

# Tabla de Contenido

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
Motivación . . . . .	1
Objetivo General . . . . .	1
Objetivos Específicos . . . . .	2
Hipótesis . . . . .	2
Metodología . . . . .	2
<b>1. Marco Teórico</b>	<b>4</b>
1.1. Tecnologías IoT . . . . .	4
1.1.1. LoRaWAN . . . . .	4
Bit Rate, Simbol Rate y Chirp Rate . . . . .	6
Canales de Frecuencia . . . . .	6
Especificaciones LoRaWAN [6] . . . . .	7
Formato de Mensajes . . . . .	8
1.1.2. LTE . . . . .	9
Arquitectura y Stack de Protocolos LTE . . . . .	10
Capa física LTE . . . . .	13
LTE-M . . . . .	17
1.2. Software . . . . .	18
1.2.1. NS3 . . . . .	18
LoRaWAN NS3 Module . . . . .	18
LENA . . . . .	19
1.2.2. Matlab . . . . .	20
1.2.3. R . . . . .	20
1.3. Herramientas Estadísticas . . . . .	20
Test de Normalidad Shapiro-Wilk . . . . .	20
Test de Outliers Grubbs . . . . .	21
Test de Suma de Rangos de Wilcoxon . . . . .	21
Análisis de Regresión . . . . .	22
<b>2. Simulación</b>	<b>23</b>
2.1. Topología . . . . .	23
2.2. LoRaWAN . . . . .	24
2.3. LTE . . . . .	25
2.4. Algoritmo de Optimización . . . . .	26
2.5. Configuración y Resultados . . . . .	28

<b>3. Resultados y Análisis de Datos</b>	<b>29</b>
3.1. Gráficas de Datos . . . . .	29
3.2. Análisis Estadístico de Datos . . . . .	32
3.2.1. Modelos Throughput y Packet Lost . . . . .	34
<b>Conclusión</b>	<b>38</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>39</b>
<b>Anexos</b>	<b>41</b>
Código NS3 LoRaWAN . . . . .	41
Código NS3 LTE . . . . .	48
Código Matlab . . . . .	53
Código R . . . . .	55