

## TABLA DE CONTENIDOS

	página
Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Tabla de Contenidos	III
Índice de Figuras	VI
Índice de Tablas	VII
Resumen	VIII
<b>1. Introducción</b>	<b>9</b>
1.1. Descripción del problema . . . . .	9
1.1.1. Conceptos básicos . . . . .	9
1.1.2. Contexto de la investigación . . . . .	10
1.1.3. Definición del problema . . . . .	11
1.1.4. Hipótesis . . . . .	12
1.1.5. Propuesta de solución . . . . .	12
1.2. Objetivos . . . . .	12
1.2.1. Objetivo general . . . . .	12
1.2.2. Objetivos específicos . . . . .	13
1.3. Alcances . . . . .	13
1.4. Trabajo relacionado . . . . .	13
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>16</b>
2.1. Conceptos de la investigación . . . . .	16
2.1.1. Eliminación selectiva de armónicos . . . . .	16
2.1.2. Convertidor asimétrico multinivel . . . . .	16
2.2. Heurísticas . . . . .	17
2.2.1. Búsqueda Local . . . . .	17
2.2.2. VNS . . . . .	18

2.2.3.	Método de punto interior . . . . .	19
2.3.	Metodologías . . . . .	20
2.3.1.	Metodología de investigación . . . . .	20
2.3.2.	Metodología de evaluación . . . . .	21
<b>3.</b>	<b>Métodos e Implementación</b>	<b>22</b>
3.1.	Valores iniciales . . . . .	22
3.2.	Métodos iniciales . . . . .	23
3.2.1.	Método propuesto Brutus . . . . .	23
3.2.2.	Archivos de configuración . . . . .	23
3.2.3.	Log . . . . .	25
3.2.4.	Interfaz de usuario . . . . .	25
3.2.5.	Método de búsqueda local en el problema . . . . .	26
3.2.6.	Método de vecindad en el problema . . . . .	26
3.2.7.	Método VNS en el problema . . . . .	27
3.2.8.	Problema relajado . . . . .	27
3.2.9.	Brutus contra solución aleatoria . . . . .	28
3.2.10.	Convergencia de VNS . . . . .	29
3.3.	Linealidad . . . . .	29
3.3.1.	Transformaciones de Laplace . . . . .	29
3.3.2.	Solución exacta en base a formulación matemática . . . . .	29
3.4.	Métodos finales . . . . .	30
3.4.1.	Método del punto interior . . . . .	30
3.4.2.	VNS con punto de partida pre-optimizado . . . . .	30
<b>4.</b>	<b>Experimentación</b>	<b>32</b>
4.1.	Experimentación inicial . . . . .	32
4.1.1.	Experimento de Brutus . . . . .	32
4.1.2.	Experimento de Búsqueda local . . . . .	34
4.1.3.	Experimento de Vecindad . . . . .	35
4.1.4.	Experimento de VNS . . . . .	36
4.1.5.	Experimento de problema relajado . . . . .	38
4.1.6.	Experimento de Brutus contra solución aleatoria . . . . .	39
4.1.7.	Experimento de convergencia de VNS . . . . .	39

4.2. Experimentación final . . . . .	40
4.2.1. Experimento de método de punto interior . . . . .	41
4.2.2. Experimento de VNS con punto de partida pre-optimizado . .	41
<b>5. Conclusiones y trabajo futuro</b>	<b>43</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>45</b>
<b>Anexos</b>	
<b>A: Sistema de ecuaciones</b>	<b>48</b>
<b>B: Experimentos</b>	<b>49</b>
B.1. Soluciones iniciales de Brutus . . . . .	49
B.2. Mejores resultados . . . . .	50
B.3. Brutus contra solución aleatoria . . . . .	53
B.4. Convergencia de VNS . . . . .	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

	página
1.1. Voltaje de salida de baja frecuencia . . . . .	15
1.2. Emisión de señal para seis ángulos . . . . .	15
2.1. Convertidor asimétrico multinivel de 27 niveles presentado en [10] . .	17
2.2. Ejemplo de búsqueda local . . . . .	18
2.3. Ejemplo de VNS para serie inicial de cuatro valores . . . . .	19
2.4. Ejemplo de método de punto interior . . . . .	20
3.1. Archivo con parámetros de entrada . . . . .	24
3.2. Archivo de mejores resultados conocidos . . . . .	24
3.3. Archivo log . . . . .	25
3.4. Interfaz de usuario . . . . .	26
3.5. Ejecución de VNS para cuatro ángulos . . . . .	27
4.1. Experimento de búsqueda local para 4 ángulos . . . . .	35
4.2. Experimento de vecindad para 13 ángulos . . . . .	36
4.3. Experimento de VNS para 13 ángulos . . . . .	37
4.4. Convergencia de VNS hasta 50.000 iteraciones . . . . .	40
4.5. Convergencia de VNS hasta 30.000 iteraciones . . . . .	40
B.1. Soluciones iniciales de Brutus para errores de 1, 0,9 y 0,8 . . . . .	49
B.2. Soluciones iniciales de Brutus para errores de 0,7, 0,6 y 0,5 . . . . .	50
B.3. Soluciones iniciales de Brutus para error de 0,4 . . . . .	50
B.4. Ejemplo de mejores resultados para series de 1, 2 y 3 ángulos . . . . .	50
B.5. Ejemplo de mejores resultados para series de 4, 5 y 6 ángulos . . . . .	51
B.6. Ejemplo de mejores resultados para series de 7, 8 y 9 ángulos . . . . .	51
B.7. Ejemplo de mejores resultados para series de 10, 11 y 12 ángulos . . .	52
B.8. Ejemplo de mejor resultado para serie de 13 ángulos . . . . .	52
B.9. Experimento de Brutus contra solución aleatoria para error 0,9 . . . . .	53
B.10. Experimento de solución aleatoria para error 0,5 . . . . .	53
B.11. Experimento de convergencia para 300.000 iteraciones de VNS . . . . .	54
B.12. Experimento de convergencia para 100.000 iteraciones de VNS . . . . .	54

## ÍNDICE DE TABLAS

	página
1.1. Valores de ángulos para diferentes parámetros . . . . .	14
3.1. Valores iniciales de THD a comparar . . . . .	22
3.2. Valores de THD y error para problema relajado . . . . .	28
3.3. Valores de ángulos para $n = 13$ . . . . .	30
4.1. Soluciones iniciales de 13 ángulos para error 1,0 . . . . .	33
4.2. Soluciones iniciales de 13 ángulos para error 0,6 . . . . .	33
4.3. Soluciones iniciales de 13 ángulos para error 0,4 . . . . .	34
4.4. Soluciones de Brutus y VNS para error de 0,5 . . . . .	37
4.5. Soluciones para problema relajado . . . . .	38
4.6. Mejores soluciones para distintos errores . . . . .	38
4.7. Comparativa de Brutus versus solución aleatoria . . . . .	39
4.8. Error cuadrático para los ángulos con método de punto interior . . . . .	41
4.9. Valores de ángulos finales para $n = 13$ . . . . .	42