

# Índice general

---

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Clasificación de los mecanismos de migración	1
1.2. Terminología	2
1.3. Aspectos relacionados con las redes industriales	2
1.4. Normalización de IPv6	2
<b>2. Arquitectura de doble pila</b>	<b>13</b>
2.1. Definición	13
2.2. DNS	14
2.2.1. Ejemplo	14
2.3. Seguridad	15
2.4. Implementación	15
2.4.1. Windows XP	15
2.4.2. Linux	16
<b>3. Mecanismos de tunelado de IPv6 sobre IPv4</b>	<b>17</b>
3.1. Introducción	17
3.1.1. Encapsulación y liberación	17
3.1.2. Configuraciones	18
3.1.2.1. Configuración Encaminador-a-Encaminador	18
3.1.2.2. Configuración Ordenador-a-Encaminador	19
3.1.2.3. Configuración Encaminador-a-Ordenador	19
3.1.2.4. Configuración Ordenador-a-Ordenador	20
3.1.3. Tipos de túneles	21
3.1.4. Limitaciones	21
3.1.4.1. Ineficiencia en el encaminamiento	21
3.2. Mecanismo “Configured Tunnel”	22
3.2.1. Ejemplo	22
3.2.1.1. Implementación	22
3.2.2. Limitaciones	25
3.3. Mecanismo GRE	25
3.3.1. Encapsulación	25
3.3.2. Ejemplo	25
3.3.2.1. Implementación	25
3.4. Mecanismo “Tunnel Broker”	27
3.4.1. Arquitectura básica	27
3.4.2. Ejemplo	27
3.4.2.1. Implementación	27
3.5. ISATAP	28
3.5.1. Introducción	28
3.5.2. Dirección ISATAP	28

3.5.2.1.	Ejemplo . . . . .	29
3.5.3.	Componentes del mecanismo ISATAP . . . . .	29
3.5.4.	Obtención del prefijo ISATAP . . . . .	30
3.5.5.	Encaminamiento . . . . .	30
3.5.6.	Ejemplos . . . . .	32
3.5.6.1.	Comunicación entre el Ordenador A y el Ordenador B . . . . .	32
3.5.6.2.	Comunicación entre el Ordenador A y el Ordenador C . . . . .	32
3.5.7.	Implementación . . . . .	33
3.6.	6to4 . . . . .	36
3.6.1.	Introducción . . . . .	36
3.6.2.	Direccionamiento 6to4 . . . . .	36
3.6.2.1.	Ejemplo . . . . .	36
3.6.3.	Componentes del mecanismo 6to4 . . . . .	37
3.6.4.	Encaminamiento . . . . .	38
3.6.5.	Ejemplos . . . . .	40
3.6.5.1.	Comunicación entre dos ordenadores 6to4 . . . . .	40
3.6.5.2.	Comunicación entre el Ordenador A con el Ordenador D . . . . .	41
3.6.6.	Descubrimiento automático de encaminadores 6to4 relay . . . . .	41
3.6.7.	Limitaciones . . . . .	41
3.6.8.	Implementación . . . . .	42
3.7.	Teredo . . . . .	44
3.7.1.	Introducción . . . . .	44
3.7.2.	Técnica NAT . . . . .	44
3.7.2.1.	Introducción . . . . .	44
3.7.2.2.	Tipos de encaminadores NAT . . . . .	46
3.7.2.3.	Tipo <i>Full Cone</i> . . . . .	46
3.7.2.4.	Tipo <i>Restricted Cone</i> . . . . .	46
3.7.2.5.	Tipo <i>Port Restricted Cone</i> . . . . .	47
3.7.2.6.	Tipo <i>Symmetric</i> . . . . .	47
3.7.3.	Tunelado de IPv6 sobre UDP IPv4 . . . . .	47
3.7.4.	Componentes del mecanismo Teredo . . . . .	51
3.7.5.	Direccionamiento Teredo . . . . .	52
3.7.5.1.	Banderas . . . . .	53
3.7.5.2.	Dirección IPv4 y puerto de salida del encaminador NAT . . . . .	53
3.7.5.3.	Ejemplo . . . . .	53
3.7.6.	Encaminamiento . . . . .	54
3.7.7.	Procesos propios del mecanismo Teredo . . . . .	54
3.7.7.1.	Configuración inicial de un cliente Teredo . . . . .	55
3.7.7.2.	Mantenimiento de la entrada en la tabla de correspondencia . . . . .	56
3.7.8.	Ejemplos . . . . .	56
3.7.8.1.	Comunicación entre el Ordenador A Cliente Teredo y el Ordenador B Cliente Teredo . . . . .	56
3.7.8.2.	Comunicación entre el Ordenador A Cliente Teredo y el Ordenador B . . . . .	56
3.7.8.3.	Comunicación entre el Ordenador B Cliente Teredo y el Ordenador B . . . . .	59
3.7.9.	Limitaciones . . . . .	59
3.7.10.	Implementación . . . . .	59
3.8.	Resumen . . . . .	59
3.8.1.	Ejemplo completo . . . . .	64

<b>4. Mecanismos de traducción</b>	<b>65</b>
4.1. Introducción	65
4.2. Clasificación	65
4.3. Mecanismo SIIT	66
4.3.1. Direcciones “con correspondencia” y “traducidas”	67
4.3.2. Traducción de cabeceras	67
4.3.2.1. Traducción de la cabecera IPv4 a IPv6	67
4.3.2.2. Traducción de la cabecera IPv6 a IPv4	68
4.3.3. Funcionamiento	69
4.4. Mecanismo BIS	69
4.4.1. Componentes	69
4.4.2. Funcionamiento	70
4.5. Mecanismo BIA	70
4.5.1. Componentes	71
4.5.2. Funcionamiento	71
4.6. Mecanismo TRT	72
4.6.1. DNS-ALG	72
4.7. Mecanismo SOCKS IPv6/IPv4	73
4.7.1. Elementos	73
4.7.2. Funcionamiento	73
4.8. Mecanismo ALG	73
<b>5. Impacto de la migración en las capas superiores</b>	<b>75</b>
5.1. Introducción	75
5.2. Impacto en la capa de transporte	75
5.2.1. Suma de comprobación en IPv4	75
5.2.2. Suma de comprobación en IPv6	76
5.3. Impacto en la capa de aplicación	77
5.4. Sockets en IPv6	77
5.4.1. Introducción	77
5.4.2. Objetivos	77
5.4.3. Estructuras	78
5.4.3.1. <code>in6_addr</code>	78
5.4.3.2. <code>sockaddr_in6</code>	79
5.4.3.3. <code>sockaddr_storage</code>	80
5.4.3.4. <code>addrinfo</code>	80
5.4.4. Funciones	81
5.4.4.1. <code>getaddrinfo()</code>	81
5.4.4.2. <code>getnameinfo()</code>	82
5.4.5. Comparativa	83
5.4.6. Ejemplos	83
<b>6. Banco de pruebas</b>	<b>85</b>
6.1. Introducción	85
6.2. Arquitectura	85
6.2.1. Elementos de la maqueta	85
6.2.2. Configuración lógica	87
6.3. Configuración de los equipos	87
6.4. Pruebas realizadas y resultados obtenidos	91
6.4.1. Experimento 1	93
6.4.2. Experimento 2	93
6.4.3. Experimento 3	93
6.4.4. Experimento 4	93
6.5. Pruebas futuras a realizar	94

<b>A. Mecanismos de tunelado de IPv4 sobre IPv6</b>	<b>107</b>
A.1. Introducción . . . . .	107
A.2. Túnel estático . . . . .	108
A.3. Mecanismo DSTM . . . . .	108
A.3.1. Funcionamiento . . . . .	108

# Índice de figuras

---

2.1. Torres de protocolo correspondientes a la arquitectura de doble pila . . . . .	13
2.2. Direcciones en elementos con arquitectura de doble pila . . . . .	14
2.3. Direcciones en elementos con arquitectura de doble pila . . . . .	14
2.4. Ejemplo de resolución de nombres . . . . .	15
2.5. Ejemplo completo de resolución de nombres . . . . .	15
3.1. Encapsulación y liberación . . . . .	17
3.2. Configuración Encaminador-a-Encaminador . . . . .	18
3.3. Configuración Ordenador-a-Encaminador . . . . .	19
3.4. Configuración Encaminador-a-Ordenador . . . . .	20
3.5. Configuración Ordenador-a-Ordenador . . . . .	20
3.6. Ejemplo de mecanismo de tunelado . . . . .	22
3.7. Número de saltos . . . . .	22
3.8. Ejemplo de mecanismo de tunelado “Configured Tunnel” . . . . .	23
3.9. Encapsulación en GRE . . . . .	25
3.10. Ejemplo de mecanismo de tunelado GRE . . . . .	26
3.11. Arquitectura básica del mecanismo <i>Tunnel Broker</i> . . . . .	27
3.12. Envío de datagramas IPv4 e IPv4 . . . . .	28
3.13. Dirección ISATAP . . . . .	29
3.14. Ejemplo de direccionamiento ISATAP . . . . .	29
3.15. Componentes del mecanismo ISATAP . . . . .	30
3.16. Direcciones de cada uno de los componentes . . . . .	30
3.17. Resultado tras la obtención del prefijo ISATAP . . . . .	31
3.18. Reglas de encaminamiento en cada uno de los componentes . . . . .	31
3.19. Comunicación entre el Ordenador A y el Ordenador B . . . . .	32
3.20. Comunicación entre el Ordenador A y el Ordenador C . . . . .	32
3.21. Envío de datagramas IPv6 e IPv4 . . . . .	33
3.22. Dirección 6to4 . . . . .	37
3.23. Ejemplo de direccionamiento en un encaminador 6to4 . . . . .	37
3.24. Ejemplo de direccionamiento en un ordenador 6to4 . . . . .	37
3.25. Componentes del mecanismo ISATAP . . . . .	38
3.26. Direcciones de cada uno de los componentes . . . . .	39
3.27. Reglas de encaminamiento en cada uno de los componentes . . . . .	39
3.28. Mecanismo 6to4 con configuración Encaminador-a-Encaminador . . . . .	40
3.29. Mecanismo 6to4 con configuración Ordenador-a-Encaminador . . . . .	40
3.30. Mecanismo 6to4 con configuración Ordenador-a-Encaminador . . . . .	40
3.31. Comunicación entre el Ordenador A y el Ordenador D . . . . .	41
3.32. Envío de datagramas IPv4 e IPv4 . . . . .	41
3.33. Descubrimiento automático de encaminadores 6to4 relay . . . . .	42
3.34. Funcionamiento básico de la técnica NAPT dinámica . . . . .	46
3.35. Configuración para los tipos de encaminadores NAT . . . . .	46

3.36. Encaminador NAT <i>Full Cone</i> . . . . .	47
3.37. Encaminador NAT <i>Restricted Cone</i> . . . . .	48
3.38. Encaminador NAT <i>Port Restricted Cone</i> . . . . .	49
3.39. Encaminador NAT <i>Symmetric</i> . . . . .	50
3.40. Encapsulado IPv6 sobre UDP IPv4 . . . . .	51
3.41. Formato de un paquete “burbuja” . . . . .	51
3.42. Componentes del mecanismo Teredo . . . . .	52
3.43. Dirección Teredo . . . . .	52
3.44. Direcciones de cada uno de los componentes . . . . .	53
3.45. Reglas de encaminamiento en cada uno de los componentes . . . . .	55
3.46. Comprobación del tipo de encaminador NAT (I) . . . . .	55
3.47. Comprobación del tipo de encaminador NAT (II) . . . . .	56
3.48. Envío de datagramas IPv6 e IPv4 . . . . .	57
3.49. Envío de datagramas IPv6 e IPv4 . . . . .	58
3.50. Envío de datagramas IPv6 e IPv4 . . . . .	60
3.51. Ejemplo de aplicación de ISATAP, 6to4 y Teredo . . . . .	64
4.1. Traductor a nivel de red . . . . .	65
4.2. Traductor a nivel de transporte . . . . .	66
4.3. Traductor a nivel de aplicación . . . . .	66
4.4. Torre de protocolos del mecanismo SIIT . . . . .	67
4.5. Direcciones “con correspondencia” . . . . .	67
4.6. Direcciones “traducidas” . . . . .	67
4.7. Estructura de la cabecera de un datagrama IPv4 . . . . .	68
4.8. Estructura de la cabecera de un datagrama IPv6 . . . . .	68
4.9. Componentes del mecanismo BIS . . . . .	70
4.10. Componentes del mecanismo BIA . . . . .	71
4.11. Estructura general del mecanismo TRT . . . . .	72
4.12. Direcciones creadas en el DNS-ALG . . . . .	73
4.13. Estructura general del mecanismo SOCKS IPv6IPv4 . . . . .	73
5.1. Suma de comprobación de TCP . . . . .	76
5.2. ”Pseudo-cabecera” para la suma de comprobación en IPv6 . . . . .	77
6.1. Estructura general de la maqueta . . . . .	85
6.2. Arquitectura física de la maqueta . . . . .	86
6.3. Reparto de puertos en el puente “Switch 3Com” . . . . .	87
6.4. Arquitectura lógica de la maqueta . . . . .	87
6.5. Estructura general de la maqueta realizada . . . . .	87
6.6. Estructura detallada de la maqueta realizada . . . . .	93
6.7. Experimento 1 - Captura realizada en el “PC-A” . . . . .	94
6.8. Experimento 1 - Captura realizada en el “Router 1” . . . . .	95
6.9. Experimento 1 - Captura realizada en el “Router 2” . . . . .	96
6.10. Experimento 1 - Captura realizada en el “PC-B” . . . . .	97
6.11. Experimento 2 - Captura realizada en el “PC-A” . . . . .	97
6.12. Experimento 2 - Captura realizada en el “Router 1” . . . . .	98
6.13. Experimento 2 - Captura realizada en el “Router 2” . . . . .	99
6.14. Experimento 2 - Captura realizada en el “PC-B” . . . . .	100
6.15. Experimento 3 - Captura realizada en el “PC-B” . . . . .	100
6.16. Experimento 3 - Captura realizada en el “Router 2” . . . . .	101
6.17. Experimento 3 - Captura realizada en el “Router 1” . . . . .	102
6.18. Experimento 3 - Captura realizada en el “PC-A” . . . . .	103
6.19. Experimento 4 - Captura realizada en el “PC-B” . . . . .	103
6.20. Experimento 4 - Captura realizada en el “Router 2” . . . . .	104

---

6.21. Experimento 4 - Captura realizada en el "Router 1" . . . . .	105
6.22. Experimento 4 - Captura realizada en el "PC-A" . . . . .	106
A.1. Conexión de ordenadores IPv4 a través de una red IPv6 . . . . .	107
A.2. Encapsulación de un datagrama IPv6 en un datagrama IPv6 . . . . .	107
A.3. Ejemplo de mecanismo de tunelado estático . . . . .	108
A.4. Arquitectura básica del mecanismo DSTM . . . . .	108





# Índice de implementaciones

---

1.	Activación de IPv6 en Windows XP con SP1 o SP2 . . . . .	15
2.	Activación de IPv6 en Windows XP sin SP1 . . . . .	16
3.	Comprobación del módulo IPv6 en Linux . . . . .	16
4.	“Configured Tunnel” - Encaminador 1 - Linux . . . . .	23
5.	“Configured Tunnel” - Encaminador 2 - Linux . . . . .	24
6.	“Configured Tunnel” - Encaminador 1 - Windows XP . . . . .	24
7.	“Configured Tunnel” - Encaminador 2 - Windows XP . . . . .	24
8.	GRE - Encaminador 1 - Linux . . . . .	26
9.	GRE - Encaminador 2 - Linux . . . . .	26
10.	Órdenes a ejecutar para parchear el núcleo (Linux) . . . . .	33
11.	ISATAP - Ordenador A - Linux . . . . .	34
12.	ISATAP - Ordenador B - Linux . . . . .	34
13.	ISATAP - Encaminador ISATAP - Linux . . . . .	34
14.	ISATAP - Ordenador A - Windows XP . . . . .	35
15.	ISATAP - Ordenador B - Windows XP . . . . .	35
16.	ISATAP - Encaminador ISATAP - Windows XP . . . . .	35
17.	ISATAP - Enc. ISATAP sólo anuncio prefijo - Windows XP . . . . .	36
18.	6to4 - Encaminador 1 - Linux . . . . .	43
19.	6to4 - Encaminador 2 - Linux . . . . .	43
20.	6to4 - Encaminador 3 - Linux . . . . .	43
21.	6to4 - Ordenador C - Linux . . . . .	45
22.	6to4 - Encaminador 1 - Windows XP . . . . .	45
23.	6to4 - Encaminador 2 - Windows XP . . . . .	45
24.	6to4 - Encaminador 3 - Windows XP . . . . .	45
25.	6to4 - Ordenador C - Windows XP . . . . .	45
26.	Teredo - Ordenador A Cliente Teredo - Linux . . . . .	61
27.	Teredo - Ordenador B Cliente Teredo - Linux . . . . .	61
28.	Teredo - Encaminador 3 - Linux . . . . .	62
29.	Teredo - Encaminador 4 - Linux . . . . .	62
30.	Teredo - Ordenador A Cliente Teredo - Windows XP . . . . .	62
31.	Teredo - Ordenador B Cliente Teredo - Windows XP . . . . .	62
32.	Estructura <code>in6_addr</code> . . . . .	78
33.	Estructura <code>in_addr</code> . . . . .	79
34.	Estructura <code>in6_addr</code> . . . . .	79
35.	Estructura <code>in_addr</code> . . . . .	79
36.	Estructura <code>sockaddr_storage</code> . . . . .	80
37.	Estructura <code>sockaddr</code> . . . . .	80
38.	Estructura <code>addrinfo</code> . . . . .	81
39.	Estructura <code>hostent</code> . . . . .	81
40.	Estructura <code>servent</code> . . . . .	81
41.	Prototipo de la función <code>getaddrinfo()</code> . . . . .	82
42.	Prototipo de la función <code>getnameinfo()</code> . . . . .	82

---

43.	Extracto de código de un cliente . . . . .	84
44.	Extracto de código de un servidor . . . . .	84
45.	Configuración del equipo PC-A . . . . .	88
46.	Configuración del equipo PC-B . . . . .	88
47.	Router 1 - Instalación del paquete <code>radvd</code> . . . . .	88
48.	Router 1 - Contenido del fichero <code>/etc/init.d/tunnel.sh</code> . . . . .	89
49.	Router 1 - Contenido del fichero <code>/etc/network/interfaces</code> . . . . .	89
50.	Router 1 - Contenido del fichero <code>/etc/radvd.conf</code> . . . . .	90
51.	Router 1 - Modificación del arranque del equipo . . . . .	90
52.	Router 2 - Instalación del paquete <code>radvd</code> . . . . .	91
53.	Router 2 - Contenido del fichero <code>/etc/init.d/tunnel.sh</code> . . . . .	91
54.	Router 2 - Contenido del fichero <code>/etc/network/interfaces</code> . . . . .	92
55.	Router 2 - Contenido del fichero <code>/etc/radvd.conf</code> . . . . .	92
56.	Router 2 - Modificación del arranque del equipo . . . . .	92
57.	Experimento 1 - Orden ejecutada en el "PC-A" . . . . .	93
58.	Experimento 2 - Orden ejecutada en el "PC-A" . . . . .	93
59.	Experimento 3 - Orden ejecutada en el "PC-B" . . . . .	94
60.	Experimento 4 - Orden ejecutada en el "PC-B" . . . . .	94