

Índice

RESUMEN	i
RESUM	v
ABSTRACT	ix
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 <i>EL PROBLEMA DE LA SEGURIDAD EN EL TRÁFICO DE VEHÍCULOS</i>	1
1.2 <i>DEFINICIÓN Y PROPÓSITO DE LOS SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE (ITS)</i>	2
1.3 <i>LA NECESIDAD DE IDENTIFICAR Y COMPARTIR INFORMACIÓN ENTRE VEHÍCULOS E INFRAESTRUCTURA</i>	3
1.4 <i>EL PROBLEMA DE LA SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA ADECUADA PARA LA COMUNICACIÓN ENTRE VEHÍCULOS E INFRAESTRUCTURA</i>	3
1.5 <i>PROPUESTA GENERAL PARA EL DISEÑO DE UN MEDIO DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO PARA SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE</i>	4
1.6 <i>COMUNICACIÓN INALÁMBRICA</i>	5
1.6.1 <i>Sistemas de comunicación utilizados en la modalidad V a I de largo alcance</i>	6
1.6.2 <i>Sistemas de comunicación utilizados en la modalidad V a I de corto alcance</i>	9
1.6.3 <i>Iniciativa para normalizar la modalidad DSRC en ITS</i>	11
REFERENCIAS	14
2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS	16
2.1 <i>ESPIRAS MAGNÉTICAS</i>	16
2.1.1 <i>Espiras magnéticas aplicadas en sistemas ITS</i>	16
2.1.1.1 <i>Introducción</i>	16
2.1.1.2 <i>Aplicación de las espiras magnéticas en la detección de vehículos</i>	19
2.1.1.3 <i>Clasificación de vehículos utilizando el perfil magnético detectado por las espiras</i>	20
2.1.2 <i>Sistemas de comunicación V2I e I2V mediante espiras magnéticas</i>	20
2.1.2.1 <i>Sistemas RFID</i>	21
2.2 <i>PROBLEMAS ENCONTRADOS</i>	27
2.3 <i>DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS</i>	27
2.4 <i>ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO DE TESIS</i>	28
REFERENCIAS	29
3 MATERIALES, MÉTODOS Y RESULTADOS	30
3.1 <i>ANÁLISIS DE ESPIRAS MAGNÉTICAS DE GRANDES DIMENSIONES</i>	30
3.1.1 <i>Análisis teórico del campo magnético generado por espiras magnéticas rectangulares</i>	30
3.1.2 <i>Análisis del campo magnético en un punto debido a una espira rectangular doble</i>	39
3.1.3 <i>Relación de ensayos para la verificación del modelo del campo magnético generado por espiras magnéticas de grandes dimensiones</i>	45
3.1.3.1 <i>Espiras rectangulares</i>	45
3.1.3.2 <i>Espira doble</i>	45
3.1.3.3 <i>Espiras rectangulares hechas con cable plano</i>	46
3.1.4 <i>Materiales y métodos para la verificación del modelo teórico</i>	47
3.1.4.1 <i>Espiras rectangulares</i>	49

3.1.4.2	<i>Espira doble</i>	50
3.1.4.3	<i>Espiras rectangulares hechas con cable plano</i>	51
3.1.5	<i>Resultados</i>	53
3.1.5.1	<i>Espiras rectangulares</i>	53
3.1.5.2	<i>Espiras doble</i>	57
3.1.5.3	<i>Espiras rectangulares hechas con cable plano</i>	59
3.1.6	<i>Conclusiones</i>	110
3.2	ANÁLISIS DEL ACOPLAMIENTO ENTRE ESPIRAS MAGNÉTICAS	112
3.2.1	<i>Análisis teórico del acoplamiento magnético entres espiras rectangulares</i>	113
3.2.2	<i>Relación de ensayos para la verificación del modelo de acoplamiento entre espiras magnéticas</i>	124
3.2.3	<i>Materiales y métodos para la verificación del modelo teórico</i>	125
3.2.4	<i>Resultados</i>	126
3.2.5	<i>Conclusiones</i>	134
	REFERENCIAS	135
4	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	136
4.1	<i>MODELO TEÓRICO DEL CAMPO MAGNÉTICO GENERADO POR ESPIRAS RECTANGULARES</i>	136
4.1.1	<i>Análisis de los resultados</i>	136
4.2	<i>ACOPLAMIENTO ENTRE ESPIRAS MAGNÉTICAS</i>	139
4.2.1	<i>Análisis de los resultados</i>	139
4.3	<i>DISCUSIÓN ACERCA DEL USO DE LAS ESPIRAS MAGNÉTICAS COMO MEDIO DE COMUNICACIÓN, EN APLICACIONES ITS</i>	141
4.3.1	<i>Transmisión de datos para la implementación en sistemas ITS</i>	142
4.3.2	<i>Envío de datos alfanuméricos simulando la matrícula de vehículos</i>	148
	REFERENCIAS	151
5	CONCLUSIONES FINALES	152
5.1	<i>MODELO TEÓRICO DEL CAMPO MAGNÉTICO DE UNA ESPIRA RECTANGULAR</i>	152
5.2	<i>MODELO DE LA INDUCCIÓN MAGNÉTICA ENTRES DOS ESPIRAS RECTANGULARES</i>	153
5.3	<i>DISEÑO DE ESPIRAS</i>	153
5.4	<i>SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DE CORTO ALCANCE</i>	154
6	LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	155
	REFERENCIAS	157
7	APORTACIONES	158
7.1	<i>TRABAJOS COLATERALES DESARROLLADOS</i>	158
7.2	<i>PUBLICACIONES, TESIS Y PROYECTOS DE FIN DE CARRERA</i>	158
7.2.1	<i>Publicación en Revistas</i>	159
7.2.2	<i>Publicación en Memorias</i>	160
7.2.3	<i>Tesis Dirigidas Nivel Maestría</i>	162
7.2.4	<i>Proyectos de Fin de Carrera dirigidos</i>	163
	REFERENCIAS	164

Índice de Figuras

Fig. 1.1 Perfil magnético de distintos vehículos detectado mediante espiras.	5
Fig. 1.2 Diagrama de bloques de los sistemas de comunicación ITS.	6
Fig. 1.3 Modos de comunicación aplicados en ITS.	9
Fig. 1.4 Aplicaciones donde se utiliza DSRC.	10
Fig. 1.5 Arquitectura del ITS de Estados Unidos [22].	12
Fig. 2.1 Campo magnético alrededor de una espira.	16
Fig. 2.2 Flujo magnético para un solenoide (bobina).	17
Fig. 2.3 Circuito equivalente de una espira ubicada en la calzada.	19
Fig. 2.4 Valor inductivo vs. Frecuencia de medida.	19
Fig. 3.1 Espira magnética y punto de análisis del campo magnético.	31
Fig. 3.2 $ B $ en un área de 4 x 4 metros a una altura de 0.50m.	38
Fig. 3.3 $ B $ en un área de 1 x 1 metros a una altura de 0.50m.	39
Fig. 3.4 $ B $ en un área de 4 x 4 metros a una altura de 0.10m.	39
Fig. 3.5 Espira magnética doble y punto de análisis del campo magnético.	41
Fig. 3.6 Exposure level tester elt-400.	47
Fig. 3.7 Configuración del elt-400.	48
Fig. 3.8 Valores de $ B $ para el ensayo 1, considerando el error del instrumento.	55
Fig. 3.9 Valores de $ B $ para el ensayo 2, considerando el error del instrumento.	57
Fig. 3.10 Valores de $ B $ para el ensayo 3, considerando el error del instrumento.	59
Fig. 3.11 Valores de $ B $ para el ensayo 4, considerando el error del instrumento.	61
Fig. 3.12 $ B $ medido para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y $z = 0.10m$	62
Fig. 3.13 $ B $ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y $z = 0.10m$	63
Fig. 3.14 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y $z = 0.10m$, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	64
Fig. 3.15 $ B $ medido para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y $z = 0.10m$	65
Fig. 3.16 $ B $ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y $z = 0.10m$	66
Fig. 3.17 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y $z = 0.10m$, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	67
Fig. 3.18 $ B $ medido para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y $z = 0.10m$	68
Fig. 3.19 $ B $ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y $z = 0.10m$	69
Fig. 3.20 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y $z = 0.10m$, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	70
Fig. 3.21 $ B $ medido para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y $z = 0.10m$	71
Fig. 3.22 $ B $ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y $z = 0.10m$	72
Fig. 3.23 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y $z = 0.10m$, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	73
Fig. 3.24 $ B $ medido para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y $z = 0.20m$	74
Fig. 3.25 $ B $ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y $z = 0.20m$	75
Fig. 3.26 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y $z = 0.20m$, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	76
Fig. 3.27 $ B $ medido para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y $z = 0.20m$	77
Fig. 3.28 $ B $ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y $z = 0.20m$	78
Fig. 3.29 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y $z = 0.20m$, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	79
Fig. 3.30 $ B $ medido para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y $z = 0.20m$	80
Fig. 3.31 $ B $ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y $z = 0.20m$	81

Fig. 3.32 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y z = 0.20m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	82
Fig. 3.33 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y z = 0.20m.	83
Fig. 3.34 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y z = 0.20m.	84
Fig. 3.35 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y z = 0.20m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	85
Fig. 3.36 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y z = 0.50m.	86
Fig. 3.37 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y z = 0.50m.	87
Fig. 3.38 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y z = 0.50m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	88
Fig. 3.39 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y z = 0.50m.	89
Fig. 3.40 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y z = 0.50m.	90
Fig. 3.41 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y z = 0.50m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	91
Fig. 3.42 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y z = 0.50m.	92
Fig. 3.43 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y z = 0.50m.	93
Fig. 3.44 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y z = 0.50m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	94
Fig. 3.45 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y z = 0.50m.	95
Fig. 3.46 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y z = 0.50m.	96
Fig. 3.47 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y z = 0.50m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	97
Fig. 3.48 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y z = 1m.	98
Fig. 3.49 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y z = 1m.	99
Fig. 3.50 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10ma y z = 1m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	100
Fig. 3.51 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y z = 1m.	101
Fig. 3.52 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y z = 1m.	102
Fig. 3.53 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20ma y z = 1m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	103
Fig. 3.54 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y z = 1m.	104
Fig. 3.55 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y z = 1m.	105
Fig. 3.56 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50ma y z = 1m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	106
Fig. 3.57 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y z = 1m.	107
Fig. 3.58 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y z = 1m.	108
Fig. 3.59 Diferencia entre los valores medidos y los calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100ma y z = 1m, incluyendo el margen de tolerancia del instrumento de medida.	109
Fig. 3.60 espira emisora y receptora.	112
Fig. 3.61 Ubicación de los puntos para realizar la integración doble sobre la espira receptora.	114
Fig. 3.62 Sección dentro de la espira receptora.	114
Fig. 3.63 Voltaje inducido con una altura de 0.50m.	119
Fig. 3.64 Voltaje inducido con una altura de 0.50m en un área central de 0.20 x 0.20m.	119
Fig. 3.65 FEM inducida en la espira receptora, ubicada en forma paralela al plano de la espira emisora a una distancia de 1m.	120
Fig. 3.66 FEM inducida en la espira receptora cuando recorre el centro de la espira emisora, a lo largo del eje x.	121
Fig. 3.67 FEM inducida en la espira receptora, ubicada en forma paralela al plano de la espira emisora a una distancia de 0.50m.	121
Fig. 3.68 FEM inducida en la espira receptora cuando recorre el centro de la espira emisora, a lo largo del eje x.	122
Fig. 3.69 FEM inducida en la espira receptora, ubicada en forma paralela al plano de la espira emisora a una distancia de 0.10m.	122

Fig. 3.70 FEM inducida en la espira receptora cuando recorre el centro de la espira emisora, a lo largo del eje x.	123
Fig. 3.71 Osciloscopio tektronix modelo tds 1012b.	125
Fig. 3.72 Generador de funciones modelo rigol dg4062.	125
Fig. 3.73 Comparación de los valores de voltaje inducido a 0.10m de separación entre las espiras.	128
Fig. 3.74 Diferencia porcentual entre valores medidos y calculados a 0.10m de separación entre las espiras.	128
Fig. 3.75 Comparación de los valores de voltaje inducido a 0.20m de separación entre las espiras.	129
Fig. 3.76 Diferencia porcentual entre valores medidos y calculados a 0.20m de separación entre las espiras.	130
Fig. 3.77 Comparación de los valores de voltaje inducido a 0.50m de separación entre las espiras.	131
Fig. 3.78 Diferencia porcentual entre valores medidos y calculados a 0.50m de separación entre las espiras.	131
Fig. 3.79 Comparación de los valores de voltaje inducido a 1m de separación entre las espiras.	133
Fig. 3.80 Diferencia porcentual entre valores medidos y calculados a 1m de separación entre las espiras.	133
Fig. 4.1 Comparación del porcentaje de error en función de la distancia.	137
Fig. 4.2 Variación del error promedio a una distancia de 1m en función de la corriente.	137
Fig. 4.3 Variación del porcentaje de error en el voltaje inducido a diferentes alturas.	139
Fig. 4.4 Modulación ASK [6].	142
Fig. 4.5 Etapa de emisión.	142
Fig. 4.6 Etapa de recepción.	142
Fig. 4.7 Esquema del circuito de emisión.	143
Fig. 4.8 Esquema del circuito de recepción.	144
Fig. 4.9 Circuito de emisión.	144
Fig. 4.10 Circuito de recepción.	145
Fig. 4.11 Nivel de voltaje inducido en la espira receptora.	146
Fig. 4.12 Señal del puerto serie.	146
Fig. 4.13 Señal portadora.	147
Fig. 4.14 Señal modulada.	147
Fig. 4.15 Señal desmodulada.	148
Fig. 4.16 Datos transmitidos por el microcontrolador.	149
Fig. 4.17 Espiras emisora y receptora.	149
Fig. 4.18 Datos recibidos por el puerto serie del ordenador.	150

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Diferencias principales entre los sistemas DSRC en Estados Unidos.	12
Tabla 2.1 Frecuencias para sistemas RFID.	26
Tabla 3.1 Valores correspondientes al ensayo 1	54
Tabla 3.2 Valores correspondientes al ensayo 2	56
Tabla 3.3 Valores correspondientes al ensayo 3	58
Tabla 3.4 Valores correspondientes al ensayo 4	60
Tabla 3.5 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.10m	62
Tabla 3.6 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.10m	63
Tabla 3.7 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.10m	64
Tabla 3.8 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.10m	65
Tabla 3.9 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.10m.	66
Tabla 3.10 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.10m	67
Tabla 3.11 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.10m	68
Tabla 3.12 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.10m	69
Tabla 3.13 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.10m	70
Tabla 3.14 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 0.10m	71
Tabla 3.15 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 0.10m	72
Tabla 3.16 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 0.10m	73
Tabla 3.17 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.20m	74
Tabla 3.18 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.20m	75
Tabla 3.19 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.20m	76
Tabla 3.20 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.20m	77
Tabla 3.21 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.20m	78
Tabla 3.22 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.20m	79
Tabla 3.23 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.20m	80
Tabla 3.24 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.20m	81
Tabla 3.25 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.20m	82
Tabla 3.26 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 0.20m	83
Tabla 3.27 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 0.20m	84
Tabla 3.28 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y z = 0.20m	85
Tabla 3.29 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.50m	86
Tabla 3.30 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.50m	87
Tabla 3.31 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y z = 0.50m	88
Tabla 3.32 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.50m	89
Tabla 3.33 B calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.50m	90
Tabla 3.34 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y z = 0.50m	91
Tabla 3.35 B medido para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y z = 0.50m	92

Tabla 3.36 $ B $ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y $z = 0.50m$	93
Tabla 3.37 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y $z = 0.50m$	94
Tabla 3.38 $ B $ medido para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y $z = 0.50m$	95
Tabla 3.39 $ B $ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y $z = 0.50m$	96
Tabla 3.40 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y $z = 0.50m$	97
Tabla 3.41 $ B $ medido para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y $z = 1m$	98
Tabla 3.42 $ B $ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y $z = 1m$	99
Tabla 3.43 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 10mA y $z = 1m$	100
Tabla 3.44 $ B $ medido para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y $z = 1m$	101
Tabla 3.45 $ B $ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y $z = 1m$	102
Tabla 3.46 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 20mA y $z = 1m$	103
Tabla 3.47 $ B $ medido para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y $z = 1m$	104
Tabla 3.48 $ B $ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y $z = 1m$	105
Tabla 3.49 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 50mA y $z = 1m$	106
Tabla 3.50 $ B $ medido para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y $z = 1m$	107
Tabla 3.51 $ B $ calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y $z = 1m$	108
Tabla 3.52 Diferencia entre el valor medido y el calculado para una espira de 2x1m, alimentada con 100mA y $z = 1m$	109
Tabla 3.53 Diferencia entre valores medidos y calculados en el centro de la espira	110
Tabla 3.54 Nivel de voltaje inducido (mV) medido a una distancia de 0.10m entre espiras.....	127
Tabla 3.55 Nivel de voltaje inducido (mV) calculado a una distancia de 0.10m entre espiras.....	127
Tabla 3.56 Diferencia porcentual entre los valores medidos y los calculados del voltaje inducido a 0.10m.....	127
Tabla 3.57 Nivel de voltaje inducido (mV) medido a una distancia de 0.20m entre espiras.....	129
Tabla 3.58 Nivel de voltaje inducido (mV) calculado a una distancia de 0.20m entre espiras.....	129
Tabla 3.59 Diferencia porcentual entre los valores medidos y los calculados del voltaje inducido a 0.20m.....	129
Tabla 3.60 Nivel de voltaje inducido (mV) medido a una distancia de 0.50m entre espiras.....	130
Tabla 3.61 Nivel de voltaje inducido (mV) calculado a una distancia de 0.50m entre espiras	130
Tabla 3.62 Diferencia porcentual entre los valores medidos y los calculados del voltaje inducido a 0.50m.....	131
Tabla 3.63 Nivel de voltaje inducido (mV) medido a una distancia de 1m entre espiras.....	132
Tabla 3.64 Nivel de voltaje inducido (mV) calculado a una distancia de 1m entre espiras.....	132
Tabla 3.65 Diferencia porcentual entre los valores medidos y los calculados del voltaje inducido a 1m	132
Tabla 3.66 Comparación de errores a diferentes distancias entre espiras emisora y receptora	134
Tabla 4.1 Comparación del error promedio calculado a diferentes alturas y diferentes corrientes de alimentación	136
Tabla 4.2 Porcentaje de error de los niveles de voltaje entre valores calculados y medidos a diferentes alturas.....	139
Tabla 4.3 Porcentaje de error promedio de los niveles de voltaje entre valores calculados y medidos a diferentes alturas	140
Tabla 4.4 Errores al transmitir a 9600 baudios.....	150