

# Tabla de contenido

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1. Marco Teórico y Estado del Arte</b>	<b>5</b>
1.1. Machine to Machine (M2M) o Comunicación entre máquinas . . . . .	6
1.1.1. Sistemas de comunicación electrónicos . . . . .	7
1.1.2. Modelo de comunicación OSI . . . . .	8
1.1.3. Capa de enlace de datos . . . . .	9
1.1.4. Capa Física . . . . .	13
1.1.5. Enlaces Inalámbricos . . . . .	14
1.2. Redes inalámbricas de área amplia y baja potencia (LPWAN) y LoRa . . . . .	18
1.2.1. LPWAN . . . . .	18
1.2.2. LoRaWAN . . . . .	20
1.2.3. LoRa . . . . .	21
1.3. SNR, pérdidas y Link Budget . . . . .	26
1.3.1. SNR . . . . .	26
1.3.2. Link Budget . . . . .	30
1.4. Aspectos Regulatorios . . . . .	31
1.4.1. Regulaciones a nivel mundial . . . . .	31
1.4.2. Chile . . . . .	32
1.5. Otros estudios de comunicación y cobertura de LoRa . . . . .	33

1.5.1.	Cisco PIRL: Laboratorio de Innovación e Investigación de Cisco . . . .	33
1.5.2.	Centro de Comunicaciones Inalámbricas, Universidad de Oulu, Finlandia	36
<b>2.</b>	<b>Dispositivos y Herramientas</b>	<b>38</b>
2.1.	Hardware . . . . .	38
2.1.1.	Módulos de Radio LoRa: DevKit . . . . .	39
2.1.2.	GPS . . . . .	44
2.1.3.	<i>Datalogger</i> : MicroSD . . . . .	46
2.1.4.	Procesador central: Freaduino . . . . .	46
2.2.	Conexión . . . . .	48
2.2.1.	Conexión del Sistema Completo . . . . .	50
2.3.	Entorno de desarrollo . . . . .	50
2.3.1.	Librerías y código: GPS, microSD y Radio LoRa . . . . .	50
2.3.2.	<i>Softwares</i> . . . . .	51
2.3.3.	<i>Firmware</i> Procesamiento Central . . . . .	54
<b>3.</b>	<b>Implementación y Metodología</b>	<b>57</b>
3.1.	Sistema de Comunicación LoRa . . . . .	57
3.1.1.	<i>End-device</i> : Nodo Transmisor . . . . .	57
3.1.2.	Estación Base: Nodo Receptor . . . . .	59
3.2.	Pruebas . . . . .	59
3.2.1.	Terreno de Pruebas . . . . .	60
3.2.2.	<i>End-device</i> móvil . . . . .	60
3.3.	Mapas de Calor: <i>Heatmaps</i> . . . . .	61
3.3.1.	Muestras . . . . .	61
3.3.2.	Ploteo de mapas . . . . .	62
<b>4.</b>	<b>Análisis de resultados</b>	<b>63</b>

4.1. Parámetros del radio enlace . . . . .	63
4.1.1. Configuración de Radio y Paquetes de LoRa . . . . .	63
4.1.2. Resumen de Parámetros . . . . .	65
4.1.3. Calculo de parámetros del enlace LoRa . . . . .	65
4.2. Prueba 1: Prueba de decaimiento . . . . .	66
4.2.1. Análisis gráficos . . . . .	67
4.2.2. <i>Heatmap</i> Prueba 1 . . . . .	70
4.3. Prueba 2: Prueba de cobertura . . . . .	71
4.3.1. <i>Heatmap</i> Prueba 2 . . . . .	71
<b>Conclusión</b>	<b>72</b>
<b>Anexos</b>	<b>75</b>
<b>A. Lista de Siglas</b>	<b>76</b>
<b>B. Código Principal del Datalogger LoRa</b>	<b>78</b>
<b>C. Esquema de conexión PCB NZ32-SC151</b>	<b>80</b>
<b>D. Esquema de conexión PCB InAir9B</b>	<b>82</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>86</b>