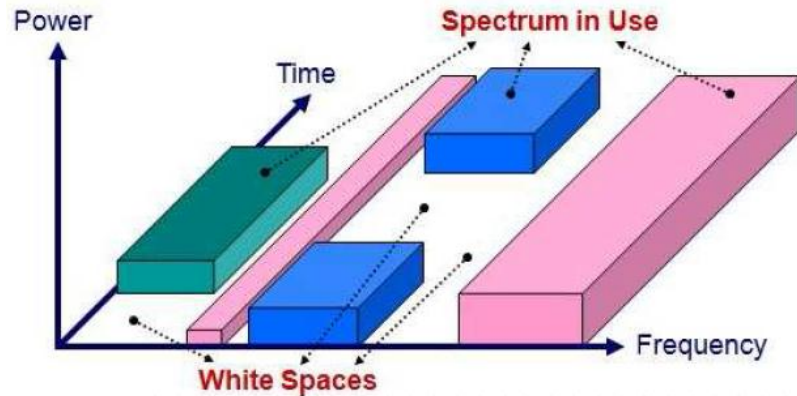


Figura 2.6 Espacios en blanco en señales de TV.

Fuente: M. Huidobro, "Identificación de white spaces en la Banda de Televisión para la Futura Implementación de redes de Radio Cognitiva," UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA, 2011, p. 72.

El concepto de espacios en blanco se puede aplicar a tres diferentes rangos de frecuencias:

- Al espectro asignado a la emisión de televisión pero que actualmente no se utiliza. Esto se aplica en particular a los países en desarrollo, en donde no ha habido ningún incentivo económico para que las emisoras usen todos los canales de TV disponibles.
- Al espectro que se debe dejar libre entre dos canales de televisión adyacentes para evitar interferencias.
- Al espectro recuperado al hacerse efectiva la transición a la televisión digital terrestre. Esto se aplica actualmente a los países desarrollados, pero pronto se aplicará también a los países en desarrollo.

En los últimos 20 años se experimentó un crecimiento tremendo de la demanda de espectro para servicios de comunicaciones móviles. Al respecto, los servicios de datos están consumiendo mucho más ancho de banda que la voz y el creciente uso del video presenta un desafío adicional. No es sorprendente que los operadores de telecomunicaciones en todas partes compitan por una porción de estos "espacios en blanco" mediante la utilización de tecnologías de Radio Cognitiva [13].

Las excelentes características de propagación en las bandas de VHF/UHF; los bajos niveles de ruido, amplios tamaños de macro-celda y baja densidad de abonados típicos de las extensas áreas rurales de Latinoamérica, sugieren una evaluación muy favorable del uso de los espacios en blanco de TV para las zonas rurales.

En Latinoamérica, cada país presenta varias diferencias: geográficas, climáticas y de distintos tipos de relieve; demográficas, por la diferencia de patrones de distribución de localidades y zonas pobladas; y regulatorias, por ser distintas las normativas de ocupación de las bandas de VHF y UHF, y los planes nacionales de migración a la TV digital. En tal virtud, el uso de Radios Cognitivas entre los 600 y 700 MHz ofrece valores de compromiso muy razonables en el uso de espacios en blanco del espectro.

De los 82 canales que originalmente tenía la televisión abierta en Latinoamérica, actualmente sólo se utilizan los canales de VHF (2 al 13) y los canales de UHF (21 al 36 y 38 al 69). En la década de los 80's los países de la Región II así como Argentina y Chile, luego de la Conferencia de Radiocomunicaciones de Nairobi de la UIT; decidieron que el canal 37 se utilice para la radioastronomía y servicios móviles satelitales, mientras que los canales 14 al 20 y 70 al 83 fueron reasignados a servicios de radiocomunicaciones terrestres fijos y móviles. Por lo tanto, si se toma sólo la porción restante de la banda de UHF, resulta que se obtiene un ancho de banda total de 288 MHz el cual se puede considerar como “espacio blanco” para sistemas de coexistencia y aplicaciones WRAN de banda ancha [21] [22].

### **2.3.1 Métodos de acceso**

La idea inicial es que estos espacios en blanco o TVWS (TV White Spaces) puedan utilizarse con dispositivos de menor potencia conocidos como los WSD (White Space Devices) por parte de usuarios no licenciados, o usuarios secundarios, emitiendo en la misma frecuencia de los canales de TV.

Puesto que la mayor ocupación espectral en TV se concentra en las zonas de alta densidad de población, los TVWS tienden a ocupar en mayor medida las áreas de baja densidad poblacional. Por tal razón es razonable pensar en implementar redes rurales de acceso a internet de banda ancha en los TVWS, aprovechando el largo alcance de las señales UHF y la gratuidad de acceso al espectro sin licencia.

Sin embargo, varios usuarios secundarios pueden requerir dicho espectro al mismo tiempo y en la misma ubicación, lo cual no garantiza un grado suficiente de calidad de servicio (QoS) como ocurre actualmente en los sistemas WiFi, pero con el agravante de que no necesariamente todos los usuarios comparten un MAC común como sí es el caso de la WiFi. Por consiguiente se ve la necesidad de limitar de entrada las potencias transmitidas, y



en consecuencia, el radio de cobertura. Así mismo la reorganización de las bandas de TV puede también cambiar la disponibilidad de espectro para determinadas ubicaciones. No obstante, los TVWS se proyectan como un espectro muy interesante para usar en muchas situaciones y escenarios complejos, aportando con su implementación al enorme incremento de tráfico de datos previsible (x 1000) para un horizonte 2020.

**a) *Beacon Signals***

Consiste en emplear señales de control que indican si un canal de TV está libre u ocupado y tiene dos opciones de acceso a los TVWS:

- **Señales de Enable/Disable:**
  - Una por cada canal.
  - Indican si el canal en cuestión está ocupado o libre.
- **Uso de canal piloto:**
  - Un único canal de control.
  - Transmite la lista de canales libres.

Este método requiere de una infraestructura compleja lo que encarece su implementación y mantenimiento. La señal de control también ocupa ancho de banda, por lo tanto no se considera como una de las alternativas viables en ninguna de las iniciativas existentes.

**b) *Spectrum Sensing***

Este método de acceso rastrea los TVWS los cuales deben ser susceptibles de ser utilizados y lo puede hacer de dos maneras. La primera es realizar un sensado individual del espectro; es decir que, cada dispositivo realiza su propio sensado y toma sus propias decisiones lo cual determina un método sencillo pero presenta muchos problemas. Y la segunda es realizar un sensado cooperativo con varios dispositivos que miden de forma individual el espectro, se comunican las medidas obtenidas y en base a estas toman una decisión conjunta. Esta decisión puede ser distribuida o centralizada y existen múltiples alternativas para el algoritmo de toma de decisiones; de manera que este método es más complejo, pero también es mucho más preciso. En tal virtud, no necesariamente requiere de una infraestructura, pero si se necesitan dispositivos y equipos más complejos.

### c) *Bases de Datos Georeferenciadas*

Básicamente son una serie de bases de datos georeferenciadas que recogen el estado del espectro en una ubicación física y proporcionan información sobre cómo debe emitir cada dispositivo: la frecuencia, potencia de transmisión, etc. En la Figura 2.7; se observa que el regulador hace accesible mediante una página web el listado de las bases de datos con los cuales el dispositivo accede a la información de acuerdo a la ubicación geográfica correspondiente.

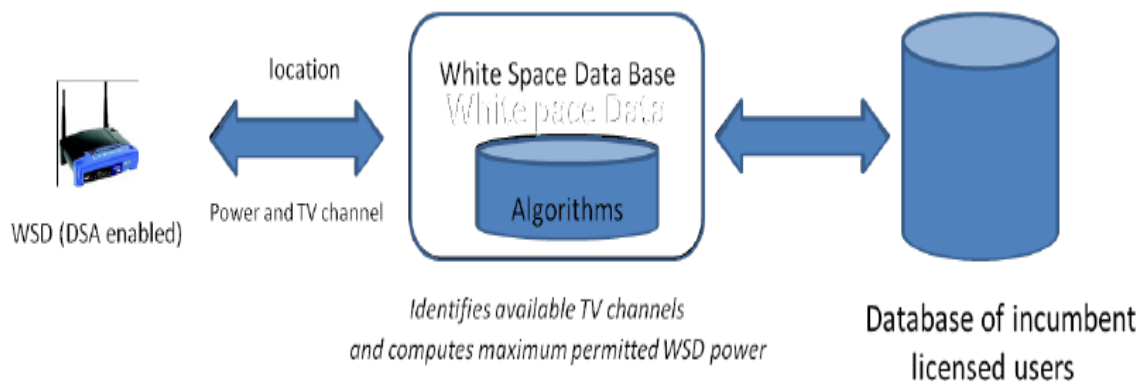


Figura 2.7 Modelo conceptual de la Base de Datos Georeferenciada.

Fuente: (Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación/Grupo del ESPECTRO), "Introducción al estado de la situación de los 'TV White Spaces' y 'LSA' propiciados por la Radio Cognitiva," 2013, p. 11.

Para la implementar este modelo, se requiere de una infraestructura de soporte lo cual garantiza el control de las emisiones de los dispositivos secundarios los cuales son dispositivos más sencillos.

### 2.3.2 Estandarización y Aplicaciones

Las atractivas características de los TVWS han motivado una actividad abrumadora hacia su estandarización, a continuación las siguientes:

- **802.22**
  - Estándar IEEE para redes WRAN (Wireless Regional Area) haciendo uso de los TVWS.
- **802.16h**
  - Mecanismo mejorado de coexistencia para uso de Wimax sin licencia.
- **802.11af**
  - Adaptación de WiFi para funcionar sobre los TVWS.

- **DYSPAN P1900**
  - Familia de estándares relacionados con el acceso dinámico al espectro.
- **802.19.1**
  - Para facilitar la interoperabilidad entre distintos sistemas de WS.
- **CEPT-ECC SE 43**
  - Define las características técnicas y operacionales para los sistemas cognitivos operando en TVWS.
- **Estándares Industriales**
  - Cognea, etc.

Por otra parte, los desarrollos tecnológicos respecto a los TVWS permiten la aparición de nuevos modelos de negocio así como de nuevas aplicaciones para estas tecnologías como por ejemplo:

- **Infraestructuras de bajo costo**
  - Super WiFi:
    - Permite que los dispositivos WiFi puedan funcionar en la banda de UHF.
    - Descongestiona las bandas ISM.
    - Mayor Alcance y penetración en interiores que en frecuencias elevadas.
    - WLAN® WRAN.
  - Backhaul inalámbrico:
    - Enlaces inalámbricos punto a punto para sustituir la infraestructura cableada.
- **Banda Ancha rural**
  - Posibilidad de proporcionar conectividad de banda ancha haciendo uso de los TVWS.
  - Alcance de decenas de kilómetros.
  - Método efectivo en coste.
  - En un entorno rural hay abundancia de espacios en blanco.

- **M2M**

- Conexión de múltiples dispositivos en las bandas UHF.
- Método más efectivo en coste que el acceso celular.
- Cobertura de varios kilómetros.
- Buena penetración en interiores.
- Muy indicado para aplicaciones de telemetría, smart utilities, etc.
- Requisitos de baja potencia y poco ancho de banda, perfectos incluso para entornos urbanos.

- **Femtoceldas en interiores**

- Uso de los TVWS para crear una red indoor en el edificio.
- Adaptado para distribuir contenidos de gran ancho de banda en interiores.
- Cobertura robusta y fiable en el hogar con poca potencia.

Como se puede observar, son muchos los entornos de aplicación (Use Cases) que se han ido proponiendo para los TVWS desde diferentes fuentes. Pero se ha tratado de describir muy resumidamente algunos de los más importantes, que son los que han gozado de un mayor predicamento [23].

## **CAPÍTULO III**

### **REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SMART METERING**

En este capítulo se describen las etapas metodológicas seguidas para determinar la solución óptima al problema, y por tanto, los criterios de ingeniería utilizados para llegar a su diseño.

#### **3.1 Situación geográfica del área rural**

La infraestructura de Smart Metering se desarrollará para los clientes residenciales que están ubicados en áreas rurales o suburbanas, los cuales son los que tienen mayor inconveniente al momento de realizar las lecturas de medición de energía eléctrica, por motivos de ubicación, acceso al predio y seguridad.

Lo primero que vamos a investigar es la manera en que se determinan las áreas o zonas rurales. Se puede decir que población rural es la que no pertenece a la población urbana, y la cual se puede definir mediante estos 5 criterios importantes:

- Número de personas por ubicación.
- Número de casas contiguas.
- Número de personas con empleo en actividades primarias.
- Presencia de servicios públicos.
- Por definición administrativa.

Dependiendo de la población considerada como rural, se establecen las zonas rurales, y cada país tiene su propio criterio para definir cuál área es rural. Así por ejemplo, en nuestro país una localidad rural es aquella en la que hay menos de 2000 habitantes; en cambio para Cuba un área rural es la que tiene hasta 500 habitantes [24].

A continuación en la Tabla 3.1 se puede observar la población urbana y rural por provincia en nuestro país de acuerdo a cifras del censo nacional de 2010 realizado por el INEC (Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos).

<b>Población por Provincia</b>	<b>Urbana</b>	<b>Rural</b>	<b>Total</b>
Azuay	380,445	331,682	712,127
Bolívar	51,792	131,849	183,641
Cañar	94,525	130,659	225,184
Carchi	82,495	82,029	164,524
Chimborazo	187,119	271,462	458,581
Cotopaxi	120,970	288,235	409,205
El Oro	464,629	136,030	600,659
Esmeraldas	265,090	269,002	534,092
Galápagos	20,738	4,386	25,124
Guayas	3,080,055	565,428	3,645,483
Imbabura	209,780	188,464	398,244
Loja	249,171	199,795	448,966
Los Ríos	415,842	362,273	778,115
Manabí	772,355	597,425	1,369,780
Morona Santiago	49,659	98,281	147,940
Napo	35,433	68,264	103,697
Orellana	55,928	80,468	136,396
Pastaza	36,927	47,006	83,933
Pichincha	1,761,867	814,420	2,576,287
Santa Elena	170,342	138,351	308,693
Santo Domingo de los Tsáchilas	270,875	97,138	368,013
Sucumbíos	73,040	103,432	176,472
Tungurahua	205,546	299,037	504,583
Zamora Chinchipe	36,163	55,213	91,376
Zonas no delimitadas	-	32,384	32,384
<b>Ecuador (Total)</b>	<b>9'090,786</b>	<b>5'392,713</b>	<b>14'483,499</b>

*Tabla 3.1 Población Urbana y Rural por Provincia.*

*Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas Y Censos), "Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador," 2012, p. 5.*

Hay que recalcar que el estudio va enfocado para la población de las zonas rurales de todo el país; que según los datos del INEC representan aproximadamente el 37.23 % de la población total del país [25].

### **3.2 Demanda de medición inteligente en el área rural residencial**

De toda la población rural, se estima que el porcentaje total de viviendas con energía eléctrica alcanzó el 89.03 % (que son 843.313 viviendas) asumiendo que cada parroquia está servida por una sola distribuidora eléctrica y que además se consideró solo las viviendas que estaban habitadas el día del censo. En la siguiente Tabla 3.2 se detalla la cobertura del servicio eléctrico por Provincia y la Tabla 3.3 muestra la cobertura por áreas de concesión de las distribuidoras eléctricas.

Por lo tanto, tomando los datos de la Tabla 3.3, las 20 empresas distribuidoras del servicio eléctrico que operan en el país tienen una cobertura de 44.385 viviendas (usuarios) en promedio en las zonas rurales de cada provincia. A excepción de la Empresa Eléctrica de Guayaquil que solo tiene cobertura en la zona urbana.

Ahora bien, si tomamos en cuenta al 11 % de viviendas que no disponen del servicio eléctrico, y que a futuro pueden acceder al mismo, entonces la cobertura de las eléctricas ascenderá aproximadamente a un máximo de 50.000 usuarios por distribuidora eléctrica [26].

Esto nos da una idea de lo necesario e indispensable que es implementar medición inteligente en estas áreas por la cantidad de usuarios que existen. Las operadoras de telecomunicaciones no invierten en estas áreas por considerarlas no rentables y puesto que en estas zonas son deficientes los servicios de telecomunicaciones como TV y radio, existe un amplio espectro de radiofrecuencia sin uso (TVWS), los cuales se podrían utilizar para transmitir datos que serán enviados por los Smart Meters instalados en las viviendas.

PROVINCIA	URBANO			RURAL			Total Usuarios con servicio eléctrico	Total Viviendas	Total % Cobertura
	Usuarios con servicio eléctrico	Total Viviendas	% Cobertura	Usuarios con servicio eléctrico	Total Viviendas	% Cobertura			
AZUAY	115,569	117,022	98.76%	63,674	66,895	95.18%	179,243	183,917	97.46%
BOLÍVAR	27,763	30,560	90.85%	13,705	16,550	82.81%	41,468	47,110	88.02%
CAÑAR	32,085	33,102	96.93%	22,742	24,275	93.68%	54,827	57,377	95.56%
CARCHI	27,497	27,741	99.12%	14,193	15,159	93.63%	41,690	42,900	97.18%
CHIMBORAZO	68,370	71,718	95.33%	44,596	51,327	86.89%	112,966	123,045	91.81%
COTOPAXI	55,148	58,346	94.52%	37,940	43,454	87.31%	93,088	101,800	91.44%
EL ORO	129,592	133,181	97.31%	24,317	25,835	94.12%	153,909	159,016	96.79%
ESMERALDAS	76,097	82,633	92.09%	35,567	46,277	76.86%	111,664	128,910	86.62%
GALÁPAGOS	6,030	6,058	99.54%	1,066	1,103	96.65%	7,096	7,161	99.09%
GUAYAS	802,905	867,710	92.53%	63,804	73,002	87.40%	866,709	940,712	92.13%
IMBABURA	63,010	63,947	98.53%	35,235	37,139	94.87%	98,245	101,086	97.19%
LOJA	75,073	77,354	97.05%	32,530	36,354	89.48%	107,603	113,708	94.63%
LOS RÍOS	137,168	151,213	90.71%	41,823	48,723	85.84%	178,991	199,936	89.52%
MANABÍ	236,466	258,276	91.56%	66,880	79,694	83.92%	303,346	337,970	89.76%
MORONA SANTIAGO	14,665	16,846	87.05%	10,127	15,945	63.51%	24,792	32,791	75.61%
NAPO	12,120	12,981	93.37%	7,271	9,357	77.71%	19,391	22,338	86.81%
ORELLANA	15,894	17,540	90.62%	9,367	13,837	67.70%	25,261	31,377	80.51%
PASTAZA	10,641	11,246	94.62%	5,111	8,216	62.21%	15,752	19,462	80.94%
PICHINCHA	521,603	524,805	99.39%	192,904	196,125	98.36%	714,507	720,930	99.11%
SANTA ELENA	40,824	44,819	91.09%	24,644	29,496	83.55%	65,468	74,315	88.10%
SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS	76,023	78,327	97.06%	13,780	15,696	87.79%	89,803	94,023	95.51%
SUCUMBIOS	24,542	26,866	91.35%	11,811	15,916	74.21%	36,353	42,782	84.97%
TUNGURAHUA	75,524	76,575	98.63%	57,442	60,859	94.39%	132,966	137,434	96.75%
ZAMORA CHINCHIPE	11,779	12,785	92.13%	6,642	8,200	81.00%	18,421	20,985	87.78%
ZONAS NO DELIMITADAS	-	-	0.00%	6,142	7,834	78.40%	6,142	7,834	78.40%
<b>Total general</b>	<b>2,656,388</b>	<b>2,801,651</b>	<b>94.82%</b>	<b>843,313</b>	<b>947,268</b>	<b>89.03%</b>	<b>3,499,701</b>	<b>3,748,919</b>	<b>93.35%</b>

Tabla 3.2 Cobertura de servicio eléctrico por Provincia.

Fuente: "Consejo Nacional de Electricidad - CONELEC." [Online]. Available: <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=1102&>. [Accessed: 11-Jan-2015].

Área de Concesión	URBANO			RURAL			Total Usuarios con servicio eléctrico	Total Viviendas	Total % Cobertura
	Usuarios con servicio eléctrico	Total Viviendas	% Cobertura	Usuarios con servicio eléctrico	Total Viviendas	% Cobertura			
CNEL-Bolívar	27,763	30,560	90.85%	13,705	16,550	82.81%	41,468	47,110	88.02%
CNEL-EI Oro	138,647	142,605	97.22%	27,413	29,065	94.32%	166,060	171,670	96.73%
CNEL-Esmeraldas	66,412	71,971	92.28%	32,365	42,580	76.01%	98,777	114,551	86.23%
CNEL-Guayas Los Ríos	243,048	268,801	90.42%	33,418	39,686	84.21%	276,466	308,487	89.62%
CNEL-Los Ríos	67,352	75,155	89.62%	31,502	37,138	84.82%	98,854	112,293	88.03%
CNEL-Manabi	216,604	235,811	91.85%	62,570	73,414	85.23%	279,174	309,225	90.28%
CNEL-Milagro	92,029	97,845	94.06%	31,905	36,045	88.51%	123,934	133,890	92.56%
CNEL-Sta. Elena	50,062	55,327	90.48%	35,925	42,742	84.05%	85,987	98,069	87.68%
CNEL-Sto. Domingo	102,256	107,439	95.18%	27,087	31,799	85.18%	129,343	139,238	92.89%
CNEL-Sucumbios	40,244	44,195	91.06%	20,180	28,656	70.42%	60,424	72,851	82.94%
E.E. Ambato	96,029	98,503	97.49%	67,830	76,169	89.05%	163,859	174,672	93.81%
E.E. Azogues	10,438	10,620	98.29%	10,903	11,815	92.28%	21,341	22,435	95.12%
E.E. Centro Sur	136,071	139,681	97.42%	82,686	91,868	90.01%	218,757	231,549	94.48%
E.E. Cotopaxi	46,046	48,803	94.35%	36,574	41,931	87.22%	82,620	90,734	91.06%
E.E. Galápagos	6,030	6,058	99.54%	1,066	1,103	96.65%	7,096	7,161	99.09%
E.E. Norte	107,814	109,366	98.58%	60,062	63,783	94.17%	167,876	173,149	96.95%
E.E. Quito	508,328	511,532	99.37%	185,683	188,477	98.52%	694,011	700,009	99.14%
E.E. Riobamba	68,370	71,718	95.33%	42,502	48,753	87.18%	110,872	120,471	92.03%
E.E. Sur	86,852	90,139	96.35%	39,937	45,694	87.40%	126,789	135,833	93.34%
Eléctrica de Guayaquil	545,993	585,522	93.25%	-	-	0.00%	545,993	585,522	93.25%
<b>Total general</b>	<b>2,656,388</b>	<b>2,801,651</b>	<b>94.82%</b>	<b>843,313</b>	<b>947,268</b>	<b>89.03%</b>	<b>3,499,701</b>	<b>3,748,919</b>	<b>93.35%</b>

*Tabla 3.3 Cobertura de servicio por Área de concesión de las Eléctricas.  
Fuente: "Consejo Nacional de Electricidad - CONELEC." [Online]. Available:  
<http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=1102&>. [Accessed: 11-Jan-2015].*

### 3.3 Arquitectura de operación de Smart Metering

Puesto que en las viviendas rurales no se tiene una normativa explícita para la ubicación de sus medidores eléctricos, existen infinidad de escenarios tan variados de donde pueden estar ubicados, por tal motivo esa transmisión de datos puede resultar todo un reto para este tipo de usuarios. Entre las soluciones disponibles en el mercado, se encuentra las de la utilización de los TVWS utilizando el Estándar IEEE 802.22

La arquitectura 802.22 apunta a proveer acceso de banda ancha con capacidades similares a las tecnologías de Línea de Abonado Digital Asimétrica (ADSL, Asymmetric Digital Subscriber Line) y Cable Modem que dan menos servicios sobre áreas rurales.

La figura 3.1 se observa la arquitectura generalizada de una solución WRAN utilizando tecnologías de CR. Donde uno de los objetivos principales del sistema es transmitir los datos de medición y evitar interferencias a servicios como: transmisión de televisión (NTCS y DTV), micrófonos inalámbricos y sistemas de seguridad pública que a la postre son los usuarios principales de la red primaria (red con licencia) [12] [7].



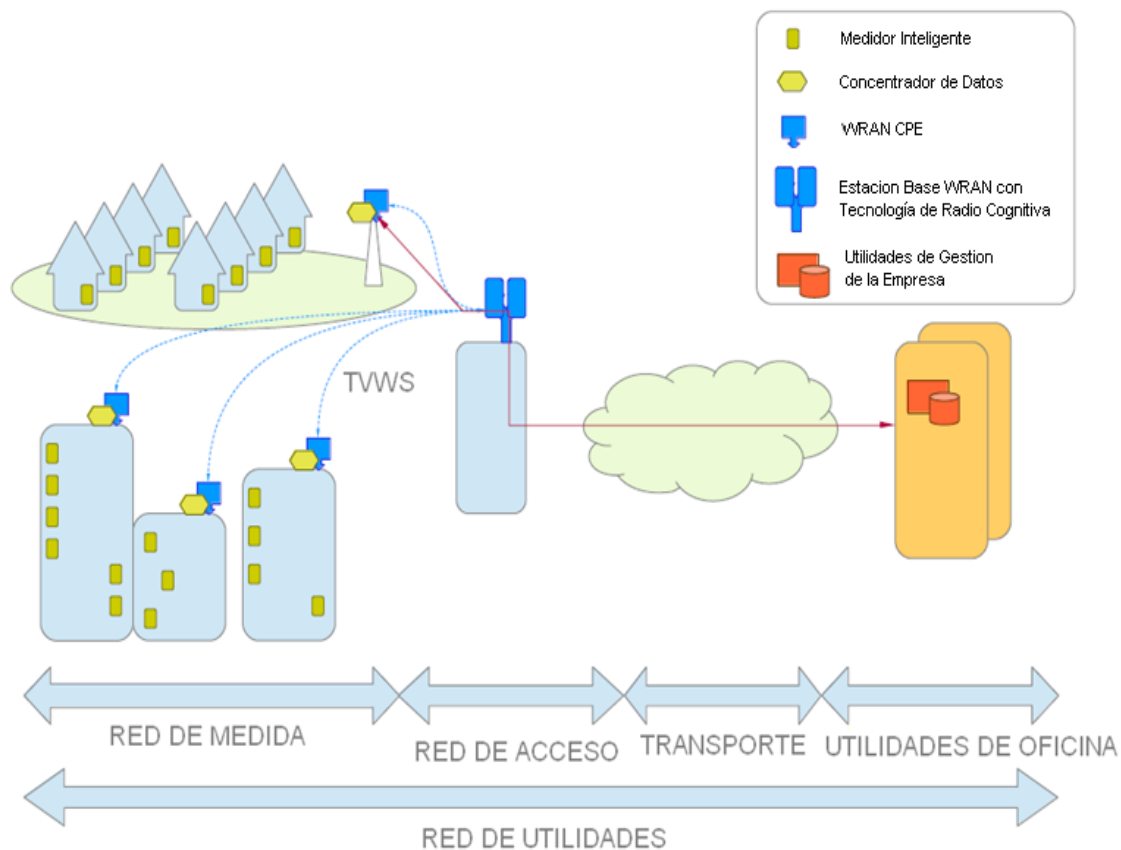


Figura 3.1 Arquitectura de Operación de Smart Metering IEEE802.22.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.1 Red de Medida

Es la zona de interés de las empresas eléctricas, donde se realizan las mediciones de energía (voltaje, corriente, potencia activa, reactiva, etc.) consumidas en la vivienda y está compuesta por los medidores inteligentes que por tratarse de zonas rurales están separados generalmente por distancias medianas o grandes uno de otro. La comunicación entre los medidores y los concentradores de datos se implementan mediante una red inalámbrica primaria y con licencia.

Los Smart Meters deben tener soporte directo para comunicación mediante red radio y las características técnicas que requieran cada instalación como: número de fases, precisiones, parámetros de medición, etc. Por otro lado, el Concentrador radio crea una red mallada que recoge la información de los Smart Meters a la velocidad apropiada y de forma segura y además proporciona la comunicación a la Red de acceso. Esta red se puede ampliar con repetidores y puede ser redundante si una zona tiene cobertura por más de un concentrador radio.

### **3.3.2 Red de Acceso**

Es la que se encarga de conectar la Red de Medida con la Red de Transporte y es la zona de interés en la Red de Utilidades. Proporciona la disponibilidad y ancho de banda necesarios para dar cobertura general a un amplio rango de escenarios y áreas proporcionando capacidad de transporte de datos de forma rentable y de buena calidad de servicio QoS. Y además capaz de transportar el ancho de banda que permita escalar la red.

La Estaciones Base o puntos de presencia generan una zona de cobertura utilizando los TVWS mediante dispositivos de radio cognitiva que se encargan de asignar las frecuencias disponibles para la transmisión de datos con la topología de red Punto a Multipunto hacia los dispositivos esclavos o CPE (Customer Premises Equipment), Equipo Local de Cliente.

El CPE WRAN, es el dispositivo esclavo de la red Punto a Multipunto que proporciona acceso en banda ancha a los concentradores de datos utilizando las bandas de frecuencia de TV abierta disponible es decir, utilizando los TVWS.

De forma general, el número de Smart Meters por concentrador de datos es elevado y suelen instalarse en puntos estratégicos de interés para las empresas distribuidoras de energía [27].

### **3.3.3 Red de Transporte**

La solución óptima de esta red dependerá mucho de la ubicación y la infraestructura de red disponible en los puntos de interconexión de cada estación base de la red de acceso. En la mayoría de casos serán del mismo sistema IEEE 802; y mientras nos acerquemos a las grandes urbes se pueden cambiar a redes WAN, DSL, o celular; que son de gran capacidad o más sencillos.

### **3.3.4 Utilidades de Oficina**

Finalmente el objetivo principal del Smart Metering es el control y monitoreo para realizar la entrega de información y realizar la gestión sobre el uso de la red a los sistemas de operación y mantenimiento y brindar un mejor servicio eléctrico con el fin de aumentar la relación con el cliente.

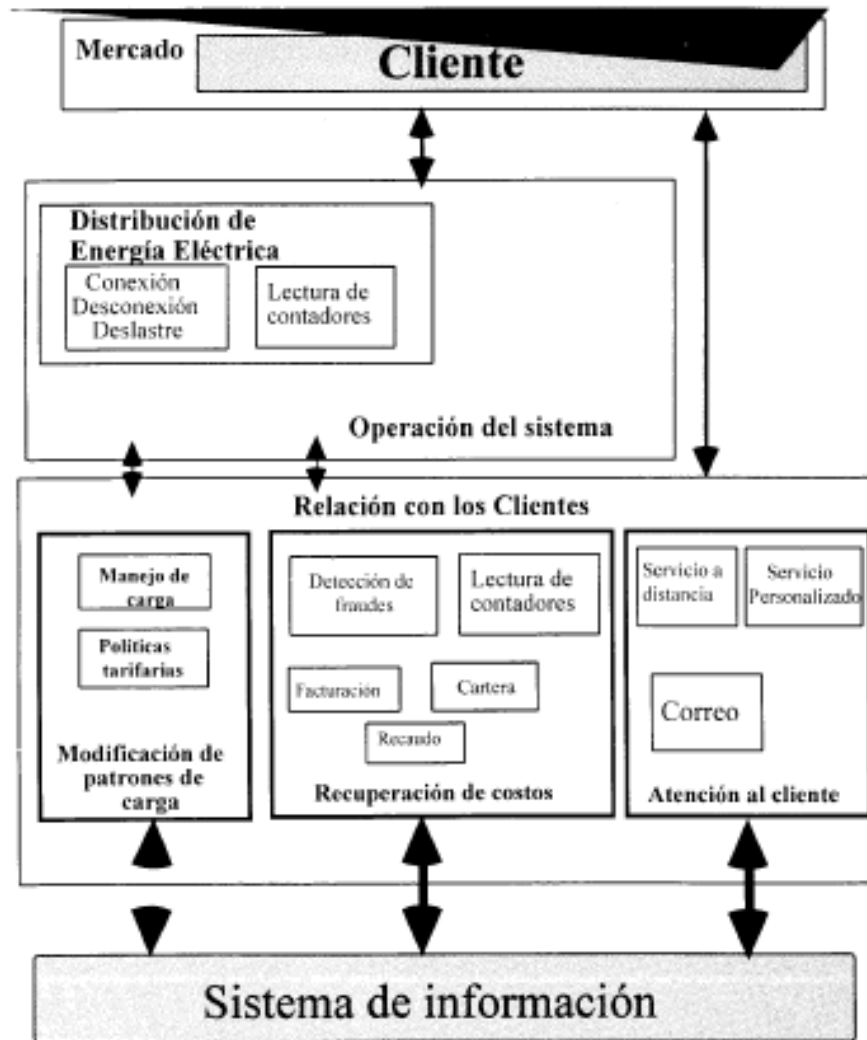


Figura 3.2 Estructura de las Utilidades de Oficina.

Fuente: M. T. (UnianDES/Departamento de I. E. Torres, A. (UnianDES/Departamento de I. E. García, A. (UnianDES) Torres, M. (UnianDES/Departamento de I. E. Duque, and C. (UnianDES) García, "La medición remota de energía eléctrica: un campo de oportunidades para la industria Colombia," Rev. Ing. UNIANDES, p. 39.

Ver Figura 3.2 donde se observa un ejemplo de la estructura que puede tener una empresa distribuidora de energía eléctrica. Este esquema de organización da un cambio drástico al modelo convencional de organización en donde no se tiene una clara responsabilidad del producto final o servicio. Se ha eliminado la burocracia con todos los trámites entorpecedores que estos generan y por lo tanto se podrán eliminar algunos departamentos como por ejemplo el de contabilidad. En la nueva estructura, toda la labor está a cargo de los sistemas de información los cuales integran y recopilan la información del estado de la empresa [28].

### **3.4 Análisis del equipamiento disponible para la implementación de Smart Metering**

A continuación vamos a realizar un análisis técnico sobre los equipos que se disponen a nivel mundial referentes a los sistemas de Smart Metering con sistemas WRAN. Por propósitos informativos vamos a describir brevemente estos equipos e indicar las características técnicas que deben tener cada uno de estos para satisfacer las necesidades requeridas en este estudio.

#### **3.4.1 Medidor Inteligente y Modulo de Comunicación**

Los medidores inteligentes a instalar deben cumplir con normativas y reglamentaciones que rigen en el país y disponer de características necesarias para cumplir las funcionalidades que realiza un medidor convencional y además de los nuevos servicios que se pretenden ofrecer. En tal virtud, el medidor debe ser tipo Network para clientes residenciales y para instalarse a la intemperie; con conexión a baja tensión bifásica (dos fases), de tres hilos, con una tensión de suministro nominal de 120 V fase-neutro y 208 V fase-fase.

Un Smart Meter de la fábrica ITRON cumple con las características técnicas del estudio que son las siguientes: Modelo CENTRON (Tecnología AMR de ITRON) tipo Network forma 12S (Base socket CL200), 3 hilos, 2 fases, 2 elementos, voltaje fase neutro 120 V a frecuencia de operación de 60 Hz, precisión CA0.5, corriente a carga plena máxima CL200 (Corriente máx. 200 A), corriente de prueba TA30 y constante de peso de pulso Kt 1.0, muestreo de 16 veces por medio ciclo para el cálculo de valores rms, registro de consumo de energía (KWh delivered), registro de eventos (sabotajes, eventos anómalos, ilícitos), la comunicación RF permite transmitir cada 5 minutos los datos de lectura y almacenarlos en el servidor de datos así como el ID del medidor, el tipo, chequeo de la redundancia cíclica (CRC). En el Anexo I se indica con más detalle las características del medidor en análisis.

Con el fin de facilitar el control de clientes con problemas de pago y que con frecuencia se les debe cortar el servicio eléctrico, el medidor debe tener incorporado un relé que permite el servicio de corte y reconexión remotamente. O bien, la empresa distribuidora podrá implementar un sistema de prepago similar al del servicio celular.

Para este estudio en particular según los datos que se requieren medir en los Smart Meter y para la capacidad deseada, el análisis se puede realizar con medidores de tecnologías

AMR. Ya que realizar el trabajo con medidores AMI encarecería el proyecto puesto que no se utilizaría todo el potencial técnico de dichos medidores y se realizaría las mismas tareas y aplicaciones que con medidores AMR. Existe en el mercado medidores AMR con módulos de comunicación para lecturas por radio-frecuencia y su respectivo sistema de recolección de datos (C&I Collection Systems). Estos módulos emisores deben estar dentro de cada medidor y tanto estos equipos como los equipos receptores deben utilizar una banda de frecuencia que no necesita concesión, es decir que tiene licencia. Para nuestro caso, el modulo debe ser capaz de transferir un registro de datos que corresponderá al consumo de energía (KWh), y dependiendo de otras mediciones deseadas se podrá aumentar los registros enviados, cambiando el módulo de comunicaciones en el medidor. La cantidad de registros que se puede transferir por RF hasta el concentrador de datos (Collector Control Unit, (CCU)) puede llegar hasta 3 donde se podrá medir: la energía consumida, la energía recibida, etc. Además debe tener un registro de ilícitos adicional que siempre será transmitido por RF el cual indica por ejemplo: sabotaje del medidor, inversión de fases, rotación de disco en reversa, fechas y horas de cortes o reconexiones de energía, etc.

El módulo de comunicación para el medidor en análisis es el modelo R300 IDM para medidor CENTRON. El cual tiene una infraestructura de comunicación propia (Frecuencia de uso libre) y brinda una escalabilidad compatible con Smart Metering. Este módulo de comunicación se conecta dentro del medidor y no necesita de antena externa, su potencia isotrópica es de 250 mW.

### **3.4.2 Concentrador de Datos y Repetidoras**

Para respaldar la recolección de datos en los medidores, los módulos de comunicación de estos, además de ser leídos por medio del concentrador de datos CCU, pueden ser interrogados por equipos auxiliares de comunicación RF portátiles o vía celular. Esta versatilidad permite desarrollar respaldos de los datos en sitio y complementarios a la red primaria dando herramientas útiles para solucionar fallas en casos de emergencia en el sistema principal.

Dicho esto, el CCU adecuado para nuestro estudio es el modelo CCU 100 tipo remoto de la fábrica ITRON, apropiado para las inclemencias naturales como lluvia, viento, temperatura e insectos. El cual cuenta con una radio antena tipo N hembra para los 903

MHz y 926 MHz. El radio de cobertura del dispositivo es de 1 Km y puede recolectar lecturas de hasta 6.000 medidores, puede trabajar con un suministro de energía de 120 V y/o 240 V.

El CCU 100 dispone de una batería de respaldo que en caso de apagón lo energiza por 90 minutos, así mismo cuenta con un respaldo de memoria que en caso de falla de comunicación puede almacenar hasta 3 días de información de 50000 medidores con intervalos de 60 minutos cada uno. Para mayor información del dispositivo ver en Anexo II, todas las características.

Así mismo se pueden incorporar repetidores de señal haciendo redundante la cobertura de los puntos de medición y aumentar la fiabilidad del sistema. Con este fin se pueden utilizar los dispositivos REPEATER 100 compatibles con los equipos en estudio. Para mayor información del equipo revisar el Anexo III.

Se debe tener en cuenta que el CCU 100 se lo debe configurar utilizando la aplicación del paquete de programas Network Collection Engine (NCE) que se debe instalar en una computadora. El Collector Configuration Application (CCA) es la aplicación del NCE que permite configurar y administrar los CCU 100 ya sea de manera individual o grupal. El CCA permite ingresar los valores que se deben asignar a los parámetros en cada procedimiento y los cuales se ajustan a los alcances de cada proyecto. A continuación un resumen de algunos parámetros:

- Tiempo de inicio de calendario.
- Tiempo para revisar actualizaciones de software en NCE.
- Tiempo para revisar nuevas configuraciones en NCE.
- Tiempo para enviar los datos de lectura a NCE.
- Tiempo para enviar datos de diagnóstico del CCU al NCE.
- Duración de llamada.
- Numero de reintentos de llamada perdida.
- Tiempo de espera entre reintentos.

De acuerdo a los valores que asignemos a cada parámetro, se puede realizar varias configuraciones para la operación de los CCU en campo. Por defecto, el CCU 100 viene de fábrica con una versión muy simplificada. Las actualizaciones del Collector Software son

liberadas periódicamente por ITRON y se recomienda aplicarlas a todas las unidades instaladas en campo. El proceso para actualizar el firmware se realiza por medio de la conexión WRAN entre el servidor Web del NCE y el CCU.

Así mismo, cuando un CCU es ingresado al sistema NCE, este se asigna por defecto a la localidad del Grupo 0 con una comunicación DHCP. Esto corresponde a una configuración “Grupal”. En caso de querer ajustar una comunicación por dirección estática, se debe seleccionar “Individual”. El manejo de grupos es una funcionalidad propia del administrador del sistema pues cada grupo se le puede asignar diferentes valores según los intereses, entre ellos: el horario de lectura, los parámetros de comunicación, la lista de exclusión de dispositivos a leer. Revisar el Anexo IV para mayor información.

A continuación, la etapa ICS (Initial Collector Setup) es en realidad la finalización del proceso para configurar el colector de información e ingresarlo a “Network Collection Engine (NCE)”. Es un procedimiento rutinario y requiere únicamente respetar estrictamente la secuencia de pasos, por lo que se remite directamente al manual “Collector Configuration Application User Guide”.

### **3.4.3 Equipo Local de Cliente y Estación Base**

El CCU recogerá toda la información de los medidores asociados a este, y este a su vez transmitirá la información recibida a un Equipo Local de Cliente (CPE). El CPE debe contar con una antena directiva que opere en la banda de TV (54 MHz a 968 MHz) y que le permite comunicarse con la Estación Base haciendo un uso más eficiente de la energía radiada, ya que la antena se debe orientar apuntando al punto fijo de la estación base de tal manera que el patrón de radiación de la antena concentre la mayor cantidad de energía hacia la Radio base WRAN. Una de las antenas que se adapta a nuestra necesidad es de marca CABLETCH, modelo ANT0559 que proporciona una ganancia de 30 dBi y opera en la banda de frecuencia entre los 470 MHz a 862 MHz [29].

En cuanto al CPE y a la Estación Base propiamente dicho, debido a que el estándar IEEE 802.22 corresponde a una nueva tecnología, actualmente no existen equipos a nivel comercial, y por lo tanto con fines educativos e instructivos únicamente, se analizaron prototipos de estos equipos diseñados e implementados por el Instituto Nacional de Tecnologías de la Información y la Comunicación (NICT, National Institute of Information and Communications Technology).

Por último, la estación base del sistema se deberá ubicar estratégicamente en una localidad que proporcione la mejor cobertura posible de acuerdo a la topología de la zona para proporcionar la comunicación con el menor número de recursos invertidos. Y puede hacer uso de una antena omnidireccional que puede ser una marca LAPROTEL modelo P4DUHF, para emisión de señales en la banda UHF en el rango de frecuencia: 470 MHz a 860 MHz., y Ganancia de 12 dB [30].

#### **3.4.4 Servidores y Bases de Datos**

El NCE es en realidad, el conjunto de componentes que permiten conectar el hardware con el software. Por lo tanto, es imprescindible dimensionar apropiadamente los servidores Web y Database para cumplir con las capacidades de lectura, escritura y almacenamiento de los datos de facturación y de los datos provenientes de los medidores de energía. En nuestro estudio, se utilizará únicamente medidores de energía (no agua ni gas) lo que corresponde según el análisis realizado en el ítem 3.2, a una cantidad estimada de 50.000 unidades.

Los alcances de este estudio obligan por efectos de seguridad almacenar los datos en el Departamento de Facturación de la distribuidora, para lo cual se debe utilizar la interfaz de usuario del Fixed Network (UI-FN) de ITRON. Sin embargo, existe una interfaz web (Web I-FN) que podría permitir a los abonados revisar su consumo de energía por medio de un navegador de Internet. Para utilizar la interfaz en línea se requiere del Endpoint ID que cumplirá la función de “usuario” y un código de ingreso provisto por la distribuidora que cumplirá la función de “clave de acceso”.

Por lo tanto la configuración adecuada del software Fixed Network es CFG-I. Esta incluye además la opción de instalar posteriormente la interfaz Billing Gateway (BGW), la cual permite exportar los datos de facturación de Fixed Network a un programa externo si lo tiene la distribuidora.

En tal virtud, En la Tabla 3.4, se especifica la plataforma para la arquitectura CFG-I con almacenamiento de 40 días, hasta 50.000 medidores con ciclos de lectura de 60 minutos. La RAM corresponde al tipo DDR3 PC3-10600R-DIMM.



ÍTEM	NWS DATABASE SERVER
Almacenamiento (días)	40
Servidor	HP DL360 G7 (2U)
CPU	1 x Quad Core Xeon E5620
RAM	6 GB
Disco (interno)	
C:	2 x 146 GB
D:	2 x 146 GB
O/S	Microsoft Windows Server 2003 R2 Estándar x64 Edition, SP2
Database SW	Microsoft SQL Server 2005 Standar x64 Edition, SP4
DB Backup SW	Uses MS SQL Server (above)

*Tabla 3.4 Especificaciones para Web server y Data server.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Así mismo, los discos duros tanto del Data server como los del servidor Web deben llevar una configuración precisa. Para mayor detalle de cómo configurar apropiadamente los servidores para el sistema Fixed Network, se debe revisar el manual de ITRON, “FN Server Config Guide - NWS v4.1-Rev-002” [31].

### **3.5 Determinación de la capacidad para la transmisión de la información de Smart Metering en el área rural**

De lo expuesto en capítulos anteriores, se necesita establecer la factibilidad de un sistema de Smart Metering para las zonas rurales, en donde la demanda del suministro eléctrico puede llegar alcanzar en promedio unos 50.000 usuarios. Por lo tanto hemos realizado el análisis de los equipos y dispositivos que se pueden utilizar para la implementación y es necesario establecer la capacidad para la transmisión de los datos de acuerdo a la demanda.

#### **3.5.1 Planificación de la Radiofrecuencia y Demanda de tráfico**

El Sistema IEEE 802.22 hace uso de la tecnología de Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)), es una multiplexación que consiste en enviar un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias, donde cada una transporta información, la cual es modulada en QAM o en PSK. A su vez utiliza la modulación adaptativa que va desde QPSK para los puntos más distantes de la estación base con una eficiencia espectral de 0.5 bit/s/Hz, hasta 64 QAM

para los más próximos, con una eficiencia espectral de 5 bit/s/Hz. El ancho de banda del canal es de 6 MHz, lo que da como resultado una capacidad de canal promedio de 18 Mbps. A continuación en la Tabla 3.5, se pueden observar los radios de cobertura y las características principales de cada uno de los tipos de modulación [32].

MODULACIÓN	QPSK	16 QAM	64 QAM
Ancho de banda de canal	6MHz	6MHz	6MHz
Reutilización de frecuencia	1	1	1
Eficiencia espectral (b/s/Hz)	0.5	3	5
Capacidad por canal de 6MHz (Mbps)	3	18	30

*Tabla 3.5 Capacidad de canales basados en estándar IEEE 802.22.*

*Fuente: E. Quel, "Banda Ancha Inalámbrica en Zonas Rurales con Redes Súper WI-FI," Sangolquí, 2014, p. 3.*

### **3.5.2 Análisis de Cobertura para las zonas rurales**

Para el alcance de este estudio se realizara las estimaciones con valores de promedios generales, tanto de población como de superficie a nivel territorial continental únicamente, ya que el estudio es para zonas rurales en general y no para una zona en particular. De esta manera se tendrá una idea general de la cobertura que requiere un sistema con tecnología WRAN apegada a nuestra realidad nacional.

Para estimar la densidad poblacional bruta del Ecuador continental consideraremos la fórmula estándar, es decir, la división del total de la población para el total de territorio que según el INEC con datos obtenidos del censo 2010; la densidad poblacional bruta es de 55.41 Hab/Km<sup>2</sup>.

Para este estudio definiremos también la densidad poblacional neta, que es una estimación más acorde a la realidad ya que es obtenida al dividir la población total para la diferencia entre el territorio continental y las zonas no habitables; en la Tabla 3.6, se puede observar las superficies consideradas no habitables. En cuyo caso, la densidad poblacional neta es de 128.81 Hab/Km<sup>2</sup>.

Zona	Área (Km <sup>2</sup> )
Área Total Continental	248359,48
Áreas Protegidas	48221.86
Zonas ganaderas, de cultivo y páramos	82655.77
Criaderos de camarones, peces y similares	2343.59
Ríos, lagos y lagunas	4591.31
Zonas desérticas y de playa	520.40

*Tabla 3.6 Áreas de las zonas consideradas no habitables en territorio continental.  
Fuente: D. Bastidas and P. Medina, "Estimación de la Densidad Poblacional del Ecuador Continental,"  
Analitika, vol. 1, p. 101, 2011.*

En tal virtud, si queremos saber la densidad poblacional rural promedio, se tiene que dividir el total de la población rural para la superficie continental habitable, dando como resultado una densidad poblacional rural de 48.97 Hab/Km<sup>2</sup>., de promedio total continental. Cabe recalcar que estos son valores estimados en función de promedios generales, tanto de población como de superficie. Para casos específicos, el cálculo se lo debe realizar con los datos correspondientes a cada zona, ya que la densidad poblacional bruta varía desde los 0 hasta los 4701.63 Hab/Km<sup>2</sup>. Tanto en Cononaco en la provincia de Orellana y en Cuenca en la provincia del Azuay respectivamente [33] [34].

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS TÉCNICO DE LA FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE SMART METERING EN LAS ZONAS RURALES CON TECNOLOGÍAS DE RADIO COGNITIVA**

En este capítulo se describe a la posible solución óptima al problema en correlación con los objetivos específicos planteados para este estudio, y por tanto, los criterios de ingeniería utilizados para llegar a su diseño.

#### **4.1 Análisis del uso de tecnología de radio cognitiva en los espacios en blanco de televisión aplicada a Smart Metering**

Como se indicó en el capítulo anterior, aún no está desarrollada completamente la tecnología a nivel comercial, sino única y exclusivamente con fines de desarrollo e investigación y por lo tanto vamos a realizar el análisis en base a las tecnologías desarrolladas y pruebas que se han llevado en campo en varios países del mundo y principalmente en Japón.

##### **4.1.1 Base de Datos y Estación Base TVWS**

El Instituto de Tecnologías de la Información y Comunicación (NICT, por sus siglas en ingles); en 2012 realizó con éxito la primera comunicación inalámbrica en las bandas de TV (470 MHz a 710 MHz), donde los canales que ocuparon los equipos de radio para las pruebas fueron determinados de acuerdo a los resultados de los cálculos realizados desde la Base de Datos de los Espacios en Blanco (WSDB, por sus siglas en ingles), desarrollados por ellos.

La WSDB desarrollada proporciona la información de canales de TV disponibles (espacios en blanco de TV) para la Estación Base de Espacios en Blanco (WSBS, por sus siglas en ingles), La interfaz entre las señales de TV existentes y el sistema secundario es calculada automáticamente y los canales disponibles son asignados a cada ubicación de los WSBS. Ver figura 4.1, donde se observa que el WSDB está equipado con una interfaz web y puede implementar múltiples métodos de cálculo e intercambiar entre ellos.

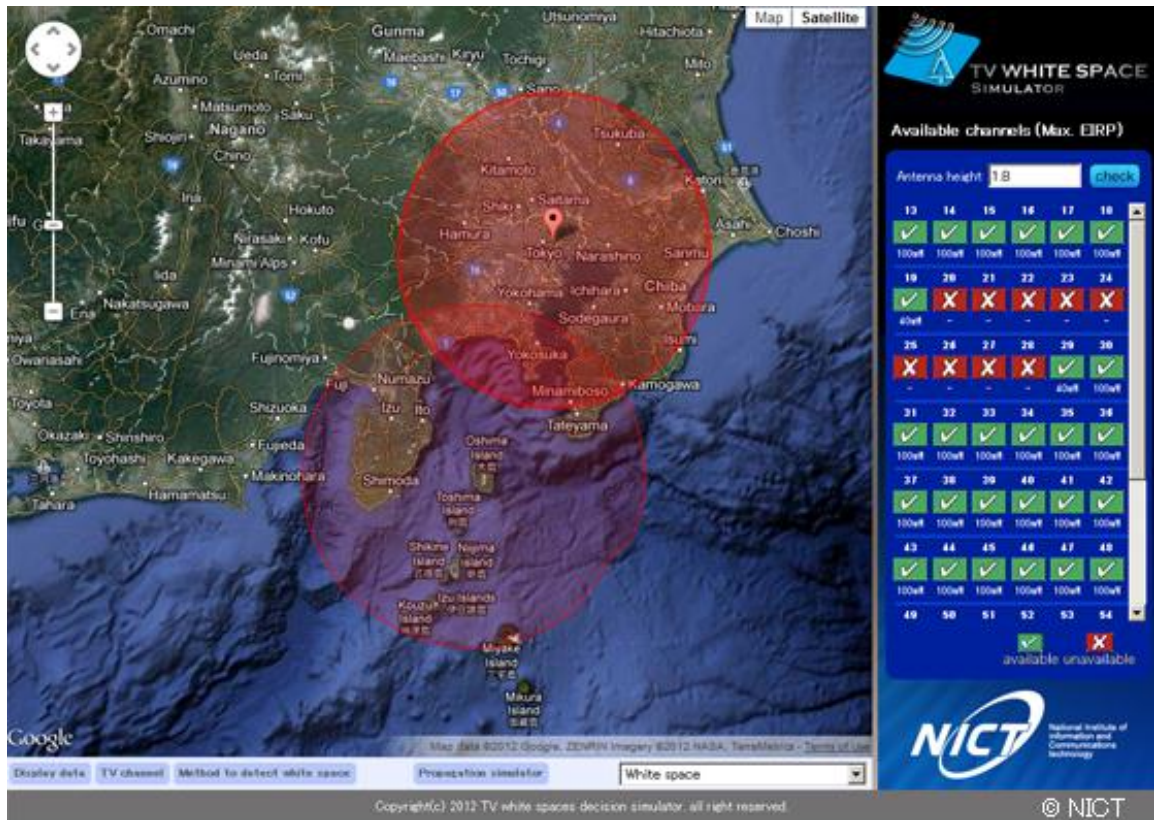


Figura 4.1 Captura de pantalla de la interfaz de administración de la WSBS.

Fuente: “Comunicado de prensa | comunicación inalámbrica en los espacios en blanco de televisión logró / NTIC-Instituto Nacional de Tecnologías de la información y la comunicación.” [Online]. Available: <http://www.nict.go.jp/en/press/2012/06/07en-1.html>. [Accessed: 04-Feb-2015].

Haciendo referencia a la Figura 4.1, los círculos en rojo corresponden al área de cobertura de las señales de TV calculado aplicando las reglas de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, por sus siglas en inglés). Por otra parte, al lado derecho de la figura se puede observar la lista de canales disponibles en un lugar determinado (Yokosuka, Japón) con una altura de antena especificada.



Figura 4.2 Estación Base para Espacios en Blanco (WSBS).

Fuente: “Comunicado de prensa | comunicación inalámbrica en los espacios en blanco de televisión logró | NTIC-Instituto Nacional de Tecnologías de la información y la comunicación.” [Online]. Available: <http://www.nict.go.jp/en/press/2012/06/07en-1.html>. [Accessed: 04-Feb-2015].

Un prototipo de WSBS se observa en la Figura 4.2, tiene instalados módulos de RF reconfigurables capaces de operar entre los 470 MHz hasta los 710 MHz con una potencia de salida de 100 mW. Funciona como un router inalámbrico por el que se puede conectar un equipo terminal WLAN a internet a través de este dispositivo.

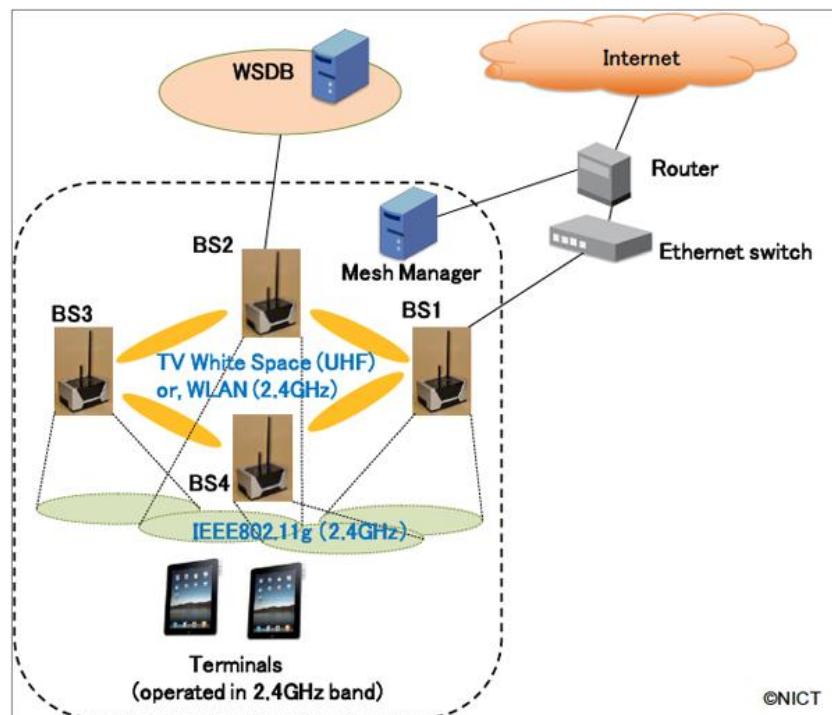


Figura 4.3 Arquitectura del sistema.

Fuente: “Comunicado de prensa | comunicación inalámbrica en los espacios en blanco de televisión logró | NTIC-Instituto Nacional de Tecnologías de la información y la comunicación.” [Online]. Available: <http://www.nict.go.jp/en/press/2012/06/07en-1.html>. [Accessed: 04-Feb-2015].

Ver Figura 4.3 donde muestra el WSBS que puede organizar una red mallada, ya sea por WLAN (2.4 GHz) o reconfigurar la unidad de RF para espacios en blanco. La BS1 organiza la red a través de la banda de 2.4 GHz, entonces todas las demás acceden al WSDB para obtener los canales disponibles. La WSBS no puede operar en los espacios en blanco que hayan sido aprobados por la WSDB. Estos canales disponibles son enviados al gestor de malla para que este determine un canal de frecuencia para operar [35].

#### 4.1.2 CPE con tecnología de Radio Cognitiva

En enero de 2013, NICT en colaboración con ISB Corporation. Desarrollaron los primeros prototipos del mundo de estación base (BS) y equipos locales de cliente (CPE). El CPE desarrollado por NICT es uno de los prototipos que se espera en un futuro poder comercializar. Este CPE fue implementado en una Tablet en 2013 y luego en un Smart Phone en 2014, y son capaces de hacer uso de los espacios en blanco del espectro de TV según el estándar IEEE 802.22. En la Tabla 4.1, se muestra algunas de las características de estos prototipos [36].

ÍTEM	CARACTERÍSTICAS
Banda de Frecuencias	470 – 710 MHz (TVWS)
Ancho de Banda	6, 10, 20 Mhz
Potencia	20 dBm Máx.
Tecnología de Acceso Múltiple	OFDMA/TDD
Modulación	QPSK, 16-QAM, 64-QAM

*Tabla 4.1 Especificaciones del prototipo CPE de NICT.  
Fuente: Elaboración propia.*

En agosto de 2013 NTIC desarrollo la primera Tablet portátil del mundo con sistema Androide que permite comunicaciones de radio en bandas de TV. Ver Figura 4.4. Este terminal se basó en una plataforma desarrollada para cambiar la frecuencia e implementar el uso de los espacios en blanco de TV. La Tablet puede conectarse a un servicio de internet a través de comunicaciones por radio en las bandas de TV y de una red WLAN. Tiene comunicación con estándar IEEE 802.22 e IEEE 802.11b/g; es decir dispone de ambas tecnologías para lograr el acceso a la red.





*Figura 4.4 Prototipo de Tablet y Estación Base WLAN con TVWS.*

*Fuente: “Comunicado de Prensa | Primera Terminal Tablet portátil del mundo en TV Blanco-espacio | NTIC-Instituto Nacional de Tecnologías de la información y la comunicación.” [Online]. Available: <http://www.nict.go.jp/en/press/2013/08/28-1.html>. [Accessed: 29-Jan-2015].*

La Tablet puede operar sin interferir con las transmisiones de TV ya que los cambios de frecuencia que realiza para utilizar los TVWS son del resultado de los cálculos proporcionados por una base de datos también desarrollado por NTIC., el cual permite por medio del gestor de red, seleccionar automáticamente la frecuencia optima de acuerdo al tráfico de datos [37].

#### **4.1.3 Estación Base con tecnología de Radio Cognitiva**

Por otro lado, la misma NICT en colaboración con HITACHI KOKUSAY ELECTRIC INC., e ISB CORP.; han desarrollado los primeros prototipos del mundo de una Estación Base (BS), basados en el estándar IEEE 802.22. Estos prototipos desarrollados operan en los TVWS (470 MHz a 710 MHz), y proporcionan acceso inalámbrico de banda ancha a zonas rurales con copia de seguridad fiable en caso de emergencia. Ver Figura 4.5 y Figura 4.6, donde se muestra el prototipo desarrollado.





*Figura 4.5 Prototipo basado en IEEE 802.22 externamente.*

*Fuente: “Comunicado de Prensa | Primera TV Blanco Prototipo espacial del mundo, basada en el estándar IEEE 802.22 para la Red de Área Regional inalámbrica | NTIC-Instituto Nacional de Tecnologías de la información y la comunicación.” [Online]. Available: <http://www.nict.go.jp/en/press/2013/01/30-1.html>. [Accessed: 28-Jan-2015].*



*Figura 4.6 Prototipo basado en IEEE 802.22 internamente.*

*Fuente: “Comunicado de Prensa | Primera TV Blanco Prototipo espacial del mundo, basada en el estándar IEEE 802.22 para la Red de Área Regional inalámbrica | NTIC-Instituto Nacional de Tecnologías de la información y la comunicación.” [Online]. Available: <http://www.nict.go.jp/en/press/2013/01/30-1.html>. [Accessed: 28-Jan-2015].*

Tanto los BS como los CPE desarrollados por NICT, cuentan con la verificación de la capa física (PHY) y el control de acceso al medio (MAC) basada en el estándar IEEE 802.22. La parte concerniente a la capa PHY fue desarrollada por HITACHI KOKUSAI ELECTRIC INC., y permite que los dispositivos utilicen bandas de TV vacantes en todo el rango de frecuencia de 470 MHz – 710 MHz, por otra parte, la capa MAC desarrollado por NTIC proporciona un método de acceso al medio basado en el acceso punto a multipunto con el apoyo de los diferentes niveles de calidad de servicio, y es compatible con las capacidades cognitivas de estimación de la interferencia, geo-localización y espacio en

blanco de base de datos (WSDB) con acceso a través de IP. El WSDB proporcionado por ISB CORP., evita la interferencia de las emisoras primarias de TV seleccionando automáticamente las bandas de TV que no transmiten [38]. En nuestro estudio, la WSDB puede ser desarrollada y administrada por la entidad reguladora de las telecomunicaciones o en su defecto con una empresa o institución pública o privada debidamente autorizada por el órgano regulador del sector.

Para enero de 2014 en la ciudad de Tono, Japón; se realizó la primera prueba de campo en el mundo mediante TVWS basados en el uso de IEEE 802.22 y IEEE 802.11af. En este ensayo, la NTIC y Hitachi Kokusai observaron satisfactoriamente la transmisión de datos tanto de bajada como de subida a una distancia de 12.7 Km entre la BS y el CPE, a una velocidad de 5.2 Mbps y 4.5 Mbps, respectivamente. Además, NTIC y Hitachi Kokusai construyeron una red de salto múltiple mediante el uso de IEEE 802.22 para el enlace troncal e IEEE 802.11af, conectado a esta, para ampliar su área de conexión. Ver Figura 4.7.

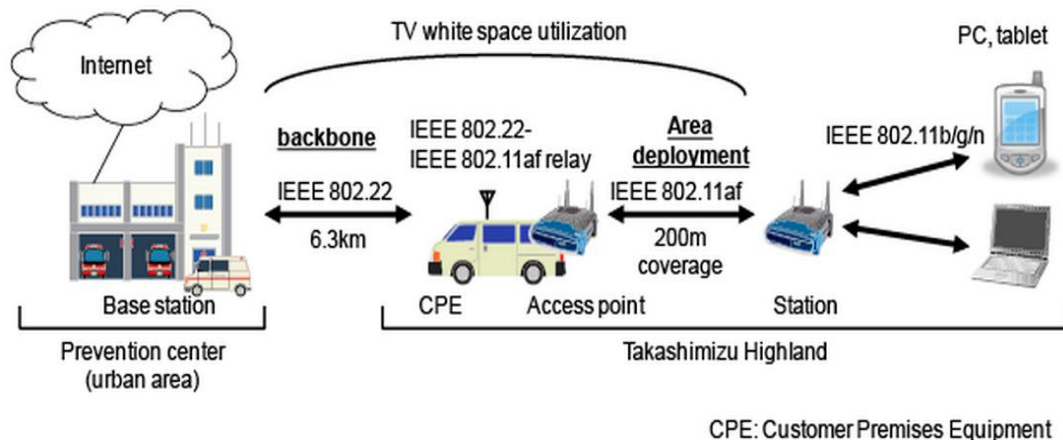


Figura 4.7 Red Multihop basado en IEEE 802.22 y IEEE 802.11af.

Fuente: “Comunicado de Prensa | Primer Avance del mundo Conseguido a larga distancia en comunicaciones de banda ancha en el espacio blanco de la TV | NTIC-Instituto Nacional de Tecnología de Información y Comunicaciones.” [Online]. Available: <http://www.nict.go.jp/en/press/2014/01/23-1.html>. [Accessed: 29-Jan-2015].

En este ensayo, se demostró algunas aplicaciones tales como: el vídeo monitoreo de carreteras y acantilados y vídeo teléfono en zonas montañosas, donde no hay conexiones (cableadas-inalámbricas) de Internet disponibles. Estos logros demostraron la viabilidad de brindar servicios de banda ancha en las zonas rurales y el apoyo a las comunicaciones por radio durante las actividades de socorro en desastres [39].

## 4.2 Caracterización de la red de transporte y factibilidad técnica para la implementación de Smart Metering en las zonas rurales

Como se mencionó en el Capítulo III el CCU adecuado para nuestro estudio es el modelo CCU 100 tipo remoto de la fábrica ITRON, apropiado para las inclemencias naturales como lluvia, viento, temperatura e insectos. El cual cuenta con una radio antena tipo N hembra para los 903 MHz y 926 MHz. El radio de cobertura del dispositivo es de 1 Km y puede recolectar lecturas de hasta 6.000 medidores.

Adicionalmente en el ítem 3.2; se analizó la cantidad de viviendas que se encuentran en la zona rural, y un posible incremento de las mismas, las cuales en su defecto corresponden al número de medidores que se deberían manejar en la zona rural, así como que estas zonas rurales se encuentran bajo la jurisdicción de una distribuidora eléctrica, dándonos un total de 50000 medidores por cada distribuidora eléctrica.

Una vez que se conoce la cantidad de medidores que puede manejar un solo CCU y la demanda total de medidores, la infraestructura de comunicación debe cumplir con ciertos requerimientos de retardo, confiabilidad, escalabilidad y seguridad. La escalabilidad es uno de los temas más importantes para la implementación de AMI en la red eléctrica inteligente.

El transporte de las lecturas de los medidores de consumo eléctrico requiere de un mayor ancho de banda para disminuir la latencia y proporcionar respuestas en tiempo real.

La Tabla 4.2, muestra los requerimientos de ancho de banda en cada nodo:

Requerimiento	Rango
Ancho de Banda	10-100 kbps/nodo, 500 kbps por retorno
<i>Latencia</i>	2-15 Seg
<i>Confiabilidad</i>	99-99.99%
<i>Seguridad</i>	Alta
<i>Respaldo de Energía</i>	No es necesario

Tabla 4.2 Funcionalidades y necesidades de las comunicaciones.

Fuente: E. Inga, G. Arevalo, and R. Hincapie, "Optimal deployment of cellular networks for Advanced Measurement Infrastructure in Smart Grid," 2014, p. 2.

Es decir cada nodo concentrado está en la capacidad de administrar información de hasta 100 Kbps. Cada medidor estará configurado para proporcionará 2 medidas simultáneamente, tanto del consumo eléctrico como de datos sobre posibles fraudes o fallas.

El registro de información está disponible en dos tamaños: 48 kilobytes y 96 kilobytes. La cantidad de memoria realmente utilizada para registro de carga se puede programar en incrementos de 1 kilobyte.

La duración de los intervalos de medición puede ser programada para 1; 2; 3; 4; 5; 6; 10; 12; 15; 20; 30; ó 60 minutos.

De acuerdo a proyectos emblemáticos y casos de estudio como los presentados por Oncor–Texas/USA se advierte que se requeriría de una frecuencia de 15 minutos para leer cada smart meter, sin embargo por la cantidad de información a ser administrada por cada distribuidora eléctrica, en la zona rural se considera suficiente realizar mediciones con una frecuencia de 30 minutos [40].

La información recolectada permitirá monitorear el estado de los equipos y analizar patrones de consumo de la energía por usuario o zona geográfica. Información que puede aprovecharse para el diseño y proyección de todo sistema energético.

#### **4.2.1 Tasa de transmisión de cada medidor**

La información que recolectan los medidores se almacenará en una memoria de 48 Kbytes, con censado cada 30 minutos, por lo que a continuación se procede con el cálculo del ancho de banda que utilizará cada medidor para enviar su información hacia el CCU mediante (4.1).

$$AB_{\text{medidor}} = \frac{48 \text{ Kbytes}}{\text{medida}} * \frac{1 \text{ medida}}{30 \text{ minutos}} * \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ seg}} * \frac{8 \text{ bits}}{1 \text{ byte}} \quad (4.1)$$

$$AB_{\text{medidor}} = 213 \text{ bps}$$

Dónde:

$AB_{\text{medidor}}$  = Ancho de Banda del medidor de energía.

En el ítem 3.5, del Capítulo III se determinó que la densidad poblacional en las zonas rurales es de 48.97 Hab/Km<sup>2</sup>, y el INEC a su vez a determinado que un hogar está constituido por cuatro habitantes, es decir la densidad de hogares promedio en las zonas

rurales es de 13 hogares por kilómetro cuadrado, este dato es de gran importancia, por cuanto se debe contrarrestar con la cobertura que alcanza cada una de las estaciones base.

La cobertura del equipo propuesto (ITRON modelo CCU 100) es de 1 Km, así como que el mismo permite manejar hasta 6.000 medidores, es decir al tener en promedio 13 hogares por Km<sup>2</sup> nuestro equipo propuesto soporta sin problema el número de medidores.

#### 4.2.2 Información almacenada en cada CCU

Una vez que conocemos el ancho de banda que es enviado por cada medidor, y que el equipo propuesto (ITRON modelo CCU 100) tiene un radio de cobertura de 1 Km, podemos determinar la cantidad de información que es gestionada en cada CCU, la cual deberá ser enviada a la estación base con tecnología de radio cognitiva, a continuación se realiza el cálculo del ancho gestionado por cada CCU mediante (4.2) teniendo en cuenta que en la zona rural existe una densidad de hogares promedio de 13 hogares/Km<sup>2</sup>:

$$AB_{CCU} = AB_{medidor} * \# \text{hogares/Km}^2 \quad (4.2)$$

$$AB_{CCU} = 213 \text{ bps} * 13 \text{ hogares/Km}^2$$

$$AB_{CCU} = 2769 \text{ bps}$$

Dónde:

$AB_{CCU}$  = Ancho de Banda del concentrador de datos.

Los cálculos realizados se refieren única y exclusivamente al promedio de un número de hogares por kilómetro cuadrado de las zonas rurales, sin embargo, a fin de garantizar una escalabilidad de la red y un servicio óptimo, es necesario dejar un margen positivo de ancho de banda. Para el caso de estudio se estima de un 5 % adicional, es decir, el ancho de banda manejado por cada CCU utilizando (4.3) es el siguiente:

$$AB_{CCU} = 2769 \text{ bps} + 5\% \quad (4.3)$$

$$AB_{CCU} = 2907 \text{ bps}$$

$$AB_{CCU} \approx 2.9 \text{ Kbps}$$

Dónde:

$AB_{CCU}$  = Ancho de Banda del concentrador de datos.

Es decir cada CCU deberá enviar a la estación base mediante tecnología de radio cognitiva un promedio de 2.9 Kbps.

En el análisis se determinó que el área de cobertura de cada CCU será para un promedio de 13 hogares, sin embargo, el número total promedio de medidores en las zonas rurales son de 50000 medidores por cada distribuidora eléctrica, es decir que para cubrir a toda la zona rural promedio se necesitarían alrededor de 3800 CCU en un caso extremo.

La información de todos los CCU se debe enviar a la estación base, por lo tanto, mediante (4.4) y considerando que cada CCU maneja un ancho de banda de 2.9 Kbps, la información total de los CCU es la siguiente:

$$AB_{Total} = AB_{CCU} * \# \text{ total CCU} \quad (4.4)$$

$$AB_{Total} = 2.9 \text{ Kbps} * 3800 \text{ CCU}$$

$$AB_{Total} \approx 11 \text{ Mbps}$$

Dónde:

$AB_{TOTAL}$  = Ancho de Banda total de transmisión.

La información almacenada de los CCU ahora deberá ser enviada a la estación base mediante radio frecuencia, utilizando los espacios en blanco de televisión, si bien es cierto el estándar IEEE 802.22 establece que en los canales de 6 MHz de televisión se alcanza una capacidad de canal promedio de 18 Mbps, en la práctica eso varía en función de varios parámetros como la distancia y la modulación utilizada, así como si se necesita ampliar esta capacidad es necesario el uso de canales contiguos de 12 MHz para duplicar la capacidad.

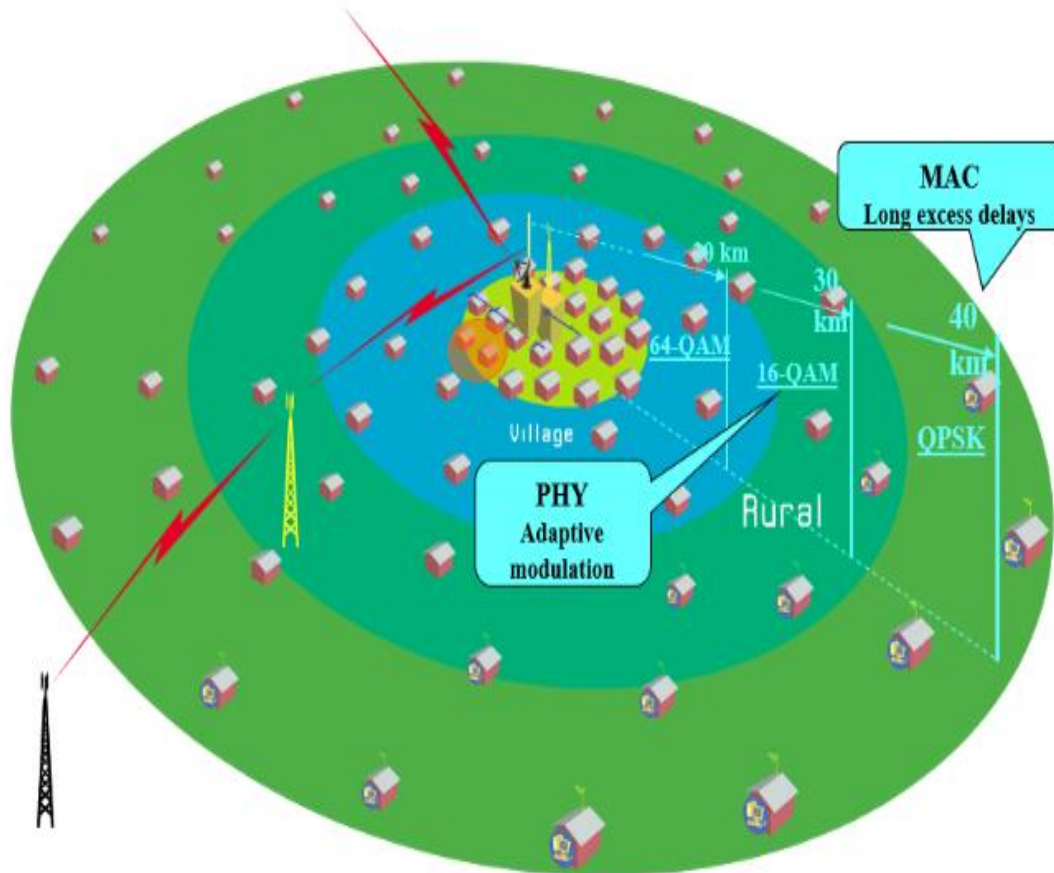


Figura 4.8 Modulaciones soportadas por IEEE 802.22 en función de la distancia de conectividad.  
 Fuente: E. Quel, "Banda Ancha Inalámbrica en Zonas Rurales con Redes Súper WI-FI," Sangolquí, 2014, p. 3.

Las zonas rurales por lo general se encuentran alejadas totalmente de la distribuidora eléctrica, por lo que la modulación a ser utilizada generalmente será 16QAM, que es la que a su vez permite alcanzar grandes distancias, sin embargo en la práctica se alcanza capacidades de hasta 5.2 Mbps en canales de 6 MHz. Ver Figura 4.8 [32].

Del análisis se desprende que para poder implementar la radio cognitiva como tecnología para la recolección de los datos de los medidores se necesita soportar capacidades de 11 Mbps, por lo que se hace necesaria la operación de la radio cognitiva en canales contiguos de 6MHz para aumentar la capacidad. En la práctica esto no se convierte en una problemática en las zonas rurales, ya que en estas zonas la disponibilidad de canales contiguos es muy amplia como se observa en la siguiente Figura 4.9.

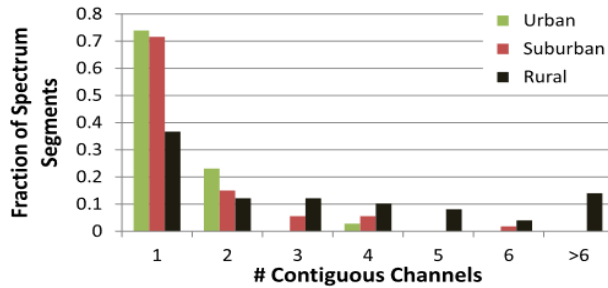


Figura 4.9 Comparación de disponibilidad de canales en la zona Urbana, Suburbana y Rural.  
 Fuente: E. Quel, "Banda Ancha Inalámbrica en Zonas Rurales con Redes Súper WI-FI," Sangolquí, 2014, p. 4.

Como se puede observar la implementación de radio cognitiva en los espacios en blanco de televisión se convierte en una alternativa viable para la recolección y envío de datos desde y hacia los medidores inteligentes.

Para el envío de la información desde la estación base hacia la distribuidora eléctrica se podría utilizar la misma tecnología de radio cognitiva en los espacios en blanco de televisión, o en su defecto diferentes tecnologías como enlaces microonda o fibra óptica, las cuales están en capacidad de soportar flujos de información superiores a los 11 Mbps.

En la siguiente gráfica se muestra el esquema simplificado de la red a implementar:

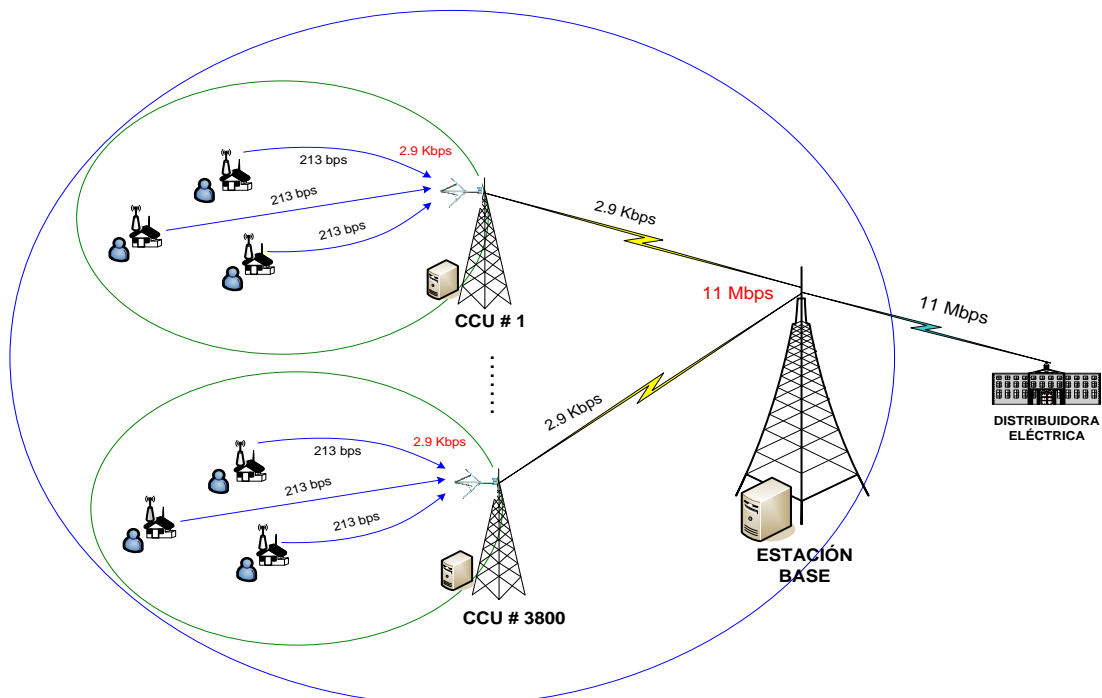


Figura 4.10 Esquema simplificado de la red con radio cognitiva para Smart Metering en zona rural.  
 Fuente: Elaboración propia.



## CONCLUSIONES

Smart Grid es capaz de integrar de manera inteligente las acciones de todos los usuarios tanto en la generación, como en el consumo y que están conectados a la red con la finalidad de distribuir eficientemente un suministro eléctrico que sea sustentable, económicamente competitivo y seguro, lo que repercutirá directamente en el desarrollo del mercado energético y en la evolución de la red eléctrica hacia una red inteligente.

Existen una gran cantidad de proyectos importantes y proyectos piloto sobre Smart Metering en varios países tales como Italia, Estados Unidos, Canadá, Japón, etc. Las empresas distribuidoras disminuirán las pérdidas energéticas ya que gestionarán la energía de manera autónoma, identificando y controlando el gasto de la misma; reduciendo los consumos mediante sofisticados análisis de los patrones de consumo haciéndolos más eficientes y de tal manera que se optimice la infraestructura de la red lo que permite ofrecer un mejor servicio al cliente, con más ventajas comerciales.

La clave de Smart Grid es implementar Smart Metering con el uso de Smart Meters para realizar el proceso de medición de los distintos parámetros y por el cual se cuantifica y transmite en tiempo real la información de las cantidades de energía consumidas o producidas para su gestión tanto en la medición de energía eléctrica, de gas u otro recurso como agua o fluido calo portador teniendo una comunicación bidireccional entre el distribuidor y el consumidor.

Para la realizar la comunicación bidireccional y sobre todo, de manera remota, los sistemas de radio cognitiva se presentan como una solución a la escasez de frecuencias disponibles en el espectro radioeléctrico. Puesto que las técnicas de asignación dinámica de las frecuencias en la radio cognitiva permiten a los usuarios reutilizar el espectro asignado y no utilizado y además sin interferir a los usuarios legítimos.

La preocupación por atender las necesidades de 5'392.713 personas que se encuentran en las zonas rurales del país, justifican a las empresas distribuidoras de energía en buscar nuevas alternativas tecnológicas de más eficiencia energética, territorial y espectral para la implementación de medición inteligente en estas zonas. La subutilización del espectro que hasta el momento solo se utiliza el 40 % del total y la progresiva liberación de las bandas de VHF y UHF asignadas a televisión abierta hacia la TV digital, permiten pensar en el uso más eficiente del espectro de TV abierta para la transmisión remota de datos del consumo eléctrico en el Ecuador.

El Estándar IEEE 802.22, es el que mejor se adapta para el estudio de este trabajo, el cual está dirigido a la implementación de Smart Metering en los sectores considerados vulnerables como son las zonas rurales y/o urbano marginales del país; ya que este estándar proporciona las mejores características con respecto a otros estándares de redes inalámbricas para la transmisión de datos desde los Smart Meters hasta las Bases de Datos de las distribuidoras eléctricas. Al no requerir de una licencia para el uso del espectro es más económico y además al utilizar sistemas de radio cognitiva pueden operar en las bandas de VHF y UHF que proporcionan una cobertura de hasta 40 Km con una tasa de transferencia de datos de hasta 22 Mbps, suficiente para brindar un servicio integral de comunicación.

El estudio realizado permite concluir teóricamente que sí es factible realizar la implementación de Smart Metering utilizando tecnologías de radio cognitiva en los espacios en blanco de TV, puesto que, para el número de usuarios rurales residenciales que pueden llegar a los 50.000, se ha previsto realizar un solo parámetro de medición; únicamente el de consumo de energía (KWh), que se lo realizaría cada 30 minutos; lo cual nos da una tasa de transmisión total de 11 Mbps hacia la estación base desde todos los CCU que están cubriendo toda la zona rural. Por lo tanto, la red WRAN IEEE 802.22 a implementar, requiere de 2 canales contiguos de 6 MHz para abastecer el ancho de banda necesario para la transmisión de datos. Que al tratarse de las zonas rurales, en la práctica no se convierte en una problemática ya que en estas zonas la disponibilidad de canales contiguos es muy amplia.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar más estudios sobre Smart Grids y la manera de implementar Smart Metering en todos los sectores urbanos y rurales con el apoyo de las empresas eléctricas, organismos de control y entidades gubernamentales, para alcanzar la transición hacia el manejo más adecuado y eficiente de los activos de la red eléctrica, hacia una Red Inteligente, que en un futuro próximo será una necesidad inminente.

Es recomendable profundizar los conceptos y los retos asociados con las TIC enfocados al uso de la Internet del futuro, en la medida en que puedan generar oportunidades para el sector eléctrico, ya que se avizora el desarrollo de la red eléctrica con una tendencia a la creación de redes inteligentes con equipos y dispositivos que se configuran de forma automática y pueden operar de forma autónoma. Además en los diseños de los proyectos siempre tomar las medidas pertinentes para lograr que estos sean fácilmente escalables con el fin de ampliar su cobertura e implementación en hospitales, edificios, centros comerciales, entre otros; y deben cumplir con los estándares internacionales que garanticen su longevidad para evitar una obsolescencia tecnológica a corto plazo.

Es recomendable comenzar una discusión desde la perspectiva social y política orientada a la democratización y del uso eficiente del espectro radioeléctrico, ya que el tema está focalizado y dominado por el debate técnico; en tal virtud es indispensable realizar normativas y reglas para el buen uso de los anchos de banda por las entidades de control pertinentes y teniendo en cuenta las disposiciones y normativas internacionales.

En vista de que las tecnologías de IEEE 802.22 están en etapas de pruebas y el análisis realizado se fundamente exclusivamente en las características técnicas que tienen los equipos en teoría, se recomienda considerar que la implementación del Sistema puede verse afectado por las características técnicas de los equipos que se utilicen, en algunos casos los equipos y dispositivos están más desarrollados que otros y se pueden obtener resultados satisfactorios o deficientes de acuerdo al uso de los mismos en las diferentes etapas de la arquitectura de red.

Ya que el estudio está dirigido a Smart Metering en las zonas rurales y exclusivamente a realizar la medición del parámetro de consumo de energía, se recomienda hacer uso de un medidor inteligente con tecnología AMR que es mucho más barato que un medidor AMI, ya que para nuestro propósito cumple con lo requerido y se encuentra en el mercado fácilmente.

En lo posible para la implementación de Smart Metering se recomienda realizar el diseño de una plataforma de comunicación propiedad de la misma empresa distribuidora utilizando equipos y dispositivos de una misma marca, ya que esto favorece la confiabilidad, autenticación y autorización por medio de controles de seguridad ajenos a la intervención de terceros.

Para el análisis de cobertura y factibilidad técnica Smart Metering con tecnología de radio cognitiva en áreas o zonas específicas, el cálculo se lo debe realizar con los datos correspondientes a cada zona, ya que la densidad poblacional no es la misma en todas las zonas rurales así como las superficies dependen de los límites establecidos por cantones o parroquias.

Ya en la implementación se recomienda la utilización de máscaras de emisión fuera de banda cuando se utilice un sistema WRAN, puesto que la tecnología implementada es digital y esta puede interferir en la transmisión de un canal digital. Esta interferencia es nula con un canal de transmisión analógica pero también se recomienda que existan canales de separación de lado y lado del canal que está transmitiendo WRAN y un canal analógico de TV abierta.

Por otra parte se recomienda realizar normativas de ubicación y funcionamiento por parte de las empresas eléctricas de los distintos equipos utilizados para Smart Metering, como por ejemplo:

- Instalar el Smart Meter en fachadas de fácil acceso y con vista directa hacia los CCU.
- Instalar el CCU a una altura mayor a 12m y menor a 20m para lograr una buena cobertura.

- Hacer uso de un CCU para cubrir un radio de 1Km a la redonda y con un máximo de 6000 usuarios.
- Utilizar antenas de tipo direccional en los CCU y omnidireccional en las BS y que estas operen dentro de las bandas de VHF y UHF.
- Utilizar por lo menos dos canales continuos para la transferencia de datos.

De esta manera se lograra tener un estándar de calidad en las empresas eléctricas que implementen este sistema de Smart Metering.

## REFERENCIAS

- [1] K. S. K. Weranga, S. Kumarawadu, and D. P. Chandima, *Smart Metering Design and Applications*, First edit. Moratuwa: Springer Singapore Heidelberg New York Dordrecht London, 2014, p. 146.
- [2] (Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica/Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones), “SMART GRIDS Y LA EVOLUCIÓN DE LA RED,” España, 2011.
- [3] C. Andrés, D. Andrade, and J. C. Hernández, “Smart Grid : Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica – Estado del Arte,” *Rev. S&T*, vol. 9, no. 18, pp. 53–81, 2011.
- [4] “Conceptos y características de las Tics.” [Online]. Available: <http://tuondigital.bligoo.com.mx/conceptos-y-caracteristicas-de-las-tics#.VERApWeSwgy>. [Accessed: 19-Oct-2014].
- [5] (FUNSEAM/CITCEA-Universitat Politècnica de Catalunya), “Smart Grids : Tecnologías prioritarias,” Catalunya, 2013.
- [6] “Smart Grid Conceptual Framework Diagram - IEEE Smart Grid.” [Online]. Available: <http://smartgrid.ieee.org/ieee-smart-grid/smart-grid-conceptual-model>. [Accessed: 15-Oct-2014].
- [7] (MEER/Programa de Redes Inteligentes Ecuador), “Redes Inteligentes y Generación Distribuida,” Galapagos, 2013.
- [8] (NYISO Symposium), “The Future is Now: Energy Efficiency, Demand Response and Advanced Metering,” 2007, p. 112.
- [9] M. Coronel, “Estudio para la implementación del sistema de infraestructura de medición avanzada (AMI) en la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.,” UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA, 2011.
- [10] (Edison Electrical Institute), “Smart Meters and Smart Meter Systems : A Metering Industry Perspective,” Washington, D.C., 20004-2696, 2011.
- [11] “Grupo Enel endesa.com.” [Online]. Available: <http://www.endesa.com/es/conoceendesa/nuestrastrategia/GrupoEnel>. [Accessed: 16-Nov-2014].
- [12] A. Renter, “Radio cognitiva – Estado del arte,” *Rev. Sist. y Telemática*, vol. 9, no. 16, pp. 31–53, 2011.
- [13] J. M. Diez, M. Velez, R. Sancho, and C. Regueiro, “Detección de White Spaces en redes cognitivas cooperativas en entornos Indoor,” *Dep. Ing. Comun. Grup. TSR*, vol. 1, p. 4.
- [14] I. (UNIVERSIDAD N. A. D. M. de I. Manjarrez, “RADIO COGNITIVA,” UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, 2010.

- [15] C. Cordeiro, K. Challapali, and D. Birru, "IEEE 802 . 22 : An Introduction to the First Wireless Standard based on Cognitive Radios," *J. Commun.*, vol. 1, no. 1, pp. 38–47, 2006.
- [16] L. A. Loyola Arroyo, *TELEVISION DIGITAL AL ALCANCE DE TODOS*, 1a Edición. España: Bubok Publishing S.L., 2011, p. 111.
- [17] C. A. Afonso, "Uso del espectro en América Latina Estudios de caso de Argentina , Brasil , Colombia , Ecuador , Perú y Venezuela Síntesis complementaria de los informes," Caracas, 2011.
- [18] (Superintendencia de Telecomunicaciones/Dirección Nacional de Gestión y Control de Radiodifusión y Televisión), "OPERACION DE LAS ESTACIONES DE TELEVISIÓN ABIERTA ANALÓGICA EN CANALES ADYACENTES DE LA BANDA III VHF," Quito, 2013.
- [19] J. E. Dueñas and J. Flores de Valgas, "COBERTURA DE LA SEÑAL DIGITAL ABIERTA," ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, 2012.
- [20] (Superintendencia de Telecomunicaciones/Comision Técnica), "INFORME PARA LA DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN ECUADOR," Quito, 2010.
- [21] M. Huidobro, "Identificación de white spaces en la Banda de Televisión para la Futura Implementación de redes de Radio Cognitiva," UNIVERSITAT POLITÉCNICA DE CATALUNYA, 2011.
- [22] D. M. Goussal, "Planeamiento de sistemas futuros de banda ancha rural inalámbrica basados en redes de coexistencia y radios cognitivas en ambiente IEEE 802.22," in *XXII CONFERENCIA LATINOAMERICANA DE ENERGIA Y TELECOMUNICACIONES RURALES*, vol. 727, no. 3500, p. 16.
- [23] (Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación/Grupo del ESPECTRO), "Introducción al estado de la situación de los 'TV White Spaces' y 'LSA' propiciados por la Radio Cognitiva," 2013.
- [24] J. García de la Cruz, Manuel, and M. Pérez Arevalo, "La pobreza rural en el Ecuador: Retos y Políticas," Universidad Autónoma de Madrid, 2012.
- [25] (Instituto Nacional de Estadísticas Y Censos), "Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador," 2012.
- [26] "Consejo Nacional de Electricidad - CONELEC." [Online]. Available: <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=1102&>. [Accessed: 11-Jan-2015].
- [27] E. Simancas, "ANÁLISIS DEL ESTÁNDAR IEEE 802.22 (WIRELESS REGIONAL ÁREA NETWORK (WRAN)) Y SU POSIBLE IMPLEMENTACION EN ECUADOR," ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, 2006.

- [28] M. T. (Uniandes/Departamento de I. E. Torres, A. (Uniandes/Departamento de I. E. Garcia, A. (Uniandes) Torres, M. (Uniandes/Departamento de I. E. Duque, and C. (Uniandes) García, “La medición remota de energía eléctrica: un campo de oportunidades para la industria Colombia,” *Rev. Ing. UNIANDES*, pp. 37–42.
- [29] “Cabletech - nuevas tecnologías, nuevas oportunidades.” [Online]. Available: <http://www.cabletech.pl/pl/10843-antena-zewnetrzna-dookolna-do-cyfrowej-telewizji-naziemnej-dvb-t-cabletech-model-ant0559>. [Accessed: 28-Jan-2015].
- [30] “antenas peru, antenas parabolicas, antenas para radio, antenas para tv, pantenas de television uhf, transmisores desarrollo de tecnologías,” [Online]. Available: <http://www.laprotel.com/AntenaTV-UHF.htm>. [Accessed: 29-Jan-2015].
- [31] (ITRON), “Endpoint-Link Pro Field Service Representative’s Guide.” p. 162, 2011.
- [32] E. Quel, “Banda Ancha Inalámbrica en Zonas Rurales con Redes Súper WI-FI,” Sangolquí, 2014.
- [33] D. Bastidas and P. Medina, “Estimación de la Densidad Poblacional del Ecuador Continental,” *Analitika*, vol. 1, pp. 93–119, 2011.
- [34] B. Villacís and D. Carrillo, “País atrevido: la nueva cara sociodemográfica del Ecuador.,” *Analitika*, vol. 1, p. 52, 2012.
- [35] “Comunicado de prensa | comunicación inalámbrica en los espacios en blanco de televisión logró | NTIC-Instituto Nacional de Tecnologías de la información y la comunicación.” [Online]. Available: <http://www.nict.go.jp/en/press/2012/06/07en-1.html>. [Accessed: 04-Feb-2015].
- [36] “Comunicado de Prensa | Aliviar El exceso de capacidad, especialmente desarrollado Smartphone Utilizando espacios en blanco de televisión con tecnología LTE | NTIC-Instituto Nacional de Tecnologías de la información y la comunicación.” [Online]. Available: <http://www.nict.go.jp/en/press/2014/03/19-1.html>. [Accessed: 29-Jan-2015].
- [37] “Comunicado de Prensa | Primera Terminal Tablet portátil del mundo en TV Blanco-espacio | NTIC-Instituto Nacional de Tecnologías de la información y la comunicación.” [Online]. Available: <http://www.nict.go.jp/en/press/2013/08/28-1.html>. [Accessed: 29-Jan-2015].
- [38] “Comunicado de Prensa | Primera TV Blanco Prototipo espacial del mundo, basada en el estándar IEEE 802.22 para la Red de Área Regional inalámbrica | NTIC-Instituto Nacional de Tecnologías de la información y la comunicación.” [Online]. Available: <http://www.nict.go.jp/en/press/2013/01/30-1.html>. [Accessed: 28-Jan-2015].
- [39] “Comunicado de Prensa | Primer Avance del mundo Conseguido a larga distancia en comunicaciones de banda ancha en el espacio blanco de la TV | NTIC-Instituto Nacional de Tecnología de Información y Comunicaciones.” [Online]. Available: <http://www.nict.go.jp/en/press/2014/01/23-1.html>. [Accessed: 29-Jan-2015].
- [40] E. Inga, G. Arevalo, and R. Hincapie, “Optimal deployment of cellular networks for Advanced Measurement Infrastructure in Smart Grid,” 2014.



# ANEXOS

## Anexo I: Especificaciones Técnicas Medidor CENTRON C1S de ITRON



### profile

**Itron Inc.**

Itron is a leading technology provider and critical source of knowledge to the global energy and water industries. More than 3,000 utilities worldwide rely on Itron technology to deliver the knowledge they require to optimize the delivery and use of energy and water. Itron delivers value to its clients by providing industry-leading solutions for electricity metering, meter data collection, energy information management, demand response, load forecasting, analysis and consulting services, distribution system design and optimization, web-based workforce automation, and enterprise and residential energy management.


To know more, start here: [www.itron.com](http://www.itron.com)



**Itron Inc.**  
**Corporate Headquarters**  
2018 North Sullivan Road  
Spokane Valley, WA, 99216, USA  
Phone: 1.800.638.5461  
Fax: 1.509.891.3355

**Itron Inc.**  
**Oncooee Electricity Metering**  
312-B North Highway 11  
West Union, SC 29696, USA  
Phone: 1.864.638.8300  
Fax: 1.864.638.4950

Due to continuous research, product improvement and enhancements, Itron reserves the right to change product or system specifications without notice. © Copyright Itron Inc. 2004 1001002P-01



### introduction

**CENTRON® C1S**

With this solid-state meter, Itron presents a platform for residential metering with the flexibility to adapt as your needs expand and change.

The CENTRON C1S solid-state meter is used for measuring singlephase energy consumption. It is available as an energy meter with either an LCD, clock, or cyclometer register. As an option, the meter is available with interchangeable personality modules, including demand, time-of-use (TOU), load profile, and various communication options.

### features

**Flexible Platform**

- > The CENTRON® meter can easily be upgraded to any of the option modules available.
- > All calibration data is permanently stored in the base of the meter on the CENTRON metrology board.

**Personality Modules**

- > The interchangeable personality modules are part of a snap-in register assembly.
- > The personality module houses all register or communication functions.

**Enhanced Performance**

- > Low starting watts
- > Low burden
- > Captures energy that was not monitored in the past by electromechanical meters

**Tamper Resistant**

- > Measures energy even if the meter is inverted.

**Standard Features**

- > Electronic LCD Register
- > Polycarbonate cover
- > Test LED

# C1S CENTRON®

## features cont.

### Option Module Upgrades

- > Demand Module (C13)
- > TOU with demand module (C1ST)
- > Load Profile with TOU and demand module (C13L)
- > Record 900 MHz RF module (C13R)

### Option Availability

- > Mechanical clock register
- > Mechanical cyclo-meter register
- > Glass Cover
- > Electronic Detent
- > Identification/Accounting Aids

### Technical Data

#### Meets Applicable Standards

- > ANSI C12.1 - 1995
- > ANSI C12.10 - 1997
- > ANSI C12.20 (Class 0.5) - 1998
- > ANSI C87.90.1 - 1989
- > ANSI C87.45 - 1992
- > IEC 61000-4-4
- > IEC 61000-4-2

### Reference Information

- > CENTRON Technical Reference Guide
- > CENTRON C13R Specification Sheet
- > CENTRON C13C Specification Sheet
- > CENTRON C13D, T, L Specification Sheet
- > Electricity Price Bulletin
- > Hardware Specification Form
- > Z80 CoA Handheld Meter Resetter Instructions

### Product Availability

Volts & Service	Meter Class	Test Amps	kWh (Pulse/Wt) No.	Form No.	Register Description	Digits & Multipliers	Catalog w/ glass w/ poly
120V 2-wire	100	15	1.0	1S	Clock	5 x 1	98030 98031
120V 2-wire	100	15	1.0	1S	Clock	4 x 10	98032 98033
120V 2-wire	100	15	1.0	1S	Cyclo-meter	5 x 1	98034 98035
120V 2-wire	100	15	1.0	1S	Cyclo-meter	4 x 10	98036 98037
120V 2-wire	100	15	1.0	1S	LCD	5 x 1	98038 98039
120V 2-wire	100	15	1.0	1S	LCD	4 x 10	98040 98041
240V 3-wire	200	30	1.0	2S	Clock	5 x 1	98000 98001
240V 3-wire	200	30	1.0	2S	Clock	4 x 10	98002 98003
240V 3-wire	200	30	1.0	2S	Cyclo-meter	5 x 1	98004 98005
240V 3-wire	200	30	1.0	2S	Cyclo-meter	4 x 10	98006 98007
240V 3-wire	200	30	1.0	2S	LCD	5 x 1	98008 98009
240V 3-wire	200	30	1.0	2S	LCD	4 x 10	98010 98011
240V 3-wire	320	50	1.0	2S	Clock	5 x 1	98114 98115
240V 3-wire	320	50	1.0	2S	Clock	4 x 10	98116 98117
240V 3-wire	320	50	1.0	2S	Cyclo-meter	5 x 1	98118 98119
240V 3-wire	320	50	1.0	2S	Cyclo-meter	4 x 10	98120 98121
240V 3-wire	320	50	1.0	2S	LCD	5 x 1	98122 98123
240V 3-wire	320	50	1.0	2S	LCD	4 x 10	98124 98125

Refer to CENTRON Technical Reference Guide for pricing and other data for the 98030-33, 98000-39, 98114-25, 98120-25, and 98122-25 meters.

## specifications

### Dimensions

Top View						
A	B	C	D	E	F	G
6.39"	6.96"	2.7"	3.18"	4.57"	6.39"	6.96"
162	177.8	69.6	82	115.6	162	177.8

Side View						
A	B	C	D	E	F	G
6.42"	6.96"	3.07"	3.54"	4.9"	6.42"	6.96"
163.2	177.8	77.9	92	125.6	163.2	177.8



### Shipping Wt.

Configuration	Pounds	Kilograms
4 Meter Carton	8.9 lbs	4.04 kg
96 Meter Pallets	214 lbs	97.50 kg

Configuration	Pounds	Kilograms
4 Meter Carton	13.36 lbs	6.05 kg
96 Meter Pallets	335 lbs	152.38 kg



### Specifications

Power Requirements	Voltage Rating: 240V Frequency: 60 Hz	Operating Voltage: $\pm 20\%$ Operating Range: $\pm 3$ Hz
Operating Environment	Temperature: $-40^{\circ}$ to $+85^{\circ}$ C Humidity: 0% to 95% non-condensing Transient / Surge Suppression: ANSI C37.90.1-1989 IEC 61000-4-4 ANSI C62.45-1992	
Accuracy	$\pm 0.5\%$ @ unity power factor $\pm 0.5\%$ @ 50% power factor	
General LCD Display	Five-digit liquid crystal display Data digit height: 0.4" Annunciator height: 0.088" Electronic Load Indicator	
Characteristics	Starting Watts:	5 Watts
Data	Temperature Rise Specifications: Meets ANSI C12.1 Section 4.7.2.9	
Burden Data*	Voltage Circuit: Voltage 240 Watts 0.5 VA 7.5 Current Coil Self Contained Test Amp Current 60 Hz: Service 3-Wire Test Current (Amps) 30 VA < 0.50	

\*Burden Data applies to FM2S 240V meter.

## Anexo II: Especificaciones Técnicas del CCU 100 de ITRON



# CCU 100

Acquiring meter data is one half of the equation in a successful fixed network system. The other half is delivering that information back to the utility. With the onset of advanced metering initiatives and more robust collection of interval and event data, ensuring your information arrives where and when it should becomes critical. Devices that transport data across the network are a critical link, connecting utility and consumer.

Itron's new CCU 100 makes that link stronger than ever. The CCU 100 (also known as a collector) reads data from Itron electricity meters, gas and water endpoints, and repeaters. Data is forwarded from the collector to the utility over a public wide area network (cellular-based WAN or broadband) or a private WAN supporting IP-addressable packet data. Data is automatically uploaded to the Itron Fixed Network Software and can be used for billing as well as advanced applications and analysis in a meter data management system. Data uploads occur at scheduled intervals. The CCU 100 can also facilitate on-demand requests when needed. Collectors operate on a 120/240 auto-sensing volt service and are equipped with a backup battery. In the event of an outage, the collector sends an alarm to the Itron Fixed Network Software with information describing various events, including power loss, restoration, and low-battery conditions.

### FEATURES AND BENEFITS

Itron's latest fixed-network collector, the CCU 100, supports the needs of today's evolving utility by providing:

- ▶ Two-way communication to endpoints and to the repeater to collect on-demand reads and issue network commands
- ▶ Robust collection of time-synchronized interval data, when coupled with a meter data management system, helps utilities:
  - Improve customer service
  - Refine forecast consumption
  - Manage and control tamper and theft
  - Develop new rate-based and customer incentive programs
  - Better respond to customer "what-if" questions
- ▶ Time-synchronization of endpoint clocks, ensuring data collected territory-wide is accurately time-stamped
- ▶ Retrieval of missing interval data in the event of a network outage
- ▶ A compact device footprint that is lightweight and unobtrusive
- ▶ Flexible and easy installation including tower, building or utility pole-mount options
- ▶ Low power consumption
- ▶ Solar-powered configurations for locations where hard-wired power is not readily available
- ▶ Multiple communication options for public and private WAN backhauls. Public and private technologies can be combined in a deployment, providing a hybrid approach best suited to the communication strengths of a given area

SPECIFICATIONS

knowledge to shape your future

## SPECIFICATIONS

### Functional

- Power Requirements
  - Power source: 90VAC to 265VAC/ 47 Hz to 63 Hz
  - Power consumption: 12 Watts Maximum 7.5 Watts Typical
  - Power cable with photocell adaptor for street light mount
  - Power connectors: watertight and keyed
  - Backup battery: 6 VDC, 4.5 AH lead-acid, 1.5 hour operating duration
- Operating Environment
  - Operating and storage temperatures: -40C to +60C (-40F to 140F) ambient
  - Operating humidity: 0 to 96% non-condensing relative humidity
- Product Details
  - Product life: 15 years
  - Product identification: numeric and bar code serial number
  - Certification: meets or exceeds applicable ANSI C12.1 or equivalent standards

### Operational

- Endpoint Transceiver Operating Frequency
  - 903.0-926.8 MHz

- Backhaul Specifications
  - Ethernet
  - Flexible Private LAN options via Ethernet connection
  - HSPA/UMTS
  - EDGE/GPRS/GSM
  - CDMA EV-DO Rev A
  - CDMA 1xEV-DO Rev 0
  - CDMA 1xRTT
  - CDMA IS-95

### Regulatory and Standards

- FCC, CFR 47, Part 15 Class B certified

### Physical

- Dimensions
  - 11.6" x 6.3" x 3.9" (29.5 cm x 16.0 cm x 9.9 cm)
- Weight - 6.3 lbs. (2.9 kg) with battery

### Installation Methods

- Utility pole mount
- Street light pole mount, optional photocell power adaptor
- Roof mount
- Wall mount
- Tower configuration

### Host Processing Software

- Itron Network Software
- Optional Hosted Services



Mounting Options



At Itron, we're dedicated to delivering end-to-end smart grid and smart distribution solutions to electric, gas and water utilities around the globe. Our company is the world's leading provider of smart metering, data collection and utility software systems, with over 8,000 utilities worldwide relying on our technology to optimize the delivery and use of energy and water.

To realize your smarter energy and water future, start here: [www.itron.com](http://www.itron.com)

### CORPORATE HEADQUARTERS

2111 N Motor Road  
Liberty Lake, WA 99019  
USA

Phone: 1.800.636.5461  
Fax: 1.509.891.3355

While Itron strives to make the content of its marketing materials as timely and accurate as possible, Itron makes no claims, promises, or guarantees about the accuracy, completeness, or adequacy of, and expressly disclaims liability for errors and omissions in, such materials. No warranty of any kind, implied, expressed, or statutory, including but not limited to the warranties of non-infringement of third party rights, title, merchantability, and fitness for a particular purpose, is given with respect to the content of these marketing materials. © Copyright 2011, Itron. All rights reserved. 101025P-04 10/11

## Anexo III: Especificaciones Técnicas de Repeater 100 de ITRON



# Repeater 100

There are a variety of factors that play into a network's performance and reliability. Buildings, vegetation, RF interference and more can all impact data collection and transport. When collecting meter reading data, ensuring that you have the proper network coverage is mission-critical.

The Repeater 100 collects meter data from Itron electricity meters, gas and water endpoints and relays it to collectors within the network. Operating in the 900 MHz radio band, repeaters are used to extend the range of the network and add reliability and redundancy to the communication path between endpoints and collectors. This makes the ChoiceConnect network much more cost-effective by reducing the number of required collectors.

Repeaters can be installed on towers, buildings, poles or other structures. Once installed, repeaters automatically discover and connect to collectors and endpoints within range. The Repeater 100 also provides two-way communication capabilities with 2-way enabled endpoints, allowing for on-demand reads throughout the network.

SPECIFICATIONS

knowledge to shape your future

## FEATURES AND BENEFITS

The Repeater 100 helps to:

- Expand network coverage in hard-to-reach areas due to topography or other signal disturbances
- Expand network coverage without additional backhaul costs
- Low power requirements enable cost-effective solar deployment
- Enable auto-discovery of endpoints beneath the repeater footprint. Collectors discover repeaters in a similar process
- Forward positive out notification (PON) and positive restoration notification (PRN) messages for timely and accurate outage detection
- Facilitate a cost-effective and flexible fixed network solution
- Provide multi-channel frequency hopping that:
  - Scans for endpoint transmissions
  - Decodes and validates packets
  - Filters packets—reduces transmissions of recent and frequently heard meters
  - Retransmits packets on a new channel away from endpoint channels
- Status message delivery to collectors for network troubleshooting
- Offer increased reading redundancy at a lower cost

## SPECIFICATIONS

### Functional

- Power source:
  - Single-phase 120-240V AC auto-ranging
  - Optional solar power configuration
- Power consumption: 5 Watts typical
- Operating and storage temperatures: -40°C to +60°C (-40°F to +140°F)\*
- Operating humidity: 5 to 95% non-condensing relative humidity
- Product identification: Numeric and bar-coded repeater module serial number
- FCC compliance: Part 15 certified
- ANSI compliance: C12.1 standards

### Operational

- Receive/transmit frequency range: 904-924 MHz
- Data integrity: Verified in every message

### Dimensions

- Height: 6.3" (16 cm) without antenna
- Width: 11.6" (29.5 cm)
- Depth: 3.9" (9.9 cm)
- Weight: 6.31 lbs with battery

## Mounting Options



At Itron, we're dedicated to delivering end-to-end smart grid and smart distribution solutions to electric, gas and water utilities around the globe. Our company is the world's leading provider of smart metering, data collection and utility software systems, with over 8,000 utilities worldwide relying on our technology to optimize the delivery and use of energy and water.

To realize your smarter energy and water future, start here: [www.itron.com](http://www.itron.com)

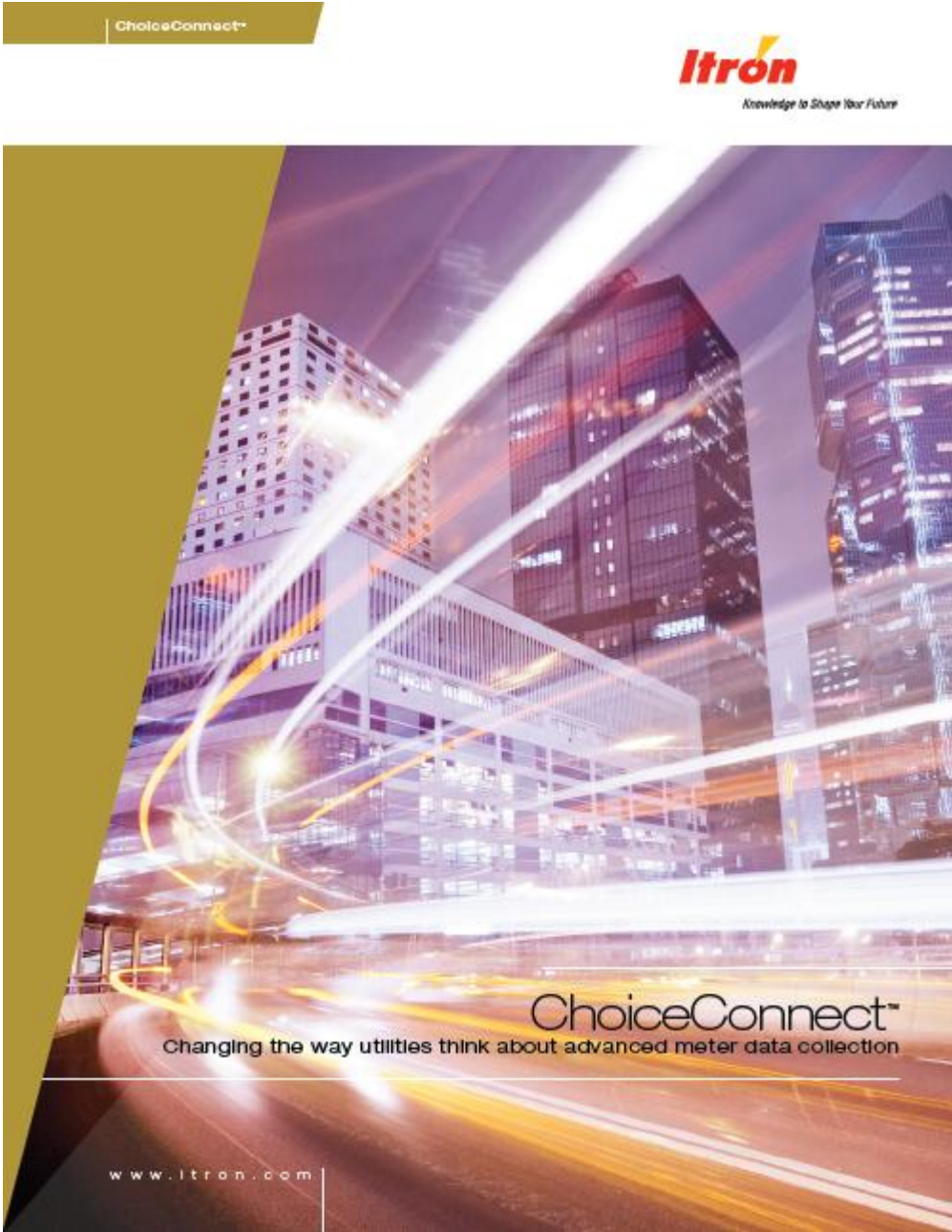
## CORPORATE HEADQUARTERS

2111 N Motor Road  
Liberty Lake, WA 99019  
USA

Phone: 1.800.636.5461  
Fax: 1.509.891.3355

While Itron strives to make the content of its marketing materials as timely and accurate as possible, Itron makes no claims, promises, or guarantees about the accuracy, completeness, or adequacy of, and expressly disclaims liability for errors and omissions in, such materials. No warranty of any kind, implied, expressed, or statutory, including but not limited to the warranties of non-infringement of third party rights, title, merchantability, and fitness for a particular purpose, is given with respect to the content of these marketing materials. © Copyright 2010, Itron. All rights reserved. 10/014327-02 09/11

**Anexo IV: Catálogo Choice Connect de ITRON.**





## Benefits of ChoiceConnect

With ChoiceConnect, utilities benefit through:

- > The capacity to concurrently read electric, gas and water endpoints and enhanced monitoring systems with the same collection system
- > A sensible, blended approach to deploy handheld or mobile systems and/or fixed network systems to meet operational needs
- > Collection of data logging information with mobile or fixed network systems and the operational advantages gained with daily or hourly meter data
- > Migration to more advanced data collection systems, such as handheld to fixed network, when and wherever business objectives demand, without stranding field assets
- > Lower operations and maintenance costs due to deployment flexibility, low cost per point, reduced field service visits and tamper analytics
- > Mitigation of future risks with a proven technology platform that can easily extend data collection capabilities for increased operational efficiencies as business cases evolve
- > Extending the data collection capabilities beyond the meter with enhanced monitoring technologies
- > Transmission of meter data to in-home displays, empowering consumers to make informed decision about energy and water usage



## ChoiceConnect

### Why

- > Demand for energy and water will increase by over 50% in the next 15 years, while additional generation or supply is unavailable or slow to come online.
- > Operational and environmental constraints are impacting the bottom line, or are mandating business transformation.
- > Delivery and distribution infrastructure—built decades ago—is burdened by demand it wasn't designed for and is overdue for an upgrade.

Despite these acute challenges, energy and water utilities are expected to continue to deliver reliable service to their customers, now and into the future. Utilities rely on technology to help manage their issues, but each utility has its own time frame and specific challenges; "one-size-fits-all" technology is not the answer.

Energy and water utilities face a broad range of business challenges, from commodity supply and price pressures to rising operational costs and aging infrastructures. ChoiceConnect offers system flexibility and technology innovation to help utilities sustain and optimize energy and water delivery management.

### What

Realizing the broad business challenges and varying data collection needs of our customers, Itron developed ChoiceConnect, an adaptable and advanced metering and telemetry technology for the utility industry. ChoiceConnect is changing energy and water utilities' operations, asset management and engagement with customers as they discover benefits that are reshaping their businesses.

ChoiceConnect is a suite of data collection technologies—handheld, mobile, fixed network and enhanced monitoring systems—all built on Itron's proven 900 MHz ERI<sup>®</sup> platform for an array of flexible meter reading options. ChoiceConnect can be deployed in the right combination, at the right cost, based upon specific needs with the option to transition to a more advanced collection system when business requirements change—all while retaining the same electric, gas and water endpoints in the field.

**How**

ChoiceConnect offers energy and water utilities a wide array of operational, customer service and asset management benefits because of the advanced capabilities provided by its suite of products.

**Endpoints**

The power of ChoiceConnect starts with electricity, gas and water endpoints, such as the HP CENTRON, 100G and 100W. These are coupled with the enhanced data collection systems that utilize Itron's proven ERI<sup>SM</sup> technology to communicate data to the utility. Our radio-based 900 MHz endpoints for electric, gas and water utilities are offered with different power levels and communication options to meet specific deployment requirements. Accurate and cost-effective, ChoiceConnect endpoints offer proven reliability with an unmatched 20 year battery life and are rugged enough to withstand even the harshest environments. ChoiceConnect endpoints are easy to install and compatible with all leading water and gas meter manufacturers.

**Fixed Network Collector CCU 100**

The CCU 100 (also known as a collector) is the main collection point for the ChoiceConnect Fixed Network and reads data from Itron electricity meters, gas and water endpoints. The new CCU 100 gathers consumption, daily or hourly meter reads, and other information from endpoints and communicates it back to the utility over a public or private network. When used with the Fixed Network Repeater 100 the coverage territory per CCU 100 is extended. It also manages the collection, processing and storage of endpoint data and can support two-way functionality to the endpoint. Equipped with a backup battery, the CCU 100's adaptable design allows for a wide range of installation options, utilizing either AC or solar power.

**Fixed Network Repeater 100**

Repeaters are used to extend the range of the network and add communication reliability and redundancy between endpoints and collectors. Installed on towers, buildings, poles or other structures, the Repeater 100 collects meter data from Itron electricity meters, gas and water endpoints and relays it to collectors within the network. This makes the ChoiceConnect 100 Fixed Network cost-effective by reducing the number of required collectors.



100W Water Endpoint



100G with METRS RD Gas Meter

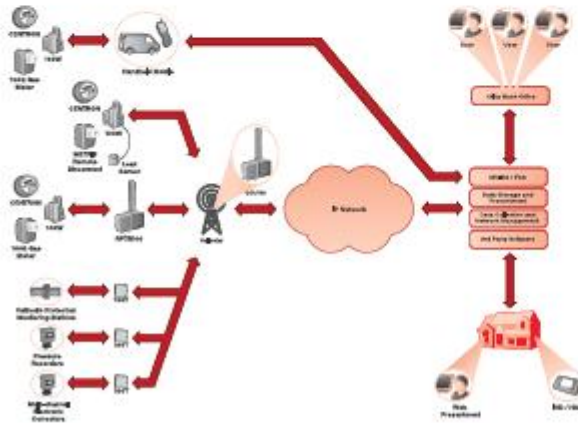


CENTRON CISR Electricity Meter



CCU 100

**ChoiceConnect 100**



#### ***Iron Network Software***

The Iron Network Software manages the network operations and performance. It controls collection system operation, including processing and storing reads, exporting data to external applications. The Network Software also initiates on-demand reads and other advanced capabilities, and integrates with a meter data management system to enable end-to-end system functionality. A graphical user interface provides easy access to the system, allowing operators to monitor functions, configure collectors, generate reports and view service territory maps and export files.

#### ***Mobile & Handheld Collectors***

Iron's handheld and mobile solutions combine accuracy and mobility to facilitate the efficient collection of consumption and interval data along with tamper information from ChoiceConnect endpoints. Several options are available to meet a utility's specific business case.

- > Mobile Collection System enables up to 100,000 in route and out of route meter reads per day.
- > Mobile Collector Lite allows utilities to collect up to 10,000 reads daily.
- > The FC300 Handheld computer can collect up to 1000 reads a day.

With millions of endpoints already under ChoiceConnect solutions, many utilities are already well-positioned to take advantage of exciting wide range of mobile or handheld reading functionality.

#### ***Iron Handheld and Mobile Meter Data Collection Software***

ChoiceConnect includes two choices of software for handheld and mobile meter data collection. These include the popular MW-RS and Field Collection System (FCS) applications. These feature rich software applications allow the utility to easily manage routes, assignments and data collected using handhelds and mobile collectors. Commonly used interfaces allow these systems to be easily integrated with customer information and billing systems and meter data management systems.

#### ***Meter Data Management System***

Meter Data Management is the primary data repository that integrates MW-RS, FCS and the Network Software data and analytical applications. This integration supports a true end-to-end AMI solution, as well as other business processes, including data collection, data validation and estimation, data management and calculations. Usage and variance reports offer comparative assessments of current and historic consumption to address customer issues. Trending reports spotlight usage patterns to better understand who is using how much and when. Web presentation tools empower customers to understand their water usage and support conservation.



*MC3 Mobile Collection Unit*



*FC300 Handheld Computer*



*Meter Data Management Software*

#### ***About Iron Inc.***

*Iron Inc. is a leading technology provider to the global energy and water industries. Our company is the world's leading provider of intelligent metering, data collection and utility software solutions, with nearly 80,000 utilities worldwide relying on our technology to optimize the delivery and use of energy and water. Our products include electricity, gas, water and heat meters; data collection and communication systems (including automatic meter reading (AMR) and advanced metering infrastructure (AMI)); meter data management and related software applications; as well as project management, installation, and consulting services. To know more, visit us at: [www.iron.com](http://www.iron.com)*

*© Copyright 2010, Iron Inc. All Rights Reserved. - Iron reserves the right to change these specifications without prior notice.*

***Iron***

Corporate Headquarters  
2111 North Moller Road  
Liberty Lake, WA 99019  
USA  
Phone: 1.800.825.5461  
Fax: 1.509.891.3355  
[www.iron.com](http://www.iron.com)

Publication 10079885-02 08/10