

---



---

## ÍNDICE GENERAL

---

### CAPÍTULO I

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1    OBJETIVOS DE LA TESIS .....	4
1.2    ESTRUCTURA DE LA TESIS .....	5

### CAPÍTULO II

<b>ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>7</b>
2.1    INTRODUCCIÓN.....	7
2.2    HUECOS DE TENSIÓN.....	9
2.2.1 Definición .....	9
2.2.2 Mecanismos de generación.....	10
2.2.2.1 Cortocircuitos .....	10
2.2.2.1.1 Influencia de los cortocircuitos en media tensión .....	10
2.2.2.1.2 Influencia de los cortocircuitos en baja tensión .....	11
2.2.2.1.3 Causas de cortocircuitos .....	12
2.2.2.2 Huecos causados por operaciones diversas en la redes y arranques de grandes cargas .....	13
2.2.3 Parámetros de huecos de tensión .....	13
2.2.3.1 Profundidad .....	13
2.2.3.2 Duración .....	14
2.2.3.3 Valor de referencia .....	14
2.3    CARACTERIZACIÓN DE LOS HUECOS DE TENSIÓN.....	16
2.3.1 Caracterización $\Delta U-\Delta t$ .....	16
2.3.2 Caracterización por su energía.....	18
2.3.3 Caracterización considerando las tres fases .....	19
2.3.3.1 Caracterización por tipos de huecos .....	19
2.3.3.2 Caracterización fasorial .....	21
2.3.4 Caracterización por índice severidad-duración (DSI).....	25
2.4    ÍNDICES PARA HUECOS DE TENSIÓN.....	26
2.4.1 Introducción.....	26
2.4.2 Índices de sitio .....	28
2.4.2.1 Índices de sitio para obtener el número de eventos .....	28
2.4.2.2 Índices de sitio para obtener el tiempo de duración de los eventos .....	29

2.4.2.3	Índices de sitio para obtener el coste económico.....	31
2.4.3	Índices de sistemas .....	31
2.4.2.1	Índices de sistemas para obtener el número de eventos .....	32
2.4.2.2	Índices de sistemas para obtener el tiempo de duración de los eventos .....	33
2.4.2.3	Índices de sistemas para obtener el coste económico .....	33
2.4.4	Métodología para la obtención de índices .....	35
2.5	DISPOSITIVOS SENSIBLES A HUECOS DE TENSIÓN.....	39
2.5.1	Introducción.....	39
2.5.2	Elementos de cómputo, electrónicos y de control .....	39
2.5.3	Dispositivos de control de velocidad ac .....	41
2.5.3.1	Operación de los dispositivos de control de velocidad ac.....	41
2.5.4	Dispositivos de control de velocidad dc .....	42
2.5.4.1	Operación de los dispositivos de control de velocidad dc .....	43
2.5.5	Máquinas ac.....	45
2.5.5.1	Máquinas de inducción.....	45
2.5.5.2	Máquinas síncronas .....	45
2.5.6	Otros dispositivos .....	47
2.6	ESTABLECIMIENTO DE NIVELES DE CALIDAD Y SU REPERCUSIÓN ECONÓMICA.....	49
2.6.1	Introducción.....	49
2.6.2	Evaluación de los niveles de perturbación y su repercusión económica para interrupciones y armónicos.....	49
2.6.2.1	Límites de los niveles de perturbación para interrupciones .....	50
2.6.2.1.1	Aplicación para el caso español.....	50
2.6.2.1.2	Aplicación para el caso colombiano .....	53
2.6.2.2	Límites de los niveles de perturbación para armónicos .....	55
2.6.3	Evaluación de los niveles de perturbación y su repercusión económica para huecos de tensión.....	60

## CAPÍTULO III

### ANÁLISIS TIPOLÓGICO Y CLASIFICACIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN..... 65

3.1	INTRODUCCIÓN.....	65
3.2	BASE DE DATOS .....	66
3.2.1	Registros de huecos.....	66
3.2.2	Procesamiento de datos .....	66
3.3	PROBLEMÁTICA DE UTILIZAR LA CLASIFICACIÓN EXISTENTE.....	69
3.4	SIMULACIÓN .....	71
3.4.1	Modelo empleado.. .....	71
3.4.1.1	Descripción de los elementos de la red.....	72
3.4.1.2	Redes de secuencia .....	74
3.4.1.2.1	Redes de secuencia para cortocircuitos en AT.....	74

3.4.1.2.2	Redes de secuencia para cortocircuitos en MT .....	75
3.4.2	Estudio de los parámetros significativos .....	76
3.4.2.1	Lugar donde ha ocurrido y se ha medido el cortocircuito.....	77
3.4.2.2	Resistencia de falta a tierra .....	78
3.4.2.3	Resistencia entre fases .....	79
3.4.2.4	Distancia al cortocircuito.....	80
3.4.2.5	Influencia de la parte resistiva de la impedancia de línea .....	81
3.4.2.6	Análisis de las causas que generan los tipos de huecos a partir de los factores estudiados .....	82
3.5	PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA .....	84
3.5.1	Planteamiento de la nueva metodología .....	84
3.5.2	Clasificación de registros reales a partir de la clasificación fasorial y la nueva metodología de evaluación propuesta.....	87
3.5.2.1	Resultados estadísticos y análisis .....	88

## CAPÍTULO IV

### PROPUESTA DE ÍNDICES..... 95

4.1	INTRODUCCIÓN.....	95
4.2	PLANTEAMIENTO DE LOS ÍNDICES PARA HUECOS DE TENSIÓN .....	97
4.2.1	Cálculo del factor de hueco .....	97
4.2.2	Elementos de cómputo, electrónicos y de control.....	101
4.2.3	Dispositivos de control de velocidad ac.....	102
4.2.3.1	Huecos trifásicos balanceados .....	102
4.2.3.2	Huecos trifásicos desbalanceados.....	103
4.2.4	Dispositivos de control de velocidad dc.....	106
4.2.4.1	Huecos trifásicos balanceados .....	106
4.2.4.2	Huecos trifásicos desbalanceados.....	109
4.2.5	Máquinas de ac.....	114
4.2.5.1	Máquinas de inducción .....	114
4.2.5.2	Máquinas síncronas .....	116
4.3	ÍNDICES DE SITIO PARA HUECOS DE TENSIÓN... ..	119
4.3.1	Número equivalente de huecos de tensión .....	119
4.3.2	Tiempo equivalente de descenso de tensión. ....	121
4.4	ÍNDICES DE SISTEMA PARA HUECOS DE TENSIÓN... ..	124
4.4.1	Índice de sistema para el número de huecos de tensión .....	124
4.4.2	Índice de sistema para el tiempo de duración de los huecos de tensión.....	124

## CAPÍTULO V

### APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES..... 127

5.1	INTRODUCCIÓN.....	127
-----	-------------------	-----

5.2	GENERALIDADES DEL SISTEMA DE POTENCIA ELÉCTRICO COLOMBIANO.....	128
5.3	MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE POTENCIA ELÉCTRICO COLOMBIANO .....	130
5.4	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN Y ANÁLISIS PARA EL SISTEMA DE POTENCIA ELÉCTRICO COLOMBIANO .....	134
5.4.1	Para índices de sitio .....	134
5.4.1.1	Resultados y análisis para faltas en tres posiciones diferentes de las líneas .....	139
5.4.2	Para índices de sistema .....	143
5.5	APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS PARA EL SISTEMA DE POTENCIA ELÉCTRICO ESPAÑOL .....	145
5.5.1	Para índices de sitio .....	146
5.5.2	Para índices de sistema .....	147

## CAPÍTULO VI

### **METODOLOGÍA PARA EVALUAR LOS NIVELES DE CALIDAD DE LA ENERGÍA POR HUECOS DE TENSIÓN EN EL SISTEMA DE POTENCIA ELÉCTRICO COLOMBIANO ..... 149**

6.1	INTRODUCCIÓN.....	149
6.2	EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL SUMINISTRO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO COLOMBIANO. ....	151
6.3	METODOLOGÍA PROPUESTA .....	153
6.4	VENTAJAS E INCONVENIENTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA.....	159
6.4.1	Ventajas .....	159
6.4.2	Inconvenientes .....	159

## CAPÍTULO VII

### **CONCLUSIONES..... 161**

7.1	RESUMEN, CONCLUSIONES Y APORTACIONES DE LA TESIS....	161
7.1.1	Resumen y Conclusiones.....	161
7.1.2	Aportaciones.....	165
7.2	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	166

## CAPÍTULO VIII

### **BIBLIOGRAFÍA..... 167**

**ANEXO I**

**RESULTADOS GRÁFICOS DE LA SIMULACIÓN..... 173**

**ANEXO II**

**REGISTROS MEDIDOS EN PUNTOS DE BT Y MT DEL  
SISTEMA DE POTENCIA ELÉCTRICO ESPAÑOL ..... 197**

**ANEXO III**

**PARÁMETROS DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE  
POTENCIA ELÉCTRICO COLOMBIANO ..... 213**



---



---

**ÍNDICE DE FIGURAS**


---

Fig. 1	Hueco de tensión: a) Valor eficaz. b) Valor instantáneo .....	9
Fig. 2	Transmisión de huecos de tensión en media tensión .....	11
Fig. 3	Secuencia de eliminación de una falta.....	12
Fig. 4	a) Caracterización de un hueco de amplitud constante. b) Caracterización de un hueco de amplitud variable.....	16
Fig. 5	Curvas CBEMA.....	17
Fig. 6	Curvas ITIC y SEMI.....	18
Fig. 7	Caracterización por tipos de huecos .....	20
Fig. 8	Modelo equivalente de un sistema de potencia .....	22
Fig. 9	Área de incertidumbre de la curva de tolerancia de voltaje del equipo .....	25
Fig. 10	Estructura general para la obtención de índices para huecos de tensión equivalente de un sistema de potencia .....	36
Fig. 11	Características de coordinación de hueco de tensión de acuerdo al IEEE Std.493 .....	37
Fig. 12	Suministro de energía a ordenadores .....	39
Fig. 13	Efecto de un hueco de tensión monofásico sobre el voltaje de la etapa de continua Vdc.....	40
Fig. 14	Configuración típica de un dispositivo de ajuste de velocidad <i>ac</i> .....	41
Fig. 15	Voltaje y frecuencia en función de la velocidad para un dispositivo de ajuste de velocidad de <i>ac</i> .....	42
Fig. 16	Dispositivo de control de velocidad <i>dc</i> con excitación separada de los devanados de armadura y de campo.....	43
Fig. 17	Características mecánicas de un motor de inducción para tensiones $U_N$ (nominal) y $U_I$ (durante el hueco).....	45
Fig. 18	Diagrama de tensiones por fase de estator, despreciando la resistencia por fase.....	46
Fig. 19	Características par-velocidad de un motor síncrono.....	47
Fig. 20	Diagrama del procedimiento de evaluación de los niveles de perturbación para armónicos.....	56
Fig. 21	Curva voltaje-tolerancia de los equipos.....	62
Fig. 22	Región de incertidumbre para curvas de sensibilidad de PC <sub>s</sub> , PLC <sub>s</sub> y ASD <sub>s</sub> .....	62

Fig. 23	Diagrama de flujo para el procesamiento de la información de los registros reales de huecos de tensión .....	67
Fig. 24	Diagrama unifilar de la red analizada .....	71
Fig. 25	Diagrama trifilar del transformador AT/MT y de la reactancia Zig-Zag .....	74
Fig. 26	Diagrama unifilar de la red para falta en el lado de AT .....	74
Fig. 27	Diagrama unifilar de la red con todos los componentes referidos al lado de MT .....	76
Fig. 28	a) Cortocircuito bifásico. b) Cortocircuito bifásico a tierra .....	79
Fig. 29	Equivalente Thévenin monofásico de un cortocircuito franco a tierra .....	81
Fig. 30	Diagrama de flujo para la evaluación de huecos de tensión .....	87
Fig. 31	Porcentajes para cada tipo de hueco de acuerdo a: a) Metodología de clasificación fasorial; b) Nueva metodología propuesta .....	89
Fig. 32	Descomposición de la nueva evaluación en la clasificación fasorial .....	91
Fig. 33	Descomposición de la clasificación fasorial en la nueva evaluación .....	92
Fig. 34	Valores límites entre los que varía $fh$ para diferentes fases caídas .....	100
Fig. 35	Efecto de un hueco de tensión monofásico sobre el voltaje de la etapa de continua $V_{dc}$ en un elemento de cómputo .....	101
Fig. 36	Voltaje durante un hueco trifásico desbalanceado tipo C .....	104
Fig. 37	Voltaje durante un hueco trifásico desbalanceado tipo D .....	105
Fig. 38	Circuito equivalente para un motor $dc$ durante transitorios .....	107
Fig. 39	Comportamiento del motor $dc$ frente a un hueco desbalanceado trifásico del 80%. a) Corriente de armadura, b) Par eléctrico, c) Corriente de campo, d) Velocidad del motor .....	109
Fig. 40	Comportamiento del motor $dc$ frente a un hueco desbalanceado tipo D. a) Corriente de armadura, b) Par eléctrico, c) Corriente de campo, d) Velocidad del motor .....	111
Fig. 41	Comportamiento del motor $dc$ frente a un hueco desbalanceado tipo C. a) Corriente de armadura, b) Par eléctrico, c) Corriente de campo, d) Velocidad del motor .....	112
Fig. 42	Diagramas unifilares del sistema de potencia. a) Sistema interconectado nacional de Colombia. b) Zona nororiental. c) Zona norte .....	129
Fig. 43	Redes de secuencia para la zona nororiental. a) Secuencia directa. b) secuencia inversa. c) Secuencia homopolar .....	131
Fig. 44	Redes de secuencia para la zona norte. a) Secuencia directa. b) secuencia inversa. c) Secuencia homopolar .....	132
Fig. 45	a) Correlación entre $NEH$ y $TED$ , para la zona nororiental. b) entre $NEH$ y $TED$ , para la zona norte .....	142



Fig. 46	Metodología propuesta para evaluar los límites de perturbación y los costes financieros por huecos de tensión en el sistema eléctrico colombiano.....	158
---------	---	-----

## GRÁFICOS ANEXOS

### ANEXO I

Grá. 1	Falta monofásica a tierra en alta tensión, en la fase R. Tensiones simples y compuestas en MT.....	174
Grá. 2	Falta bifásica en alta tensión, en las fases R y S. Tensiones simples y compuestas en MT.....	175
Grá. 3	Falta bifásica a tierra en alta tensión, en las fases S y T. Tensiones simples y compuestas en MT.....	176
Grá. 4	Doble falta monofásica a tierra en alta tensión, en las fases S y T. Tensiones simples y compuestas en MT.....	177
Grá. 5	Falta monofásica en media tensión, en la fase R. Tensiones simples y compuestas en MT, en la subestación B.....	178
Grá. 6	Falta bifásica en media tensión, en las fases R y S. Tensiones simples y compuestas en MT, en la subestación B.....	179
Grá. 7	Falta bifásica a tierra en media tensión, en las fases S y T. Tensiones simples y compuestas en MT, en la subestación B.....	180
Grá. 8	Doble falta monofásica a tierra en media tensión, en las fases S y T. Tensiones simples y compuestas en MT, en la subestación B.....	181
Grá. 9	Falta trifásica a tierra en media tensión. Tensiones simples en MT, en la subestación B.....	182
Grá. 10	Falta monofásica en media tensión, en la fase R. Tensiones simples y compuestas en MT, en la subestación A.....	183
Grá. 11	Falta bifásica en media tensión, en las fases R y S. Tensiones simples y compuestas en MT, en la subestación A.....	184
Grá. 12	Falta bifásica a tierra en media tensión, en las fases S y T. Tensiones simples y compuestas en MT, en la subestación A.....	185
Grá. 13	Doble falta monofásica a tierra en media tensión, en las fases S y T. Tensiones simples y compuestas en MT, en la subestación A.....	186
Grá. 14	Falta trifásica a tierra en media tensión. Tensiones simples en MT, en la subestación A.....	187
Grá. 15	Falta bifásica a tierra en alta tensión, en las fases S y T, a dos distancias diferentes del punto de evaluación y dos resistencias entre faltas distintas. Tensiones simples en MT.....	188

---

Grá. 16	Falta monofásica en alta tensión, en la fase R, a mitad de línea, para tres valores resistivos diferentes de la impedancia de línea. Tensiones simples y compuestas en MT.....	189
Grá. 17	Falta bifásica en alta tensión, en las fases R y S, a mitad de línea, para tres valores resistivos diferentes de la impedancia de línea. Tensiones simples y compuestas en MT .....	190
Grá. 18	Falta bifásica a tierra en alta tensión, en las fases R y S, a mitad de línea, para tres valores resistivos diferentes de la impedancia de línea. Tensiones simples y compuestas en MT.....	191
Grá. 19	Doble falta monofásica a tierra en alta tensión, en las fases R y S, a mitad de línea, para tres valores resistivos diferentes de la impedancia de línea. Tensiones simples y compuestas en MT.....	192
Grá. 20	Falta monofásica en media tensión, en la fase R, a mitad de línea, para tres valores resistivos diferentes de la impedancia de línea. Tensiones simples y compuestas en MT, en la subestación B.....	193
Grá. 21	Falta bifásica en media tensión, en las fases R y S, a mitad de línea, para tres valores resistivos diferentes de la impedancia de línea. Tensiones simples y compuestas en MT, en la subestación B.....	194
Grá. 22	Falta bifásica a tierra en media tensión, en las fases R y S, a mitad de línea, para tres valores resistivos diferentes de la impedancia de línea. Tensiones simples y compuestas en MT, en la subestación B .....	195
Grá. 23	Doble falta monofásica a tierra en media tensión, en las fases S y T, a mitad de línea, para tres valores resistivos diferentes de la impedancia de línea. Tensiones simples y compuestas en MT, en la subestación B .....	196

---

**ÍNDICE DE TABLAS**


---

Tab. 1	Tabla profundidad-duración .....	17
Tab. 2	Caracterización fasorial de huecos de tensión .....	21
Tab. 3	Tipo de hueco en el secundario en función del tipo de hueco en el primario y del grupo de conexión .....	24
Tab. 4	Calidad zonal en el sistema eléctrico español.....	27
Tab. 5	Índices de sitio para huecos de tensión existentes en la literatura. Ventajas e inconvenientes .....	34
Tab. 6	Calidad individual en media tensión.....	50
Tab. 7	Calidad individual en baja tensión.....	51
Tab. 8	Valores máximos admisibles vigentes para DES y FES en el sistema eléctrico colombiano.....	54
Tab. 9	Factor de costo por interrupción .....	54
Tab. 10	Valores del factor de ponderación .....	55
Tab. 11	Límites de distorsión armónica total de corriente.....	58
Tab. 12	Límites de distorsión armónica total de tensión .....	59
Tab. 13	Límites máximos de distorsión total de voltaje ( $THD_v$ ) .....	60
Tab. 14	Registros reales de huecos de tensión medidos en la red eléctrica española.....	69
Tab. 15	Magnitudes de las tensiones compuestas en MT dependiendo del lugar donde haya ocurrido la falta .....	78
Tab. 16	Ejemplo de huecos de tensión medidos en el sistema de potencia eléctrico español.....	98
Tab. 17	Rango de valores para $N$ , $F_{dc}$ y $fh$ .....	100
Tab. 18	Valores del factor de amplificación para el voltaje de la etapa de continua del dispositivo de control de velocidad $ac$ .....	105
Tab. 19	Valores de los parámetros del motor para los cuatro tipos de huecos sobre el dispositivo de control de velocidad $dc$ .....	112
Tab. 20	Cálculo de $fh$ y de la correlación entre el cambio de algunas variables y $fh$ , para la máquina $dc$ , alimentada a través del dispositivo de control de velocidad $dc$ .....	113
Tab. 21	Parámetros de la máquina de inducción y la máquina síncrona .....	115
Tab. 22	Cálculo de $fh$ y de la correlación entre la magnitud de las variables y $fh$ , para el motor de inducción.....	116
Tab. 23	Cálculo de $fh$ y de la correlación entre la magnitud de las variables y $fh$ , para la máquina síncrona.....	117

Tab. 24	Diferencias, ventajas y desventajas del índice <i>NEH</i> frente a los índices <i>SARFI</i> y <i>ASIDI</i> .....	120
Tab. 25	Diferencias, ventajas y desventajas del índice <i>TED</i> frente a los índices <i>SEI</i> y <i>ASTC</i> .....	122
Tab. 26	Resultados de la simulación de huecos del sistema de potencia del nororiente colombiano .....	134
Tab. 27	Resultados de la simulación de huecos del sistema de potencia del norte colombiano .....	135
Tab. 28	Número de huecos en cada barra del nororiente colombiano para cada tipo de falta .....	138
Tab. 29	Número de huecos en cada barra del norte colombiano para cada tipo de falta .....	138
Tab. 30	Número de huecos en cada barra del nororiente colombiano para faltas en tres posiciones diferentes de las líneas .....	140
Tab. 31	Número de huecos en cada barra del norte colombiano para faltas en tres posiciones diferentes de las líneas .....	140
Tab. 32	Resumen de los índices de sitio, resultados de la simulación, para las dos zonas del sistema de potencia eléctrico colombiano .....	142
Tab. 33	Resultados de los índices de sistema para las dos zonas del sistema de potencia eléctrico colombiano .....	143
Tab. 34	Características de las barras de media tensión del sistema de potencia eléctrico español .....	145
Tab. 35	Resultado de los índices de fiabilidad para huecos de tensión en barras de media tensión del sistema de potencia eléctrico español .....	146
Tab. 36	Resultado de los índices de sistema para huecos de tensión, en una zona de media tensión del sistema de potencia eléctrico español .....	147
Tab. 37	Evolución histórica de los índices <i>FES</i> y <i>DES</i> en el sistema eléctrico colombiano .....	151

## TABLAS ANEXOS

### ANEXO II

Tab. 1	Parámetros de los registros medidos en puntos de baja tensión del sistema de potencia eléctrico español .....	198
Tab. 2	Parámetros de los registros medidos en puntos de media tensión del sistema de potencia eléctrico español. Tensiones simples sin la componente homopolar .....	204

---

Tab. 3	Registros reales de huecos de tensión medidos en puntos de BT de la red eléctrica española.....	209
--------	---	-----

**ANEXO III**

Tab. 1	Parámetros de las líneas para las zonas nororiental y norte del sistema de potencia eléctrico colombiano .....	214
Tab. 2	Parámetros de los generadores y transformadores para las zonas nororiental y norte del sistema de potencia eléctrico colombiano .....	216

## ÍNDICE DE TABLAS

Tab. 1	Tabla profundidad-duración .....	17
Tab. 2	Caracterización fasorial de huecos de tensión .....	21
Tab. 3	Tipo de hueco en el secundario en función del tipo de hueco en el primario y del grupo de conexión .....	24
Tab. 4	Calidad zonal en el sistema eléctrico español.....	27
Tab. 5	Índices de sitio para huecos de tensión existentes en la literatura. Ventajas e inconvenientes .....	34
Tab. 6	Calidad individual en media tensión.....	50
Tab. 7	Calidad individual en baja tensión.....	51
Tab. 8	Valores máximos admisibles vigentes para DES y FES en el sistema eléctrico colombiano.....	54
Tab. 9	Factor de costo por interrupción .....	54
Tab. 10	Valores del factor de ponderación .....	55
Tab. 11	Límites de distorsión armónica total de corriente.....	58
Tab. 12	Límites de distorsión armónica total de tensión .....	59
Tab. 13	Límites máximos de distorsión total de voltaje ( $THD_v$ ) .....	60
Tab. 14	Registros reales de huecos de tensión medidos en la red eléctrica española.....	69
Tab. 15	Magnitudes de las tensiones compuestas en MT dependiendo del lugar donde haya ocurrido la falta .....	78
Tab. 16	Ejemplo de huecos de tensión medidos en el sistema de potencia eléctrico español.....	98
Tab. 17	Rango de valores para $N$ , $F_{dc}$ y $fh$ .....	100
Tab. 18	Valores del factor de amplificación para el voltaje de la etapa de continua del dispositivo de control de velocidad $ac$ .....	105
Tab. 19	Valores de los parámetros del motor para los cuatro tipos de huecos sobre el dispositivo de control de velocidad $dc$ .....	112
Tab. 20	Cálculo de $fh$ y de la correlación entre el cambio de algunas variables y $fh$ , para la máquina $dc$ , alimentada a través del dispositivo de control de velocidad $dc$ .....	113
Tab. 21	Parámetros de la máquina de inducción y la máquina síncrona .....	115
Tab. 22	Cálculo de $fh$ y de la correlación entre la magnitud de las variables y $fh$ , para el motor de inducción.....	116
Tab. 23	Cálculo de $fh$ y de la correlación entre la magnitud de las variables y $fh$ , para la máquina síncrona.....	117

Tab. 24	Diferencias, ventajas y desventajas del índice <i>NEH</i> frente a los índices <i>SARFI</i> y <i>ASIDI</i> .....	120
Tab. 25	Diferencias, ventajas y desventajas del índice <i>TED</i> frente a los índices <i>SEI</i> y <i>ASTC</i> .....	122
Tab. 26	Resultados de la simulación de huecos del sistema de potencia del nororiente colombiano .....	134
Tab. 27	Resultados de la simulación de huecos del sistema de potencia del norte colombiano .....	135
Tab. 28	Número de huecos en cada barra del nororiente colombiano para cada tipo de falta .....	138
Tab. 29	Número de huecos en cada barra del norte colombiano para cada tipo de falta .....	138
Tab. 30	Número de huecos en cada barra del nororiente colombiano para faltas en tres posiciones diferentes de las líneas .....	140
Tab. 31	Número de huecos en cada barra del norte colombiano para faltas en tres posiciones diferentes de las líneas .....	140
Tab. 32	Resumen de los índices de sitio, resultados de la simulación, para las dos zonas del sistema de potencia eléctrico colombiano .....	142
Tab. 33	Resultados de los índices de sistema para las dos zonas del sistema de potencia eléctrico colombiano .....	143
Tab. 34	Características de las barras de media tensión del sistema de potencia eléctrico español .....	145
Tab. 35	Resultado de los índices de fiabilidad para huecos de tensión en barras de media tensión del sistema de potencia eléctrico español .....	146
Tab. 36	Resultado de los índices de sistema para huecos de tensión, en una zona de media tensión del sistema de potencia eléctrico español .....	147
Tab. 37	Evolución histórica de los índices <i>FES</i> y <i>DES</i> en el sistema eléctrico colombiano .....	151

## TABLAS ANEXOS

### ANEXO II

Tab. 1	Parámetros de los registros medidos en puntos de baja tensión del sistema de potencia eléctrico español .....	198
Tab. 2	Parámetros de los registros medidos en puntos de media tensión del sistema de potencia eléctrico español. Tensiones simples sin la componente homopolar .....	204

Tab. 3	Registros reales de huecos de tensión medidos en puntos de BT de la red eléctrica española.....	209
--------	---	-----

### **ANEXO III**

Tab. 1	Parámetros de las líneas para las zonas nororiental y norte del sistema de potencia eléctrico colombiano .....	214
Tab. 2	Parámetros de los generadores y transformadores para las zonas nororiental y norte del sistema de potencia eléctrico colombiano .....	216