

Tabla de Contenido

Índice de Tablas	5
Índice de Ilustraciones	6
Tabla de Abreviaturas	8
1. Introducción.....	10
1.1 Motivación.....	10
1.2 Definición del Problema	11
1.3 Objetivos.....	13
1.4 Alcance del Proyecto.....	14
1.5 Estructura del Documento	15
2. Estado del Arte.....	16
2.1 AMI en Smart Grid.....	24
2.1.1 Infraestructura de Comunicación para Smart Grid	26
2.1.2 Arquitectura de Comunicaciones en Smart Grid	28
3. Tecnología y arquitectura de red LTE.....	39
3.1 3GPP – LTE Advanced.....	40
3.2 Arquitectura de LTE.....	42
3.3 Protocolos de LTE.....	44
3.4 LTE en Santiago de Chile	46
4. Simulación y análisis de desempeño de la red LTE para AMI en Smart Grid.....	49
4.1 Construcción del simulador para redes AMI	50
4.2 Construcción del Modelo Base.....	58
4.3 Validación de Simulador.....	59
4.4 Modelo Avanzado	63
5 Aplicación del simulador como herramienta de validación en investigación	69
5.1 Parametrización del simulador para modelos optimizados	70
5.2 Resultados de Simulación.....	73
6 Conclusiones y Futuros Trabajos	82
6.1 Conclusiones:	82
6.2 Futuros Trabajos:.....	83

Bibliografía.....	84
Anexos.....	89
Anexo A: Archivo de configuración para construir el modelo avanzado.....	89
Anexo B: Archivo que define la red LTE con el mapa de Santiago.....	93
Anexo C: Archivo que define el canal de transmisión.....	95
Anexo D: Archivo de código C++ para enviar paquetes AMR	96
Anexo E: Archivo de código C++ para recibir paquetes AMR.....	100

Índice de Tablas

Tabla Nro. 1 IEEE Smart Grid Model. Adaptada de [16]	22
Tabla Nro. 2 Comparación de diferentes tecnologías de comunicación cableada.....	33
Tabla Nro. 3 Comparación de diferentes tecnologías de comunicación inalámbrica - distancia de cobertura menor a 500 metros.	34
Tabla Nro. 4 Comparación de diferentes tecnologías de comunicación inalámbrica - distancia de cobertura mayor a 500 metros.....	35
Tabla Nro. 5 Evolución de los Estándares 3GPP desde 3G	40
Tabla Nro. 6 Características técnicas del servidor.....	49
Tabla Nro. 7 Parámetros de configuración de evaluación línea base.....	53
Tabla Nro. 8 Parámetros de configuración de evaluación línea base.....	54
Tabla Nro. 9 Valores del Thermal Noise Power.....	55
Tabla Nro. 10 Características: Smart Meter.	57
Tabla Nro. 11 Características: Terminal Móvil.....	57
Tabla Nro. 12 Parámetros de Simulación para el Modelo Base.....	59
Tabla Nro. 13 Ubicación de Estaciones Bases.	64
Tabla Nro. 14 Parámetros de simulación para el Modelo Avanzado.....	64
Tabla Nro. 15 Ubicación de Estación Base para Aplicar Modelos Optimizados.	70
Tabla Nro. 16 Parámetros de Simulación para el Modelo Optimizado I.....	73
Tabla Nro. 17 Parámetros de Simulación para el Modelo Optimizado II.	77

Índice de Ilustraciones

Figura Nro. 1 Ejemplos del precio de energía en el periodo de 24 horas.....	13
Figura Nro. 2 Raíces de las redes inteligentes.....	21
Figura Nro. 3 Dominios y Sub-dominios de Smart Grid.....	24
Figura Nro. 4 AMI – Smart Grid.....	25
Figura Nro. 5 Ejemplo de arquitectura de una infraestructura de medición avanzada con la propuesta LTE.....	26
Figura Nro. 6 Modelo de una infraestructura de comunicaciones de extremo a extremo para las redes inteligentes.....	28
Figura Nro. 7 Ejemplo de diferentes tecnologías de comunicación en Smart Grid con sus arquitecturas de desarrollo.....	36
Figura Nro. 8 Modelo de medidor inteligente marca Elster con sim-card.....	37
Figura Nro. 9 Modelo de medidor inteligente marca Inhemeter con la opción de diferentes módulos de comunicación.....	38
Figura Nro. 10 Incremento de dispositivos móviles.....	39
Figura Nro. 11 Comparación entre LTE vs LTE-A.....	41
Figura Nro. 12 Arquitectura LTE.....	43
Figura Nro. 13 Protocolos de plano de control.....	45
Figura Nro. 14 Protocolos de plano de usuario.....	46
Figura Nro. 15 Velocidad de Download y Upload.....	48
Figura Nro. 16 Despliegue de torres eNodeB.....	48
Figura Nro. 17 Nodo AMI y nodo UE.....	51
Figura Nro. 18 Arquitectura de red propuesta.....	52
Figura Nro. 19 Diferentes escenarios para simular.....	56
Figura Nro. 20 Escenario Base con una torre eNodeB - Interfaz gráfica de resultados.....	58
Figura Nro. 21 Resultados para validar simulador - Delay en nodos AMIs.....	60
Figura Nro. 22 Resultados para validar simulador - Jitter en nodos UEs.....	61
Figura Nro. 23 Resultados para validar simulador - PDR de AMIs y UEs.....	62
Figura Nro. 24 Ubicaciones de estaciones base de un operador de servicio de telefonía en la ciudad de Santiago.....	63
Figura Nro. 25 Modelo avanzado con 4 torres BS.....	65
Figura Nro. 26 Resultado de cobertura de modelo avanzado.....	66
Figura Nro. 27 Resultados del modelo avanzado - Nodos AMIs.....	66
Figura Nro. 28 Resultados del modelo avanzado - Delay de nodos AMIs.....	67

Figura Nro. 29 Resultados del modelo avanzado - Nodos UEs.....	67
Figura Nro. 30 Posiciones Candidatas de Estaciones Bases.	71
Figura Nro. 31 Ubicación Optimizada con 1 BS con Cobertura 70% vs Ubicación Optimizada con 3 BS con Cobertura 85% con base en modelo propuesto en [50].....	72
Figura Nro. 32 Resultado de cobertura del escenario (a) del modelo optimizado I.....	74
Figura Nro. 33 Resultado de cobertura del escenario (b) del modelo optimizado I	74
Figura Nro. 34 Resultado del modelo optimizado I - Nodos AMIs.....	75
Figura Nro. 35 Resultado del modelo optimizado I - Delay de nodos AMIs.	76
Figura Nro. 36 Resultado del modelo optimizado I - Nodos UEs.	77
Figura Nro. 37 Resultado de cobertura del escenario (a) del modelo optimizado II.	78
Figura Nro. 38 Resultado de cobertura del escenario (b) del modelo optimizado II.....	79
Figura Nro. 39 Resultado del modelo optimizado II - Nodos AMIs.	80
Figura Nro. 40 Resultado del modelo optimizado II - Delay de nodos AMIs.....	80
Figura Nro. 41 Resultado del modelo optimizado II - Nodos UEs.	81

Tabla de Abreviaturas

1	AMI	Advanced Metering Infrastructure
2	AMR	Automatic Meter Reading
3	BAN	Body Area Network
4	DR	Demand Response
5	FAN	Field Area Networks
6	EMS	Energy Management System
7	EV	Electric Vehicle
8	HAN	Home Area Network
9	P2P	Peer-to-peer
10	PEV	Plug-In Electric Vehicle
11	PLC	Power Line Communication
12	PMU	Phasor Measurement Unit
13	RF	Radio Frequency
14	SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
15	SMG	Smart Micro-grid
16	UDAP	Universal Data Aggregation Points
17	V2G	Vehicle-to-grid
18	WAN	Wide Area Network
19	WLAN	Wireless local area network
20	AM	Acknowledged RLC Mode
21	BLER	Block Error Rate
22	BS	Base Station
23	CQI	Channel Quality Indicator
24	DL	Downlink
25	eNB	Evolved Node-B
26	EPC	Evolved Packet Core
27	FDD	Frequency Division Duplexing
28	GSM	Global System for Mobile Communications
29	GPRS	General Packet Radio Service
30	H-ARQ	Hybrid Automatic Repeat reQuest
31	IMS	IP Multimedia Subsystem
32	IMT	International Mobile Telecommunications - Advanced
33	LTE	Long Term Evolution
34	LTE-A	Long Term Evolution Advanced
35	PDCP	Packet Data Convergence Protocol
36	PDU	Protocol Data Unit
37	PF	Proportional Fair

38	PRACH	Physical Random Access CHannel
39	RAC	Random Access Procedure
40	RB	Resource Block
41	RLC	Radio Link Control
42	RRC	Radio Resource Control
43	RU	Remote Unit
44	SDU	Service Data Unit
45	SU-MIMO	Single-User MIMO
46	TNL	Thermal Noise Level
47	TM	Transparent RLC Mode
48	TTI	Transmission Time Interval
49	UE	User Equipment
50	UL	Uplink
51	UM	Unacknowledged RLC Mode
52	Wi-Fi	Wireless Fidelity