

Tabla de Contenido

Capítulo 1: Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Hipótesis	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Alcance.....	4
Capítulo 2: Marco teórico.....	5
2.1. Descripción de sistemas de almacenamiento	5
2.1.1. Tipos de ESS.....	6
2.1.2. Aplicaciones de los sistemas de almacenamiento.....	12
2.2. Características técnicas de los BESS	16
2.2.1. Esquema de control en operación normal	17
2.2.2. Requerimientos de FRT durante contingencias para ERNC.....	22
2.2.3. Estrategias de control para convertidores durante contingencias.....	25
2.3. Concepto general de estabilidad.....	27
2.4. Estabilidad en sistemas eléctricos de potencia	29
2.5. Índices de estabilidad de tensión	36
2.6. Cálculo de corrientes de cortocircuito.....	42
2.6.1. Metodología de cálculo completo de cortocircuito	44
2.6.2. Metodología de cálculo simplificado de cortocircuito.....	46
2.7. Efectos de los equipos BESS durante cortocircuitos.....	46
Capítulo 3: Metodología.....	51
3.1. Criterio de estabilidad de voltaje.....	51
3.2. Cálculo de voltaje durante la falla	52

3.3. Esquema metodológico	55
Capítulo 4: Optimización propuesta	58
4.1. Características de los algoritmos genéticos.....	58
4.2. Modelo del algoritmo genético	61
4.2.1. Codificación de las variables de decisión	61
4.2.2. Función de fitness	62
4.2.3. Conjunto de barras candidatas	63
4.2.4. Operador de selección	66
4.2.5. Operador de recombinación	66
4.2.6. Operador de mutación	68
Capítulo 5: Caso de estudio	75
5.1. Punto de operación.....	75
5.2. Características del sistema	76
5.3. Conjunto de contingencias	77
Capítulo 6: Análisis de resultados.....	78
6.1. Comportamiento del algoritmo genético propuesto	78
6.2. Resultados de la localización mediante algoritmo genético	79
6.2.1. Localizaciones propuestas	80
6.2.2. Simulaciones dinámicas y validación	82
Capítulo 7: Conclusiones.....	87
7.1. Trabajos futuros.....	88
Capítulo 8: Bibliografía	89

Índice de Tablas

TABLA 1: COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES TIPOS DE ESS.....	11
TABLA 2: SERVICIOS SEGÚN TIPO DE ESS	13
TABLA 3: GENERADORES QUE PIERDEN SINCRONISMO POR FALLA.....	75
TABLA 4: RESUMEN PUNTO DE OPERACIÓN.....	76
TABLA 5: CONJUNTO DE CONTINGENCIAS	77
TABLA 6: TIEMPOS CRÍTICOS DE DESPEJE POR ESCENARIO.....	83

Índice de Figuras

FIGURA 2.1.1: GRÁFICO DE POTENCIA INSTALADA AL AÑO 2010 EN ESS POR TIPO DE TECNOLOGÍA [25].	5
FIGURA 2.1.2: ESQUEMA DE SISTEMA DE ALMACENAMIENTO CAES.	6
FIGURA 2.1.3: ESQUEMA DE UNA BATERÍA DE SODIO-SULFURO	8
FIGURA 2.1.4: ESQUEMA DE BATERÍA DE FLUJO DE VANADIO REDOX	9
FIGURA 2.1.5: DENSIDAD DE ENERGÍA Y POTENCIA PARA DIFERENTES BATERÍAS	11
FIGURA 2.1.6: DIAGRAMA DE RAGONE PARA DIFERENTES TIPOS DE ESS	12
FIGURA 2.1.7: RESPUESTA DE UN EQUIPO BESS FRENTE A LA DE UN GENERADOR SÍNCRONO FRENTE A VARIACIONES DE LA CARGA	13
FIGURA 2.1.8: ESTABILIDAD TRANSITORIA FRENTE A FALLAS CON Y SIN EQUIPOS BESS	14
FIGURA 2.1.9: ESTABILIDAD DE VOLTAJE FRENTE A FALLAS CON Y SIN EQUIPOS BESS	15
FIGURA 2.2.1: ESQUEMA DE BESS	16
FIGURA 2.2.2: ESQUEMA DE CONEXIÓN DE CONVERTOR A LA RED	18
FIGURA 2.2.3: BALANCE DE POTENCIA EN EQUIPO BESS	19
FIGURA 2.2.4: CONTROL EN CASCADA CON LAZO DE CORRIENTE Y LAZO DE VOLTAJE DC	20
FIGURA 2.2.5: ESQUEMA DE CONTROL DE INVERSOR DE EQUIPO BESS EN OPERACIÓN NORMAL	21
FIGURA 2.2.6: LÍMITES DE VOLTAJE PARA DESCONEXIÓN DE UNIDADES GENERADORAS DURANTE FALLAS	23
FIGURA 2.2.7: REQUERIMIENTOS DE SOPORTE DE VOLTAJE DURANTE FALLAS	24
FIGURA 2.2.8: LAZO DE CONTROL DE REQUERIMIENTOS DE FRT PARA REFERENCIA DE CORRIENTE REACTIVA	25
FIGURA 2.2.9: SOPORTE DE VOLTAJE DURANTE FALLAS	26
FIGURA 2.2.10: ESQUEMA DE CONTROL COMPLETO PARA EQUIPOS BESS	26
FIGURA 2.3.1: ESTABILIDAD DE SISTEMAS CON CONDICIONES INICIALES DIFERENTES PERO CERCANAS	28
FIGURA 2.3.2: ESTABILIDAD EN VECINDAD DE PUNTO DE EQUILIBRIO	29
FIGURA 2.4.1: VENTANAS DE TIEMPO DE FENÓMENOS DINÁMICOS EN LOS SEP	29
FIGURA 2.4.2: SISTEMA DE DOS MÁQUINAS SIN PÉRDIDAS	30
FIGURA 2.4.3: SISTEMA RADIAL DE TRANSMISIÓN CARGA-GENERADOR	32
FIGURA 2.4.4: CURVA PV CARACTERÍSTICA ENTRE CARGA Y GENERACIÓN	33
FIGURA 2.4.5: CURVA PV CARACTERÍSTICA PARA DIFERENTES FACTORES DE POTENCIA	34
FIGURA 2.6.1: CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO PARA FALLA CERCANA AL GENERADOR	43
FIGURA 2.6.2: CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO PARA FALLA LEJANA AL GENERADOR	43
FIGURA 2.6.3: REPRESENTACIÓN DE LA RED EN ESTADO PRE FALLA	44
FIGURA 2.6.4: REPRESENTACIÓN DE LA DURANTE LA FALLA	44
FIGURA 2.6.5: CONDICIÓN DE OPERACIÓN PRE FALLA	45
FIGURA 2.6.6: RED DE THÉVENIN DURANTE CORTOCIRCUITO	45
FIGURA 2.7.1: SISTEMA EQUIVALENTE EN CASO DE CORTO CIRCUITO TRIFÁSICO	47
FIGURA 2.7.2: AUMENTO DE VOLTAJE EN FUNCIÓN DE LA LEJANÍA DE LA FALLA PARA DIFERENTES NIVELES DE POTENCIA DE CORTO CIRCUITO	50
FIGURA 3.2.1: CORRIENTE SUBTRANSITORIA Y TRANSITORIA OBTENIDAS MEDIANTE MÉTODO DE CÁLCULO COMPLETO	54
FIGURA 3.3.1: ESQUEMA METODOLÓGICO	56
FIGURA 4.1.1: ESQUEMA DE RECOMBINACIÓN GENÉTICA	60
FIGURA 4.2.1: ESQUEMA DE ALGORITMO GENÉTICO PARA LOCALIZACIÓN DE EQUIPOS BESS	61
FIGURA 4.2.2: CODIFICACIÓN DE VARIABLES DE DECISIÓN EN CROMOSOMAS	62
FIGURA 4.2.3: REPRESENTACIÓN DE VOLTAJES DURANTE CONTINGENCIAS PARA CADA CANDIDATO DE LOCALIZACIÓN	63
FIGURA 4.2.4: EJEMPLO DE APLICACIÓN DE ECUACIÓN (4.2.3) PARA NÚMERO DE CANDIDATOS POSIBLES EN EL ESPACIO DE BÚSQUEDA	64
FIGURA 4.2.5: CRECIMIENTO DEL ESPACIO DE BÚSQUEDA EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD DE MÓDULOS DE BESS Y BARRAS CANDIDATAS DEL PROBLEMA	65
FIGURA 4.2.6: ESQUEMA DE PUNTOS DE CORTE PARA RECOMBINACIÓN DADAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE PADRES	67
FIGURA 4.2.7: REPRESENTACIÓN DE ESPACIO DE COMBINACIONES DE HIJOS REALIZABLES A PARTIR DE UN PADRE G-ÉSIMO	70
FIGURA 4.2.8: CANTIDAD DE COMBINACIONES DE HIJOS EN ESCALA LOGARÍTMICA PARA UN PADRE G-ÉSIMO	72
FIGURA 4.2.9: COMPARACIÓN ENTRE LUGAR GEOMÉTRICO ESPERADO Y ENCONTRADO MEDIANTE SIMULACIÓN	72
FIGURA 5.1.1: SISTEMA DE 39 BARRAS	75
FIGURA 5.1.2: SISTEMA 39 BARRAS MODIFICADO CON ALTA PENETRACIÓN DE ERNC	76
FIGURA 5.2.1: DISMINUCIÓN DE ROBUSTEZ POR PENETRACIÓN RENOVABLE	77
FIGURA 6.1.1: CONVERGENCIA DEL ALGORITMO GENÉTICO	78

FIGURA 6.1.2: EVOLUCIÓN DE LA CONVERGENCIA DEL ALGORITMO GENÉTICO EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DEL ESPACIO DE BÚSQUEDA	79
FIGURA 6.2.1: EVOLUCIÓN DE FUNCIÓN DE FITNESS DURANTE OPTIMIZACIÓN.	80
FIGURA 6.2.2: LOCALIZACIONES Y POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO.	81
FIGURA 6.2.3: SOLUCIONES DE LOCALIZACIÓN PARA 10 Y 20 MÓDULOS.	82
FIGURA 6.2.4: SIMULACIONES DINÁMICAS PARA FALLA 1, CON TIEMPO CRÍTICO DE DESPEJE DE CASO SIN BESS.	84
FIGURA 6.2.5: SIMULACIONES DINÁMICAS PARA FALLA 2, CON TIEMPO CRÍTICO DE DESPEJE DE CASO SIN BESS.	84
FIGURA 6.2.6: SIMULACIONES DINÁMICAS PARA FALLA 3, CON TIEMPO CRÍTICO DE DESPEJE DE CASO SIN BESS.	84
FIGURA 6.2.7: SIMULACIONES DINÁMICAS PARA AUMENTO DE TIEMPO DE DESPEJE PARA FALLA 1 EN 12 [MS].	85
FIGURA 6.2.8: SIMULACIONES DINÁMICAS PARA AUMENTO DE TIEMPO DE DESPEJE PARA FALLA 2 EN 12 [MS].	85
FIGURA 6.2.9: SIMULACIONES DINÁMICAS PARA AUMENTO DE TIEMPO DE DESPEJE PARA FALLA 3 EN 12 [MS].	86