

Tabla de Contenido

Introducción	1
Antecedentes	1
Objetivos	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
Metodología	3
Organización de la tesis	4
Excitación mediante una corriente continua	4
Excitación mediante una corriente alterna	5
1. Marco teórico	6
1.1. Origen del Magnetismo	6
1.1.1. Momento magnético orbital	6
1.1.2. Momento magnético de spin	7
1.2. Materiales ferromagnéticos	8
1.3. Micromagnetismo	9
1.3.1. Energía de Zeeman	9
1.3.2. Energía demagnetizante	10
1.3.3. Energía de intercambio	11
1.3.4. Energía de anisotropía magnetocristalina	13
1.3.5. Ecuaciones de Brown	14
1.4. Dinámica de la magnetización: ecuación de Landau-Lifshitz-Slonczewski (LLS)	17
1.4.1. Precesión	17
1.4.2. Disipación	17
1.4.3. Torque por transferencia de spin	19
1.4.4. Ecuación de Landau-Lifshitz-Slonczewski (LLS)	21
1.5. Nanopilares	23
1.6. Configuración con corriente polarizada y campo aplicado en el plano	27
2. Formalismo Hamiltoniano	29
2.1. Sistema en estudio y transformación de coordenadas	29
2.2. Ecuaciones para las variables a y a^*	31
2.2.1. Primer término	31
2.2.2. Segundo término	32
2.3. Expresiones para la energía	34
2.3.1. Campo aplicado	34

2.3.2.	Campo de intercambio	34
2.3.3.	Campo demagnetizante	35
2.3.4.	Campo de anisotropía	39
2.3.5.	Campo de Oersted	39
2.4.	Expansión en funciones de Bessel	41
3.	Disco ferromagnético en aproximación de plano infinito	43
3.1.	Aproximación macro-spin	43
3.1.1.	Estudio del macro-spin a orden lineal	44
3.1.2.	Estudio del macro-spin a orden no lineal	45
3.2.	Ondas de spin	51
3.3.	Interacción de la auto-oscilación uniforme con los modos no uniformes	55
3.4.	Aplicaciones del modelo en aproximación de plano infinito	57
3.4.1.	Inestabilidades, examinando resultados teóricos:	57
3.4.2.	Inestabilidades, comparación con simulaciones numéricas	59
3.4.3.	Dependencia de las inestabilidades con el tamaño	60
4.	Ondas de spin de un disco ferromagnético con un campo aplicado en el plano	62
4.1.	Magnetización de equilibrio no uniforme	62
4.1.1.	Configuración de equilibrio variando el campo aplicado	64
4.1.2.	Configuración de equilibrio variando el radio del disco	64
4.1.3.	Configuración de equilibrio incluyendo el efecto del campo de Oersted	65
4.2.	Estudio lineal: ondas de spin	66
4.2.1.	Resultados numéricos: formas y frecuencias de las ondas de spin	69
4.3.	Conexión con el límite de plano infinito	72
5.	Excitación de las ondas de spin mediante una corriente continua	76
5.1.	Estudio lineal	76
5.2.	Estudio no lineal	78
5.2.1.	Inestabilidad de una auto-oscilación	79
6.	Excitación de las ondas de spin mediante una corriente alterna	82
6.1.	Excitación mediante una corriente alterna: aproximación macro-spin	82
6.2.	Análisis lineal: efecto del campo de Oersted y de la componente perpendicular del torque por transferencia de spin	85
6.2.1.	Resonancia ferromagnética (FMR)	87
6.2.2.	Resonancia paramétrica (PR)	88
	Conclusiones	90
	Bibliografía	93
A.	Funciones de Bessel y ortogonalidad	100
B.	Expresiones de la energía en función de las variables a_{mj}	101
	Campo aplicado	101
	Campo de intercambio	101

Campo demagnetizante	102
Integrales numéricas	103
Relación entre los σ_{lj} y los a_{mj}	104
Campo de Oersted	104
Torque por transferencia de spin	106
C. Definiciones para las ecuaciones asociadas a la interacción entre el modo uniforme y el modo de oscilación mj	107
Ecuación lineal de la variable a_{mj}	107
Cambio de variables de a_{mj} a b_{mj}	108
Aproximación de términos resonantes	108
D. Instabilities of spin torque driven auto-oscillations of a ferromagnetic disk magnetized in plane	110