

# Índice

<b>Antecedentes .....</b>	<b>1</b>
1. Situación actual de la Industria Agroalimentaria .....	1
2. Espectroscopía de Impedancia .....	8
2.1. Impedancia de los tejidos biológicos .....	12
2.2. Aplicaciones de la espectroscopía de impedancia .....	21
3. Lenguas electrónicas en la industria alimentaria.....	27
3.1. Características generales de un sistema de medida basado en la técnica de espectroscopía de impedancia.....	28
3.2. Métodos de medida de impedancia.....	30
3.3. Ruido eléctrico.....	35
4. Electroodos.....	36
5. Técnicas de análisis multivariante .....	40
5.1. Preprocesado de datos.....	41
5.2. Análisis de componentes principales PCA .....	43
5.3. Análisis discriminante DA.....	44
5.4. Mínimos cuadrados parciales PLS.....	44
5.4.1. Aplicación de la técnica PLS .....	46
<b>Objetivos de la tesis .....</b>	<b>49</b>
<b>Capítulo 1. Desarrollo del sistema de medida.....</b>	<b>51</b>
1. Pruebas preliminares. Determinación de las necesidades .....	51
1.1. Diagrama general del sistema de medida.....	53
2. Descripción del hardware del equipo electrónico de medida.....	57
2.1. Bloque de procesamiento digital.....	57
2.2. Módulo del Convertidor Digital Analógico (DAC) .....	60
2.3. Módulo del Convertidor Analógico Digital (ADC).....	63
2.4. Circuitos de Adaptación de señal.....	65
2.5. Circuito de medida de corriente (puente autobalanceado).....	68
2.6. Alimentación del equipo .....	69
2.7. Tratamiento del ruido.....	70
3. Descripción del software del Equipo Electrónico de Medida. ....	74

3.1. Quartus II de Altera.....	74
3.2. Código de la CPLD1 (Generación de señales).....	74
3.2.1. Proceso RX .....	75
3.2.2. Proceso SIN_GEN .....	78
3.3. Código de la CPLD2 (Proceso de Muestreo).....	82
3.3.1. Proceso TX_UART.....	83
3.3.2. Proceso SAMPLER .....	85
4. Código de la aplicación de PC .....	89
4.1. Módulo de Ensayo Manual (frecuencia individual).....	90
4.1.1. Preparación de los datos .....	90
4.1.2. Transmisión de los datos.....	95
4.1.3. Recepción de los datos.....	96
4.1.4. Procesado de los datos .....	97
4.2. Módulo de Ensayo Automático (espectro de frecuencias).....	102
4.3. Módulo de utilidades.....	105
4.3.1. Configuración .....	105
4.3.2. Representación grafica del diagrama de Bode (módulo y fase).....	106
4.3.3. Representación gráfica del diagrama de Nyquist.....	108
5. Electrodos.....	109
5.1. Electrodo de aguja.....	109
5.1.1. Representación de la distribución del campo eléctrico.....	110
5.2. Electrodo doble .....	111
5.3. Electrodo punta de flecha.....	112
6. Calibración del equipo electrónico de medida .....	116
7. Validación experimental del sistema de medida .....	119
8. Aspecto final .....	121
9. Conclusiones .....	121

## **Capítulo 2. Aplicación del sistema de medida a productos cárnicos crudo-curados..... 123**

1. Estudio del contenido de sal en salmueras y carne picada .....	123
1.1. Material y métodos.....	125
1.2. Resultados de las salmueras .....	128
1.2.1. Análisis de Componentes Principales.....	132
1.2.2. Caracterización del contenido en sal y modelo estadístico mediante PLS.....	135
1.3. Resultados en lomo de cerdo .....	140

1.3.1. Análisis de Componentes Principales.....	140
1.3.2. Caracterización del contenido en sal y modelo estadístico mediante PLS.....	142
1.4. Conclusiones.....	148
2. Determinación de parámetros fisicoquímicos en muestras de lomo de cerdo durante el proceso de curado.....	149
2.1. Material y métodos.....	152
2.2. Resultados y discusión.....	155
2.2.1. Modelos para el electrodo de aguja.....	156
2.2.2. Modelos para el electrodo doble.....	161
2.2.3. Modelos para el electrodo punta de flecha.....	162
2.2.4. Discusión de los resultados.....	163
2.3. Conclusiones.....	164

### **Capítulo 3. Aplicación a otros productos de la industria alimentaria ..... 167**

1. Estudio del contenido en humedad y sal en queso.....	167
1.1. Materiales y métodos.....	169
1.2. Resultados y discusión.....	171
1.2.1. Caracterización de las muestras.....	171
1.2.2. Medidas de impedancia.....	173
1.3. Conclusiones.....	176
2. Estudio de la evolución de la frescura de pescado.....	176
2.1. Material y métodos.....	178
2.2. Resultados y discusión.....	181
2.2.1. Caracterización de las muestras.....	181
2.2.2. Evolución de los parámetros fisicoquímicos a lo largo del estudio de almacenamiento.....	183
2.2.3. Caracterización de la materia prima mediante la medida de su impedancia.....	186
2.2.4. Evolución de las medidas de impedancia durante el almacenamiento.....	188
2.2.5. Modelización PLS entre impedancia, pH, días de almacenamiento y N-BVT.....	190
2.3. Conclusiones.....	192

<b>Conclusiones finales .....</b>	<b>195</b>
<b>Líneas futuras.....</b>	<b>199</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>201</b>