

# CONTENIDO

Abreviaturas .....	xix
Prólogo.....	21
Introducción.....	23
<b>1. EMC y Seguridad funcional.....</b>	<b>31</b>
<b>1.1. ¿Qué son la EMC y la Seguridad funcional?.....</b>	<b>31</b>
1.1.1. Consecuencias de fallos en Seguridad funcional .....	31
1.1.2. Relación entre FS y EMC .....	32
<b>1.2. Historia de accidentes relacionados con EMC .....</b>	<b>32</b>
1.2.1. El dirigible Hindenburg .....	32
1.2.2. Portaviones Forrestal USA .....	33
1.2.3. Destructor HMS Sheffield .....	34
1.2.4. Helicóptero UH-60 Blackhawk .....	35
1.2.5. Frenos ABS en un conocido fabricante de coches alemán .....	36
<b>1.3. Compatibilidad electromagnética.....</b>	<b>36</b>
1.3.1. Inmunidad electromagnética.....	37
1.3.2. Emisiones electromagnéticas.....	37
1.3.3. Margen de EMC .....	37
1.3.4. Fuente de ruido .....	38
1.3.5. Tipos de ruido .....	39
1.3.6. El medio de propagación del ruido .....	40
1.3.7. Receptor del ruido.....	40
1.3.8. ¿Cómo debemos diseñar los circuitos electrónicos?.....	41
1.3.9. EMC desde el inicio del diseño .....	42
1.3.10. ¿Por dónde empezamos?.....	43
1.3.11. Métodos de diseño de EMC.....	45
1.3.12. Auto-compatibilidad o integridad de la señal .....	46
1.3.13. Las cuatro fuentes de distorsión de la señal.....	47
<b>2. Seguridad Funcional (<i>Functional Safety</i>).....</b>	<b>49</b>
<b>2.1. Conceptos de seguridad funcional.....</b>	<b>49</b>
2.1.1. ¿Qué es la seguridad funcional en sistemas electrónicos?.....	49
2.1.2. Funciones de seguridad.....	50
2.1.3. <i>Safety Integrity Level SIL</i> (Nivel de Seguridad Integral).....	50

2.1.4.	Clasificación de las funciones de seguridad .....	51
2.1.5.	Análisis de peligros ( <i>Hazard analysis</i> ) .....	51
2.1.6.	Identificación de riesgos ( <i>Risk assesment</i> ) .....	51
2.1.7.	Desafíos al trabajar con seguridad funcional .....	52
<b>2.2.</b>	<b>El porqué de los errores en el producto .....</b>	<b>52</b>
2.2.1.	Problemas con el equipo de trabajo .....	53
2.2.2.	Proceso desorganizado .....	54
2.2.3.	Problemas con el producto .....	55
2.2.4.	Tecnología inadecuada .....	55
<b>2.3.</b>	<b>Condiciones reales de ensayos de EMC .....</b>	<b>56</b>
2.3.1.	Ensayos combinados de EMC y ambientales .....	56
2.3.2.	Seguridad funcional durante el ciclo de vida del producto .....	56
<b>3.</b>	<b>Fundamentos electromagnéticos .....</b>	<b>59</b>
<b>3.1.</b>	<b>Campos electromagnéticos .....</b>	<b>59</b>
<b>3.2.</b>	<b>Campo eléctrico .....</b>	<b>59</b>
3.2.1.	Cargas y electrones .....	60
3.2.2.	¿Cómo se representa el campo eléctrico? .....	60
3.2.3.	Potencial eléctrico y diferencia de potencial .....	61
<b>3.3.</b>	<b>Condensadores .....</b>	<b>62</b>
3.3.1.	Capacidad de un condensador (Faradios) .....	63
3.3.2.	El valor del condensador .....	64
3.3.3.	El condensador de desacoplo adecuado .....	65
3.3.4.	Resonancia en paralelo .....	66
3.3.5.	Estabilidad a largo término ( <i>Capacitance drift</i> ) .....	66
3.3.6.	Coefficiente de temperatura (TC) .....	67
3.3.7.	<i>Rated capacitance</i> ( $C_R$ ) .....	67
3.3.8.	<i>Rated voltage</i> ( $U_R$ ) .....	67
3.3.9.	Corriente de rizado .....	67
3.3.10.	<i>Surge voltage</i> ( $U_S$ ) .....	68
3.3.11.	Voltaje AC sobrepuesto .....	68
3.3.12.	Voltaje inverso .....	68
3.3.13.	Voltaje pulsante .....	68
3.3.14.	<i>Upper Category Temperature</i> (UCT en °C) .....	68
3.3.15.	Temperatura y frecuencia .....	69
3.3.16.	<i>Operating Temperature</i> ( $T_{OP}$ ) and <i>Life Expectancy</i> .....	69
3.3.17.	Resistencia de aislamiento ( $R_{IS}$ ) .....	70
3.3.18.	Dieléctricos ( <i>Dielectric strength</i> ) .....	70
3.3.19.	Influencia del dieléctrico sobre la capacidad .....	70
3.3.20.	<i>Dielectric absorption</i> (DA) .....	71
3.3.21.	Condensadores en serie .....	71
3.3.22.	Condensadores en paralelo .....	72
3.3.23.	Constante de tiempo (RC) y carga en un condensador .....	72
3.3.24.	Descarga de un condensador .....	73
3.3.25.	Energía almacenada (Joules o Watio/segundo) .....	74
3.3.26.	Campo eléctrico entre las armaduras de un condensador .....	74
3.3.27.	ESR (Resistencia Serie Equivalente) .....	75
3.3.28.	ESL (Inductancia Serie Equivalente) .....	76
3.3.29.	Corriente a través del condensador .....	76
3.3.30.	Reactancia de un condensador .....	77
3.3.31.	Impedancia total de un condensador .....	77
3.3.32.	Ángulo de fase .....	78
3.3.33.	Factor de disipación (%) .....	79
3.3.34.	Factor de potencia (%) .....	79
3.3.35.	Factor de calidad .....	79
3.3.36.	Potencia perdida .....	79
3.3.37.	Respuesta a impulsos (dV/dt) .....	80
<b>3.4.</b>	<b>Campo magnético .....</b>	<b>80</b>
3.4.1.	Campo inducido .....	81
<b>3.5.</b>	<b>La inductancia .....</b>	<b>81</b>
3.5.1.	¿Qué es la inductancia? .....	82
3.5.2.	La inductancia es un elemento reactivo .....	83
3.5.3.	Constante de tiempo de los circuitos LR .....	84
3.5.4.	Corriente de carga por la inductancia .....	84
3.5.5.	Tipos de inductancia .....	85
3.5.6.	Auto-inductancia .....	85
3.5.7.	Inductancia mutua .....	85
3.5.8.	La modulación de la impedancia .....	86
3.5.9.	Bobinas conectadas en serie .....	87
3.5.10.	Capacidad parásita en las bobinas .....	88
3.5.11.	Ruido en la masa ( <i>Ground noise</i> ) .....	89
3.5.12.	Minimizar la inductancia. Inductancia de los conductores .....	90
3.5.13.	Bobinas impresas .....	91
<b>3.6.</b>	<b>Relés y contactores .....</b>	<b>92</b>
3.6.1.	Control de la bobina del relé .....	92
3.6.2.	Desactivación .....	93
3.6.3.	Cargas inductivas en los contactos de los relés .....	94
3.6.4.	Sobre tensiones generadas .....	94
3.6.5.	Ejemplo práctico .....	95
3.6.6.	Protección con varistores .....	96
3.6.7.	Alimentación y retornos de relés y motores .....	97
<b>3.7.</b>	<b>Diseño orientado a EMC .....</b>	<b>98</b>
3.7.1.	Cancelación del flujo magnético .....	99
3.7.2.	Componentes no ideales .....	100
3.7.3.	Antenas ocultas .....	100
3.7.4.	Componentes ocultos .....	101
<b>3.8.</b>	<b>Conceptos básicos de EMC y RF (radiofrecuencia) .....</b>	<b>102</b>
3.8.1.	Ancho de banda y amplitud de la señal medida .....	102
3.8.2.	Tipos de detección .....	103
3.8.3.	Detector de pico ( <i>peak</i> ) .....	103
3.8.4.	Detector de cuasi pico ( <i>quasi peak</i> ) .....	103
3.8.5.	Detector promedio ( <i>average</i> ) .....	104

3.8.6.	Tiempo de medida ( <i>Sweep</i> ).....	104
3.8.7.	Ensayos de EMC.....	104
3.8.8.	Emisiones radiadas .....	106
3.8.9.	Emisiones conducidas.....	107
3.8.10.	Inmunidad radiada .....	108
3.8.11.	Inmunidad conducida.....	108
3.8.12.	Inyección de corriente ( <i>BCI Bulk Current injection</i> ).....	109
<b>3.9.</b>	<b>ESD (Descargas de electricidad estática) .....</b>	<b>110</b>
3.9.1.	Campos estáticos .....	110
3.9.2.	Formas de onda de las descargas electrostáticas.....	111
3.9.3.	Efecto triboeléctrico.....	112
3.9.4.	Fallos provocados por eventos de ESD .....	112
3.9.5.	Tipos de descargas.....	113
3.9.6.	Daño causado por corrientes de ESD fluyendo en circuitos .....	113
3.9.7.	Daño causado por corrientes de ESD fluyendo a través de masa .....	114
3.9.8.	Daño causado por campos electromagnéticos .....	114
3.9.9.	Daño causado por pre-descargas de campo eléctrico.....	115
3.9.10.	Generador de ESD auto construido.....	116
3.9.11.	Diagnósticos y soluciones.....	116
3.9.12.	Conceptos relacionados con el análisis de fenómenos ESD .....	118
<b>3.10.</b>	<b>La resonancia .....</b>	<b>119</b>
3.10.1.	Resonancia serie .....	120
3.10.2.	Resonancia en paralelo .....	121
3.10.3.	La resonancia ciclo a ciclo.....	121
3.10.4.	Frecuencia de anti-resonancia.....	124
<b>4.</b>	<b>Ruido en los circuitos .....</b>	<b>125</b>
<b>4.1.</b>	<b>Procedencia del ruido .....</b>	<b>125</b>
<b>4.2.</b>	<b>Inter-sistemas. Métodos de acoplo del ruido .....</b>	<b>125</b>
4.2.1.	Acoplo de impedancia común.....	127
4.2.2.	Acoplo por campo electromagnético .....	127
4.2.3.	Acoplo radiado. Campo magnético.....	128
4.2.4.	Acoplo radiado. Campo eléctrico .....	128
4.2.5.	Radiado y conducido. Acoplo combinado .....	129
<b>4.3.</b>	<b>Ruido intra-sistema, <i>crosstalk</i> .....</b>	<b>130</b>
4.3.1.	Unidades de medida del <i>crosstalk</i> .....	131
4.3.2.	<i>Crosstalk</i> de impedancia común .....	132
4.3.3.	¿Qué es la capacidad mutua? .....	132
4.3.4.	Relación entre la capacidad mutua y el <i>crosstalk</i> .....	134
4.3.5.	<i>Crosstalk</i> capacitivo.....	134
4.3.6.	<i>Far end</i> y <i>near end</i> del <i>crosstalk</i> capacitivo .....	135
4.3.7.	Reducción del <i>crosstalk</i> capacitivo.....	137
4.3.8.	<i>Crosstalk</i> inductivo .....	137
4.3.9.	Relación entre inductancia mutua y <i>crosstalk</i> .....	139
4.3.10.	<i>Far end</i> y <i>near end</i> del <i>crosstalk</i> inductivo .....	140
4.3.11.	<i>Crosstalk</i> e impedancia de las líneas .....	141
4.3.12.	Forma de identificar el tipo de <i>crosstalk</i> .....	142
4.3.13.	<i>Crosstalk</i> debido a discontinuidades de los planos .....	142
4.3.14.	Divergencia de la corriente de retorno.....	143
4.3.15.	<i>Crosstalk</i> hacia los planos de alimentación .....	144
4.3.16.	Técnicas de diseño para prevenir el <i>crosstalk</i> .....	145
<b>4.4.</b>	<b>El <i>ground bounce</i> .....</b>	<b>146</b>
4.4.1.	Etapas de salida .....	147
4.4.2.	Inductancias parásitas .....	147
4.4.3.	La naturaleza de los planos.....	150
4.4.4.	La mirilla ( <i>spyhole</i> ).....	151
4.4.5.	Estrategias para minimizar el <i>ground bounce</i> .....	152
<b>4.5.</b>	<b>Gradiente de tensión en los planos .....</b>	<b>154</b>
<b>4.6.</b>	<b>Blindajes y cables coaxiales.....</b>	<b>156</b>
4.6.1.	Efectividad del blindaje ( <i>Shielding Effectiveness</i> ).....	157
4.6.2.	Continuidad en el blindaje .....	159
4.6.3.	Juntas conductoras ( <i>Gaskets</i> ).....	159
4.6.4.	Cables coaxiales.....	160
4.6.5.	Impedancia de transferencia $Z_T$ .....	160
<b>5.</b>	<b>La radiación .....</b>	<b>163</b>
<b>5.1.</b>	<b>Tiempo y frecuencia.....</b>	<b>163</b>
5.1.1.	Dominio temporal.....	163
5.1.2.	Dominio frecuencial .....	164
<b>5.2.</b>	<b>Campos electromagnéticos y radiación.....</b>	<b>167</b>
5.2.1.	Campo conservativo y campo radiante .....	167
5.2.2.	Campos radiantes.....	168
5.2.3.	Tipos de antenas .....	169
5.2.4.	Partículas cargadas.....	170
5.2.5.	Movimiento de las partículas.....	170
5.2.6.	El fenómeno de la radiación .....	171
5.2.7.	Campo cercano y campo lejano .....	171
5.2.8.	Impedancia de onda .....	172
<b>5.3.</b>	<b>Corrientes en modo diferencial y en modo común.....</b>	<b>173</b>
5.3.1.	Corrientes en modo diferencial.....	174
5.3.2.	Radiación en modo diferencial .....	174
5.3.3.	Ejemplo de reducción de interferencias en modo diferencial .....	176
5.3.4.	Corrientes en modo común.....	178
5.3.5.	Emisión de interferencias en modo común.....	180
5.3.6.	Conversión entre el modo diferencial y el modo común .....	180
5.3.7.	Asimetría en un circuito impreso de dos capas.....	181
5.3.8.	Asimetrías en componentes .....	182
5.3.9.	Aislamiento mediante bobina de modo común.....	182
5.3.10.	Aislamiento mediante transformador.....	183
5.3.11.	Aislamiento mediante opto-acoplador .....	184
5.3.12.	Filtrado de las entradas y salidas .....	185
5.3.13.	Circuitos de filtro.....	185

5.3.14. Cables planos.....	186
<b>6. Líneas de transmisión .....</b>	<b>189</b>
<b>6.1. Introducción .....</b>	<b>189</b>
6.1.1. Material del circuito impreso.....	190
6.1.2. Constante dieléctrica.....	190
6.1.3. Factor de disipación.....	191
6.1.4. Resistencia de la superficie y volumen en el material dieléctrico.....	191
6.1.5. Resistencia al cortocircuito ( <i>Dielectric Strength Breakdown</i> ).....	192
6.1.6. Interconexiones.....	192
6.1.7. Línea capacitiva (puntual).....	193
6.1.8. Pistas eléctricamente largas.....	193
6.1.9. La velocidad de la luz.....	194
6.1.10. Tiempo de propagación.....	195
<b>6.2. Parámetros de las líneas de transmisión .....</b>	<b>196</b>
6.2.1. Impedancia característica.....	196
6.2.2. La impedancia característica versus forma física de la línea.....	198
6.2.3. Impedancia y resistencia.....	199
6.2.4. Líneas de transmisión en circuitos impresos. <i>Microstrip</i> .....	199
6.2.5. <i>Stripline</i> .....	200
6.2.6. <i>Microstrip</i> diferencial.....	201
6.2.7. <i>Stripline</i> diferencial simétrica.....	201
6.2.8. Retardo y velocidad de propagación.....	202
6.2.9. Inductancia y capacidad de las líneas.....	203
6.2.10. Amplitud de la señal sobre la línea de transmisión.....	203
6.2.11. Corriente en la línea de transmisión.....	204
6.2.12. División de líneas.....	206
<b>6.3. Retornos de las líneas de transmisión. Retornos ideales.....</b>	<b>206</b>
6.3.1. Retorno de corriente en una línea <i>microstrip</i> referenciada a masa.....	207
6.3.2. Retorno de corriente en una <i>stripline</i> .....	209
6.3.3. Cuando plano de alimentación y driver no tienen el mismo voltaje.....	210
<b>6.4. Reflexiones en la línea de transmisión.....</b>	<b>211</b>
6.4.1. Final de línea sin la impedancia correcta.....	212
6.4.2. Terminación de AC.....	214
6.4.3. Efectos de la frecuencia de las señales.....	214
6.4.4. Amortiguación ( <i>Damping</i> ).....	215
6.4.5. Ángulos de las pistas.....	216
<b>6.5. Retornos no ideales.....</b>	<b>217</b>
6.5.1. Acoplo de dos líneas atravesando un corte del plano de masa.....	218
6.5.2. Salto de capa.....	219
6.5.3. Mala interconexión de planos.....	221
6.5.4. Otros retornos no ideales.....	222
6.5.5. Características comunes de los retornos no ideales.....	223
<b>6.6. Atenuación de las señales.....</b>	<b>223</b>
6.6.1. Resistencia del cobre.....	223
6.6.2. Resistencia de las vías.....	226

6.6.3. Pérdidas resistivas en corriente alterna ( <i>Skin effect</i> ).....	227
6.6.4. Profundidad del efecto <i>skin</i> ( <i>Skin depth</i> ).....	227
6.6.5. Resistencia efectiva de un conductor en corriente alterna.....	228
6.6.6. Absorción del dieléctrico.....	229
6.6.7. Degradación de los flancos.....	229
6.6.8. Impedancia de 50 ó 75 Ohm.....	230
6.6.9. Pre-énfasis.....	230
<b>7. Técnicas de trazado del circuito impreso.....</b>	<b>231</b>
<b>7.1. Circuitos impresos.....</b>	<b>231</b>
7.1.1. Segregación de circuitos.....	231
<b>7.2. Planos de alimentación y de masa.....</b>	<b>233</b>
7.2.1. Impedancia característica.....	234
7.2.2. Ruido SSO en el plano de masa.....	234
7.2.3. Corrientes de retorno en el plano de masa.....	235
7.2.4. Anchura efectiva del plano de masa.....	236
7.2.5. Separando planos.....	236
7.2.6. Tensiones de alimentación.....	237
7.2.7. Efecto de blindaje de los planos.....	238
7.2.8. <i>Crosstalk</i> entre pistas adyacentes.....	238
7.2.9. Capacidad entre planos.....	239
7.2.10. Solapar planos.....	240
7.2.11. Pistas que atraviesan segregaciones.....	241
7.2.12. Distribución de las capas ( <i>stackup</i> ).....	242
7.2.13. Circuito impreso de seis capas.....	243
7.2.14. Circuito impreso de ocho capas.....	244
7.2.15. Efecto proximidad.....	244
7.2.16. Estrategias en los planos de masa y de alimentación.....	245
7.2.17. Desacoplo a un plano equivocado.....	246
<b>7.3. Conexión de planos de masa (<i>Grounding</i>).....</b>	<b>247</b>
7.3.1. Configuraciones de masa en estrella y en serie.....	247
7.3.2. Masa híbrida.....	248
7.3.3. Conectando los planos juntos.....	249
<b>7.4. Las vías.....</b>	<b>250</b>
7.4.1. Resistencia de las vías.....	250
7.4.2. Capacidad de corriente de las vías.....	251
7.4.3. Capacidad e inductancia de las vías.....	252
7.4.4. Capacidad de las vías.....	253
7.4.5. Inductancia de las vías.....	253
7.4.6. Disposición de vías.....	253
7.4.7. El modelo vía.....	254
7.4.8. Microvías.....	255
7.4.9. Jaula de Faraday.....	256
7.4.10. Masas flotantes.....	256
7.4.11. Relleno de masa ( <i>Poured-ground</i> ).....	257
<b>7.5. Micro-islas.....</b>	<b>258</b>

7.5.1. Micro-isla en circuitos multicapa.....	259
7.5.2. Entradas y salidas desde los planos .....	260
7.5.3. Figuras de ruido .....	261
7.5.4. Aislamiento de circuitos .....	262
<b>7.6. Capacidad enterrada (<i>Buried capacitance</i>) .....</b>	<b>262</b>
<b>7.7. Terminación disipativa en los bordes (<i>DET</i>) .....</b>	<b>264</b>
7.7.1. La equipotencialidad de los planos .....	264
7.7.2. Resonancia en los planos .....	265
<b>7.8. Masas limpias y masas sucias.....</b>	<b>267</b>
7.8.1. Con los mismos componentes, pero... ¡funciona! .....	269
7.8.2. Campo eléctrico entre circuitos de potencia y de señal .....	270
<b>7.9. <i>Stitching</i>. Salvando las distancias .....</b>	<b>272</b>
7.9.1. <i>Stitching</i> de alta frecuencia.....	273
7.9.2. <i>Stitching</i> de baja frecuencia .....	274
7.9.3. <i>Stitching</i> múltiple.....	274
7.9.4. Técnica de <i>stitching</i> según la frecuencia de las señales.....	275
7.9.5. Masas aisladas galvánicamente .....	275
7.9.6. Mejora de la inmunidad en ESD.....	276
<b>7.10. Consejos prácticos sobre los planos de alimentación.....</b>	<b>277</b>
7.10.1. Trazado del circuito impreso de un microcontrolador .....	277
7.10.2. Alimentación y desacoplo.....	277
7.10.3. Separación de la alimentación .....	279
7.10.4. Cristal de cuarzo y señales rápidas .....	280
7.10.5. Pistas sin plano de referencia.....	281
<b>7.11. Circuitos impresos de dos capas .....</b>	<b>281</b>
<b>8. El sistema de alimentación.....</b>	<b>285</b>
<b>8.1. Introducción .....</b>	<b>285</b>
8.1.1. Condensador de desacoplo.....	286
8.1.2. El comportamiento real de un condensador .....	286
8.1.3. Resonancia serie .....	287
8.1.4. Consideraciones generales.....	288
8.1.5. Tipo de condensador.....	288
8.1.6. El emplazamiento .....	289
8.1.7. ¿Por qué el emplazamiento es importante?.....	289
8.1.8. Efecto de la carga en las salidas.....	290
8.1.9. El valor del condensador.....	290
8.1.10. Filtrado de la alimentación .....	291
8.1.11. Condensador de paso ( <i>bypass</i> ).....	293
8.1.12. Condensador reserva ( <i>bulk</i> ).....	293
<b>8.2. El sistema de alimentación .....</b>	<b>294</b>
8.2.1. ¿De qué se compone el sistema de alimentación? .....	295
8.2.2. Impedancia interna del sistema de alimentación.....	297
8.2.3. Comportamiento dinámico del sistema de alimentación .....	298
8.2.4. Secuencia de acontecimientos en la demanda de corriente.....	299
8.2.5. Medida del ruido en un sistema de alimentación .....	301
<b>8.3. Impedancia del sistema de alimentación.....</b>	<b>301</b>
8.3.1. Impedancia del sistema de alimentación.....	302
8.3.2. Regulador de tensión .....	303
8.3.3. Condensador reserva ( <i>bulk</i> ) .....	303
8.3.4. Corriente media y de pico en CMOS .....	304
8.3.5. Condensador de desacoplo.....	305
8.3.6. Planos de alimentación .....	306
8.3.7. Impedancia global del sistema .....	307
<b>8.4. Concepto de altura de desacoplo .....</b>	<b>307</b>
8.4.1. Inductancias parciales .....	308
8.4.2. Inductancia del bucle L1, vías .....	309
8.4.3. Inductancia de los <i>pads</i> del condensador.....	309
8.4.4. Inductancia del bucle L2.....	310
8.4.5. Inductancia del bucle L3.....	310
8.4.6. Frecuencia de utilización del condensador de desacoplo.....	311
<b>8.5. Contaminación de los planos.....</b>	<b>311</b>
8.5.1. Ruido en la alimentación de un circuito integrado .....	313
8.5.2. Reducción del ruido en los planos .....	314
<b>8.6. Desacoplo en baja y alta frecuencia.....</b>	<b>315</b>
8.6.1. Desacoplo a bajas frecuencias .....	315
8.6.2. Desacoplo en altas frecuencias .....	316
<b>8.7. Estrategias recomendadas en el desacoplo .....</b>	<b>316</b>
8.7.1. Reducción de la inductancia de las vías.....	317
8.7.2. Emplazamiento en array .....	318
<b>9. Diseño lógico de alta velocidad.....</b>	<b>319</b>
<b>9.1. El <i>jitter</i>.....</b>	<b>319</b>
9.1.1. ¿Qué es el <i>jitter</i> ? .....	319
9.1.2. <i>Jitter</i> de corto término y <i>jitter</i> de largo término.....	321
9.1.3. Diagrama del ojo ( <i>Eye diagram</i> ) .....	321
9.1.4. Clases de <i>jitter</i> .....	323
9.1.5. Origen del <i>jitter</i> .....	323
9.1.6. Señales de reloj .....	323
9.1.7. Formas de medir el <i>jitter</i> . PLL de referencia. ( <i>Golden PLL</i> ).....	324
9.1.8. Medida del <i>jitter</i> mediante un osciloscopio.....	325
9.1.9. Análisis del <i>jitter</i> utilizando una aproximación al espectro .....	325
9.1.10. Métodos para reducir el <i>jitter</i> .....	326
9.1.11. Filtrado de la tensión de alimentación. ....	327
<b>9.2. El <i>skew</i>.....</b>	<b>327</b>
9.2.1. Sincronización de señales.....	328
<b>10. Diseño analógico y de potencia.....</b>	<b>331</b>
<b>10.1. Fugas de corriente en el sustrato del PCB .....</b>	<b>331</b>
10.1.1. Efectos estáticos.....	331
10.1.2. Anillos de guarda ( <i>Guard Ring</i> ) .....	332

10.1.3. Efectos dinámicos.....	334
<b>10.2. Amplificadores .....</b>	<b>335</b>
10.2.1. Un solo punto de masa.....	335
<b>10.3. Fuentes de alimentación conmutadas.....</b>	<b>337</b>
10.3.1. Corriente en la inductancia.....	337
10.3.2. Parámetros utilizados.....	338
10.3.3. Rampa de corriente en la inductancia.....	338
10.3.4. <i>Steady-state</i> .....	339
10.3.5. Ley de voltios por segundo.....	339
10.3.6. <i>Duty cycle</i> .....	340
10.3.7. Función de transferencia DC.....	340
10.3.8. Modos de funcionamiento.....	340
10.3.9. Ecuaciones comunes a cualquier topología.....	340
<b>10.4. La topología buck-boost.....</b>	<b>341</b>
10.4.1. Parámetros utilizados.....	341
10.4.2. Corriente por cada componente del <i>buck-boost</i> respecto a D.....	342
10.4.3. Corriente por cada componente del <i>buck-boost</i> versus la carga.....	343
<b>10.5. Corrientes parásitas a través de los radiadores.....</b>	<b>343</b>
10.5.1. Corrientes parásitas en los chasis metálicos.....	344
10.5.2. Nodo de conmutación.....	346
10.5.3. PADS de alta corriente.....	347
<b>10.6. Efectos parásitos de los componentes y el PCB.....</b>	<b>347</b>
10.6.1. Equilibrado de las corrientes en los condensadores de entrada.....	348
10.6.2. <i>Snubbers</i> .....	349
10.6.3. Transformadores.....	351
10.6.4. Bobinas toroidales.....	353
10.6.5. Reducción de la ESL de los condensadores THT.....	354
<b>11. Osciladores de cuarzo .....</b>	<b>355</b>
<b>11.1. Cristales de cuarzo.....</b>	<b>355</b>
11.1.1. Teoría de la oscilación.....	355
11.1.2. Elegir el cristal de cuarzo adecuado.....	356
11.1.3. ¿Por qué cristales de cuarzo?.....	357
11.1.4. Temporización y precisión.....	357
11.1.5. La tolerancia en frecuencia.....	358
11.1.6. Estabilidad en frecuencia.....	358
11.1.7. Envejecimiento ( <i>Aging</i> ).....	358
11.1.8. Capacidad de carga.....	359
<b>11.2. Resonancia en serie y paralelo.....</b>	<b>359</b>
11.2.1. Resonancia en serie.....	360
11.2.2. Resonancia en paralelo.....	361
11.2.3. Tiempo de arranque del oscilador.....	362
11.2.4. Tolerancia en frecuencia y capacidad de carga.....	363
11.2.5. Nivel de potencia aplicada ( <i>drive level</i> ).....	363
11.2.6. Resistencia negativa.....	363
11.2.7. Variación en la frecuencia ( <i>Pullability</i> ).....	364
11.2.8. Frecuencia fundamental vs. sobretono ( <i>Overtone</i> ).....	364
11.2.9. Oscilador Colpitts.....	365
<b>11.3. Consideraciones de diseño.....</b>	<b>366</b>
11.3.1. Resonadores cerámicos.....	366
11.3.2. Espectro distribuido ( <i>Spread Spectrum Clocking</i> ).....	369
<b>12. Consideraciones de software .....</b>	<b>371</b>
<b>12.1. El software también importa .....</b>	<b>371</b>
<b>12.2. Reducción de las emisiones electromagnéticas .....</b>	<b>372</b>
<b>12.3. Mejora de la inmunidad. <i>Debouncing</i> .....</b>	<b>374</b>
12.3.1. Niveles de las entradas.....	375
12.3.2. Ciclo de histéresis en las entradas.....	376
12.3.3. Evolución de las entradas analógicas.....	377
12.3.4. Muestreo de señales analógicas.....	378
<b>12.4. Inmunidad en los buses de comunicaciones.....</b>	<b>378</b>
<b>12.5. El <i>Watchdog</i>.....</b>	<b>378</b>
12.5.1. Estrategia del <i>watchdog</i> .....	378
12.5.2. Comprobación del buen funcionamiento del <i>watchdog</i> .....	379
<b>12.6. Interrupciones .....</b>	<b>380</b>
<b>13. Investigación de causas .....</b>	<b>381</b>
<b>13.1. Líneas generales para la investigación .....</b>	<b>381</b>
<b>13.2. ¿Que hacer con los problemas de emisiones radiadas? .....</b>	<b>382</b>
13.2.1. Identificación y reducción de las interferencias.....	382
13.2.2. Búsqueda de fuentes de interferencia con sondas.....	384
13.2.3. Deshabilitar partes del sistema.....	386
13.2.4. Identificación de cables que radian.....	386
13.2.5. Kit de EMC.....	387
13.2.6. La prueba del lápiz.....	388
13.2.7. Variación de la frecuencia de trabajo.....	388
13.2.8. Colocación de filtros.....	388
13.2.9. Problemas en emisiones conducidas.....	389
<b>13.3. Test de inmunidad .....</b>	<b>389</b>
13.3.1. Inyectando ruido en los circuitos.....	389
13.3.2. Inyectando transitorios en las entradas.....	390
<b>14. Preguntas y Respuestas.....</b>	<b>391</b>
<b>14.1. Preguntas frecuentes sobre problemas de EMC .....</b>	<b>391</b>
<b>14.2. Entrevista en el departamento de diseño electrónico.....</b>	<b>403</b>
<b>15. Datos prácticos.....</b>	<b>409</b>
<b>15.1. Unidades y símbolos.....</b>	<b>409</b>
<b>15.2. Aproximaciones interesantes .....</b>	<b>411</b>

15.2.1. Líneas de transmisión .....	411
15.2.2. Vías .....	411
15.2.3. Planos .....	411
15.2.4. Condensadores .....	411
15.2.5. Varios .....	411
15.2.6. Elementos parásitos de las vías .....	412
<b>15.3. Check list de diseño de circuitos impresos. ....</b>	<b>415</b>
15.3.1. Planos de alimentación y masa .....	415
15.3.2. Pistas de circuito impreso .....	415
15.3.3. Componentes .....	415
15.3.4. Microcontroladores .....	415
15.3.5. CAN y LIN .....	416
15.3.6. Partición de circuitos .....	416
15.3.7. Supresión de ruido en el origen .....	416
15.3.8. Supresión del acoplamiento de ruido .....	416
15.3.9. Reducción de ruido en el receptor. ....	417
15.3.10. Otros.....	417
<b>16. Glosario .....</b>	<b>419</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>429</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>431</b>