

# Corrientes Inducidas Nivel II

# E N D

## Ensayos No Destructivos



asociación española de  
ensayos  
no  
destructivos



**FC  
EDITORIAL**

# ÍNDICE

HISTORIA Y ANTECEDENTES.....	11
Generalidades e historia.....	13
Desarrollo histórico.....	14
1. ELECTRICIDAD .....	17
1.1. Unidades eléctricas.....	19
1.1.1. El coulombio: unidad de carga.....	19
1.1.2. Diferencia de potencial .....	19
1.1.3. Potencial entre cargas diferentes.....	19
1.1.4. El voltio.....	20
1.1.5. Corriente eléctrica-carga en movimiento.....	21
1.1.6. Diferencia de potencial y corriente eléctrica.....	22
1.1.7. El amperio o ampere .....	23
1.1.8. La resistencia eléctrica como oposición al flujo de corriente.....	23
1.1.9. El ohmio .....	24
1.1.10. Conductancia.....	25
1.1.11. Circuito eléctrico cerrado.....	25
1.1.12. Corriente continua.....	26
1.1.13. Ley de Ohm .....	27
1.1.14. Potencia eléctrica.....	27
1.1.15. Potencia disipada en resistencia óhmica.....	28
1.2. Corriente y voltaje alterno. Generalidades .....	28
1.2.1. Corriente alterna (CA).....	28
1.2.2. El ciclo.....	31
1.2.3. Frecuencia.....	33
1.2.4. Período .....	35
1.2.5. Longitud de onda .....	35
1.2.6. Ángulo de fase.....	36
1.2.7. Vectores de ángulo de fase .....	37
2. MAGNETISMO .....	39
2.1. Generalidades .....	41
2.2. Imanes moleculares .....	42
2.3. Campo magnético .....	43



2.4.	Flujo magnético .....	44
2.5.	Densidad de flujo.....	45
2.6.	Fuerza magnetizadora.....	45
2.7.	Fuerza magnética.....	46
2.8.	Permeabilidad magnética .....	47
2.9.	Reluctancia .....	51
2.10.	Curva de magnetización (B-H).....	52
2.11.	Histéresis magnética .....	53
2.12.	Ciclo de histéresis .....	54
2.13.	Temperatura de Curie .....	57
3.	ELECTROMAGNETISMO, INDUCTANCIA E INDUCCIÓN POR CORRIENTE ALTERNA.....	59
3.1.	Generalidades.....	61
3.2.	Campo magnético producido por una corriente.....	61
3.3.	Polaridad magnética de una bobina.....	63
3.4.	Inducción magnética.....	65
3.5.	Inducción por corriente alterna .....	68
3.6.	Ley de Lenz.....	69
3.7.	Ley de Faraday (Ley de la inducción).....	71
3.8.	Autoinductancia.....	71
3.9.	Inductancia mutua .....	72
4.	REACTANCIA INDUCTIVA.....	75
4.1.	Introducción.....	77
4.2.	Características de la reactancia inductiva del solenoide.....	78
4.3.	Reactancia inductiva del solenoide en vacío .....	79
4.4.	Reactancia del solenoide con materiales no magnéticos.....	80
4.5.	Reactancia del solenoide con materiales ferromagnéticos.....	80
4.6.	Circuitos inductivos.....	81
4.7.	Reactancia inductiva y resistencia en serie .....	84
4.8.	Triángulo de vector voltaje.....	86
5.	LAS CORRIENTES INDUCIDAS .....	89
5.1.	Principios básicos de corrientes inducidas.....	91
5.2.	Variables que intervienen en los ensayos por corrientes inducidas .....	94
5.3.	Impedancia.....	94
5.4.	Ángulo de fase con $X_L$ en serie.....	96
5.5.	Eliminación de la resistencia óhmica de la bobina, en las señales de inspección.....	101

5.6.	Factores que afectan a la componente resistiva de las señales de inspección.....	101
5.7.	Normalización de las señales de inspección por corrientes inducidas.....	102
5.8.	Normalización de la componente resistiva en la impedancia del solenoide.....	102
5.9.	Normalización de la componente reactiva en la impedancia del solenoide.....	104
5.10.	Efecto de la frecuencia sobre la impedancia.....	104
6.	<b>CARACTERÍSTICAS DEL SOLENOIDE: SOLENOIDES Y PALPADORES (DISPOSICIONES Y CONSTRUCCIÓN) .....</b>	<b>105</b>
6.1.	Solenoides .....	107
6.2.	Efecto del diámetro de la bobina sobre la reactancia.....	114
6.3.	Efecto del diámetro sobre la proyección del campo magnético en el aire.....	115
6.4.	Efecto del diámetro de la bobina sobre la proyección axial (a lo largo del eje) del campo magnético.....	116
6.5.	Uso de bobinas con grandes diámetros para compensar una gran separación <i>lift-off</i> .....	116
6.6.	Uso de bobinas de gran diámetro para inspección de chapas no magnéticas gruesas.....	117
6.7.	Uso de bobinas de pequeño diámetro para inspección de revestimientos delgados.....	117
6.8.	Bobinas superficiales. Palpadores .....	118
6.9.	Palpadores tipo lápiz.....	121
6.10.	Palpadores para taladros .....	122
6.11.	Palpadores especiales para taladros (tipo tapón).....	123
6.12.	Palpadores para defectos subsuperficiales .....	124
6.13.	Palpadores tipo donuts.....	124
6.14.	Palpadores especiales. Uso específico .....	125
6.15.	Palpadores deslizantes del tipo reflexión .....	125
7.	<b>CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA: PERMEABILIDAD, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y GRIETAS .....</b>	<b>129</b>
7.1.	Permeabilidad magnética .....	131
7.2.	Conductividad eléctrica.....	131
7.3.	Electrones y protones en el átomo.....	132
7.4.	Conductores y aislantes.....	135
7.5.	Conductividad de las aleaciones de aluminio .....	138
7.6.	Efectos de la temperatura y de la dispersión térmica en materiales no magnéticos .....	139



7.7. Unidades de medida de conductividad .....	140
7.8. Aparatos para medida absoluta de conductividad .....	142
7.9. Tipo palpador sin núcleo de ferrita.....	143
7.10. Aplicaciones .....	144
7.11. Variaciones de impedancia con variaciones de conductividad .....	145
7.12. Ley de Joule .....	146
7.13. Distribución de la conductividad y permeabilidad en el plano de impedancia .....	146
7.14. Grietas.....	150
7.15. Detección de grietas superficiales .....	151
7.16. Respuestas de las grietas en el plano de impedancia .....	151
7.17. Detección de grietas subsuperficiales .....	152
8. CARACTERÍSTICAS DE LA CORRIENTE: PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN. FRECUENCIA.....	155
8.1. Profundidad de penetración. Efecto pelicular ( <i>Skin Effect</i> ) .....	157
8.2. Variación de la fase con la profundidad .....	159
8.3. Influencia de la frecuencia sobre la impedancia del solenoide.....	165
8.4. Frecuencia óptima de ensayo.....	169
8.5. Frecuencia característica o frecuencia límite ( $f_c$ ).....	170
9. EFECTOS DEL ACOPLAMIENTO MAGNÉTICO CON LOS MATERIALES .....	173
9.1. Efecto de separación ( <i>lift-off</i> ).....	175
9.1.1. Efecto de <i>lift-off</i> sobre la reactancia de la bobina.....	176
9.1.2. Efecto del <i>lift-off</i> sobre la sensibilidad .....	176
9.1.3. Efecto de la inclinación de la sonda.....	177
9.1.4. Efecto de la rugosidad o superficies curvas.....	177
9.1.5. Medida de recubrimientos no conductores .....	178
9.1.6. Efectos del <i>lift-off</i> en el plano de impedancia .....	180
9.1.7. Precauciones en el centrado de los objetos dentro de las bobinas envolventes.....	181
9.1.8. Precauciones sobre materiales a usar en las guías o fijaciones .....	181
9.1.9. Coeficiente de acoplamiento.....	181
9.2. Factor de llenado.....	182
9.3. Efecto del factor de llenado sobre la reactancia inductiva.....	184
9.4. Efecto de borde .....	185
9.5. Efecto de borde en el plano de impedancia.....	187
10. EQUIPOS Y PROBETAS.....	191
10.1. Equipos .....	193

10.2. Compensación por <i>lift-off</i> .....	203
10.3. Métodos de representación de señales.....	204
10.4. Equipos de última generación.....	213
10.4.1 Equipos multifrecuencia .....	213
10.4.2 Equipos de corrientes pulsadas .....	213
10.5. Probetas.....	214
10.6. Patrones para medición de espesores .....	215
10.7. Patrones para clasificación de aleaciones (Variaciones Metalúrgicas) .....	215
10.8. Placas patrón para detección de defectos .....	216
10.9. Probetas para medidas dimensionales.....	220
11. DEFECTOLOGÍA.....	223
11.1. Defectología de materiales metálicos .....	225
11.2. Proceso primario.....	226
11.3. Proceso secundario .....	230
11.4. Defectos en funcionamiento o servicio.....	234
APÉNDICES.....	239

HISTORIA Y ANTECEDENTES