

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 MOTIVACIÓN .....	1
1.1.1 EJEMPLO MOTIVACIONAL .....	3
1.2 OBJETIVOS .....	9
1.2.1 OBJETIVO GENERAL .....	9
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	9
1.3 ALCANCES.....	10
1.4 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.....	10
2. MARCO TEÓRICO .....	12
2.1 OPTIMIZACIÓN ECONÓMICA DE SISTEMAS ELÉCTRICOS.....	12
2.1.1 PROGRAMACIÓN LINEAL .....	12
2.1.2 PROGRAMACIÓN NO-LINEAL .....	13
2.1.3 DESCOMPOSICIÓN DE BENDERS .....	14
2.2 ESTABILIDAD EN SISTEMAS ELÉCTRICOS .....	16
2.3 ESTABILIDAD EN MICRO-REDES.....	17
2.4 DESPACHO ECONÓMICO EN MICRO-REDES CON CONDICIONES DE ESTABILIDAD .....	19
3. METODOLOGIA PROPUESTA .....	20
3.1 MODELO DE CO-OPTIMIZACIÓN PROPUESTO.....	21
3.2 MODELO DINÁMICO COMO MEDIDA DE ESTABILIDAD .....	22
3.3 ENFOQUE JERÁRQUICO MAESTRO-ESCLAVO .....	24
3.4 REDES DE PRUEBA.....	27
3.4.1 SISTEMA DE DOS MICRO-FUENTES.....	27
3.4.2 SISTEMA DE TRES MICRO-FUENTES.....	30

4.	FUNCIONAMIENTO, VALIDACIÓN Y RESULTADOS.....	35
4.1	SISTEMA DE DOS MICRO-FUENTES .....	35
4.2	SISTEMA DE TRES MICRO-FUENTES .....	38
4.2.1	FORMULACIÓN DC .....	39
4.2.2	FORMULACIÓN AC .....	48
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	57
5.1	SISTEMA DE DOS MICRO-FUENTES .....	57
5.2	SISTEMA DE TRES MICRO-FUENTES .....	58
5.2.1	FORMULACIÓN DC .....	58
5.2.2	FORMULACIÓN AC .....	60
6.	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....	63
6.1	TRABAJO FUTURO.....	64
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Micro-red de ejemplo, la cual posee tres generadores basados en inversores y dos cargas de impedancia constante [2].	3
Figura 1.2: Máxima parte real de polos del sistema para diferentes de $m$ .	7
Figura 1.3: Polos de la micro-red de ejemplo para droop estable.	8
Figura 1.4: Polos cercanos al origen para micro-red de ejemplo con droop estable (zoom en la zona de interés).	8
Figura 2.1: Diagrama de algoritmo de Benders para un problema factible.	16
Figura 3.1: Diagrama de flujo de optimización jerárquica propuesto.	26
Figura 3.2: Resolución de problemas esclavos en paralelo, con droop inicial aleatorio.	27
Figura 3.3: Micro-red de dos micro-fuentes [18].	28
Figura 3.4: Función de estabilidad para micro-red de dos micro-fuentes.	29
Figura 3.5: Micro-red de tres micro-fuentes [2].	31
Figura 3.6: Función de estabilidad para micro-red de tres micro-fuentes.	31
Figura 4.1: Mínimo de función de estabilidad vs despacho de micro-fuente 1. En rojo los cortes de factibilidad insertados y en azul claro los nuevos despachos obtenidos.	36
Figura 4.2: Polos de la micro-red de 2 micro-fuentes en función de cada iteración.	37
Figura 4.3: Forma de mínimo de función de estabilidad vs despacho de la micro-fuente 1.	38
Figura 4.4: Polos de la micro-red para despacho DC inicial con droop pre-sintonizado.	40
Figura 4.5: Polos de la micro-red para despacho DC inicial con constante $m$ optimizada.	41
Figura 4.6: Polos de la micro-red para despacho DC inicial con constante $m$ optimizada cerca del origen.	41
Figura 4.7: Polos de la micro-red para despacho DC inicial con droop optimizado.	42
Figura 4.8: Polos de la micro-red para despacho DC inicial con droop optimizado y acercamiento al origen.	42
Figura 4.9: Polos de la micro-red para despacho DC inicial con droop optimizado cerca del origen.	43

Figura 4.10: Polos de la micro-red para despacho DC final con droop pre-sintonizado.....	45
Figura 4.11: Polos de la micro-red para despacho DC final con constante $m$ optimizada...	45
Figura 4.12: Polos de la micro-red cerca del origen para despacho DC final con constante $m$ optimizada. ....	46
Figura 4.13: Polos de la micro-red para despacho DC final con droop optimizado.....	46
Figura 4.14: Polos de la micro-red cercanos al origen para despacho DC final con droop optimizado. ....	47
Figura 4.15: Valor mínimo de la función de estabilidad para cada combinación factible de despacho. ....	47
Figura 4.16: Polos de la micro-red para despacho AC inicial con droop pre-sintonizado. ...	50
Figura 4.17: Polos de la micro-red para despacho AC inicial con constante $m$ optimizada.	50
Figura 4.18: Polos de la micro-red cercanos al origen para despacho AC inicial con constante $m$ optimizada. ....	51
Figura 4.19: Polos de la micro-red para despacho AC inicial con droop optimizado.....	51
Figura 4.20: Polos de la micro-red cerca del origen para despacho AC inicial con droop optimizado. ....	52
Figura 4.21: Polos de la micro-red para despacho AC final con droop pre-sintonizado.....	54
Figura 4.22: Polos de la micro-red para despacho AC final con constante $m$ optimizada...	54
Figura 4.23: Polos de la micro-red cercanos al origen para despacho AC final con constante $m$ optimizada. ....	55
Figura 4.24: Polos de la micro-red para despacho AC final con droop optimizado.....	55
Figura 4.25: Polos de la micro-red cercanos al origen para despacho AC final con droop optimizado. ....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Restricciones de optimización para micro-red de ejemplo. ....	4
Tabla 1.2: Costos de generación para cada micro-fuente de ejemplo. ....	4
Tabla 1.3: Punto de operación para la micro-red de ejemplo. ....	5

Tabla 1.4: Droop estable para micro-red de ejemplo. ....	7
Tabla 2.1: Clasificación de componentes conectados a la red de acuerdo a su comportamiento eléctrico y su contribución [19]. ....	18
Tabla 3.1: Datos de micro-red de dos micro-fuentes. ....	28
Tabla 3.2: Costos de generación para cada micro-fuente. ....	30
Tabla 3.3: Datos de micro-red de tres micro-fuentes. ....	32
Tabla 3.4: Costos de generación para cada micro-fuente. ....	33
Tabla 3.5: Valores máximos y mínimos para potencia activa, tensión y ganancias de droop para cada micro-fuente. ....	33
Tabla 4.1: Iteraciones de despacho económico DC en micro-red de dos micro-fuentes a 1200[W] de demanda. ....	36
Tabla 4.2: Despacho económico DC y función de estabilidad para droop pre-sintonizado, constante m optimizada y droop optimizado. ....	39
Tabla 4.3: Despacho económico DC luego de 13 cortes de factibilidad y función de estabilidad para droop pre-sintonizado, constante m optimizada y droop optimizado. ....	44
Tabla 4.4: Despacho económico AC y función de estabilidad para droop pre-sintonizado, constante m optimizada y droop optimizado. ....	49
Tabla 4.5: Despacho económico AC luego de 7 cortes de factibilidad y función de estabilidad para droop pre-sintonizado, constante m optimizada y droop optimizado. ....	53
Tabla 5.1: Costo total de operación y variación porcentual de acuerdo al n° de cortes insertados para la micro-red de dos micro-fuentes. ....	58
Tabla 5.2: Variación porcentual entre despacho inicial y final de potencia activa, valor de función de estabilidad y costo total del sistema para la formulación DC. ....	59
Tabla 5.3: Variación porcentual entre despacho inicial y final de potencia activa, reactiva, tensión, valor de función de estabilidad y costo total del sistema para la formulación AC. ....	61
Tabla 5.4: Diferencia de costos entre métodos DC y AC para la micro-red de tres micro-fuentes. ....	62