

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Hipótesis . . . . .	2
1.3. Objetivos . . . . .	3
1.3.1. Objetivos generales . . . . .	3
1.3.2. Objetivos específicos . . . . .	3
1.4. Alcances . . . . .	3
1.5. Estructura del documento . . . . .	4
<b>2. Estado del arte</b>	<b>5</b>
2.1. Teoría de máquinas electrostáticas . . . . .	5
2.1.1. Máquinas con transporte aislante . . . . .	5
2.1.2. Máquinas con transporte conductor . . . . .	6
2.2. Máquinas electrostáticas actuales . . . . .	7
2.3. Máquinas electrostáticas en ejes d-q . . . . .	10
2.4. Analogías con la máquina electromagnética . . . . .	15
2.5. Máquina electrostática en estado estacionario . . . . .	16
2.6. Comparativa del software de simulación disponible . . . . .	18
2.6.1. PLEXIM PLECS . . . . .	18
2.6.2. MATLAB & Simulink . . . . .	18
2.6.3. PowerSim . . . . .	19
<b>3. Marco Teórico</b>	<b>20</b>
3.1. Microrredes . . . . .	20
3.1.1. Estabilidad en microrredes . . . . .	22
3.1.2. Control en microrredes . . . . .	24
3.1.3. Estrategias de control de Convertidores en microrredes AC . . . . .	25
3.1.3.1. Grid Forming . . . . .	25
3.1.3.2. Grid Following . . . . .	26
3.1.3.3. Grid Supporting . . . . .	26
3.2. Sistemas de Control . . . . .	28
3.2.1. Control <i>Droop</i> . . . . .	28
3.2.2. Control <i>Droop</i> Inverso . . . . .	29
3.2.3. AVR . . . . .	30
3.2.4. Gobernador . . . . .	32
3.3. Transformación abc-dq . . . . .	33

<b>4. Propuesta Metodológica</b>	<b>34</b>
4.1. Implementación de los modelos . . . . .	35
4.2. Prueba en circuito uninodal y literatura . . . . .	35
4.3. Prueba en micro-redes . . . . .	35
4.4. Control y contingencias . . . . .	37
<b>5. Resultados y Análisis</b>	<b>39</b>
5.1. Primera parte: implementación de las ecuaciones . . . . .	39
5.2. Segunda parte: Pruebas de cortocircuito y circuito abierto . . . . .	41
5.3. Tercera parte: re-escalamiento de la máquina . . . . .	44
5.3.1. Tamaño de la máquina . . . . .	44
5.3.2. Inercia de la máquina . . . . .	46
5.4. Cuarta parte: pruebas uninodales . . . . .	47
5.4.1. Pruebas uninodales sin controladores . . . . .	47
5.4.2. Pruebas uninodales con controladores . . . . .	51
5.4.2.1. Puntos de operación de la máquina electrostática . . . . .	52
5.4.2.2. Carta de operación . . . . .	53
5.4.2.3. Implementación del ACR . . . . .	56
5.4.2.4. Implementación del gobernador . . . . .	59
5.4.2.5. Coordinación ACR-Gobernador . . . . .	60
5.4.2.6. Experimento y resultados . . . . .	61
5.5. Quinta parte: Implementación de la microrred . . . . .	67
5.5.1. Modelamiento de las cargas . . . . .	67
5.5.2. Modelamiento de las líneas . . . . .	67
5.5.3. Modelamiento de los convertidores . . . . .	67
5.5.3.1. Banco de baterías . . . . .	67
5.5.3.1.1. PLL (Phase Locked Loop) . . . . .	68
5.5.3.1.2. Referencias de corriente . . . . .	69
5.5.3.1.3. Controlador de corriente . . . . .	70
5.5.3.1.4. Filtro RL . . . . .	70
5.5.3.2. Modelamiento de las microturbinas . . . . .	71
5.5.3.3. Modelamiento de las celdas de combustible . . . . .	71
5.5.3.4. Resto de convertidores . . . . .	71
5.5.3.4.1. Limitadores de corriente . . . . .	71
5.5.3.5. Parámetros utilizados . . . . .	72
5.6. Parte final: Pruebas en la microrred . . . . .	73
5.6.1. Escalón de carga . . . . .	73
5.6.2. Desconexión de línea . . . . .	80
5.6.3. Cortocircuito trifásico en una línea . . . . .	82
<b>6. Conclusiones</b>	<b>86</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>88</b>