



EVALUACIÓN DE LOS ESQUEMAS DE SEPARACIÓN DE ÁREAS Y BOTE DE CARGA POR BAJA FRECUENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL. ETAPA I (ELECTRICIDAD DE CARACAS)

RESÚMEN: En el presente informe se muestran los resultados de las diversas evaluaciones efectuadas en el marco de la revisión de los esquemas de bote de carga por baja frecuencia y separación de áreas de la EDC desde la perspectiva de la filosofía (capítulo I) y del equipamiento de protecciones (Capítulo II). Específicamente en el capítulo I se analiza el caso de la EDC desde el punto de vista dinámico tomando en cuenta la situación actual, se proponen varias opciones de mejoras y se presentan recomendaciones para la implementación en el corto y mediano plazo de un esquema de bote de carga por baja frecuencia. En el Capítulo II se analiza el esquema de separación de áreas de la EDC desde el punto de vista del sistema de protecciones, evaluando el desempeño de distintos relés y registrando su comportamiento ante diversos escenarios de prueba.

EQUIPO DE TRABAJO

Equipo de Protecciones

Juan Manuel Lozada (EDELCA)
Luis Rodas (EDC)
Edgar Lugo (ENELVEN) (Provisional)
Pedro Maninat (Asesor)
Elmer Sorrentino (Asesor)

Equipo de Simulaciones

Emar Orea (CNG)
Julie Zambrano (EDC)
Verónica Ponce (CADAPE)
Gilberto Barreto (FUNDELEC)
Carlos Goyo (FUNDELEC)
Vanesa Carlson (UCV)

Coordinador

Walter Dartanay (EDELCA)

Comité Consultivo

Maria de Mora (CORPOELEC)
Michele Ricucci (CNG)
Fidel Perez (EDELCA)

Además contribuyeron con su aporte a este trabajo:

Leonardo Almau (EDC)
Cesar Dacchille (EDC)
Luis de Andrade (EDC)
Miguel Madera (EDC)
Nelson Perilla (EDC)
Elena Caraballo (FUNDELEC)

Contenido

1.	RESUMEN EJECUTIVO	16
2.	OBJETIVOS.....	19
2.1	Objetivos Generales	19
2.2	Objetivos Específicos	19
3.	INTRODUCCIÓN	20
CAPITULO I. EVALUACIÓN CONCEPTUAL Y SIMULACIONES		22
4.	ANTECEDENTES	22
4.1	Fallas Relevantes 2008	22
4.1.1	Falla del 29-04-08	22
4.1.2	Falla del 21-07-08	30
4.1.3	Falla 22-07-08.....	34
4.1.4	Falla del 01-09-2008	39
4.1.5	Falla del 19-10-08	41
4.2	Otras Fallas Relevantes 1993-2000	46
5.	PLAN PROYECTO ESA Y BCBF	47
5.1	Descripción de actividades generales	48
5.2	Organización del Proyecto.....	50
6.	EL SISTEMA DE LA EDC.....	51
6.1	Datos Generales	51
6.2	Esquemas de Protección por Frecuencia	53
6.2.1	Desconexión de Generación.....	53
6.2.1.1	Ampliación Tocoa (Unidades CGJJSB #7, #8 y #9).....	53

6.2.1.2	Planta JME (Unidades #9, #10, #11, #12, y #13).	53
6.2.1.2.1	Esquema 1: Exportación menor a 150 MW o importando.	54
6.2.1.2.2	Esquema 2: Exportación mayor o igual a 150 MW.	54
6.2.2	Bote de Carga Automático por Baja Frecuencia	56
6.2.3	Separación De Áreas	57
6.2.3.1	Esquema 1.	57
6.2.3.2	Esquema 2.	57
7.	ESQUEMAS DE BOTE DE CARGA Y SEPARACIÓN DE ÁREAS DEL SEN	60
7.1	Esquema de Bote de Carga por Baja Frecuencia del Sistema Eléctrico Nacional	60
7.2	Esquemas de Separación de Áreas del Sistema Eléctrico Nacional	64
7.2.1	ESA CADAFE OCCIDENTE	64
7.2.2	ESA ENELVEN	66
7.2.3	ESA SENECA	67
7.2.4	ESA EDELCA	69
8.	ESCENARIOS DE ANÁLISIS	70
8.1	Casos de Flujo de Carga.	70
8.2	Modelación dinámica	71
8.2.1	Validación, sintonización y prueba de modelos dinámicos.	71
8.2.1.1	Ajuste de los controles de las unidades generadoras del SEN.	71
8.2.1.2	Cálculo de la Inercia de las unidades de generación de la EDC.	79
8.2.2	Modelo de carga de la EDC.	84
8.2.3	Modelos de Elementos de protección.	90
8.2.3.1	Relés de bote de carga.	91
8.2.3.2	Relés de frecuencia de generadores	92
8.2.3.3	Esquema de Separación de áreas	94

8.2.3.4	Relés de Líneas de Transmisión	95
9.	EVALUACIONES	96
9.1	Tiempo Crítico	96
9.2	Bote de carga por baja frecuencia de la EDC	99
9.2.1	Diseño general	99
9.2.2	Análisis del BCBF de la EDC	101
9.2.2.1	Premisas específicas del diseño del BCBF de la EDC	106
9.2.2.1.1	Condiciones del sistema para el diseño	106
9.2.2.1.2	Escenarios de simulación	107
9.2.2.1.3	Eventos	107
9.2.3	Evaluación estocástica	120
9.2.4	Propuestas	134
9.2.4.1	Propuesta A:	135
9.2.4.2	Propuesta B:	141
9.2.4.3	Análisis Estocástico – Matriz de Evaluación	147
9.2.4.4	Propuesta Definitiva de corto plazo (primera etapa del BCBF de la EDC)	148
9.2.4.4.1	Análisis Dinámico de la Propuesta Definitiva	150
9.2.4.4.2	Análisis Estocástico de la Propuesta Definitiva	153
10.	PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PRIMERA ETAPA	157
	Primera Etapa	158
	Segunda Etapa	159
11.	CONCLUSIONES CAPITULO I	160
	CAPITULO II. EVALUACIÓN DEL EQUIPAMIENTO DEL ESA DE LA EDC	162
12.	EQUIPAMIENTO ACTUAL DEL ESQUEMA DE SEPARACIÓN DE ÁREAS DE LA EDC	162
12.1	Características De Los Relés De Frecuencia.	163

12.2	Metodología Para La Evaluación De Desempeño De Reles De Frecuencia Y De Rampa De Frecuencia.	166
12.2.1	Pruebas Con Rampas Ideales.	166
12.2.2	Selección de archivos oscilográficos de fallas ocurridas en años anteriores.	167
12.2.3	Análisis detallado del comportamiento de la frecuencia de los archivos de fallas seleccionados	168
12.3	Esquemas propuestos a implementar para mejorar el ESA de la EDC	170
12.3.1	Duplicación Simple	170
12.3.2	Esquema 2 de 3	171
12.3.3	Duplicación complementada con Teleprotecciones.	171
12.3.4	Duplicación en ubicaciones distintas.	172
12.4	Criterios Utilizados Para La Evaluación De Desempeño De Relés De Frecuencia Y Rampa De Frecuencia.	173
12.5	Descripción De Las Pruebas De Inyección Y Procesamiento De Los Datos.....	173
12.6	Pruebas Realizadas.....	175
12.7	Análisis De Resultados.	176
12.7.1	Análisis Cualitativo.	177
12.7.1.1	Fiabilidad.	177
12.7.1.2	Seguridad	177
12.7.1.3	Tiempos de Actuación.....	178
12.7.1.4	Sencillez	178
12.7.1.5	Disponibilidad	179
12.7.1.6	Falla Interruptor o pérdida de energía en Corriente Continua.....	179
12.7.2	Tabla Comparativa	180
12.7.3	Análisis Cuantitativo	181

12.7.3.1	Índice de Disparo Retardado	181
12.7.3.2	Índice de Disparo Indeseado	183
12.7.3.3	Análisis de las combinaciones	185
12.7.4	Comparación De Resultados Del Análisis Cualitativo Y Cuantitativo	187
12.7.5	Selección Del Esquema.....	188
12.7.6	Pruebas De Bloqueo Por Medición De Rampa Positiva	189
12.7.7	Pruebas De Reducción De Tiempo De Actuación Para Los Relés De Frecuencia (Bote De Carga). 190	
12.8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES CAPITULO II	191
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	192
14.	ANEXOS.....	194

Índice de Figuras

Figura N° 1. Frecuencia eléctrica durante la perturbación del 29-04-08.....	26
Figura N° 2. Exportación EDELCA	32
Figura N° 3. Frecuencia del SEN.....	33
Figura N° 4. Tensiones en Tablazo y Cuatricentenario 230 kV	34
Figura N° 5. Simulación de la perturbación con tiempo de despeje 260 mseg	35
Figura N° 6. Simulación de la perturbación con tiempo de despeje 65 mseg	36
Figura N° 7. Exportación EDELCA.....	37
Figura N° 8. Frecuencia del SEN	38
Figura N° 9. Tensiones en Tablazo y Cuatricentenario 230 kV	39
Figura N° 10. Frecuencia Eléctrica durante la perturbación del 01-09-2008	41
Figura N° 11. Flujo de Potencia (MW) por la líneas Guri-Malena ante de la perturbación	42
Figura N° 12. Flujo de Potencia (MW) por la línea Guri -Malena.....	43
Figura N° 13. Flujo Potencia (MW) por las líneas Guri -Malena.....	43
Figura N°14. Frecuencia en la EDC	45
Figura N° 15. Estructura General de Actividades del Proyecto I	48
Figura N° 16. Estructura General de Actividades del Proyecto II	49
Figura N° 17. Organigrama del Proyecto	50
Figura N° 18 Diagrama Unifilar de la EDC	52
Figura N° 19. ESA de la EDC.....	58
Figura N° 20. ESA de la EDC Incluyendo bloqueo por rampa positiva	58
Figura N° 21. Distribución de Carga por niveles del BCBF	62

Figura N° 22. BCBF por Empresas	63
Figura N° 23. ESA Cadafe Occidente	65
Figura N° 24. Líneas afectadas por el ESA Cadafe Occidente	65
Figura N° 25. ESA ENELVEN	66
Figura N° 26. Líneas afectadas por el ESA ENELVEN	67
Figura N° 27. ESA Seneca.....	68
Figura 28 Líneas afectadas por el ESA Seneca.....	68
Figura N° 29. Prueba de excitación al modelo de los Generadores de Pedro Camejo ..	72
Figura N° 30. Prueba de Gobernación al modelo de los Generadores de Pedro Camejo	73
Figura N° 31. Parámetros del modelo de excitariz de P. Camejo Ajustados.....	73
Figura N° 32. Parámetros del modelo de gobernador de P. Camejo Ajustados.....	74
Figura N° 33. Prueba de excitación al modelo de los Generadores de San Agatón	74
Figura N° 34 Parámetros del modelo de PSS de S. Agatón Ajustados.....	75
Figura N° 35 Parámetros del modelo de excitatriz de S. Agatón Ajustados.....	75
Figura N° 36 Prueba de excitación al modelo de los Generadores de L. C. Arismendi..	76
Figura N° 37 Prueba de gobernación al modelo de los Generadores de L. C. Arismendi	76
Figura N° 38 Parámetros del modelo de gobernador de L. C. Arismendi Ajustados	76
Figura N° 39 Pruebas de excitación al modelo de los Generadores de L.C. Arismendi.	77
Figura N° 40 Pruebas de excitación al modelo de los generadores de S. Lorenzo.....	77
Figura N° 41 Pruebas de gobernación al modelo de los generadores de S. Lorenzo ...	77
Figura N° 42 Pruebas de excitación al modelo de los generadores de P. Táchira.....	78
Figura N° 43 Pruebas de excitación al modelo de los generadores de Urdaneta 9-11 ..	78

Figura N° 44 Pruebas de excitación al modelo de los generadores de Urdaneta 7-8	79
Figura N° 45 Pruebas de excitación al modelo de los generadores de Urdaneta 7-8	79
Figura N° 46 Frecuencia en EDC el 11/12/08	80
Figura N° 47. Zona afectada durante el evento del 28/07/08	82
Figura N° 48 Frecuencia registrada en S/E JME 69 kV, 28/07/08.....	83
Figura N° 49 Modelo de carga 40/60.....	84
Figura N° 50 Modelo de carga dinámico	85
Figura N° 51 Modelo lineal vs modelo híbrido	85
Figura N° 52 Sensibilidad de las componentes del modelo de carga.....	86
Figura N° 53 Parámetros del Modelo 60/40	89
Figura N° 54 Parámetros del modelo de carga dinámica	89
Figura N° 55 Frecuencia registrada vs simulada.....	90
Figura N° 56 Relé de Bote de carga de la EDC	91
Figura N° 57 Esquema de conexión del generador sincrónico con la protección de sobre y baja velocidad.....	93
Figura N° 58 Parámetros del relé de velocidad	93
Figura N° 59 Modelo de la rama de potencia inversa del ESA de EDC	94
Figura N° 60 Rama de gradiente de frecuencia del ESA de EDC	95
Figura 61 Pérdida de vínculos en 765 kV y separación de la EDC.....	98
Figura N° 62. Frecuencias mínima vs pérdida de generación en p.u. con respecto a la reserva	105
Figura N° 63. Lógica de aceleración de los niveles del 1 al 4 del BCBF de la EDC	110
Figura N° 64. Lógica de aceleración de los niveles del 5 y 7 del BCBF de la EDC.....	110
Figura N° 65 Comportamiento de la frecuencia ante variaciones de los parámetros del BCBF bajo separación errática.....	111

Figura N° 66 Comportamiento de la frecuencia ante variaciones de los parámetros del BCBF bajo separación errática con disparo de JME	112
Figura 67 Caso actual (base) vs variación 1 ante separación errática	112
Figura 68 Caso actual (base) vs variación 2 ante separación errática	113
Figura 69 Caso actual (base) vs variación 3 ante separación errática	113
Figura 70 Caso actual (base) vs variación 4 ante separación errática	114
Figura 71 Caso actual (base) vs variación 5 ante separación errática	114
Figura N° 72 Prueba de Separación Errática considerando la condición S5 con dos valores de temporización de niveles vs la condición actual	115
Figura N° 73 Prueba de Separación Errática considerando la condición S1 con dos valores de temporización de niveles vs la condición actual	116
Figura N° 74 Prueba de pérdida de vínculos en 765 kV considerando la condición S5 con dos valores de temporización de niveles vs la condición actual	117
Figura N° 75 Desviación de frecuencia a ser corregida vs tiempo	122
Figura N° 76 Magnitud total del bote vs número de etapas.....	123
Figura N° 77 Función de probabilidades para el Modelo de intercambios	125
Figura N° 78 Función de probabilidades para el Modelo de rampas de frecuencia	126
Figura N° 79 Frecuencia final de recuperación (esquema actual).....	127
Figura N° 80 Frecuencia final de recuperación (esquema combinado).....	127
Figura N° 81 Relación botes/déficit (esquema actual).....	128
Figura N° 82 Relación botes/déficit (esquema combinado).....	128
Figura N° 83 Tiempo de actuación (esquema actual).....	129
Figura N° 84 Tiempo de actuación (esquema combinado).....	129
Figura N° 85 Frecuencias mínimas (esquema actual).....	130
Figura N° 86 Frecuencias mínimas (esquema combinado).....	130

Figura N° 87 Frecuencia final de estabilización (esquema actual).....	131
Figura N° 88 Frecuencia final de estabilización (esquema combinado).....	131
Figura N° 89 Frecuencia final de recuperación esquema combinado retardo 250 mseg	132
Figura N° 90 Frecuencia final de recuperación esquema combinado con retardo 150 mseg	132
Figura N° 91 Frecuencia mínima (esquema actual)	133
Figura N° 92 Frecuencia mínima (esquema combinado)	133
Figura N° 93 Propuesta A: Separación Errática	138
Figura N° 94 Propuesta A: Pérdida de un bloque de Generación	139
Figura N° 95 Propuesta A: Pérdida masiva de generación	139
Figura N° 96 Propuesta B: Separación Errática	144
Figura N° 97 Propuesta B: Pérdida de Bloque de Generación.....	145
Figura N° 98 Propuesta B: Pérdida masiva de generación	145
Figura N° 99 Separación Errática Bajo Distintos Escenarios de Importación.....	151
Figura N° 100 Separación por Rampa Moderada Bajo Distintos Escenarios de Importación.....	151
Figura N° 101 Separación por Rampa Severa Bajo Distintos Escenarios de Importación en Tiempo Esperado	152
Figura N° 102 Separación por Rampa Severa Bajo Distintos Escenarios de Importación con Retardo intencional de Tiempo.....	152
Figura N° 103 Prueba de Frecuencia Final de Recuperación Esquema Actual	153
Figura N° 104 Prueba de Frecuencia Final de Recuperación Esquema Propuesto	154
Figura N° 105 Prueba de Botes/Déficit para el Esquema Actual.....	154
Figura N° 106 Prueba de Botes/Déficit para el Esquema Propuesto	155

Figura N° 107 Prueba de Frecuencia Mínima para el Esquema Actual	155
Figura 108 Prueba de Frecuencia Mínima para el Esquema Propuesto	156
Figura N° 109 . Cronograma de Actividades	157
Figura N° 110 Esquema de Separación de Áreas de la EDC original.	162
Figura N° 111. Lógica de disparo del ESA de la EDC original	163
Figura N° 112. Rampa ideal diseñada para determinar tiempos base de actuación y de reposición	167
Figura N° 113. Comportamiento de la frecuencia (Evento Tablazo 230 kV del 29/04/08)	169
Figura N° 114. Representación del Esquema Duplicación Simple	171
Figura N° 115. Representación del Esquema 2 de 3	171
Figura N° 116. Representación del Esquema duplicado complementado con teleprotecciones	172
Figura N° 117. Representación del Esquema duplicado en ubicaciones distintas.	172
Figura N° 118. Modelo de la Planilla utilizada para la recolección de resultados.....	174
Figura N° 119 Definición de las zonas de tiempo para el cálculo del índice de disparo con retardo	182

Índice de Tablas

Tabla I Resumen Esquema 1 de Desconexión de Generación de la EDC.....	55
Tabla II Resumen Esquema 2 de Desconexión de Generación de la EDC.....	55
Tabla III Ajuste de los Botes de Carga por baja Frecuencia de la EDC	56
Tabla IV Ajustes del Esquema de Separación de Áreas de la EDC.....	59
Tabla V Intercambios SEN	70
Tabla VI Demanda, Generación e Intercambio	70
Tabla VII Modelo de carga por subestación	87
Tabla VIII BCBF Actual de la EDC	102
Tabla IX Estadística de Disparo de las unidades de casa de máquinas II de Guri.....	104
Tabla X Matriz I de Variaciones para el BCBF	108
Tabla XI Matriz II de Variaciones para el BCBF	108
Tabla XII Variación del ajuste de frecuencia	109
Tabla XIII Variación del ajuste de tiempo	109
Tabla XIV Prueba Separación Errática.....	117
Tabla XV Prueba Pérdida de Vínculos en 765 kV	118
Tabla XVI Primeros Botes	124
Tabla XVII Botes Posteriores	124
Tabla XVIII Estrategia combinada para el análisis estocástico	126
Tabla XIX Niveles de Bote de Carga para la propuesta “A”	135
Tabla XX Separación Errática Bajo distintos Niveles de Intercambio.....	137
Tabla XXI Separación por rampa de -1,3 Hz/seg	137
Tabla XXII Separación por rampa de -5,3 Hz/seg	138

Tabla XXIII Conformación de niveles Propuesta "B"	142
Tabla XXIV Propuesta B Resultados de la prueba de Separación Errática Bajo distintos Niveles de Intercambio	143
Tabla XXV Propuesta B Resultados de la prueba de separación por rampa de -1,3 Hz/seg bajo distintos niveles de intercambio.....	143
Tabla XXVI Propuesta B Resultados de la prueba de separación por rampa de -5,3 Hz/seg bajo distintos niveles de intercambio.....	144
Tabla XXVII Análisis Estocástico: Propuesta "A" vs Propuesta "B".....	148
Tabla XXVIII Esquema BCBF Definitivo EDC para la 1ra Fase	150
Tabla XXIX Actividades 1era Etapa	158
Tabla XXX Actividades 2 ^{da} Etapa	159
Tabla XXXI Comparación de características relevantes de los relés de frecuencia.....	165
Tabla XXXII Comparativa derivada del Análisis Cualitativo	180
Tabla XXXIII Fórmulas para calcular los índices de las combinaciones.....	185
Tabla XXXIV Resultados – Índices de actuaciones con retardos (Combinaciones).....	186
Tabla XXXV Resultados – Índices de disparos indeseados (Combinaciones).....	186

1. RESUMEN EJECUTIVO

En el año 2008 ocurrieron una serie de eventos en el Sistema Eléctrico Nacional que provocaron la actuación del Esquema de Separación de Áreas (ESA) de la red perteneciente a la Electricidad de Caracas (EDC). Algunas de esas contingencias originaron la pérdida total de la carga asociada a la capital del país, inclusive hasta en dos oportunidades en el mismo evento, tal como ocurrió en el momento de la perturbación el 19 de octubre de 2008 y posteriormente cuando se procedía a la recuperación del sistema de EDC. Esto motivó a la Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC) a conformar una Comisión de auditoría para la revisión del esquema de separación de áreas, botes de carga por baja frecuencia y operación de la generación en la Electricidad de Caracas.

Del análisis realizado sobre el evento del 19 de octubre de 2008 por la Comisión de Auditoría, se determinó que el relé de frecuencia SPAF140C, marca ABB, instalado en los nexos de interconexión de EDC se retardó, aunado a esto no se procesaron algunos botes de carga por baja frecuencia y estaba limitada una de las unidades de la Planta JJSB. Las recomendaciones de la comisión auditora para solventar las debilidades detectadas fueron implementadas, destacándose la instalación de un nuevo relé de frecuencia, el F60 cuyo fabricante es General Electric (GE), en paralelo con el relé SPAF140C, basándose en un conjunto de pruebas realizadas junto con el fabricante, que mostraron su correcto desempeño y evidenciaron una mayor rapidez con respecto al SPAF140C. El 11 de diciembre de 2008 después de disparar por falla los circuitos Santa Teresa – Papelón y Santa Teresa – Convento de 230 kV, se abrió la interconexión restante de la EDC en la S/E OMZ, al actuar erráticamente el relé F60, aislándose la EDC con una pérdida parcial de su demanda.

Como consecuencia de lo ocurrido y con el objetivo de estudiar y plantear alternativas que fortalecieran los esquemas de separación de áreas y bote de carga por baja frecuencia de EDC y del Sistema Interconectado Nacional (SIN), CORPOELEC conformó un equipo de trabajo con personal de EDELCA, EDC, ENELVEN, CADAPE,

FUNDELEC y dos asesores externos, que iniciaron sus actividades en el mes de enero de 2009. Se establecieron dos grupos para trabajar coordinadamente, uno responsable de las simulaciones dinámicas requeridas y el otro para evaluar las protecciones del esquema de separación de áreas. El equipo de protecciones planificó dos etapas de trabajo, la primera para recomendar mejoras que pudieran implementarse a corto plazo, utilizando los equipos e instalaciones que se disponen, y la segunda que involucra relés de última generación como solución definitiva al esquema de separación de áreas de la EDC y del resto del SIN.

El producto obtenido por el equipo de protecciones en esta primera fase es una propuesta a implementar en el corto plazo, que permitirá mejorar el esquema de separación de áreas de la Electricidad de Caracas basándose esta solución temporal en los relés de frecuencia SPAF140C y FCN950. Se debe resaltar que estos relés tienen más de 10 años instalados en el SIN y ya no se producen comercialmente, siendo mínima la cantidad de equipos disponibles en almacén. Los relés FCN950 fueron suministrados por CADAPE en calidad de préstamo a la EDC.

Las actividades principales realizadas en esta parte del proyecto fueron: 1) Diseño de las pruebas de laboratorio para evaluar el desempeño de los relés de frecuencia, 2) Selección y análisis detallado de la oscilografías asociada a los eventos ocurridos en el SIN desde el años 2005, 3) Estudio de los principios de funcionamiento de los algoritmos de los relés de frecuencia, 4) Diseño de una metodología para cuantificar el desempeño de los relés SPAF120C y FCN950 en forma independiente y considerando diferentes combinaciones de estos equipos, 5) Evaluación de los ajustes actuales para inhibir el esquema de separación de áreas ante rampas positivas producidas por fallas de transmisión, 6) Análisis de los registros oscilográficos de la EDC en los distintos eventos del año 2008, para mejorar los modelos utilizados en los estudios dinámicos de esta red y del Sistema Eléctrico Nacional. Los resultados obtenidos en esta primera etapa del proyecto indican que la opción más favorable para el esquema de rampa de frecuencia negativa, desde el punto de vista de seguridad y fiabilidad, es la duplicación

simple, conformada por un relé SPAF140C y un FCN950 configurados con 5 y 7 intervalos de evaluación de frecuencia respectivamente, sin retardo adicional.

Se recomienda que la duplicación se haga en el extremo del nexo de interconexión donde no hay relé de frecuencia actualmente (S/E Santa Teresa 230 kV), con el objetivo de que se produzca la separación de la EDC inclusive en caso de que falle algún interruptor en el momento de la apertura. Con respecto a los autotransformadores 765/230 kV de la S/E OMZ, dado que no existe transformador de potencial en el lado de alta, es conveniente que uno de los arreglos de protecciones actúe sobre los interruptores de 765 kV y el otro sobre los interruptores de 230 kV. Se recomienda conectar los relés de un mismo modelo en diferentes fases.

En lo que respecta al equipo de simulaciones la recomendación es reajustar el esquema actual, haciéndolo más rápido, manteniendo el monto global de carga a desconectar por frecuencia e incluyendo complementos que aceleren la recuperación del balance carga-generación en la EDC en caso de separación u operación aislada. Los aspectos fundamentales de la propuesta son: 1) Reordenamiento de los niveles, 2) Redistribución de los montos de carga a rechazar, pasando de 15% en los primeros 4 niveles (esquema actual) a 36%, 3) Reducir el retardo de tiempo para cada nivel, pasando de 250 ms a 150 ms, 4) Incluir un nivel de bote de carga adicional (nivel 0) de 236 MW (11% de la demanda), que actúa por disparo transferido junto con la separación de áreas de la EDC.

Está prevista una segunda fase, a iniciarse en Septiembre de 2009, con el objetivo de actualizar los equipos de protecciones asociados a los Esquemas de Separación de Áreas con relés de última generación, y la revisión de los Esquemas de Separación de Áreas y Botes de Carga por Baja Frecuencia del resto de las filiales de CORPOELEC.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Generales

Revisar y evaluar los Esquemas de Separación de Áreas (ESA) y de Bote de Carga por Baja Frecuencia (BCBF) implementados a nivel del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), con el propósito de elaborar y presentar las acciones integrales de mejoras que permitan garantizar la integridad y seguridad del Sistema Eléctrico Nacional ante la ocurrencia de perturbaciones que afecten el balance generación-carga.

Proponer en la primera etapa de mejora una alternativa para el esquema de separación de áreas de la Electricidad de Caracas, que pueda ser implementado a corto plazo, aprovechando el equipamiento disponible, con base en un conjunto de pruebas y una metodología de evaluación, que permita seleccionar un esquema de protecciones más fiable y seguro que el actual.

2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar una propuesta de mejora a corto plazo para el esquema de separación de áreas de La Electricidad de Caracas.
 - Elaborar una propuesta de mejora a corto plazo del esquema de bote de carga por baja frecuencia de La Electricidad de Caracas.
 - Dejar establecida tanto la metodología como el plan de ejecución para la revisión de los esquemas BCBF y ESA del resto del Sistema Interconectado Nacional.
-

3. INTRODUCCIÓN

La respuesta del sistema interconectado nacional y en líneas generales de cualquier sistema de potencia ante pérdidas importantes de generación, es determinada, principalmente, por la relación entre la inercia total del sistema y el desbalance presente, por los controles de velocidad (gobernadores) de las unidades en servicio, por la reserva rodante y por las características dinámicas de la carga.

La acción combinada de todos estos factores resulta en una característica de regulación del sistema que define tanto la relación entre el desbalance generación – carga y la desviación de frecuencia, como el valor máximo de dicho desbalance que el sistema es capaz de soportar.

Para incrementar esta capacidad de regulación, existen en el SEN un esquema de bote de carga por baja frecuencia (BCBF) y esquemas de separación de áreas (ESA) que permiten crear “islas” dentro del sistema, para evitar un colapso total, en los casos en los cuales el desbalance no puede ser corregido aún con la ayuda del BCBF.

La capacidad de regulación del SEN, los BCBF y los ESA han sido objeto de estudios previos, pero a la vista de diversos cambios ocurridos en el sistema nacional, junto con las condiciones de altísimas exigencias actuales, hacen necesario su revisión y/o posible rediseño.

La actuación del BCBF y los ESA se enmarca dentro de una coordinación que busca disminuir, dentro los sistemas que se encuentran interconectados, los efectos de fallas importantes y que en el caso de Venezuela han sido mayormente orientados en el ámbito de los desbalances de generación. El desbalance producido en un área sería hipotéticamente corregido por los mecanismos de regulación sumados de las otras áreas interconectadas redundando así en una mayor robustez.

Dentro de las premisas que deben ser contempladas o revisadas en este estudio está, en primer término, el mecanismo de actuación de los ESA, es decir, la condición que inicia o provoca la actuación del mismo, que hasta ahora tal y como se comentó previamente, son los desbalances generación-carga y en segundo lugar la premisa de hasta dónde deben los otros áreas “colaborar” al momento de producirse un evento de mayor magnitud, es decir, se colabora hasta detectar que la condición es irrecuperable o se separan “inmediatamente” uno o varios subsistemas ante la ocurrencia de un evento mayor.

Si bien es cierto que el presente informe se centra principalmente en el BCBF de la EDC no es menos cierto que las “fronteras” donde actúa un esquema u otro deben conocerse en detalle puesto que son complementarios y no siempre dichas fronteras están definidas en forma bien clara.

En cuanto al mecanismo de actuación se podría decir que existen dos vías principales para la actuación del ESA, al menos en lo que al sistema eléctrico venezolano se refiere: desbalance carga-generación y fallas “mayores” en la red de transmisión. Una de las acciones de este plan se orienta a la determinación de cuales eventos del sistema de transmisión debe ocasionar la actuación del esquema de separación. Por otro lado y como elemento principal del presente informe, el diseño de un esquema de bote de carga o deslastre que permita balancear de forma efectiva la carga y la generación de la EDC en el menor tiempo posible.
