

INSTINTO



INSTINTO

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE UN SISTEMA INTELIGENTE BASADO EN SENSORES Y ACTUADORES INTEGRADOS EN TEXTILES DE APLICACIÓN A LA PREVENCIÓN, DETECCIÓN Y PROTECCIÓN FRENTE A CAÍDAS DE PERSONAS MAYORES

Informe final de resultados

Programa:	PROGRAMA DE PROYECTOS DE I+D EN COLABORACIÓN
Expediente:	IMDECA/2016/18
Fecha:	30/12/2016



"Proyecto cofinanciado por los Fondos FEDER, dentro del Programa Operativo FEDER de la Comunitat Valenciana 2014 - 2020"



CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	3
1.1	NECESIDAD	3
1.2	NIVEL TECNOLÓGICO	3
1.3	GRADO DE INNOVACIÓN	4
2	RESULTADOS ALCANZADOS	5
3	ACTIVIDADES DESARROLLADAS	6
3.1	INVESTIGACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS A EMPLEAR	7
3.2	DISEÑO DE LA SOLUCIÓN PARA MONITORIZACIÓN DE PARÁMETROS	9
3.2.1	<i>Diseño del calcetín sensorizado</i>	9
3.2.2	<i>Diseño de los elementos de protección pasivos</i>	9
3.2.3	<i>Diseño de los elementos de protección activos</i>	10
3.2.4	<i>Diseño del dispositivo de monitorización de posturas</i>	11
3.3	DESARROLLO DE LOS PROTOTIPOS FINALES	12
3.3.1	<i>Desarrollo del calcetín sensorizado</i>	12
3.3.2	<i>Desarrollo de los elementos de protección pasivos</i>	13
3.3.3	<i>Desarrollo de los elementos de protección activos</i>	13
3.3.4	<i>Desarrollo del dispositivo de monitorización de posturas</i>	14

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Necesidad

En España, en los últimos 20 años, la esperanza de vida se ha incrementado en los hombres en un 8.2% situándose en 80,0 años y un 5.4% en las mujeres situándose en 85,6 años, según las Tablas de mortalidad que publica el INE.

Por otro lado, una de las causas principales de la pérdida de salud en personas de edad avanzada en 2013 fueron las caídas de estas. En la Unión Europea, el 88% de las muertes relacionadas con caídas ocurrió en personas mayores de 75 años, con un total de aproximadamente 35.848 muertes. Durante los últimos años, la evolución de las altas hospitalarias por fractura de cadera ha sufrido un aumento constante, esta lesión supone la causa más frecuente de ingreso en los servicios de traumatología y ortopedia de los hospitales españoles. Se estima que aproximadamente un 90% de las fracturas de cadera en personas mayores son debidas a una caída, siendo el coste medio por paciente de aproximadamente 8.365€, por tanto las consecuencias de las caídas suponen un elevado coste para el sistema sanitario. Además las previsiones demográficas indican que la población mayor de 65 años en la Unión Europea crecerá en un 60% hasta el año 2050, por tanto salvo que se tomen medidas adicionales para prevenir las caídas en las personas mayores, las muertes relacionadas con caídas pueden aumentar hasta 60.000 en el año 2050. La alta incidencia de caídas en personas mayores junto con las previsiones demográficas convierten las caídas en un problema de salud pública.

1.2 Nivel tecnológico

Las causas que producen una caída se pueden distinguir en perturbaciones externas, o circunstancias internas, intrínsecas a la persona. Parámetros como por ejemplo la reducción en longitud y velocidad de zancada asociada al envejecimiento aumenta el riesgo entre las personas mayores de tropezar con obstáculos o irregularidades del pavimento. Diversos estudios han confirmado una importante influencia sobre el riesgo de caídas de los parámetros espaciotemporales de la marcha asociados a este tipo de estabilidad dinámica, variabilidad, asimetría, cadencia, velocidad y longitud de los pasos, entre otros.

Los primeros sistemas de detección de caídas se desarrollaron en la década de 1990, y aunque la técnica ha evolucionado notablemente a lo largo de los años, el principio en el que se basan hoy en día es esencialmente el mismo: discriminar entre eventos de caída y otras actividades de la vida diaria, lo cual se consigue "entrenando" un sistema de sensores con datos recogidos en contextos diversos, incluyendo caídas (reales o simuladas) correctamente identificadas. Dado que la principal consecuencia de las caídas en individuos se traduce fracturas de cadera, como complemento a las medidas preventivas, existen diversas soluciones para la protección pasiva en caso de caída, siendo la solución más común los protectores de cadera en forma de cojín que se colocan por dentro de la ropa interior. Recientemente se han diseñado cinturones con "airbag de cadera" aunque no existen estudios que prueben su eficacia.

1.3 Grado de innovación

En el presente proyecto se está realizando una investigación para el desarrollo de una solución basada en sensores integrados en textil de forma que permitan monitorizar al usuario de forma no invasiva en entorno real, prediciendo posibles sucesos, y siendo aceptables por los usuarios por su comodidad y facilidad de uso.

Los objetivos planteados en el proyecto se encuentran orientados a mejorar la capacidad de innovación de la industria, gracias a la investigación en tecnologías novedosas, que supondrán un avance científico y tecnológico tanto a nivel nacional como internacional. En particular, se pueden distinguir dos dominios principales en los que se llevará a cabo este avance: la integración de sensores en los textiles para monitorizar y proteger al usuario, y el tratamiento de datos para valorar el riesgo de caídas y actuar a tiempo en su prevención.

Actualmente existen múltiples sistemas "portables" (wearables), basados en dispositivos externos que permiten medir ciertos aspectos parámetros. La integración de sensores en textiles, aplicables tanto a la propia indumentaria de los usuarios como a otros elementos del entorno, se encuentra en un nivel de desarrollo mucho más bajo que los basados en dispositivos móviles como smartphones o brazaletes. Respecto al análisis de patrones de movimiento para detectar y clasificar caídas no se ha demostrado su utilidad en sistemas integrados; y existe aún hoy en día un importante problema de especificidad (falsos positivos) en entornos reales.

2 RESULTADOS ALCANZADOS

A continuación se incluye una tabla con los resultados obtenidos del proyecto indicando los resultados alcanzados durante el 2016:

RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE 2016

- Se ha desarrollado un sistema inteligente, basado en sensores y actuadores integrados en textil, capaz tanto de monitorizar y evaluar el riesgo de caídas como proteger activamente en caso de producirse una caída.
- Se han desarrollado soluciones de protección y prevención de caídas que cumplen con los requisitos de calidad, seguridad y funcionalidad.
- Se ha generado conocimiento sobre la integración de sensores y actuadores en textiles, para la medición de distintas variables dotando al sector textil y de confección de la Comunidad Valenciana de productos y metodologías de integración innovadoras con multitud de aplicaciones.
- Se han alcanzado los resultados previstos en cuanto diseño para el desarrollo de sistemas de prevención y protección integrados en tejidos.
- Se ha obtenido una visión de los beneficios (técnicos y económicos) de los nuevos sensores textiles integrados en sus productos finales. Permitiendo ofrecer nuevas posibilidades de aplicación en distintos ámbitos.
- La difusión de los resultados se ha realizado tal como se definió. Tras realizarse un plan de diseminación de los resultados obtenidos se ha ido ejecutando siguiendo dicha planificación.

3 ACTIVIDADES DESARROLLADAS

El trabajo del presente proyecto se ha planificado en 6 paquetes de trabajo a desarrollar en dos anualidades. En esta primera anualidad llevada a cabo en 2016, se han acometido las siguientes actividades:

- PT.1 Investigación de las tecnologías a emplear: Se han revisado las últimas novedades en las diferentes tecnologías con el fin de valorar su incorporación al proyecto en las respectivas líneas de trabajo.
- PT.2 Diseño de la solución para monitorización de parámetros: Diseño de los prototipos atendiendo al estudio de la tecnología llevado a cabo en la fase anterior.
- PT.3 Desarrollo de los prototipos finales: Desarrollo de los prototipos en base a los diseños planteados en el paquete de trabajo 2. Reingeniería de los prototipos desarrollados.
- PT.5 Difusión: Su objetivo es la difusión de los resultados obtenidos, en sectores empresariales, científicos así como público en general.
- PT.6 Gestión y coordinación: Engloba las acciones encaminadas a la gestión y coordinación del proyecto para su correcto desarrollo.



Ilustración 1. Esquema Paquetes de Trabajo proyecto INSTINTO.

La validación de los prototipos funcionales (PT.4) se llevará a cabo en la anualidad de 2017.

3.1 Investigación de las tecnologías a emplear

Previamente a la investigación de las tecnologías a emplear en cada línea de trabajo se han conocido los recientes desarrollos en cada ámbito de aplicación. De esta forma, existen de todo tipo de dispositivos para la detección de caídas basados principalmente en acelerómetros, que envían una señal de ayuda conectados a asientos o camas; pegados al paciente mediante un cinturón; o realizando una acción conjunta con cámaras de video. Respecto a los dispositivos para la protección activa frente a caídas se encuentra en crecimiento exponencial basándose en la tecnología de airbags para determinadas zonas del cuerpo, mientras que en cuanto a las protecciones pasivas principalmente se emplean almohadillas acolchadas para amortiguar los golpes. Por último, para captura de movimiento y monitorización de la pisada del usuario se han empleado en la actualidad sistemas basados en sensores de elevadas dimensiones lo que le convierten en sistemas demasiado pesados para ser empleados en condiciones de usuario. Además cabe destacar que dichos desarrollos se encuentran muy enfocados a una actividad o un ámbito de aplicación muy concretos.

Respecto a la tecnología sensorica se ha recopilado y analizado una gran cantidad de información técnica acerca de todos los sensores con capacidad para adquirir parámetros y seleccionar los óptimos para alcanzar los objetivos del proyecto. Dentro de los sensores de movimiento destacan el uso de acelerómetros, giroscopios o magnetómetros.

Los acelerómetros son dispositivos electromecánicos que detectan las fuerzas de aceleración, ya sea estática o dinámica. Las fuerzas estáticas incluyen la gravedad, mientras que las fuerzas dinámicas pueden incluir vibraciones y movimiento. Los acelerómetros pueden medir la aceleración en uno, dos o tres ejes. Los de tres ejes son más comunes conforme los costos de producción de los mismos baja.

El giroscopio mide la velocidad angular que se define como el número de grados que se gira en un segundo. De esta forma, conociendo el ángulo inicial de la IMU, es posible sumarle el valor que marca el giroscopio para saber el nuevo ángulo a cada momento.

Por su parte, se llaman magnetómetros a los dispositivos que sirven para cuantificar en fuerza o dirección la señal magnética de una muestra. Además de tener una magnitud, el flujo magnético también tiene una dirección o vector. Los magnetómetros vectoriales miden las propiedades del campo magnético que viajan en una determinada dirección. Estos instrumentos ofrecen una lectura

más precisa de la densidad del flujo magnético al eliminar la sensibilidad cruzada y funcionar con un nivel de ruido muy bajo.

Además de sensores de movimiento se han investigado también sensores de presión con el fin de monitorizar la pisada del usuario. Los sensores que mejores resultados muestran son los sensores de presión resistivos ya que ofrecen una determinada resistencia (normalmente muy alta) en ausencia de presión que disminuye en función de la presión ejercida sobre su zona de sensado. Para la correcta evaluación de estos sensores ha sido necesario realizar adaptaciones tanto a nivel hardware como a nivel firmware, que consiste en un divisor resistivo formado por el sensor de presión y una resistencia conocida.

En cuanto a la integración de los sensores en el textil se han estudiado diferentes tecnologías mediante las que se puede llevar a cabo en combinación de las tecnologías existentes y de nuevos materiales como hilos o tintas conductoras. La tecnología textil ofrece numerosas opciones para la integración en textil de los sensores expuestos con anterioridad, tales como:

- Tejeduría de punto
- Tejeduría de calada
- Bordado
- Impresión digital (Screen printing electronics)
- Acabados conductores

Un gran avance en el sector textil se ha conseguido mediante la combinación de tecnologías tradicionales con materiales novedosos. Gracias a la adaptación de las tecnologías tradicionales para trabajar con materiales novedosos como filamentos y tintas conductoras se ha abierto un amplio campo de trabajo en los textiles inteligentes. Es posible por tanto la inserción de circuitos eléctricos conectados a sensores para obtener información biométrica o conectados a leds para iluminar una estancia.

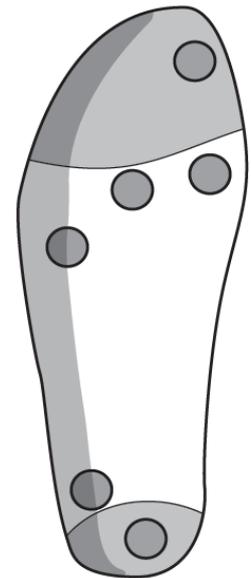
Entre las tecnologías de tejeduría destacan la de calada y de bordado. Mediante la inserción de filamentos conductores es posible sensorizar los tejidos e insertar circuitos. Además, las tecnologías de acabado posibilitan la inserción de elementos conductores para la realización de circuitería mediante bordado o bien mediante deposición de partículas metálicas.

3.2 Diseño de la solución para monitorización de parámetros

3.2.1 Diseño del calcetín sensorizado

La disposición exacta de los sensores será la que se observa en la siguiente ilustración. El material de impresión estará basado en sensores de presión que maximicen el grado de confort del usuario, aumentando así y mejorando la transpirabilidad.

Se considera que la distribución de los sensores es óptima ya que de esta forma se obtiene información del dedo gordo o hallux que es la última parte que tiene contacto con el suelo cuando el pie despega en el ciclo de la marcha humana, y la zona del talón que es la primera zona que tiene contacto con el suelo. Se colocarán también tres sensores localizados en el primer, tercer y quinto metatarso monitorizando por tanto la parte central de la pisada que aporta información acerca de las caídas ya que desde esta zona del pie se puede orientar la distribución de pesos del cuerpo humano.



En el calcetín se empleará electrónica flexible y elástica, es decir, las conexiones de los sensores de presión con el módulo electrónico se realizará del mismo material del que se fabricarán los sensores. Estas conexiones mediante tintas conductoras transmitirán los datos y la alimentación necesaria con total fidelidad.

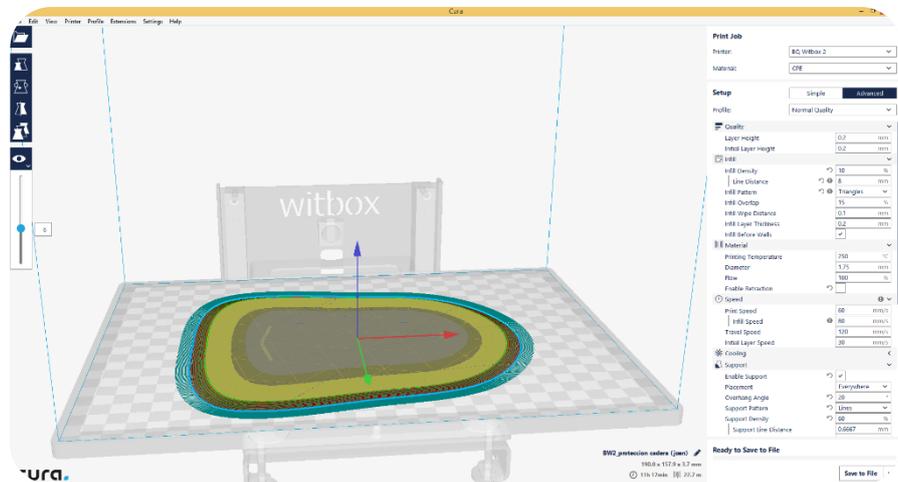
Siguiendo estas premisas, la unidad de procesamiento será flexible en la medida cuanto sea posible, extraíble, e irá colocada ajustada a la altura del tobillo mediante imán. Esta unidad transmitirá los datos mediante tecnología inalámbrica donde se procesarán los datos recibidos desde los sensores y se aplicarán los algoritmos para la detección temprana del riesgo de caída. El calcetín en el que se integran los sensores se desarrolla con materiales y con ligamentos que maximicen el confort y la higiene

3.2.2 Diseño de los elementos de protección pasivos

De entre las tecnologías planteadas para el desarrollo del sistema amortiguador de golpes mediante elementos pasivos se plantea la utilización de tecnología de impresión 3D. Para cada zona anatómica susceptible de ser dañada en una caída es necesario diseñar una protección específica

de forma que se adapte a la perfección evitando roces inoportunos e incomodidades. Por tanto se diseñarán protecciones específicas para caderas, rodillas, codos, espalda y hombros.

Es de vital importancia la definición de la estructura de las protecciones pues se busca que sean lo más acolchadas posible para que amortigüe el golpe absorbiendo las fuerzas del impacto por lo que el filamento empleado deberá poseer una flexibilidad



considerable. Las protecciones deben integrarse en prendas de vestir de punto seamless de forma que se ajusten perfectamente al usuario y se maximice el confort. La integración de las protecciones en las prendas se realizará mediante costura con hilo de poliéster ya que se considera que es la tecnología más apropiada al quedar las protecciones bien sujetas a la zona a la que tienen que proteger no permitiendo el desplazamiento de las mismas en el momento de la caída. Con el fin de que quede de forma más estética posible se insertaran las protecciones en una especie de bolsillo y posteriormente se coserán de forma que las protecciones no queden a la vista.

3.2.3 Diseño de los elementos de protección activos

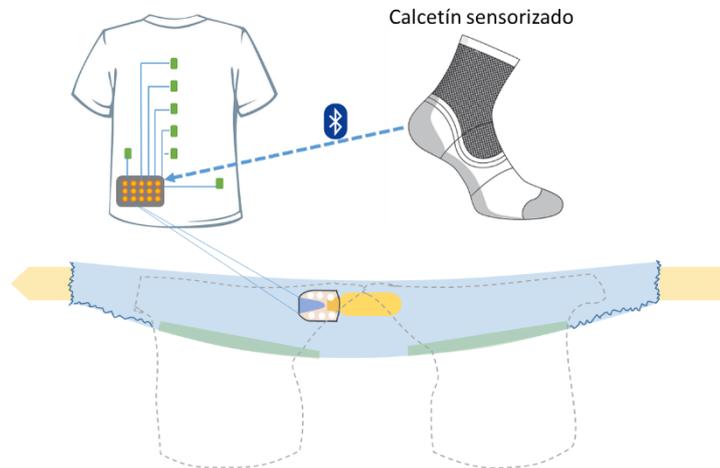
Para el desarrollo de las protecciones activas es necesario diseñar y ensamblar satisfactoriamente tanto la bolsa de aire, el sistema detector de caídas y el sistema activador de la bolsa de aire.

La bolsa de aire debe ser resistente al inflado por lo que se empleará tejido de calada que además de resistir la presión del golpe confine el gas en el interior de la misma son presentar fugas excesivas. El tejido deberá ser liviano de forma que obtenga un sistema cómodo y que no sea excesivamente intrusivo en las tareas diarias. El desarrollo del sistema de protección frente a caídas



no dispondrá de los orificios característicos que poseen los airbags de automoción ya que la permanencia inflada de la bolsa no ocasiona daños adicionales en el usuario.

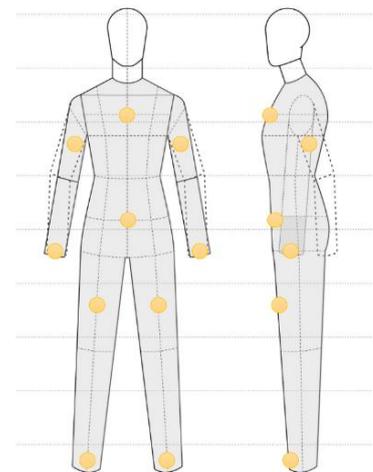
El airbag se activará mediante los sensores insertados tanto en el calcetín para la monitorización de la pisada, así como en combinación de los sensores insertados en el traje y la faja. Cuando se sobrepasen los valores establecidos como límites, en combinación con todos los sensores ubicados en el cuerpo humano se activará el sistema de inflado



Por último el sistema de inflado es indispensable que el sistema sea fácilmente reestructurado de forma que una vez activado el airbag este pueda ser vuelto a introducir en el compartimento donde se ubica para su activación, por lo que la mejor solución es implementar botellas de CO₂ que inflen la bolsa de aire. La liberación del gas se realiza mediante el punzado de la cabeza de la botella mediante un punzón instalado en el sistema accionador.

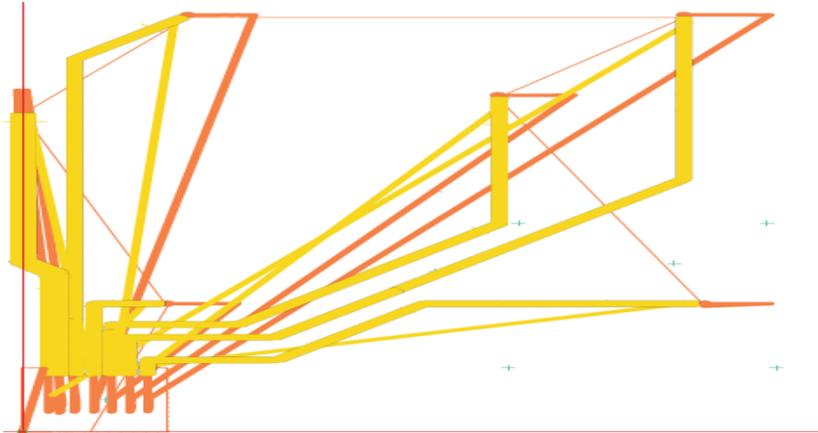
3.2.4 Diseño del dispositivo de monitorización de posturas

Siguiendo las conclusiones extraídas de los trabajos estudiados se van a realizar un total de cuatro prototipos para la monitorización de la aceleración del cuerpo humano para la detección de caídas como es un traje, una camiseta, un pantalón y una faja. Según la bibliografía estudiada las zonas en las que necesariamente tiene que haber sensores serán en el pecho, la cintura y la muñeca. Para el traje sensorizado se ubicarán un total de 10 sensores de forma que los movimientos de los brazos, de las piernas y del tronco queden perfectamente monitorizados.



Los sensores a emplear serán sensores medición inercial (IMU), pues se componen de un acelerómetro de tres ejes y un giroscopio de tres ejes. Recientemente se han desarrollado IMUs incorporando un magnetómetro de tres ejes lo que ofrece un sistema de medición con nueve grados de libertad.

Por último, la conexión de los sensores integrados en el traje, pantalón, camiseta y faja con el módulo electrónico se realizarán mediante bordado con hilo conductor, que sea capaz de transmitir los datos y la alimentación necesaria con total fidelidad. Estos hilos conductores



transmitirán los datos desde los sensores hasta el punto donde se sitúe la plataforma inteligente, que analizará todos estos datos y los transmitirá al PC o al dispositivo móvil. El conexionado será resistente a lavados, por lo que los hilos conductores no tienen que perder su capacidad conductora

3.3 Desarrollo de los prototipos finales

3.3.1 Desarrollo del calcetín sensorizado

El desarrollo del calcetín sensorizado se ha llevado a cabo siguiendo los diseños previamente planteados de forma que se insertan un total de seis sensores de presión piezoresistivos multicapa realizados mediante tintas conductoras. Con el fin de subsanar las posibles deformaciones y elongaciones durante la marcha del usuario se han diseñado las pistas siguiendo unos meandros que incrementan la capacidad de elongación de estas

El calcetín se ha desarrollado mediante tecnología de punto empleando fibras naturales confortables como es el algodón ya que absorbe el sudor, se saturan rápidamente de humedad y se secan lentamente.

El modulo electrónico es el encargado de transmitir la información via Bluetooth a la app móvil que monitoriza la pisada del usuario y se inserta a la altura del tobillo.



Una vez desarrollados los calcetines se han realizado pruebas de calibración con pesas con el objetivo de conocer los radios de acción de cada uno de los sensores incorporados en el diseño de la monitorización de la pisada. Con la disposición de los sensores que se ha planteado quedan cubiertas perfectamente las zonas importantes a cubrir

3.3.2 Desarrollo de los elementos de protección pasivos

Se han desarrollado diferentes diseños específicos para cada zona del cuerpo a proteger ya que varía la morfología de estos. Se han empleado filamentos flexibles de diferentes proveedores, con diferentes diseños y diferentes densidades, con el fin de determinar aquel que mejores propiedades presente para proteger frente a golpes.

Con el fin de aligerar el peso de las protecciones y favorecer la transpirabilidad de las mismas se han diseñado con una serie de orificios cuya arista es redondeada para evitar que dañen al usuario en una potencial caída.



Una vez impresas las protecciones, se han integrado con diferentes disposiciones en prenda y evaluando la comodidad de las mismas para escoger la mejor opción. Se ha decidido comenzar por unas localizaciones de partida para cada una de las protecciones e ir disminuyendo con variaciones de 1 cm.

3.3.3 Desarrollo de los elementos de protección activos

Para la bolsa de aire que integrará el airbag se han desarrollado diferentes disposiciones con diferentes tejidos y tecnologías de sellado.

Se ha desarrollado un prototipo que consta de una doble capa de tejido termosellado entre sí de forma que el recubrimiento también es doble por lo que la pérdida de aire se limita considerablemente. En la zona de la unión, se ha termosellado la cara interior del tejido donde se encuentra el recubrimiento de poliuretano. Se ha desarrollado también un prototipo combinando nylon con un recubrimiento de



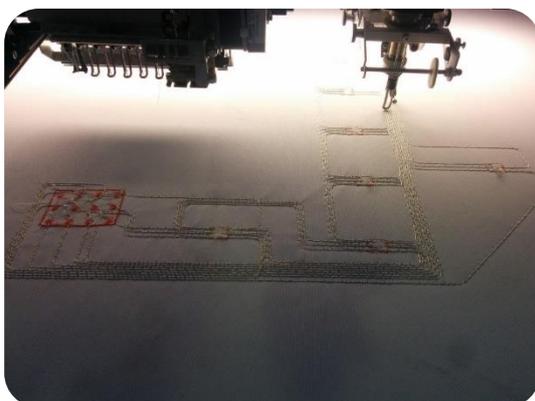
poliuretano termoplástico y tejido de nylon sin recubrimiento; por último se ha desarrollado un prototipo mediante sellado por alta frecuencia, que genera una soldadura más resistente que mediante termosellado. Para llevar a cabo dicha soldadura es necesario el empleo de tejidos con un recubrimiento de espesor más elevado por lo que se ha empleado un tejido de nylon recubierto con poliuretano termoplástico de espesor mayor.



Para la integración de la bolsa de aire se ha desarrollado un cinturón en el que se inserten las bolsas de aire, el activador y el sistema detector de caídas. El activador del airbag queda situado en la parte delantera ya que el ser voluminoso podría ser peligroso que se instalara en la parte trasera en caso de una eventual caída posterior. El activador del airbag va insertado en un bolsillo independiente y cerrado con una cremallera para evitar que se mueva en exceso y que una vez activado el airbag no quede a la vista.

3.3.4 Desarrollo del dispositivo de monitorización de posturas

Se ha llevado a cabo el diseño y patronaje de confección, se ha definido el tipo de tejido a utilizar, así como la posición exacta de los diferentes sensores a integrar para la correcta toma de datos útiles. Se han desarrollado tanto un cinturón que integra un único sensor de monitorización de movimientos como una camiseta que integra siete sensores.



La ubicación del módulo electrónico en la camiseta se ha centrado a la altura del pecho ya que de esta forma no interfiere en la actividad diaria del usuario y se minimiza la distancia de circuitos empleados, mientras que en la faja tendrá lugar en la cintura, centrada de forma que se encuentre simulando la hebilla del cinturón.

Para validar el funcionamiento de los bordados, se han comprobado conectando la electrónica de control y mediante el software desarrollado, se testea que todos los sensores funcionen correctamente. Se ha comprobado el funcionamiento de cada elemento que forma el sistema de monitorización siendo este correcto.