

HERTMES: Herramienta para Evaluación Rápida de Trastornos Musculo- Esqueléticos mediante Sensores Inerciales

STT Ingeniería y Sistemas



ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
ÍNDICE DE IMÁGENES	2
INTRODUCCIÓN.....	4
1. MEMORIA JUSTIFICATIVA DE LAS ACTUACIONES LLEVADAS A CABO.....	6
1.1 ESTRUCTURA DEL PROYECTO	6
1.2 GESTIÓN DEL PROYECTO.....	9
1.3 ESPECIFICACIONES Y DISEÑO	9
1.3.1 DEFINICIÓN DE ESPECIFICACIONES.....	10
1.3.2 DISEÑO DEL HARDWARE.....	10
1.3.3 DISEÑO DEL SOFTWARE	11
1.4 DESARROLLO DEL PROYECTO	11
1.4.1 DESARROLLO DEL HARDWARE.....	11
1.4.2 DESARROLLO DEL SOFTWARE.....	12
1.4.3 INTEGRACIÓN	13
1.5 VALIDACIÓN.....	13
1.5.1 ENSAYOS EN LABORATORIO	13
1.5.2 ENSAYOS FINALES	14
1.6 DIFUSIÓN	14
2. RESUMEN EJECUTIVO DEL PROYECTO.....	15
2.1 DATOS DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	15
2.1.1 TÍTULO	15
2.1.2 AUTOR O AUTORES.....	15
2.1.3 ENTIDAD SUBVENCIONADA.....	15
2.1.4 FECHAS DE REALIZACIÓN.....	17
2.1.5 PALABRAS CLAVE.....	17
2.2 SINOPSIS.....	17
2.3 METODOLOGÍA.....	20
2.4 RESULTADOS.....	21
2.5 UTILIDAD PRÁCTICA DE LOS RESULTADOS EN RELACIÓN CON LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES.....	28
2.6 CONCLUSIONES FINALES Y POSIBLES RECOMENDACIONES.....	29
2.7 DIFUSIÓN Y EXPLOTACIÓN DE RESULTADOS.....	30
2.8 BIBLIOGRAFÍA	30
3. PRESUPUESTO DE LA ACTIVIDAD O ACTIVIDADES SUBVENCIONADAS	31

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1. PORCENTAJES DE TME.	4
IMAGEN 2. DIAGRAMA DE GANTT.....	9
IMAGEN 3. METODOLOGÍA DE REFINAMIENTO PROGRESIVO.....	20
IMAGEN 4. SENSOR INERCIAL STT-IBS.....	21
IMAGEN 5. ACCESO A LA BASE DE DATOS.....	22
IMAGEN 6. SELECCIÓN DE PROTOCOLO DE EVALUACIÓN.....	22
IMAGEN 7. ASIGNACIÓN DE SENSORES.....	23
IMAGEN 8. VENTANA PRINCIPAL DE LA APLICACIÓN: LANZAMIENTO DE LA GRABACIÓN. .	23
IMAGEN 9. REPRESENTACIÓN DE RESULTADOS.	24

IMAGEN 10. SINCRONIZACIÓN CON VIDEO.	24
IMAGEN 11. INFORME GENERADO AUTOMÁTICAMENTE.....	25
IMAGEN 12. MEDIDAS ANGULARES CON EL MÉTODO RULA.....	26
IMAGEN 13. MEDIDAS ANGULARES CON EL MÉTODO REBA: CABEZA, TRONCO Y TREN INFERIOR.....	27
IMAGEN 14. MEDIDAS ANGULARES CON EL MÉTODO REBA: BRAZOS.	27

INTRODUCCIÓN

Según la encuesta Eurofund (2013), el 48% de los trabajadores de la Unión Europea ha presentado dolor de espalda o de tipo muscular en algún momento de su vida laboral. Así, las enfermedades debidas a trastornos musculo-esqueléticos (TME) son la primera causa de absentismo laboral, estimándose que el coste económico de los TME supone el 1,6% del PIB de la Unión Europea, aunque en algunos países este porcentaje puede alcanzar hasta el 3,1% de su PIB (ver IMAGEN 1).

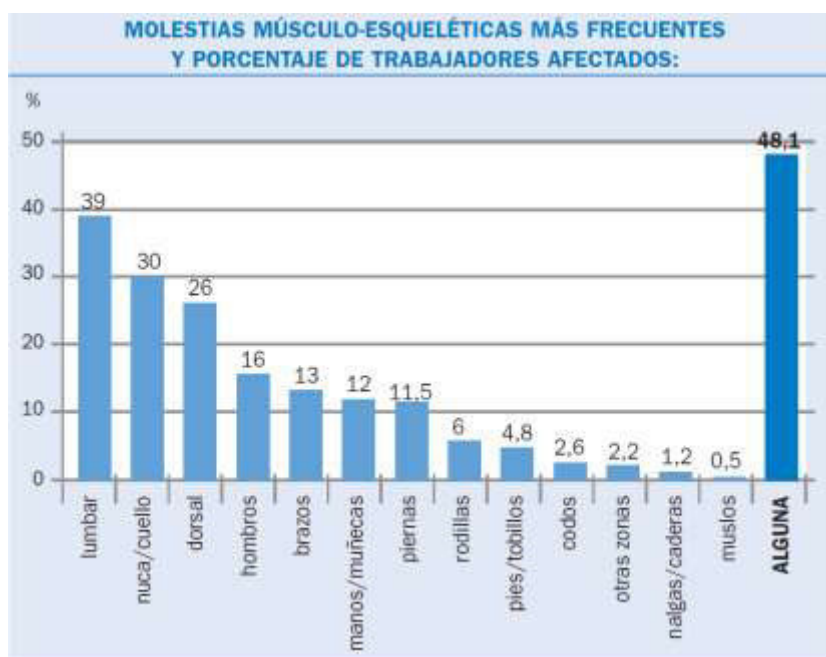


IMAGEN 1. PORCENTAJES DE TME.

Según un informe del Instituto Navarro de Salud Laboral, el conjunto de los TME representó el 39% del total de todos los accidentes de trabajo y enfermedades profesionales en el año 2006. El 31% del total de accidentes de trabajo con baja notificados (3 de cada 10) fueron debidos a sobre-esfuerzos; el 93% del total de las enfermedades profesionales con baja notificada (9 de cada 10) fueron TME. La Figura 2 muestra la evolución de los TME en el tiempo en la comunidad navarra (fuente INSL).

Por otra parte, el informe Word Economic Forum estima que el retorno para las compañías que invierten en programas de vigilancia de la salud empresarial por

cada euro invertido es de entre 2,5 y 4,8 euros por absentismo y de entre 2,3 y 5,9 euros por costes de enfermedad.

Es en este ámbito donde se enmarcan los desarrollos realizados en el marco del proyecto descrito en esta memoria. El objetivo principal del proyecto ha sido el desarrollo de un sistema de análisis biomecánico, portátil e inalámbrico, para la evaluación en tiempo real de actividades profesionales realizadas en el puesto de trabajo. El sistema está basado en el uso de microsensors de movimiento y visión artificial, incorporando técnicas de evaluación ergonómica.

En la práctica profesional, los métodos más ampliamente utilizados en la evaluación de actividades profesionales están basados en la grabación en video de las operaciones realizadas por el trabajador en el puesto de trabajo y su posterior análisis por parte de los técnicos del servicio de prevención de riesgos. Debido a la ingente cantidad de datos a procesar, la valoración debe basarse en parámetros obtenidos mediante métodos estadísticos, los cuales constituyen la base del informe elaborado por el técnico de prevención. El proceso de análisis de las imágenes requiere del analista un largo tiempo de revisión de las grabaciones, siendo éste un proceso costoso, tedioso y que puede comportar errores de apreciación.

El sistema implementado en este proyecto constituye una nueva herramienta para la evaluación rápida de puestos de trabajo. El uso de sensores inerciales en combinación con la grabación de video permite cuantificar de forma objetiva e inmediata las características de las operaciones llevadas a cabo por los operarios analizados. El nuevo sistema analiza de forma automática todos los datos grabados durante la ejecución de las operaciones y proporciona información cuantitativa y precisa, adaptada al método de valoración elegido. El sistema también permite elaborar los datos cuantitativos del informe de manera inmediata, de modo que el analista puede hacer una primera valoración en el mismo momento de la grabación de las operaciones; posteriormente, puede revisar los datos grabados en la base de datos, con el fin de compilar el informe definitivo.

Esta nueva herramienta permite reducir de forma drástica el tiempo necesario para la valoración de puestos de trabajo, proporcionando además información más precisa que la obtenida por los métodos actualmente utilizados.

1. MEMORIA JUSTIFICATIVA DE LAS ACTUACIONES LLEVADAS A CABO

En los siguientes apartados se describen las principales actuaciones llevadas a cabo en los diversos paquetes de trabajo en que se ha estructurado el proyecto.

1.1 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El proyecto descrito en esta memoria ha sido desarrollado en un periodo de 12 meses. Su ejecución se ha distribuido en cuatro tareas técnicas, además de una tarea general de gestión y coordinación de la actividad. El proyecto se ha desarrollado de acuerdo a la estructura descrita en los siguientes puntos.

0- GESTIÓN

Esta actividad se ha extendido a lo largo de todo el proyecto. Las actuaciones en esta actividad se han encaminado a la coordinación de las diversas tareas en que se ha estructurado el proyecto.

1- ESPECIFICACIONES Y DISEÑO

En este paquete de trabajo se definieron las especificaciones del nuevo producto y se diseñaron las funcionalidades que debía incorporar. La primera tarea desarrollada se centró en el estudio de métodos de análisis ergonómico, con objeto de seleccionar los métodos más apropiados al problema planteado. En línea con los objetivos del proyecto, también se plantearon las especificaciones para la implementación de una función de grabación de video sincronizado con los datos de captura recogidos por los sensores inerciales. Al mismo tiempo, se consideró conveniente la integración de otros periféricos en la aplicación, tales como dinamómetros, electromiógrafos, etc.

Debido a la diversidad de métodos de análisis ergonómico documentados en la literatura, se observó necesario definir las especificaciones de un sistema abierto que permitiera la incorporación de nuevos protocolos, de forma rápida y sencilla. Se consideró que esta interfaz debería poder ser utilizada por usuarios sin formación específica en lenguajes de programación de alta nivel.

Finalmente, se definieron las especificaciones que debía satisfacer la interfaz gráfica de usuario y se identificaron los módulos de software que se debían modificar o desarrollar para incorporar todas las funciones consideradas.

2- DESARROLLO

El bloque de trabajo dedicado al desarrollo del nuevo producto se extendió por un periodo de diez meses, como estaba previsto en el plan de trabajo. Este bloque se articuló en tres tareas dedicadas al desarrollo del hardware, el desarrollo del software y la integración del prototipo, respectivamente.

En las tareas de desarrollo de hardware, se contemplaron los desarrollos encaminados al uso de un número variable de sensores, de modo que éste se ajustara a las necesidades particulares del protocolo de análisis elegido. También se abordaron las tareas necesarias para el uso de múltiples sensores sobre el mismo stack de Bluetooth, de modo que el número de sensores gestionado pudiera ser superior a seis. Dentro de este apartado, se hicieron los desarrollos necesarios para la grabación de video sincronizada con los datos de los sensores inerciales. Esta tarea se abordó con máxima generalidad, de modo que permitiera el uso de cualquier tipo de cámaras, desde sencillas webcams hasta cámaras profesionales. Finalmente, se modificó la aplicación para permitir la integración de la misma con otros periféricos, tales como dinamómetros, electromiógrafos, etc.

En las tareas de desarrollo de software, se implementó una interfaz gráfica que permitiera al usuario el manejo de las nuevas funcionalidades. Para facilitar la integración de estas funcionalidades, se modificó la arquitectura interna del software, de modo que las funciones adicionales se implementan mediante el concepto de plug-ins. Esta nueva arquitectura se basa en el concepto de plug and play: conecta y utiliza. Esta arquitectura permite la programación y uso de funcionalidades adicionales en la aplicación informática, sin necesidad de modificar el código fuente original de la misma. Únicamente deben programarse las nuevas funciones que se desean integrar y utilizar la interfaz de comunicación proporcionada por los plug-ins; de este modo, las nuevas opciones son llamadas por la aplicación original, se necesita de modificar el código fuente de la misma. Dentro de las tareas de desarrollo de software, se implementó un sistema de cálculo que facilita la

programación de nuevos protocolos o métodos de evaluación, de forma rápida y sencilla. Este sistema de cálculo accede a los valores de las variables adquiridas por los sensores inerciales y el resto de periféricos conectados al sistema, completa los cálculos asociados al método de evaluación y accede a las interfaces correspondientes para la representación de resultados en forma de animaciones tridimensionales, gráficos y generación de informes. Finalmente, dentro de las tareas de desarrollo de software, se implementó una base de datos que permite gestionar las grabaciones hechas para los sujetos considerados en el estudio. La implementación de esta base de datos se llevó a cabo de modo que la misma puede ser utilizada de forma local (sobre un ordenador) o de manera distribuida, haciendo uso de servicios de nueva. Esta segunda opción tiene la ventaja de centralizar los datos de los sujetos y permitir al técnico el acceso a grabaciones realizadas en otras fechas, incluso mientras está haciendo servicios de análisis en las instalaciones de las empresas demandantes del servicio de prevención de riesgos.

En este bloque de trabajo se recogieron los resultados de los desarrollos de hardware y software y se integraron para la consecución de un prototipo funcional del producto completo.

3- VALIDACIÓN

En este bloque de trabajo se acometieron las actividades de validación del prototipo implementado en las tareas de desarrollo. Este prototipo se validó inicialmente en condiciones de laboratorio, comparando los resultados proporcionados por el prototipo con los datos generados por un sistema óptico de captura de movimiento. En la segunda etapa de validación, el prototipo se utilizó en condiciones de trabajo, analizando las operaciones realizadas por operarios en las instalaciones de STT.

4- DIFUSIÓN

Dentro de este paquete de trabajo se han comenzado actividades orientadas a la difusión del nuevo producto entre los usuarios y empresas que son potenciales clientes del mismo.

Tarea	Mes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0. GESTIÓN												
I. FASE DE ESPECIFICACIONES Y DISEÑO												
Tarea I.1. Estado del arte		■										
Tarea I.2. Especificaciones del nuevo producto		■										
Tarea I.3. Diseño del <i>hardware</i>		■	■									
Tarea I.4. Diseño del <i>software</i>		■	■									
II. FASE DE DESARROLLO												
Tarea II.1. Desarrollo del <i>hardware</i>		■	■	■	■	■	■	■				
Tarea II.2. Desarrollo del <i>software</i>				■	■	■	■	■	■			
Tarea II.3. Integración y construcción del prototipo								■	■	■	■	
III. FASE DE VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO												
Tarea III.1. Ensayos en la laboratorio										■	■	
Tarea III.2. Ensayos en condiciones reales de trabajo											■	■
Tarea III.3. Validación final del prototipo												■
IV. FASE DE DIFUSIÓN												
Tarea VI.1. Actividades de difusión											■	■

IMAGEN 2. DIAGRAMA DE GANTT.

La IMAGEN 2 muestra la distribución temporal de las tareas que se desarrollaron para la ejecución de este proyecto.

Los siguientes apartados describen los paquetes de trabajo en que se estructuró el proyecto; cada apartado corresponde a un paquete de trabajo e incluye una relación de las actividades que se llevaron a cabo en cada uno de ellos.

1.2 GESTIÓN DEL PROYECTO

Las actividades realizadas para la gestión del proyecto comprendieron las siguientes tareas:

- Coordinación técnica del equipo de trabajo.
- Gestión de la documentación del proyecto.
- Coordinación de las reuniones de desarrollo y seguimiento.
- Control de calidad de los métodos de trabajo y de validación.

1.3 ESPECIFICACIONES Y DISEÑO

Las tareas completadas en la fase de definición de especificaciones y diseño del nuevo producto se agruparon en tres categorías distintas, de modo que se contemplaron las actividades de información y documentación, en segundo lugar, definición de especificaciones y diseño del *hardware* y, en tercer lugar, definición de especificaciones y diseño del *software*.

1.3.1 DEFINICIÓN DE ESPECIFICACIONES

Las actividades que se completaron en este apartado se centraron en los siguientes puntos:

- Estudio del estado del arte en métodos de valoración ergonómica.
- Especificaciones para la adquisición de datos cinemáticos para la aplicación de los métodos de valoración ergonómica analizados.
- Formulación algorítmica de los métodos de valoración ergonómica para su implementación en un programa de ordenador.
- Especificaciones para la grabación en video de las operaciones sincronizado con los sensores inerciales de grabación de datos cinemáticos.
- Especificaciones para la adquisición de datos adicionales para la aplicación de los métodos de valoración ergonómica analizados.
- Especificaciones para el módulo de programación de métodos de valoración ergonómica.
- Especificaciones para la interfaz de usuario.
- Especificaciones para el módulo de representación gráfica de resultados.
- Especificaciones para el módulo de generación de informes.

1.3.2 DISEÑO DEL HARDWARE

Dentro del apartado del diseño del hardware, se llevaron a cabo las siguientes acciones:

- Diseño de los protocolos de comunicación entre sensores y el ordenador donde se ejecuta la aplicación.
- Diseño de la arquitectura de la aplicación para trabajar con un número variable de sensores en función del protocolo de análisis seleccionado.
- Diseño de los elementos para la sincronización entre los sensores inerciales y las cámaras de grabación de video.
- Diseño de los elementos de sincronización entre los sensores inerciales y otros periféricos de adquisición de datos; en particular, se consideró la integración con dinamómetros y electromiógrafos.

1.3.3 DISEÑO DEL SOFTWARE

En el apartado de diseño del software, se desarrollaron las siguientes actividades:

- Diseño de la arquitectura interna de la aplicación para la programación de las nuevas funciones requeridas por los métodos de valoración ergonómica. En particular, se prestó especial atención a la arquitectura basada en plug-ins.
- Diseño de la interfaz gráfica de usuario de la nueva aplicación.
- Diseño de los módulos de cálculo para la programación de las expresiones matemáticas que proporcionan valores cuantitativos del método de valoración.
- Diseño de los componentes de software para la representación gráfica de los resultados.
- Diseño de los componentes de software para la generación automática de informes.
- Diseño de la base de datos para almacenar los registros.

1.4 DESARROLLO DEL PROYECTO

Las actividades de desarrollo del nuevo producto se agruparon en tres paquetes de trabajo diferenciados: el primero se centró en las tareas de desarrollo de hardware; el segundo se ocupó de las tareas de desarrollo de software; y, en el tercero, se integró un prototipo del producto, empleando los resultados de las tareas anteriores.

1.4.1 DESARROLLO DEL HARDWARE

Las tareas de desarrollo de hardware llevadas a cabo se resumen en los siguientes puntos:

- Implementación de protocolos de comunicación entre sensores individuales y el ordenador donde se ejecuta la aplicación. En esta tarea, se implementó un agente de comunicaciones que permite superar las limitaciones que impone el sistema operativo Windows en la gestión del stack de Bluetooth. El desarrollo realizado permite gestionar (mediante un micro ordenador en Linux) varias instancias del stack Bluetooth, de modo que pueden utilizarse más de seis sensores inerciales simultáneamente.

- Implementación de un módulo de gestión de sensores que permite utilizar el número mínimo de sensores requerido por el protocolo de evaluación ergonómica seleccionado.
- Implementación de un módulo de comunicación y sincronización entre los sensores inerciales y cámaras de grabación de video conectadas al ordenador. Este módulo permite sincronizar los fotogramas de video y los datos cinemáticos grabados por los sensores inerciales.
Este desarrollo se llevó a cabo con la máxima generalidad, de modo que el módulo de comunicación y sincronismo permite el uso simultáneo de los sensores inerciales con cualquier tipo de cámara de video, desde sencillas webcams hasta cámaras profesionales.
- Implementación de un módulo de comunicación y sincronización entre los sensores inerciales y otros periféricos de adquisición de datos.

1.4.2 DESARROLLO DEL SOFTWARE

En la implementación del software se completaron las tareas que se describen a continuación:

- Implementación de la arquitectura de software para el uso de componentes plug and play. Esta arquitectura facilita el crecimiento de la aplicación, incluyendo nuevos métodos de cálculo y otras funcionalidades genéricas, sin necesidad de modificar el código fuente de la aplicación principal. Las funcionalidades nuevas se programan como plug-ins, que se invocan desde la aplicación principal mediante una interfaz de comunicación estándar.
- Implementación de la interfaz gráfica de usuario para la utilización de los métodos de análisis ergonómico seleccionados. Esta implementación incluyó los elementos de selección de los protocolos, activación de sensores, cálculo de parámetros, representación gráfica de resultados 2D y 3D y generación automática de informes.
- Implementación de un módulo que permite llevar a cabo los cálculos requeridos por los métodos de análisis ergonómico documentados en la bibliografía. El módulo implementado calcula parámetros biomecánicos del movimiento del sujeto y cuantificar los criterios de valoración asociados a cada protocolo particular. Se prestó especial atención a la eficiencia numérica

de los módulos, de modo que los cálculos se puedan completar en un breve intervalo de tiempo y se puedan presentar inmediatamente al analista.

- Implementación de módulos de software para la representación gráfica de los resultados obtenidos con los protocolos de evaluación.
- Implementación de módulos de software para la generación automática de un informe de valoración correspondiente al protocolo seleccionado.
- Implementación de una base de datos para la gestión de los datos adquiridos en las sesiones de valoración. La base de datos se implementó de modo que puede utilizarse de forma local sobre el ordenador usado durante el proceso de adquisición o de forma distribuida, empleando servicios en la nube. Esta segunda opción facilita el acceso a los datos desde cualquier lugar en el que se utilice el equipo, tanto en las oficinas del servicio de prevención como en las sesiones de valoración en campo.

1.4.3 INTEGRACIÓN

Las tareas desarrolladas en este apartado se centraron en la integración de los desarrollos de hardware y software para la consecución de un prototipo funcional del nuevo producto. El nivel de desarrollo alcanzado en la implementación de la tecnología se califica de TRL 6 (technology demonstrated in relevant environment –industrially relevant environment in the case of key enabling technologies–), de acuerdo con los criterios definidos por la Comisión Europea.

1.5 VALIDACIÓN

Las actividades de validación del nuevo producto se desarrollaron en dos etapas. En la primera etapa se llevaron a cabo pruebas de validación en laboratorio; en la segunda etapa, se probó el prototipo en las mismas condiciones de trabajo que se aplican por los técnicos de prevención de riesgos.

1.5.1 ENSAYOS EN LABORATORIO

Las actividades de validación en laboratorio se llevaron a cabo en las instalaciones de STT, en el laboratorio de análisis de movimiento. Estas acciones de validación incluyeron:

- Pruebas de funcionamiento del sistema integrado.

- Ensayos comparativos con otros sistemas de medida cinemática. En particular, se utilizó como elemento de referencia comparativa un sistema de captura de movimiento óptico.

1.5.2 ENSAYOS FINALES

Los ensayos finales del prototipo implementado se hicieron utilizando el sistema de la misma manera que sería utilizado por técnicos de valoración de riesgos laborales. Estas pruebas incluyeron medidas de varios operarios llevando a cabo actividades de montaje, desmontaje y manipulación de cargas, en condiciones reales de trabajo. Las pruebas se realizaron en las instalaciones de STT.

1.6 DIFUSIÓN

En este apartado se han comenzado las tareas de difusión y promoción del resultado obtenido en el proyecto. Estas acciones, comenzadas en la última etapa de ejecución del proyecto, han consistido, hasta el momento, en:

- La presentación del equipo a algunos servicios de prevención de riesgos de grandes empresas del sector del automóvil y aeroespacial.
- La presentación del sistema a empresas que prestan servicios de prevención de riesgos laborales.
- Presentación de los resultados obtenidos en exhibiciones especializadas en Valencia (Junio 2015) y Poitiers (Julio 2015).

2. RESUMEN EJECUTIVO DEL PROYECTO

2.1 DATOS DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

2.1.1 TÍTULO

El título del proyecto justificado es “Herramienta para la evaluación rápida de trastornos músculo-esqueléticos mediante sensores inerciales”. El acrónimo del proyecto es Hertmes.

2.1.2 AUTOR O AUTORES

Los técnicos que han desarrollado el proyecto son:

- Denis Sánchez Argoitia (Ingeniero en informática)
- Pablo Callejo Goena (Ingeniero de telecomunicaciones)
- Jose Manuel Jiménez Bascones (Doctor ingeniero en dinámica de estructuras y sistemas mecánicos complejos)

2.1.3 ENTIDAD SUBVENCIONADA

La entidad subvencionada es la empresa STT Ingeniería y Sistemas. STT fue creada en abril de 1998. Desde su inicio, el objetivo de la empresa ha sido el desarrollo de productos y soluciones innovadoras de hardware y software. Entre los clientes de STT se incluyen tanto el consumidor final como la industria. STT no sólo proporciona a sus clientes productos altamente innovadores, sino que además desarrolla soluciones personalizadas y ofrece servicios de consultoría y formación. Los objetivos y la filosofía de la empresa se resumen en los siguientes puntos:

- Desarrollar productos innovadores y avanzadas herramientas de ingeniería.
- Proporcionar excelentes servicios y soporte a los clientes y usuarios.

La velocidad de respuesta y la calidad de las soluciones ofrecidas son los factores determinantes del negocio en el que opera a diario STT.

STT desarrolla tecnología y productos en los siguientes campos de actuación:

- Captura del movimiento en tiempo real.
- Visión artificial 2D y 3D.
- Escáneres 3D.
- Simulación por ordenador y visualización avanzada.

- Aplicaciones de gestión de la información.
- Configuradores de producto.

STT adapta sus servicios y desarrolla sus productos a medida que aumenta la dinámica de los procesos industriales y las demandas de los clientes. La empresa cuenta con una plantilla profesional altamente cualificados y una amplia red de distribuidores que comercializa sus productos en todo el mundo.

Actualmente, el sector sanitario supone aproximadamente un 28% de la cifra de negocio de STT. En el sector de la sanidad, STT plantea el crecimiento de su oferta tecnológica en el desarrollo de nuevos productos y servicios en los siguientes campos:

- **Sistemas de gestión de la información:** Dentro del sector sanitario, la empresa trabaja activamente en el desarrollo e implementación práctica de sistemas informáticos para la gestión integral de la información (historia clínica electrónica) en clínicas y centros asistenciales.
- **Valoración funcional y rehabilitación:** En esta área de actividad, STT está inmersa en un continuo proceso de innovación en lo relativo a metodologías de captura y análisis del movimiento, tanto en términos del hardware empleado (sensores) y las correspondientes herramientas de software (aplicaciones), como en la implementación de los protocolos de evaluación más adecuados.
- **Fabricación de ortesis y prótesis a medida:** En el sector de las ortesis y prótesis personalizadas, STT desarrolla nuevas técnicas de escaneo tridimensional, así como herramientas de software para el tratamiento de los datos. Igualmente, STT trabaja en métodos de fabricación eficiente de las prótesis y ortesis diseñadas por los especialistas.
- **Monitorización de procesos:** En este campo, STT pretende exportar la experiencia adquirida en el desarrollo e implementación de sistemas de visión artificial para el control de calidad de la producción industrial a la monitorización de procesos en el campo sanitario.

La estrategia de la empresa se cifra en la mejora continua de los productos y servicios ofertados así como en la mejora de los medios productivos. STT es una empresa de base tecnológica y, en consecuencia, dirige sus esfuerzos a la

innovación en la tecnología incluida en sus productos. El esfuerzo de investigación, desarrollo e innovación de STT se centra en las siguientes áreas:

- Industria
- Sanidad
- Realidad virtual y realidad aumentada
- Audiovisual
- Deporte y ocio

Estas líneas están en la base de los productos y servicios ofertados por STT.

Los objetivos del proyecto propuesto están alineados con varias líneas estratégicas de desarrollo actualmente definidas en STT, en particular con la mejora y actualización de los sistemas de captura de movimiento y herramientas de análisis ergonómico aplicadas a la evaluación y prevención de riesgos laborales.

Por otra parte, el conocimiento y las herramientas desarrolladas en este proyecto contribuirán de forma determinante a la mejora de las soluciones que STT ofrece en otros sectores de mercado en los cuales se emplean los sistemas de captura de movimiento.

2.1.4 FECHAS DE REALIZACIÓN

El proyecto se realizó entre Junio de 2014 y Mayo de 2015.

2.1.5 PALABRAS CLAVE

Los términos clave para la calificación del proyecto y sus resultados son:

- Evaluación rápida de riesgos laborales.
- Prevención de riesgos laborales mediante captura de movimiento con sensores inerciales y grabación de video con cámaras estándar.
- Evaluación objetiva y cuantitativa de riesgos laborales.

2.2 SINOPSIS

Los métodos actualmente utilizados en la evaluación de actividades profesionales están basados en la grabación en video de las operaciones realizadas por el trabajador en el puesto de trabajo y su posterior análisis por parte de los técnicos del servicio de prevención de riesgos. Debido a la ingente cantidad de datos a procesar, la valoración debe basarse en parámetros obtenidos mediante métodos estadísticos, los cuales constituyen la base del informe elaborado por el técnico de prevención. El

proceso de análisis de las imágenes requiere del analista un largo tiempo de revisión de las grabaciones, siendo éste un proceso costoso, tedioso y que puede comportar errores de apreciación.

El desarrollo del sistema propuesto en este proyecto aporta una nueva herramienta de evaluación rápida de actividades profesionales, orientada a aumentar la precisión de los métodos de evaluación empleados y mejorar la eficiencia del servicio prestado por los departamentos y sociedades de prevención.

La solución planteada en este proyecto hace uso de sensores de movimiento sincronizados con la grabación de video. De este modo, se pueden evaluar de forma cuantitativa, rápida y automática todos los parámetros de relevancia en el análisis ergonómico, combinando la información recogida de los sensores de movimiento con las imágenes grabadas en video. Esta información se emplea en la generación automática de los valores cuantitativos incluidos en el informe ergonómico. El técnico de prevención de riesgos laborales puede tomar estos datos como elementos de base para la redacción del informe definitivo, incluyendo el análisis valorativo de los resultados y las recomendaciones de mejora que se deberían aplicar en las tareas y operaciones analizadas.

Para poder conseguir este objetivo el sistema implementado integra tecnologías de inteligencia ambiental, tales como: redes de comunicación inalámbricas, tecnologías de análisis biomecánico e interfaces avanzados de persona-dispositivo entre otros, que contribuyen a la minimización de fallos derivados del factor humano en la evaluación de los procesos laborales e industriales.

Aparte del objetivo principal previamente mencionado, otros de los elementos a subrayar son los sociales y económicos que se derivan del desarrollo de este nuevo sistema, como son por ejemplo los puntos que se enumeran a continuación:

- **Efectividad:** el sistema permite el procesamiento rápido y automático de la información recogida de los sensores de movimiento; esta información está sincronizada con las imágenes grabadas en video; el sistema también permite la sincronización con otros aparatos de medida, tales como dinamómetros, electromiógrafos, etc.
- **Rapidez:** el análisis de los datos recogidos por los sensores de movimiento y su sincronización con las imágenes de video se lleva a cabo de forma

inmediata, una vez concluida la grabación; de este modo, se asegura una rápida disponibilidad de los datos medidos.

- **Precisión:** el uso de sensores de movimiento permite evaluar de forma precisa, cuantitativa y objetiva los parámetros ergonómicos más relevantes.
- **Versatilidad:** el programa de ordenador que ha sido desarrollado para este equipo incluye el cálculo de una amplia gama de parámetros requeridos por los métodos de análisis ergonómico más comúnmente utilizados, facilitando de este modo su uso en un gran amplio número de pruebas y valoraciones.
- **Sencillez de manejo:** se reduce el número de componentes, se emplean redes inalámbricas de comunicaciones, se incluyen funciones para el cálculo automático de los parámetros biomecánicos y se proporcionan módulos para la generación automática de informes.
- **No invasivo:** se ha desarrollado un sistema cómodo y no invasivo tanto para el técnico evaluador como para el trabajador evaluado; es decir, se utilizan sensores que no limitan o entorpecen la actividad del trabajador.
- **Económico:** el sistema resultante es económico y escalable, ofreciendo una alternativa que proporciona prestaciones superiores a las dadas por otros equipos; el coste del sistema desarrollado es fácilmente asumible por las empresas y departamentos de prevención de riesgos; igualmente, este sistema está al alcance de otros profesionales de la sanidad, tales como fisioterapeutas, médicos traumatólogos, médicos rehabilitadores, etc.
- **Completo:** las capacidades implementadas en el producto se adecuan a las necesidades de evaluación planteadas en el día a día de las empresas de nuestro entorno. Es decir, el equipo permite llevar a cabo fácilmente análisis segmentales (mano-brazo), valoración de acciones repetitivas, etc.
- **Aplicable en un entorno real:** el sistema desarrollado se ha utilizado directamente en puestos de trabajo reales, sin necesidad de trasladar al trabajador a entornos de laboratorio en los que se reproducen de forma aproximada y limitada las condiciones laborales.

Las características descritas harán que el sistema desarrollado tenga una mayor penetración en las entidades responsables de realizar las Evaluaciones de Riesgos Laborales y los Planes de Prevención. Con ello se logrará una más sencilla detección de posibles riesgos de sufrir algún tipo de lesión por parte de las personas

que trabajan en los puestos evaluados y, por tanto, una acción más ágil ante éstos, permitiendo prevenir y reducir las tasas actuales de TME y consecuentemente las bajas que por ellos son producidas.

2.3 METODOLOGÍA

El objeto principal del proyecto de investigación descrito en esta memoria consistió en el diseño, desarrollo, implementación y validación de un nuevo sistema para la evaluación rápida de trastornos musculoesqueléticos para su uso en prevención de riesgos laborales. Este sistema integra elementos de hardware y software, los cuales se integraron en un prototipo utilizado en pruebas de validación en laboratorio y en condiciones de trabajo reales.

De cara a asegurar un cumplimiento de las tareas y plazos establecidos en el proyecto, se configuró una estructura de gestión del proyecto que observó todos los aspectos de definición, diseño, implementación y verificación de los diversos componentes que forman parte del producto obtenido. STT empleó para ello la estructura de gestión que utiliza normalmente en el desarrollo de sus propios productos y en la prestación de servicios a terceras empresas. Esta metodología de gestión incorpora buenas prácticas adquiridas gracias a la experiencia acumulada en el desarrollo de gran número de proyectos llevados a cabo exitosamente desde la creación de la empresa, en 1998.

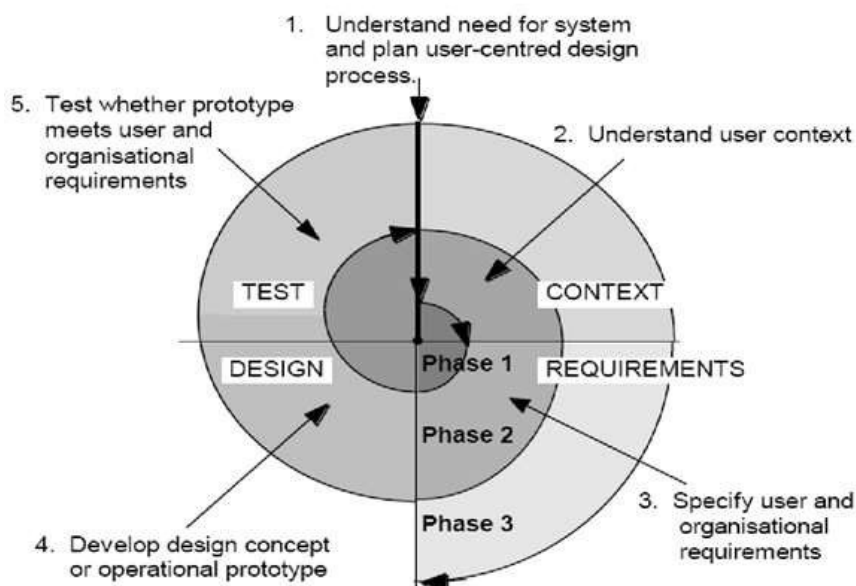


IMAGEN 3. METODOLOGÍA DE REFINAMIENTO PROGRESIVO.

El desarrollo del proyecto se estructura en tres fases principalmente:

- Definición de requerimientos y diseño del sistema; esta fase incluye tareas de análisis del estado del arte y análisis de la competencia.
- Desarrollo e implementación de las especificaciones y diseños.
- Validación de los resultados.

Esta metodología se aplica normalmente siguiendo un proceso de refinamiento progresivo (IMAGEN 3). Sin embargo, debido al grado de madurez de las herramientas utilizadas en este proyecto, un solo paso de iteración condujo a los resultados deseados. El equipo que desarrolló el proyecto descrito en esta memoria estuvo compuesto por personal del grupo de investigación y desarrollo de STT. Este equipo posee una contrastada experiencia en el desarrollo de aplicaciones de captura de movimiento y valoración corporal, lo garantizó el desarrollo de actividades novedosas respecto al estado del arte y que representan una innovación tecnológica. Por otra parte, la colaboración de este equipo con la red comercial de STT asegura la transferencia del conocimiento que se genere y el impacto en el mercado de los resultados del proyecto. Finalmente, la colaboración con entidades que desarrollan sus actividades en el sector de la prevención de riesgos laborales permitirá verificar en los próximos meses la adecuación de los resultados obtenidos al ámbito de actuación que constituye el objetivo del proyecto.

2.4 RESULTADOS

El resultado obtenido del proyecto consiste en un sistema completo que integra los elementos de hardware y software desarrollados en los diversos paquetes de trabajo en que se estructuraron las actividades. El producto se basa en el uso de sensores inerciales STT-IBS para la adquisición de datos cinemáticos de las operaciones realizadas por el trabajador (IMAGEN 4).



IMAGEN 4. SENSOR INERCIAL STT-IBS.

La aplicación sincroniza el uso de estos sensores inerciales con la grabación de secuencias de video, lo que permite un análisis rápido y preciso de las operaciones realizadas por el operario. La aplicación incorpora una base de datos, que facilita la gestión de los datos grabados así como su análisis posterior (IMAGEN 5). Al lanzar la aplicación, el analista debe seleccionar un usuario o crear un sujeto nuevo en la base de datos.

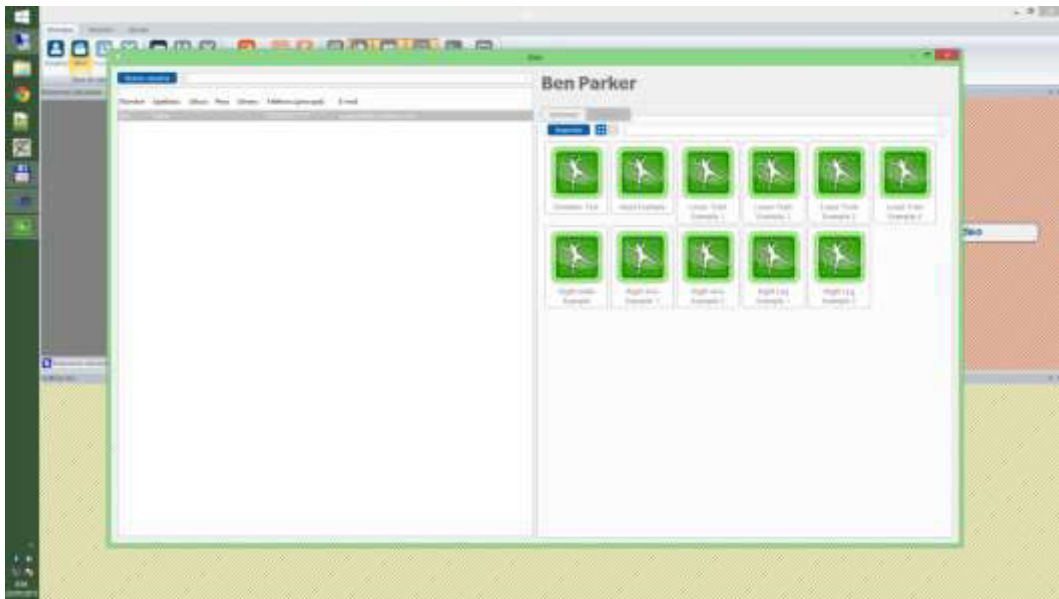


IMAGEN 5. ACCESO A LA BASE DE DATOS.

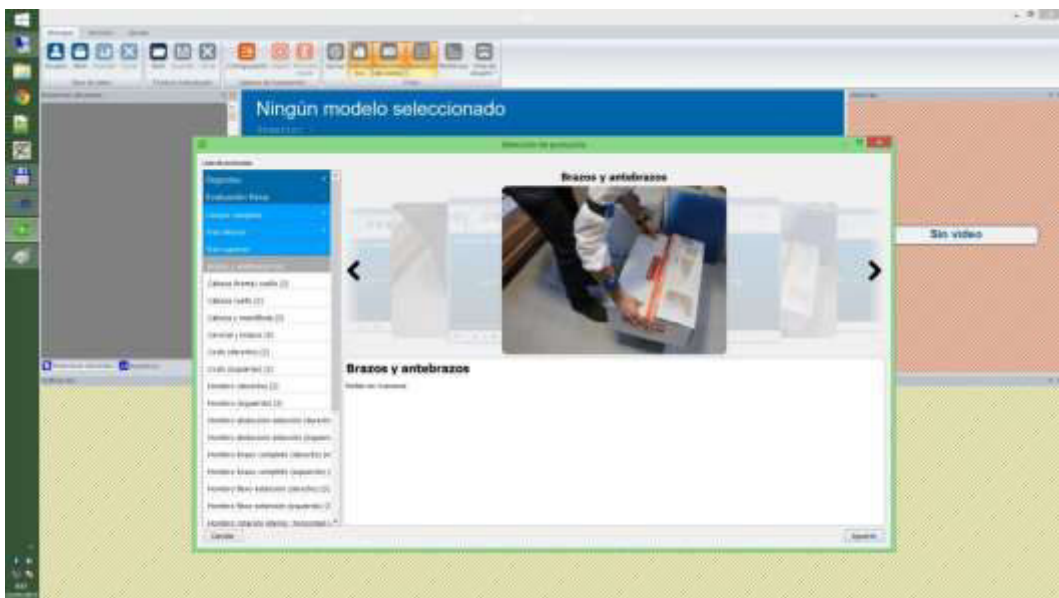


IMAGEN 6. SELECCIÓN DE PROTOCOLO DE EVALUACIÓN.

En el siguiente paso, se selecciona el método de evaluación que se desea utilizar, entre los protocolos existentes (IMAGEN 6).

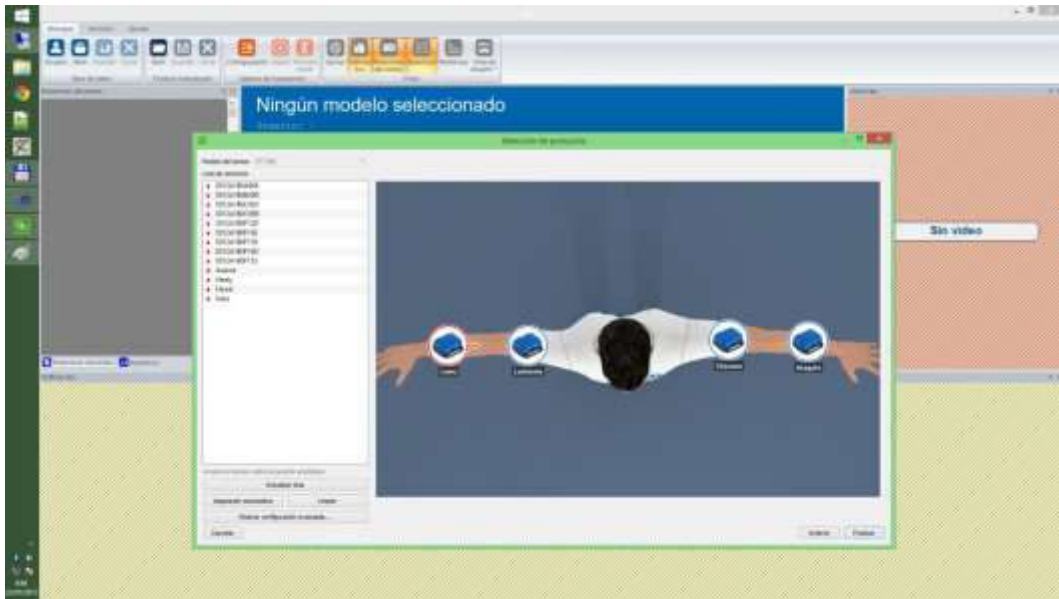


IMAGEN 7. ASIGNACIÓN DE SENSORES.

La aplicación permite asignar al protocolo el número mínimo de sensores inerciales necesarios para su utilización (IMAGEN 7).

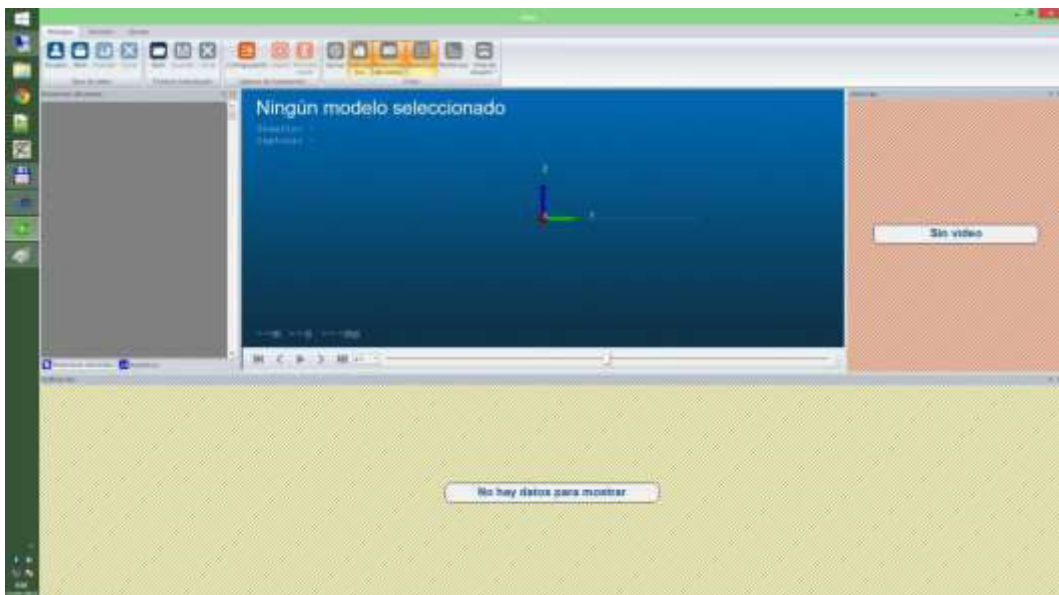


IMAGEN 8. VENTANA PRINCIPAL DE LA APLICACIÓN: LANZAMIENTO DE LA GRABACIÓN.

Una vez completo el paso de asignación de sensores, la aplicación está lista para comenzar la grabación de las operaciones realizadas por el trabajador (IMAGEN 8).

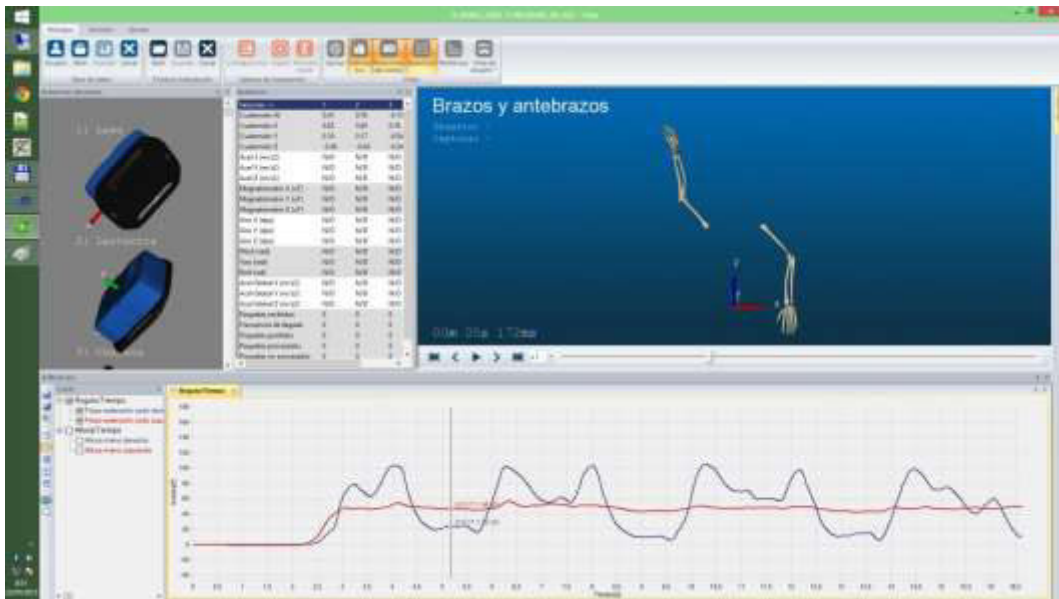


IMAGEN 9. REPRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

La aplicación muestra interactivamente los movimientos grabados en forma de animación tridimensional y en forma de gráficos (IMAGEN 9).



IMAGEN 10. SINCRONIZACIÓN CON VIDEO.

Los datos cinemáticos grabados con los sensores inerciales se sincronizan con la grabación de video. Este conjunto de datos se almacena en la base de datos; posteriormente, las sesiones pueden abrirse para su análisis (IMAGEN 10).



IMAGEN 11. INFORME GENERADO AUTOMÁTICAMENTE.

La aplicación genera de forma automática un informe que contiene la información cuantitativa del método de evaluación utilizado (ver IMAGEN 11). Este informe se genera en un formato editable por aplicaciones de ofimática, tales como Open Office, Microsoft Office, Libre Office, etc.

La aplicación incorpora actualmente los métodos de evaluación ergonómica RULA y REBA.

La adopción continuada o repetida de posturas penosas durante el trabajo genera fatiga y a la larga puede ocasionar trastornos en el sistema musculoesquelético. Esta carga estática o postural es uno de los factores a tener en cuenta en la evaluación de las condiciones de trabajo, y su reducción es una de las medidas fundamentales a adoptar en la mejora de puestos.

El método Rula fue desarrollado por los doctores McAtamney y Corlett de la Universidad de Nottingham en 1993 (Institute for Occupational Ergonomics) para evaluar la exposición de los trabajadores a factores de riesgo que pueden ocasionar trastornos en los miembros superiores del cuerpo: posturas, repetitividad de movimientos, fuerzas aplicadas, actividad estática del sistema musculoesquelético. Este trabajo puede consultarse en [1].

RULA evalúa posturas concretas; es importante evaluar aquéllas que supongan una carga postural más elevada. La aplicación del método comienza con la observación de la actividad del trabajador durante varios ciclos de trabajo. A partir de esta observación se deben seleccionar las tareas y posturas más significativas, bien por su duración, bien por presentar, a priori, una mayor carga postural. Éstas serán las posturas que se evaluarán.

Si el ciclo de trabajo es largo se pueden realizar evaluaciones a intervalos regulares. En este caso se considerará, además, el tiempo que pasa el trabajador en cada postura. Las mediciones a realizar sobre las posturas adoptadas son fundamentalmente angulares: los ángulos que forman los diferentes miembros del cuerpo respecto de determinadas referencias en la postura estudiada (IMAGEN 12).

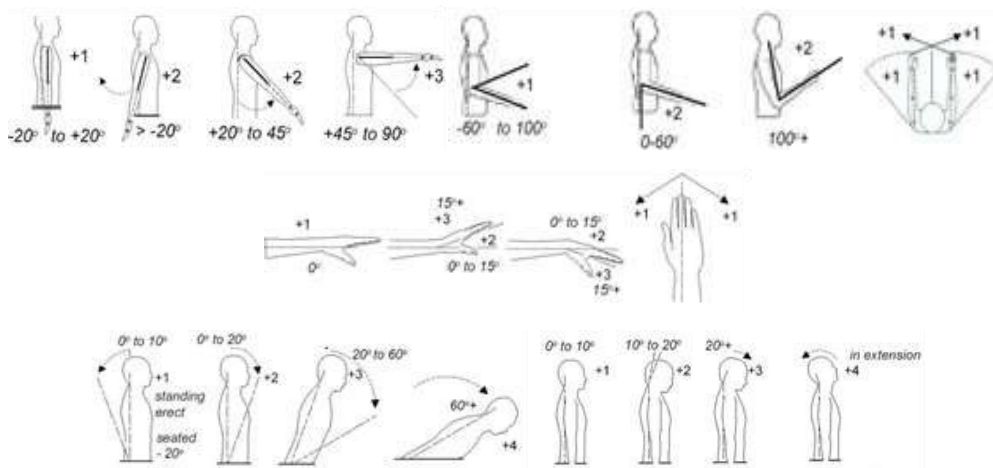


IMAGEN 12. MEDIDAS ANGULARES CON EL MÉTODO RULA.

El método REBA (Rapid Entire Body Assessment) fue propuesto por Sue Hignett y Lynn McAtamney y publicado por la revista especializada Applied Ergonomics en el año 2000 (ver referencia [2]). El método es el resultado del trabajo conjunto de un equipo de ergónomos, fisioterapeutas, terapeutas ocupacionales y enfermeras, que identificaron alrededor de 600 posturas para su elaboración.

El método permite el análisis conjunto de las posiciones adoptadas por los miembros superiores del cuerpo (brazo, antebrazo, muñeca), del tronco, del cuello y de las piernas (IMAGEN 13 y IMAGEN 14). Además, define otros factores que considera determinantes para la valoración final de la postura, como la carga o fuerza manejada, el tipo de agarre o el tipo de actividad muscular desarrollada por el trabajador. Permite evaluar tanto posturas estáticas como dinámicas e incorpora como novedad la posibilidad de señalar la existencia de cambios bruscos de postura o posturas inestables.

Cabe destacar la inclusión en el método de un nuevo factor que valora si la postura de los miembros superiores del cuerpo es adoptada a favor o en contra de la gravedad. Se considera que dicha circunstancia acentúa o atenúa, según sea una postura a favor o en contra de la gravedad, el riesgo asociado a la postura.

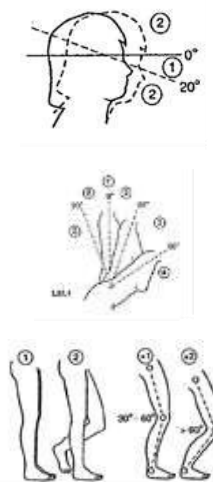


IMAGEN 13. MEDIDAS ANGULARES CON EL MÉTODO REBA: CABEZA, TRONCO Y TREN INFERIOR.

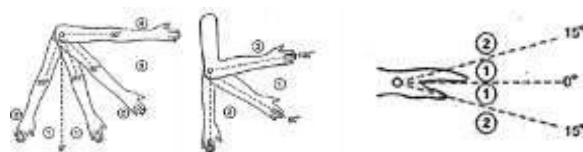


IMAGEN 14. MEDIDAS ANGULARES CON EL MÉTODO REBA: BRAZOS.

2.5 UTILIDAD PRÁCTICA DE LOS RESULTADOS EN RELACIÓN CON LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

Con la aplicación de sensores inerciales a la evaluación rápida de factores ergonómicos en puestos de trabajo y su sincronización con cámaras de video, se dispone de un análisis cuantitativo automático de las operaciones monitorizadas de los operarios, lo que reduce drásticamente el esfuerzo necesario para completar el análisis de un puesto de trabajo y mejora la calidad de los resultados obtenidos.

Las principales ventajas de la solución implementada se resumen a continuación:

- Los sensores inerciales que empleados en este proyecto son inalámbricos, facilitando de este modo su colocación en el cuerpo del operario y la conexión con el ordenador; este es una ventaja importante frente a aquellas soluciones basadas en sensores que precisan de cableado.
- En los protocolos considerados, únicamente se usa el número mínimo de sensores preciso para el análisis; pudiéndose realizar análisis incluso con un único sensor. Esta aproximación simplifica las tareas de preparación y toma de medidas y supone una ventaja importante frente a sistemas con protocolos limitados que exigen utilizar como mínimo cinco sensores; algunos sistemas están obligados a utilizar entre siete y quince sensores.
- El sincronismo entre video y sensores implementado en este nuevo producto permite la obtención de datos cuantitativos de forma completamente automática. La finalidad del video reside proporcionar al técnico de evaluación de riesgos la imagen real de las operaciones llevadas a cabo por el trabajador. El sincronismo entre la medida de los sensores inerciales y el video facilita la visualización de forma sencilla las diversas situaciones medidas por el método de análisis ergonómico seleccionado.
- El tratamiento y la presentación de los datos se lleva a cabo de forma automática e inmediata, tras el proceso de grabación de datos.
- La generación del informe con los datos cuantitativos del análisis se lleva a cabo de forma automática e inmediatamente después de completado el proceso de adquisición. El informe se genera en formato editable por el analista (Open Office, Word, etc.) de modo que, una vez analizados los datos objetivos, el técnico puede incluir en el documento la valoración del puesto de trabajo y las recomendaciones pertinentes.

2.6 CONCLUSIONES FINALES Y POSIBLES RECOMENDACIONES

El sistema desarrollado permite recrear los movimientos en tres dimensiones los movimientos realizados por el operario y calcula de forma ágil y automática los diferentes parámetros de evaluación ergonómica requeridos por el protocolo de análisis seleccionado. Este producto incorpora los métodos de análisis que se utilizan en la actualidad de manera mayoritaria en las empresas que realizan acciones de gestión de la ergonomía en los puestos de trabajo, superándose así una de las barreras que impiden a muchas empresas, por su complejidad, llevarlos a cabo.

El producto planteado aporta innovaciones que eliminan las limitaciones que se han identificado en los métodos empleados en la actualidad por los servicios de prevención de riesgos laborales. La utilidad práctica de la herramienta propuesta se resume en los siguientes puntos:

- Gracias a las nuevas tecnologías inteligentes (microsensores, visión artificial, redes inalámbricas, etc.), el número de dispositivos hardware necesarios para llevar a cabo el estudio se reducirá considerablemente.
- Los nuevos sensores propuestos son cómodos de utilizar y no influyen en modo alguno en las actividades realizadas por el operario.
- El nuevo software incorpora una interfaz de usuario amigable para el uso de los protocolos de análisis ergonómico.
- La simplificación tecnológica implementada en este desarrollo, junto con la reducción del número de componentes y facilidad de manejo permite aumentar la relación prestaciones/coste en el nuevo equipo implementado.
- El producto desarrollado puede aplicarse en cualquier entorno de trabajo, en condiciones reales, facilitando la tarea de llevar a cabo el análisis ergonómico adecuado.

Además de las ventajas descritas en los puntos anteriores, el desarrollo de esta herramienta reporta el beneficio de proporcionar, de forma rápida y directa, los criterios de evaluación considerados en los protocolos implementados. Por otra parte, los módulos de software desarrollados en este proyecto facilitan la integración en la herramienta de protocolos de análisis que actualmente no han sido implementados.

2.7 DIFUSIÓN Y EXPLOTACIÓN DE RESULTADOS

En los últimos meses de desarrollo del proyecto se comenzaron las tareas de difusión y promoción de los resultados del mismo. han consistido, hasta el momento, en:

- La presentación del equipo a algunos servicios de prevención de riesgos de grandes empresas del sector del automóvil y aeroespacial.
- La presentación del sistema a empresas que prestan servicios de prevención de riesgos laborales.
- Presentación de los resultados obtenidos en exhibiciones especializadas en Valencia (Junio 2015) y Poitiers (Julio 2015).

2.8 BIBLIOGRAFÍA

[1]. McAtamney, L. Y Corlett, E. N., 1993, RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. Applied Ergonomics, 24, pp. 91-99.

[2]. HIGNETT, S. y McAtamney, L., 2000, REBA: Rapid Entire Body Assessment. Applied Ergonomics, 31, pp.201-205.