

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes generales	1
1.2. Identificación y formulación del problema	2
1.3. Objetivos del trabajo de título	2
1.4. Organización de la memoria	2
2. Marco Teórico	4
2.1. Deep Learning	4
2.1.1. Perceptrón Multicapa	4
2.1.2. Redes Convolucionales (1D)	5
2.1.3. Redes LSTM	6
2.1.4. Redes Transformer	8
2.2. Eventos sísmicos	11
2.3. Dirección de origen	12
2.4. Estimación del back-azimut	13
2.4.1. Métodos clásicos de estimación del back-azimut	13
2.4.1.1. Estimación mediante la matriz de covarianza	13
2.4.1.2. Estimación mediante Principal Component Analysis	15
2.4.1.3. Estimación mediante correlaciones cruzadas	15
2.4.1.4. Estimación mediante una sola muestra	15
2.4.2. Métodos basados en Machine Learning	17
2.4.3. Métodos basados en Deep Learning	18
2.4.4. Consideraciones sobre los métodos de estimación de back-azimut revisados	20
3. Metodología	21
3.1. Base de datos	22
3.1.1. Estimación de SNR	24
3.1.2. Base de datos de eventos con $M \geq 4.0$	25
3.1.3. Base de datos de micro-sismicidad local	26
3.2. Pre-procesamiento de las señales	28
3.3. Arquitecturas de red a evaluar	29
3.3.1. Red Convolutiva	30
3.3.2. Red Convolutiva con mecanismo atencional	31
3.4. Entrenamiento de los modelos	32
3.5. Evaluación de los modelos	32
3.5.1. Reconstrucción del ángulo	32

3.5.2.	Promedio circular	33
3.5.3.	Métrica de evaluación a utilizar	33
4.	Resultados	35
4.1.	Mejor configuración	35
4.2.	Resultados en base de datos completa	36
4.3.	Resultados en base de datos de microsismicidad	40
4.4.	Resultados en base de datos de eventos con $M \geq 4$	42
4.5.	Análisis de resultados	44
4.5.1.	Comparación de modelos de red en base de datos completa	44
4.5.2.	Desempeño de red CNN-MHAT	44
4.5.2.1.	Base de datos completa	44
4.5.2.2.	Base de datos de microsismicidad	45
4.5.2.3.	Base de datos $M \geq 4$	45
4.6.	Fortalezas y debilidades del modelo CNN-MHAT	46
5.	Conclusión	48
5.1.	Trabajo futuro	48
	Bibliografía	50