

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA TEXTIL Y PAPELERA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**



**UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA**

**ESTUDIO DE LA RESPUESTA ELÉCTRICA DE TEJIDOS
PIEZORESISTIVOS SOMETIDOS A ESTIRAMIENTO Y
DEFORMACIÓN POR PRESIÓN**

INDICE

AUTOR

Vicente Cambra Sánchez

DIRIGIDA POR

**Dra. M^a Ángeles Bonet Aracil
Dr. Pablo Díaz García**

ABRIL 2017

Índice de Contenidos.

I. INTRODUCCIÓN	1
I.1.- Consideraciones generales acerca de los textiles inteligentes	3
I. 1.1. Estructura inteligente	3
I.1.2. Materiales intrínsecamente inteligentes	4
I.1.3. Definición y evolución de los textiles inteligentes	5
I.1.4.- Textiles inteligentes activos	7
I.1.4.1.- Textiles con memoria de forma	8
I.1.4.1.1. Aleaciones con Memoria de Forma	8
I.1.4.1.2. Cerámicas con Memoria de Forma	9
I.1.4.1.3. Polímeros con Memoria de Forma	9
I.1.4.1.4. Aleaciones Ferromagnéticas con Memoria de Forma	9
I.1.4.2. Textiles cromoactivos	10
I.1.4.2.1. Materiales electrocromicos	10
I.1.4.2.2. Materiales fotocromicos	11
I.1.4.2.3. Materiales termocromicos	11
I.1.4.2.4. Materiales piezocromicos	12
I.1.4.3 – Textiles con microcápsulas	13
I.1.4.4 - Textiles electroactivos	17
I.1.4.4.1 Polímeros conductores	17
I.1.4.4.2. - Materiales piezoeléctricos	21
I.1.5.- Textiles inteligentes por la integración de tecnologías: textrónica	22
I.1.5.1 - Sensores para sistemas textrónicos	23
I.1.5.2. Resto de componentes de un sistema textrónico	26
I.1.5.2.1. Conexiones entre el dispositivo textil y el resto del sistema	26
I.1.5.2.2. Circuito de acondicionamiento de señales (ACS)	28
I.1.5.2.3. Conversor Analógico Digital (CAD o A/D)	29
I.1.5.2.4. Unidad de control (UdC)	29
I.1.5.2.5. Buses y puertos de comunicaciones	29
I.1.5.2.6. Dispositivos externos actuadores para textiles	30
I.1.5.3. Procesos internos de transformación de la información	31
I.1.5.3.1. Procesos de acondicionamiento de las señales	31
I.1.5.3.2. Proceso de conversión de la señal analógica en su forma digital	32
I.1.5.4 Arquitecturas de red para textrónica	34
I.1.5.4.1. Redes inalámbricas	35
I.1.5.4.2. Redes para sistemas llevables	36
I.1.5.4.3. Tecnologías de redes para comunicación externa	36
I.1.5.4.4. Redes personales para la comunicación sobre el cuerpo	37
I.1.5.5. Limitaciones en los sistemas textrónicos	37
I.1.5.5.1. Confortabilidad	38

I.1.5.5.2. Limitado rango de sensores.....	38
I.1.5.5.3. Suministro eléctrico.....	39
I.1.5.5.4. Exposición a condiciones del entorno.....	40
I.1.5.5.5. Condiciones de uso y procesos de mantenimiento.....	40
I.1.5.5.6. Conexiones y conductividad.....	40
I.1.5.5.7. Estandarización.....	41
I.1.5.5.8. Limitaciones no exclusivamente científico-técnicas.....	42
I.1.5.6. Ámbitos de aplicación de la tetrónica.....	42
I.1.5.6.1. Salud.....	42
I.1.5.6.2. Confort.....	43
I.1.5.6.3. Automoción.....	44
I.1.5.6.4. Hogar y domótica.....	45
I.1.5.6.5. Defensa y protección personal.....	46
I.1.5.6.6. Deporte y calidad de vida.....	47
I.2.- Textiles sensores de la deformación elástica.....	49
I.2.1.- Piezoelectricidad para el desarrollo de materiales sensibles por deformación elástica.....	49
I.2.1.1. Definición de piezoelectricidad.....	49
I.2.1.2. Evolución histórica del descubrimiento.....	50
I.2.1.3. Principios del fenómeno: modelo físico de actuación.....	51
I.2.1.4. Relación entre presión y señal eléctrica. Constante de carga piezoeléctrica y constante de voltaje piezoeléctrico.....	52
I.2.1.5. Descripción matemática.....	52
I.2.1.6. Materiales piezoeléctricos.....	53
I.2.1.6.1. Cristales de origen natural.....	53
I.2.1.6.2. Cristales sintéticos.....	54
I.2.1.6.3. Cerámicas.....	54
I.2.1.6.4. Piezocerámicas sin plomo.....	56
I.2.1.6.5. Polímeros. PVDF.....	56
I.2.2. Revisión de sensores textiles de la deformación elástica.....	56
I.2.2.1. Sensores textiles por la deposición de films poliméricos.....	57
I.2.2.2. Sensores textiles por recubrimiento superficial.....	57
I.2.2.3. Sensores textiles con elementos capacitivos.....	58
I.2.2.4. Sensores textiles por la utilización de fibras conductoras.....	59
I.2.2.5. Sensores textiles por el recubrimiento de velos de nanofibras.....	61
I.2.2.6. Sensores textiles por la utilización de fibra óptica.....	61
I.2.2.7. Sensores textiles por la utilización de fibras piezoeléctricas.....	62
I.2.2.8. Integración de sensores en tecnología textil.....	63
I.3. Textiles conductores.....	63
I.3.1.- Fibras textiles conductoras.....	63
I.3.1.1.- Introducción: conductividad eléctrica.....	63
I.3.1.2. Fibras eléctricamente conductoras: generalidades.....	65

I.3.1.3. Fibras intrínsecamente conductoras.....	65
I.3.1.4. Fibras poliméricas intrínsecamente conductoras.....	66
I.3.1.5. Filamentos continuos metálicos.....	67
I.3.1.6. Fibras e hilados recubiertos con materiales conductores.....	68
I.3.1.6.1. Fibras recubiertas por metales.....	68
I.3.1.6.2. Fibras recubiertas por polímeros conductores.....	70
I.3.1.7. Fibras funcionalizadas con partículas conductoras.....	70
I.3.1.7.1. Proceso aditivación de nanopartículas en fibras termoplásticas.....	71
I.3.1.7.2. Nanopartículas conductoras.....	71
I.3.1.8. Otras fibras conductoras: fibras híbridas.....	73
I.3.2. Textiles conductores.....	73
I.3.2.1. Materiales para textiles conductores: hilos conductores.....	74
I.3.2.1.1. Definición y estructuras de los hilados conductores.....	74
I.3.2.1.2. Hilados conductores puros.....	75
I.3.2.1.3. Hilados conductores mixtos.....	75
I.3.2.2. Procesos de fabricación de textiles conductores.....	76
I.3.2.2.1. Tejeduría de calada de textiles conductores.....	76
I.3.2.2.2. Tejeduría de punto de textiles conductores.....	78
I.3.2.2.3. Bordado de textiles conductores (e-broidery).....	80
I.3.2.2.4. Cosido de hilados conductores.....	81
I. 3.3. Consideraciones finales.....	81
II. OBJETIVOS Y PLANIFICACIÓN.....	83
II.1. Objetivos.....	85
II.2. Planificación.....	88
III. EXPERIMENTAL.....	97
III.1. Materiales.....	99
III.2. Métodos y procedimientos.....	101
III.2.1.- Fabricación de hilos conductores.....	102
III.2.2.- Fabricación de tejidos conductores.....	108
III.2.3.- Banco de ensayos para el estudio de sensibilidad al estiramiento.....	110
III.2.3.1. Descripción del primer banco de ensayos para la medida de la variación de la respuesta eléctrica en función de la deformación elástica del tejido.....	111
III.2.3.2. Descripción del segundo banco de ensayos para la medida de la variación de la respuesta eléctrica en función de la deformación elástica del tejido.....	116
III.2.3.3. Descripción del tercer banco de ensayos para el diseño de un textil inteligente a la deformación por elongación.....	120
III.2.4.- Banco de ensayo para el estudio de sensibilidad a la presión.....	121
III.3. Técnicas experimentales.....	122

IV.1. Tejidos sensibles a la deformación por estiramiento.....	127
IV. 1.1.- Estudio de la respuesta eléctrica de tejidos inteligentes sometidos a estiramiento..	127
IV.1.1.1. Sensibilidad a la elongación en el sentido de las filas.....	128
IV.1.1.2. Sensibilidad a la elongación en el sentido de las columnas.....	146
IV.1.1.3. Conclusiones parciales	154
IV. 1.2. Diseño de textiles inteligentes como sensores de estiramiento en función de la respuesta eléctrica.....	156
IV.1.2.1. Estudio de la homogeneidad en las medidas de conducción eléctrica.....	159
IV.1.2.2. Estudio de la simetría de la respuesta eléctrica frente al estiramiento	170
IV.1.2.3. Reproducibilidad de la respuesta eléctrica frente al estiramiento	179
IV.1.2.4. Conclusiones parciales	182
IV. 1.3. Fabricación de un textil inteligente sensible a la deformación por elongación para su utilización como sensor de respiración.....	184
IV.1.3.1. Estudio de la medida de deformación por estiramiento en tórax o abdomen....	184
IV.1.3.2. Diseño y desarrollo de un sensor textil por deformación por estiramiento para medida de respiración	185
IV.1.3.3. Fabricación de un body de bebé con sensor textil por deformación por estiramiento integrado y monitorización de la respiración	195
IV.1.3.4. Conclusiones parciales	198
IV.2. Tejidos sensibles a la deformación por presión.....	200
IV. 2.1. Estudio de la respuesta eléctrica de tejidos inteligentes sometidos a presión.....	200
IV.2.1.1. Modelo 1: Estudio del comportamiento de un sistema de diagonales cruzadas con medida en un punto.....	201
IV.2.1.2. Modelo 2: Estudio del comportamiento de un sistema de diagonales cruzadas con medida en dos puntos.....	210
IV.2.1.3. Modelo 3: Estudio del comportamiento de un sistema de medianas con medida en dos puntos.....	216
IV.2.1.4. Modelo 4: Estudio del comportamiento de un sistema de medianas con medida en dos puntos centrales.....	221
IV.2.1.5. Modelo 5: Estudio del comportamiento de un sistema de doble mallado con aislante	228
IV.2.1.6. Conclusiones parciales.....	233
IV. 2.2. Optimización de textiles inteligentes como sensores de presión.....	236
IV.2.2.1. Respuesta de un sistema sensor de presión en diferentes puntos	237
IV.2.2.2. Respuesta de un sistema sensor con bandas aislantes. Evaluación de la influencia de una perturbación sobre las zonas cercanas.....	253
IV.2.2.3. Respuesta de un sistema complejo con aislante y sustrato de espuma para individualizar las respuestas.....	286
IV.2.2.4. Conclusiones parciales.....	303

V. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS	307
V.1. Conclusiones finales	309
V.2. Futuros trabajos	313
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	317
VII. APÉNDICES	333
VII.1. Listado de Figuras	335
VII.2. Listado de Tablas	344