

ÍNDICE

Índice.....	2
Índice de Tablas.....	4
Índice de Figuras.....	6
Lista de acrónimos.....	8
1. Introducción, Motivación y Objetivos del proyecto	10
1.1. Introducción	10
1.2. Motivación	10
1.3. Objetivos y metodología	12
2. Voz sobre IP: protocolos y códecs	14
2.1. Introducción	14
2.2. Definición de VoIP	14
2.3. Estándares	15
2.4. Codificación de la voz	16
2.4.1. Digitalización y codificación	17
2.4.1.1. Muestreo	17
2.4.1.2. Cuantificación	18
2.4.1.3. Codificación	20
2.4.2. Códecs	20
2.4.2.1. G711.....	25
2.4.2.2. G.729.....	26
2.4.2.3. AMR	27
2.4.2.4. iLBC	28
3. Calidad de Servicio en VoIP	30
3.1. Introducción	30
3.2. Ancho de banda.....	31
3.3. Retardo	33
3.4. Pérdida de paquetes.....	35
3.4. Calidad de la comunicación	36
3.4.1. Métodos subjetivos	36
3.4.2. Métodos objetivos	37

3.4.2.1. Modelo E.....	38
3.4.2.2. PESQ.....	40
3.4.2.3. ITU-T P.563.....	42
3.4.2.4. Nuevos métodos.....	42
4. Colección de estadísticos de multiplexión de fuentes VoIP.....	44
4.1. Introducción	44
4.2. Escenario y metodología de simulación	44
4.2.1. Árbol de directorios.....	47
4.2.2. Banco de conversaciones	50
4.2.3. Codificación de los archivos de audio	52
4.2.4. Multiplexación de conversaciones	57
4.2.4.1. Modelo de multiplexión en <i>Matlab</i>	57
4.2.4.2. Modelo de multiplexión en <i>C++</i>	61
4.2.5. Evaluación de la calidad.....	63
4.2.5.1. PESQ.....	64
4.2.5.2. Modelo E.....	65
4.3. Resultados: colección de estadísticos.....	68
5. Ajuste en superficies de los resultados de la multiplexión de fuentes VoIP.	75
5.1. Introducción al problema de ajuste en superficie	75
5.2. Expresión analítica exhaustiva	79
5.3. Expresión analítica segmentada	88
5.4. Expresión analítica compacta	94
6. Conclusiones.....	98
ANEXO I. Tablas de errores.....	101
Referencias	129

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Calidad esperada según el tipo de códec.</i>	21
<i>Tabla 2. Códecs de banda estrecha.</i>	22
<i>Tabla 3. Códecs de banda ancha.</i>	23
<i>Tabla 4. Códecs de banda superancha.</i>	24
<i>Tabla 5. Códec de banda completa.</i>	25
<i>Tabla 6. Ancho de banda usado por cada códec.</i>	31
<i>Tabla 7. Retardo algorítmico y de empaquetamiento.</i>	34
<i>Tabla 8. Escala MOS para evaluación directa.</i>	37
<i>Tabla 9. Escala DMOS para evaluación comparativa.</i>	37
<i>Tabla 10. Traducción factor R a escala MOS.</i>	38
<i>Tabla 11. Resumen de los parámetros de simulación.</i>	46
<i>Tabla 12. Lista de identificadores de los códecs de voz.</i>	53
<i>Tabla 13. Factores de actividad vocal y de silencio.</i>	54
<i>Tabla 14. Tiempo de simulación en Matlab.</i>	60
<i>Tabla 15. Valores de I_e y B_{pl} para los distintos códecs.</i>	67
<i>Tabla 16. Rango efectivo de los parámetros de simulación.</i>	69
<i>Tabla 17. Error de ajuste mediante expresiones polinómicas.</i>	80
<i>Tabla 18. Error de ajuste mediante expresiones mixtas.</i>	82
<i>Tabla 19. Error de ajuste mediante expresión exhaustiva.</i>	84
<i>Tabla 20. Error de ajuste de la calidad menor que 5%.</i>	85
<i>Tabla 21. Error de ajuste del retraso menor que 6%.</i>	85
<i>Tabla 22. Error de ajuste de las pérdidas menor que 9%.</i>	86
<i>Tabla 23. Comparativa de coeficientes de ajuste.</i>	88
<i>Tabla 24. Error de ajuste segmentado de la calidad menor que 5%.</i>	89
<i>Tabla 25. Error de ajuste segmentado del retraso menor que 6%.</i>	90
<i>Tabla 26. Error de ajuste segmentado de las pérdidas menor que 9%.</i>	90

<i>Tabla 27. Error de ajuste compacto de la calidad menor que 6%.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 28. Error de ajuste de la calidad - AMR 4,75 VAD.</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 29. Error de ajuste del retardo - AMR 4,75 VAD.</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 30. Error de ajuste de las pérdidas - AMR 4,75 VAD.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 31. Error de ajuste de la calidad - AMR 5,15 VAD.</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 32. Error de ajuste del retardo - AMR 5,15 VAD.</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 33. Error de ajuste de las pérdidas - AMR 5,15 VAD.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 34. Error de ajuste de la calidad - AMR 5,90 VAD.</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 35. Error de ajuste del retardo - AMR 5,90 VAD.</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 36. Error de ajuste de las pérdidas - AMR 5,90 VAD.....</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 37. Error de ajuste de la calidad - AMR 6,70 VAD.</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 38. Error de ajuste del retardo - AMR 6,70 VAD.</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 39. Error de ajuste de las pérdidas - AMR 6,70 VAD.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 40. Error de ajuste de la calidad - AMR 7,40 VAD.</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 41. Error de ajuste del retardo - AMR 7,40 VAD.</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 42. Error de ajuste de las pérdidas - AMR 7,40 VAD.....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 43. Error de ajuste de la calidad - AMR 7,95 VAD.</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 44. Error de ajuste del retardo - AMR 7,95 VAD.</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 45. Error de ajuste de las pérdidas - AMR 7,95 VAD.....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 46. Error de ajuste de la calidad - AMR 10,2 VAD.</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 47. Error de ajuste del retardo - AMR 10,2 VAD.</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 48. Error de ajuste de las pérdidas - AMR 10,2 VAD.....</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 49. Error de ajuste de la calidad - AMR 12,2 VAD.</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 50. Error de ajuste del retardo - AMR 12,2 VAD.</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 51. Error de ajuste de las pérdidas - AMR 12,2 VAD.....</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 52. Error de ajuste de la calidad - G.729 VAD.</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 53. Error de ajuste compacto de la calidad - G.729 VAD.</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 54. Error de ajuste del retardo - G.729 VAD.</i>	<i>127</i>
<i>Tabla 55. Error de ajuste de las pérdidas - G.729 VAD.....</i>	<i>128</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Agregacion de tráfico de voz sobre IP.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2. Muestreo de una señal analógica.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3. Cuantificación de una señal muestreada.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 4. Error de cuantificación.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 5. Comparación entre AMR y códecs de la serie G de la ITU-T.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 6. Comparativa entre códecs de banda ancha.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 7. Comparativa de códecs de banda superancha.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 8. Comparativa de calidad de iLBC frente a G.729 y G.723.1.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 9. Comparativa de ancho de banda para cada códec.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 10. Conexión de referencia para el modelo E.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 11. Obtención de la calidad mediante el modelo PESQ.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 12. Escenario de simulación.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 13. Metodología de simulación.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 14. a) Régimen binario medio para códecs sin VAD. b) Detalle.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 15. Régimen binario medio para códecs con VAD.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 16. Funcionamiento multiplexor.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 17. Calidad medida tras la multiplexión.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 18. a) Pérdida de paquetes. b) Retraso medio de paquetes.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 19. Calidad códec G.729 VAD ($N_{fpp}=1$).....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 20. Retraso códec G.729 VAD ($N_{fpp}=1$).....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 21. Pérdidas códec G.729 VAD ($N_{fpp}=1$).....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 22. Calidad códec G.729 VAD ($N_{fpp}=6$).....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 23. Calidad códec AMR 10,2 VAD ($N_{fpp}=1$).....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 24. Calidad códec AMR 10,2 VAD ($N_{fpp}=6$).....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 25. Ajuste de la calidad mediante suma de polinomios.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 26. Ajuste de calidad códec G.729 VAD ($N_{fpp}=1$).....</i>	<i>86</i>

Figura 27. Ajuste del retraso códec G.729 VAD ($N_{fpp}=1$).	87
Figura 28. Ajuste de las pérdidas códec G.729 VAD ($N_{fpp}=1$).	87
Figura 29. Ajuste inferior de la calidad códec G.729 VAD ($N_{fpp}=1$).	91
Figura 30. Ajuste inferior del retraso códec G.729 VAD ($N_{fpp}=1$).	91
Figura 31. Ajuste inferior de las pérdidas códec G.729 VAD ($N_{fpp}=1$).	92
Figura 32. Ajuste superior de la calidad códec G.729 VAD ($N_{fpp}=1$).	93
Figura 33. Ajuste superior del retraso códec G.729 VAD ($N_{fpp}=1$).	93
Figura 34. Ajuste superior de las pérdidas códec G.729 VAD ($N_{fpp}=1$).	94
Figura 35. Ajuste compacto de la calidad códec G.729 VAD ($N_{fpp}=1$).	96

LISTA DE ACRÓNIMOS

ACR	Absolute Category Rating
AMR	Adaptative Multi Rate
BW	Band Width
CNG	Comfort Noise Generation
DCR	Degradation Category Rating
DMOS	Degradation MOS
DTX	Discontinuous Transmission
GSM	Global System for Mobile communications
iLBC	Internet Low Bit Rate
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
LDC	Linguistic Data Consortium
LPC	Linear Prediction Coding
LSP	Line Spectral Pairs
MOS	Mean Opinion Score
PCM	Pulse Code Modulation
PESQ	Perceptual Evaluation of Speech Quality
PSTN	Public Switched Telephone Network
QoS	Quality of Service
RFC	Request For Comments
RTCP	Real Time Control Protocol
RTP	Real-time Transport Protocol
SID	Silence Insertion Descriptor

TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
VAD	Voice Activity Detection
VoIP	Voice over IP