

Índice de Figuras	5
Índice de Tablas	7
PREFACIO	8
1. INTRODUCCION	10
1.1 La Energía Nuclear	11
1.2 Combustible, el uranio	13
1.3 Centrales Nucleoeléctricas	14
1.3.1 Funcionamiento de una Central Nucleoeléctrica.....	14
1.4 Central Nucleoeléctrica “Laguna Verde” (CNLV)	17
1.4.1 Ubicación	17
1.4.2 Selección del Sitio	17
1.4.3 Configuración de la Planta	17
1.5 Estudio de expansión de la CNLV	18
2. TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE REACTORES NUCLEARES A IMPLEMENTAR	20
2.1 Reactores nucleares	20
2.1.1 Reactor de Agua Presurizada (PWR)	20
2.1.2 Reactor de Agua en Ebullición (BWR)	20
2.2 Reactor AP-1000	21
2.3 Reactor ABWR	22
2.4 Reactor EPR	24
3. ANÁLISIS DE REDES ELÉCTRICAS	26
3.1 Características generales de un Sistema Eléctrico de Potencia	26
3.1.1 Características de la carga de un Sistema Eléctrico de Potencia	26
3.1.2 Sistemas de Transmisión y Distribución	27
3.2 Fallas en un sistema eléctrico	27
3.2.1 Tipos de Fallas	28
3.3 Método de las Componentes Simétricas para el cálculo de fallas	29
3.3.1 Desequilibrios en los sistemas trifásicos debidos a cortos circuitos	32

3.3.1.1	Falla monofásica a tierra	33
3.3.1.2	Falla monofásica a tierra a través de una impedancia	36
3.3.1.3	Falla trifásica	39
3.4	Análisis de flujos en un sistema eléctrico	41
3.4.1	Planteamiento de las ecuaciones de flujo de potencia	42
3.4.2	Solución de las ecuaciones de flujo de potencia por el método de Newton-Raphson.....	43
3.5	Potencia característica de una línea de transmisión	49
4.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL, ELÉCTRICO Y ECONÓMICO DE CADA REACTOR	53
4.1	Análisis de corto circuito utilizando el software EDSA	53
4.2	Análisis de corto circuito calculado manualmente con el método de las componentes simétricas	60
4.2.1	Análisis con dos generadores	60
4.2.2	Análisis con tres generadores	69
4.3	Análisis de flujos	77
4.4	Análisis de la carga	100
4.4.1	Demanda bruta por área operativa	102
4.4.2	Análisis de flujos tomando en cuenta el crecimiento de la carga	103
5.	TOMA DE DECISIÓN	111
5.1	Método de AHP (Analytical Hierachy Process)	112
5.2	Selección del mejor generador por medio del método AHP	122
5.2.1	Construcción del árbol de jerarquías	122
5.2.2	Escala de jerarquías en las comparaciones pareadas	123
5.2.3	Comparaciones jerárquicas cuantitativas	123
5.2.4	Construcción de la matriz de comparaciones pareadas	124
5.2.5	Construcción de las matrices de prioridades	126
5.2.6	Síntesis	129
6.	RESULTADOS OBTENIDOS	130
7.	CONCLUSIONES	131
	REFERENCIAS	133

Índice de Figuras

FIGURA 1.1 ESTRUCTURA DEL ÁTOMO	11
FIGURA 1.2 REACCIÓN DE FISIÓN DEL URANIO-235.....	13
FIGURA 3.1 SISTEMA DE FASORES DE SECUENCIA POSITIVA.....	30
FIGURA 3.2 SISTEMA DE FASORES DE SECUENCIA POSITIVA.....	31
FIGURA 3.3 SISTEMA DE FASORES DE SECUENCIA NEGATIVA.....	31
FIGURA 3.4 SISTEMA DE FASORES DE SECUENCIA CERO	32
FIGURA 3.5 FALLA MONOFÁSICA A TIERRA.....	33
FIGURA 3.6 CONEXIÓN DE LOS CIRCUITOS DE SECUENCIA POSITIVA, NEGATIVA Y CERO PARA EL CASO DE UNA FALLA MONOFÁSICA A TIERRA.....	35
FIGURA 3.7 FALLA MONOFÁSICA A TRAVÉS DE UNA IMPEDANCIA.....	37
FIGURA 3.8 CONEXIÓN DE LOS CIRCUITOS DE SECUENCIA POSITIVA, NEGATIVA Y CERO PARA EL CASO DE UNA FALLA MONOFÁSICA A TIERRA A TRAVÉS DE UNA IMPEDANCIA.....	38
FIGURA 3.9 FALLA TRIFÁSICA.....	39
FIGURA 3.10 CONEXIÓN DEL CIRCUITO DE SECUENCIA POSITIVA PARA EL CASO DE UNA FALLA TRIFÁSICA.....	40
FIGURA 4.1 SIMULACIÓN DE CORTO CIRCUITO EN LOS BUSES DE LA CNLV, CON DOS GENERADORES	56
FIGURA 4.2 SIMULACIÓN DE CORTO CIRCUITO EN LOS BUSES DE LA CNLV, CON TRES GENERADORES	58
FIGURA 4.3 DIAGRAMA UNIFILAR DE LA CNLV.....	61
FIGURA 4.4 CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA-DELTA.....	62
FIGURA 4.5 DIAGRAMAS DE SECUENCIA CON DOS GENERADORES: A) POSITIVA Y NEGATIVA Y B) DE SECUENCIA CERO.....	64
FIGURA 4.6 LA IMPEDANCIA DEL EQUIVALENTE DE THÉVENIN DE SECUENCIA CERO PARA LA FALLA EN LAS TERMINALES DEL GENERADOR 1 Ó 2.....	67
FIGURA 4.7 DIAGRAMA UNIFILAR DE LA CNLV CON 3 GENERADORES.....	69
FIGURA 4.8 DIAGRAMAS DE SECUENCIA CON TRES GENERADORES: A) POSITIVA Y NEGATIVA Y B) DE SECUENCIA CERO.....	70
FIGURA 4.9 LA IMPEDANCIA DEL EQUIVALENTE DE THÉVENIN DE SECUENCIA CERO PARA LA FALLA EN LA TERMINAL DEL GENERADOR 1 Ó 2 CON LAS TRES UNIDADES.....	73
FIGURA 4.10 LA IMPEDANCIA DEL EQUIVALENTE DE THÉVENIN DE SECUENCIA CERO PARA LA FALLA EN LA TERMINAL DEL GENERADOR 3.....	75
FIGURA 4.11 RED ORIENTAL DEL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL.....	78
FIGURA 4.12 FLUJOS CON DOS GENERADORES, DEMANDA MÁXIMA.....	83
FIGURA 4.13 FLUJOS CON DOS GENERADORES, DEMANDA MÍNIMA.....	84

FIGURA 4.14 FLUJOS AÑADIENDO EL GENERADOR DEL AP-1000, DEMANDA MÁXIMA.....	87
FIGURA 4.15 FLUJOS AÑADIENDO EL GENERADOR DEL AP-1000, DEMANDA MÍNIMA.....	88
FIGURA 4.16 FLUJOS AÑADIENDO EL GENERADOR DEL ABWR, DEMANDA MÁXIMA.....	91
FIGURA 4.17 FLUJOS AÑADIENDO EL GENERADOR DEL ABWR, DEMANDA MÍNIMA.....	92
FIGURA 4.18 FLUJOS AÑADIENDO EL GENERADOR DEL EPR, DEMANDA MÁXIMA.....	95
FIGURA 4.19 FLUJOS AÑADIENDO EL GENERADOR DEL EPR, DEMANDA MÍNIMA.....	96
FIGURA 4.20 REGIONALIZACIÓN ESTADÍSTICA DEL MERCADO NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	101
FIGURA 4.21 FLUJOS CON EL GENERADOR DEL REACTOR AP 1000 CON AUMENTO DE 40% EN LA CARGA, DEMANDA MÁXIMA.....	105
FIGURA 4.22 FLUJOS CON EL GENERADOR DEL ABWR CON AUMENTO DE 40% EN LA CARGA, DEMANDA MÁXIMA.....	106
FIGURA 4.23 FLUJOS CON EL GENERADOR DEL EPR CON AUMENTO DE 40% EN LA CARGA, DEMANDA MÁXIMA.....	107
FIGURA 5.1 MATRIZ DE DECISIÓN MULTICRITERIO.....	111
FIGURA 5.2 ÁRBOL DE JERARQUÍAS.....	113
FIGURA 5.3 ÁRBOL DE JERARQUÍAS PARA LA ELECCIÓN DEL MEJOR GENERADOR.....	123
FIGURA 5.4 MATRIZ DE COMPARACIONES PAREADAS PARA LOS CUATRO REACTORES CON RESPECTO AL INDICADOR I.....	125

Índice de Tablas

TABLA 2.1 DATOS TÉCNICOS DEL GENERADOR AP-1000	21
TABLA 2.2 DATOS TÉCNICOS DEL GENERADOR ABWR.....	23
TABLA 2.3 DATOS TÉCNICOS DEL GENERADOR EPR.....	24
TABLA 4.1 PARÁMETROS DE GENERADORES CNLV.....	54
TABLA 4.2 VOLTAJES DE LOS NODOS CNLV.....	54
TABLA 4.3 PARÁMETROS DE TRANSFORMADORES DE 2 DEVANADOS CNLV.....	54
TABLA 4.4 PARÁMETROS DE TRANSFORMADOR DE 3 DEVANADOS CNLV.....	54
TABLA 4.5 EQUIVALENTES DE THÉVENIN DE LA RED EN LOS BUSES DE 400 [KV] Y 230 [KV].....	55
TABLA 4.6 RESULTADOS SIMULACIÓN CORTO-CIRCUITO CON LAS DOS UNIDADES ACTUALES.....	57
TABLA 4.7 VALORES DE REACTANCIAS DEL GENERADOR AP-1000.....	57
TABLA 4.8 RESULTADOS SIMULACIÓN CORTO-CIRCUITO CON LAS TRES UNIDADES.....	59
TABLA 4.9 COMPARACIÓN DE CORRIENTES DE CORTO-CIRCUITO EN LOS BUSES DE LA CNLV CON DOS Y TRES GENERADORES.....	60
TABLA 4.10 COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES OBTENIDOS MANUALMENTE CON EL MÉTODO DE LAS COMPONENTES SIMÉTRICAS, CON LOS DE LAS SIMULACIONES, PARA DOS GENERADORES.....	76
TABLA 4.11 COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES OBTENIDOS MANUALMENTE CON EL MÉTODO DE LAS COMPONENTES SIMÉTRICAS, CON LOS DE LAS SIMULACIONES, PARA TRES GENERADORES.....	76
TABLA 4.12 PARÁMETROS DE LAS POTENCIAS DE LOS GENERADORES ACTUALES DE LA CNLV Y GENERADORES A COMPARAR.....	78
TABLA 4.13 PARÁMETROS DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	79
TABLA 4.14 PARÁMETROS DE LA CARGA, DEMANDA MÁXIMA.....	79
TABLA 4.15 PARÁMETROS DE LA CARGA, DEMANDA MÍNIMA.....	79
TABLA 4.16 TABLAS NOMINALES Y DESIGNACIONES PREFERENTES PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	80
TABLA 4.17 TABLA DE PARÁMETROS DE LOS CABLES DE ACUERDO A SU CALIBRE.....	81
TABLA 4.18 RESULTADOS DE LAS CAÍDAS DE VOLTAJE Y CARGA EN LOS BUSES, DEMANDA MÁXIMA CON DOS UNIDADES.....	85
TABLA 4.19 RESULTADOS DEL FLUJO DE POTENCIAS Y CORRIENTE EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, DEMANDA MÁXIMA CON DOS UNIDADES.....	85
TABLA 4.20 RESULTADOS DE LAS CAÍDAS DE VOLTAJE Y CARGA EN LOS BUSES, DEMANDA MÍNIMA CON DOS UNIDADES.....	86
TABLA 4.21 RESULTADOS DEL FLUJO DE POTENCIAS Y CORRIENTE EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, DEMANDA MÍNIMA CON DOS UNIDADES.....	86

TABLA 4.22 RESULTADOS DE LAS CAÍDAS DE VOLTAJE Y CARGA EN LOS BUSES, DEMANDA MÁXIMA AÑADIENDO GENERADOR AP-1000.....	89
TABLA 4.23 RESULTADOS DEL FLUJO DE POTENCIAS Y CORRIENTE EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, DEMANDA MÁXIMA AÑADIENDO GENERADOR AP-1000.....	89
TABLA 4.24 RESULTADOS DE LAS CAÍDAS DE VOLTAJE Y CARGA EN LOS BUSES, DEMANDA MÍNIMA AÑADIENDO GENERADOR AP-1000.....	90
TABLA 4.25 RESULTADOS DEL FLUJO DE POTENCIAS Y CORRIENTE EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, DEMANDA MÍNIMA AÑADIENDO GENERADOR AP-1000.....	90
TABLA 4.26 RESULTADOS DE LAS CAÍDAS DE VOLTAJE Y CARGA EN LOS BUSES, DEMANDA MÁXIMA AÑADIENDO GENERADOR ABWR.....	93
TABLA 4.27 RESULTADOS DEL FLUJO DE POTENCIAS Y CORRIENTE EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, DEMANDA MÁXIMA AÑADIENDO GENERADOR ABWR.....	93
TABLA 4.28 RESULTADOS DE LAS CAÍDAS DE VOLTAJE Y CARGA EN LOS BUSES, DEMANDA MÍNIMA AÑADIENDO GENERADOR ABWR.....	94
TABLA 4.29 RESULTADOS DEL FLUJO DE POTENCIAS Y CORRIENTE EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, DEMANDA MÍNIMA AÑADIENDO GENERADOR ABWR.....	94
TABLA 4.30 RESULTADOS DE LAS CAÍDAS DE VOLTAJE Y CARGA EN LOS BUSES, DEMANDA MÁXIMA AÑADIENDO GENERADOR EPR.....	97
TABLA 4.31 RESULTADOS DEL FLUJO DE POTENCIAS Y CORRIENTE EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, DEMANDA MÁXIMA AÑADIENDO GENERADOR EPR.....	97
TABLA 4.32 RESULTADOS DE LAS CAÍDAS DE VOLTAJE Y CARGA EN LOS BUSES, DEMANDA MÍNIMA AÑADIENDO GENERADOR EPR.....	98
TABLA 4.33 RESULTADOS DEL FLUJO DE POTENCIAS Y CORRIENTE EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, DEMANDA MÍNIMA AÑADIENDO GENERADOR EPR.....	98
TABLA 4.34 VENTAS TOTALES DEL SERVICIO PÚBLICO POR REGIÓN 2007-2017 (GWH).....	102
TABLA 4.35 DEMANDA BRUTA ESTIMADA POR TIPO DE CARGA Y ÁREA DE CONTROL, 2007-2017 (MW).....	103
TABLA 4.36 DATOS DE CARGA AUMENTANDO UN 40% A LA POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA DE CADA BUS.....	104
TABLA 4.37 RESULTADOS DE LAS CAÍDAS DE VOLTAJE EN LOS BUSES, AÑADIENDO 40% MÁS CARGA, DEMANDA MÁXIMA, GENERADOR AP-1000.....	108
TABLA 4.38 RESULTADOS DEL FLUJO DE POTENCIAS Y CORRIENTE EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, DEMANDA MÁXIMA, AÑADIENDO 40% CARGA, GENERADOR AP-1000	108
TABLA 4.39 VALORES DE LA CORRIENTE QUE CIRCULA EN LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN LAV-POZA.....	109
TABLA 5.1 ESCALA DE PREFERENCIAS DEL MÉTODO AHP.....	116
TABLA 5.2 VALORES DE LOS ÍNDICES ALEATORIO DE CONSISTENCIA DE A (IA).....	122
TABLA 5.3 INDICADORES DE EVALUACIÓN CUANTITATIVOS.....	124
TABLA 6.1 RESULTADOS OBTENIDOS UTILIZANDO EL MÉTODO AHP DE TOMA DE DECISIÓN.....	130