



Universidad Zaragoza



Centro
Politécnico Superior
Universidad Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Ingeniería Industrial

Análisis y Evaluación Ergonómica de la Cabina de Conducción de un Tren de Alta Velocidad

Autor: Juan Dendarieta Serrano



Director:

D. José Javier Marín Zurdo

Zaragoza, Febrero de 2011

Agradecimientos:

Quisiera en estas líneas, ofrecer mis agradecimientos a *Patentes Talgo* por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto y a Don Javier Marín Zurdo, profesor de la Universidad de Zaragoza del departamento de Ingeniería de Proyectos por haberme dirigido y ayudado constantemente durante este proyecto. También a mis compañeros de despacho, Carlos Gil y Javier López, por toda la ayuda prestada y por que sin ellos el día a día no habría sido lo mismo.

A mis amigos y colegas del CPS con los que he compartido mi vida durante estos años de mi periplo por el CPS: Siempre estaré en deuda con todos vosotros por ofrecerme vuestra ayuda y más importante aún, vuestra amistad.

El agradecimiento final más personal e íntimo es para mi familia. Para toda ella, pero especialmente para mis padres: Sin vosotros nunca habría llegado hasta aquí, ni sería como soy.

A todos vosotros, muchas gracias.

Análisis y Evaluación Ergonómica de la Cabina de Conducción de un Tren de Alta Velocidad.

Resumen:

El trabajo realizado en este proyecto es el análisis y la evaluación ergonómica del puesto de trabajo del maquinista de un tren de alta velocidad. Esto incluye el estudio del pupitre de control del tren, así como de la butaca correspondiente, y del conjunto de tareas que realiza el conductor durante el trayecto de un viaje.

Para ello se realizó una reconstrucción 3D de la cabina mediante uso de un software de fotogrametría y una simulación de las posturas más frecuentes que el conductor adopta durante el transcurso de su trabajo. En un entorno 3D y aplicando un software específico, realizamos un análisis postural por medio del método evaluación ergonómica REBA (Rapid Entire Body Assessment) y un análisis Biomecánico, con el fin de determinar la carga postural asociada a la actividad que realiza el maquinista.

Asimismo, se ha llevado a cabo un análisis del campo visual del conductor mediante el uso de un sistema de seguimiento ocular (*Eye-tracking*) y un software de simulación, con un modelo en 3D, con el propósito de estudiar posibles mejoras en este campo, tan importante para la eficacia del trabajo del maquinista. Todos estos estudios se han realizado para dos modelos biomecánicos de percentiles extremos, percentil 5 y 95 correspondiente a la población europea (norma EN 547-3-1996) para observar y comparar el comportamiento que tendrían diferentes sujetos en el mismo puesto de trabajo.

Durante el trabajo de campo, también se hizo uso de una manta de presiones que se colocó sobre la butaca del conductor con el fin de estudiar la distribución de presiones sobre la misma en determinadas posiciones de uso, para observar si hubiese algún punto de presión que superase los valores máximos recomendados y analizar si el diseño de la butaca en este aspecto es adecuado o no para el uso de la misma.

Para completar el estudio, se realizó una encuesta de usabilidad y comodidad al maquinista que participó en las capturas en campo, que proporcionó información útil sobre su puesto de trabajo, de cara a proponer posibles mejoras de usabilidad del diseño actual del pupitre de conducción.

A la vista de los resultados de los estudios realizados, el proyecto concluye con un conjunto de recomendaciones de mejoras ergonómicas del puesto de trabajo de conducción del tren de alta velocidad analizado.

Tabla de Contenidos

1	INTRODUCCIÓN	6
1.1	OBJETO	6
1.2	ALCANCE	6
2	ESTADO DE LA TÉCNICA	8
3	NORMATIVA APLICADA	12
4	METODOLOGÍA	13
4.1	FOTOGRAMETRÍA DEL PUESTO DE TRABAJO	14
4.2	ENTREVISTA GRABADA EN VIDEO	14
4.3	MEDICIÓN DEL SUJETO	14
4.4	RECREACIÓN DEL PUESTO 3D	14
4.5	SIMULACIÓN DE POSTURAS EN PERCENTIL REAL	14
4.6	CAMBIO A PERCENTILES 05 Y 95	15
4.7	SIMULACIÓN DE PERCENTILES 05 Y 95	15
4.8	CAPTURA DE MOVIMIENTO	16
4.9	MANTA DE PRESIONES	16
4.10	EYE-TRACKING	16
4.11	GUANTE DE PRESIONES	16
5	EQUIPAMIENTO UTILIZADO	17
5.1	HARDWARE	17
5.2	SOFTWARE	18
6	DESCRIPCION DEL PUESTO Y ANALISIS FUNCIONAL	19
6.1	DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DEL PUESTO	19
6.2	DESCRIPCIÓN DE TAREAS	20
6.3	FILMACIÓN DE LA ACTIVIDAD	21
6.4	INFORMACIÓN PORPORCIONADA POR EL USUARIO	22
6.5	POSTURAS, TAREAS Y FRECUENCIAS	23
7	ANALISIS DIMENSIONAL	24
8	ANALISIS POSTURAL Y DEL CAMPO VISUAL	26
8.1	REBA	26
8.2	BIOMECÁNICA	28
8.3	CAMPO VISUAL	30

9	DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES EN BUTACA	31
10	USABILIDAD Y COMODIDAD	33
11	VALORACIONES Y CONCLUSIONES DEL ESTUDIO ERGONÓMICO	34
12	ESTUDIO ECONÓMICO	37
12.1	INVERSION INICIAL	37
12.2	VIABILIDAD ECONÓMICA	37
12.3	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD Y RIESGOS	39
13	CONCLUSIONES GENERALES	40
	REFERENCIAS	42
14	ANEXOS	45
14.1	OTRAS FIGURAS	45
14.2	POSTURAS SIMULADAS:	48
14.2.1	ÍNDICE	48
14.2.2	FOTOS DE LAS POSTURAS SIMULADAS	49
14.3	NORMA UNE EN ISO 14738-2003	55
14.4	MÉTODO REBA	58
14.5	PARÁMETROS DE BIOMECANICA	64
14.6	RESULTADOS DE REBA	69
14.7	RESULTADOS DE BIOMECAÁNICA.	86
14.8	RESULTADOS MANTA DE PRESIONES	92
14.9	FIGURAS DEL ESTUDIO ECONÓMICO	100
14.10	POSER 8	103
14.11	PHOTOMODELER V6	104
14.12	MANTA DE PRESIONES	105
14.13	EYETRACKING	106

1 INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETO

El presente proyecto se encuadra dentro de un proyecto de colaboración del Grupo IDERGO (Investigación y Desarrollo en Ergonomía) del Instituto I3A de la Universidad de Zaragoza con Patentes Talgo para el estudio ergonómico y propuestas de mejora en un nuevo tren de alta velocidad y alta capacidad (proyecto AVRIL). Talgo solicitó al grupo IDERGO la realización de ciertos proyectos para la evaluación ergonómica de múltiples aspectos del nuevo tren Talgo S-112 (Figura 41) como puede ser el estudio de los aseos para personas con movilidad reducida, o estudios sobre la usabilidad y comodidad de las butacas de pasajeros.

En este proyecto en concreto, se ha realizado una evaluación ergonómica del puesto de maquinista del tren de alta velocidad. Para ello se ha requerido estudiar todos los elementos involucrados en la cabina de la cabeza tractora, con especial atención al pupitre de conducción y asiento del maquinista. Las tareas de campo correspondientes a este estudio se llevaron a cabo en las instalaciones de La Sagra (Toledo) durante los días 27 y 28 de octubre de 2010. Allí se recogieron los datos de la cabina de conducción y se realizó la entrevista al maquinista que participó en dichas pruebas y ensayos.

Previo a las citadas pruebas en campo, y desde principios de octubre se estudiaron las distintas aplicaciones de software y equipos necesarios para las pruebas, se prepararon los correspondientes protocolos de captura y se hizo una investigación del estado de la técnica en este campo que sirvió como referente a la hora de realizar nuestro estudio.

Durante los meses de Noviembre y Diciembre se hizo el procesamiento de dichos datos para la obtención final de resultados.

1.2 ALCANCE

A continuación se explican brevemente las distintas tareas que se llevaron a cabo:

- *Análisis Funcional del Puesto.* A partir de una toma de datos en campo y de entrevistas con técnicos y trabajadores, se identificarán los aspectos relativos a tareas, frecuencias, fuerzas, posturas, o tiempos, entre otros, tomando datos con listas de chequeo.
- *Caracterización de Movimiento Humano.* Se hará uso del sistema MH-Sensors para recrear sobre un modelo biomecánico los movimientos y posturas más representativas del trabajador. Sobre dicho modelo se estudiará la carga postural aplicando el método REBA (Rapid Entire Body Assessment) [11] y se realizará un análisis biomecánico a efectos de determinar aquellas posturas y movimientos que

estén fuera de rangos ergonómicos. También se simularan las mismas posturas en dos percentiles diferentes (P95 y P05 europeos), lo que permitirá realizar un estudio más detallado de la adaptabilidad del puesto para diferentes antropometrías.

- *Modelización 3D del puesto.* Se reproducirá en 3D el entorno de trabajo con formas y texturas, especialmente los paneles de control, empleando el Sistema de Fotogrametría integrado en el Sistema de Captura MH-Sensors. Con ello se creará en dicho entorno un modelo humano, para poder completar los análisis ergonómicos citados con la valoración de alcances y posturas en distintas situaciones capturadas o posibles, realizar un análisis dimensional y funcional del puesto.
- *Evaluación del Asiento.* Análisis de distribución de presiones en distintas posiciones de utilización. Se usará la manta de presiones que permite obtener un mapa de presiones, siendo necesario realizar un ensayo “in situ” con una muestra de trabajadores.
- *Análisis del campo visual.* Haciendo uso de un sistema de seguimiento de pupilas se identificaron los puntos o zonas de mayor atención por parte del maquinista durante su actividad normal de conducción y control del vehículo y, de esta forma, descubrir posibles mejoras en la ubicación de los indicadores o mandos.
- *Conclusiones y propuestas.* A la vista de los resultados y conclusiones de los análisis realizados, se propondrán ciertas mejoras de las condiciones ergonómicas del puesto de maquinista en cada uno de los aspectos estudiados.

2 ESTADO DE LA TÉCNICA

Para la realización de este estudio se consultaron artículos científicos sobre evaluaciones ergonómicas puestos de trabajo de conductores, mejoras del diseño en trenes, metodología en captura de movimiento, etc. Estos artículos nos servirán de guía y referencia en el desarrollo de nuestro proyecto. A continuación se explican en detalle:

- La principal fuente de artículos científicos ha sido la revista *Applied Ergonomics*. En la edición del año 2003 encontramos un artículo [20] donde se explican cómo se realizó un estudio ergonómico a los conductores de camiones de recogida de basura mediante el método RULA (Rapid Upper Limb Assessment) [21]. El enfoque que se propuso fue, realizar un estudio estadístico a 77 conductores para la identificación de problemas musculoesquelético debido a posturas de trabajo con alto riesgo en cuello y espalda.

Con estos resultados obtenidos por las encuestas a los 77 conductores, se validó el uso del método RULA para este tipo de estudios ergonómicos, ya que las estadísticas obtenidas y los resultados del método eran similares. Posteriormente se identificaron las posturas conflictivas de alto riesgo y concluyen el artículo haciendo notar la necesidad de no mantener la misma postura todo el tiempo y de un asiento ajustable en el puesto.

- En la edición de 2000 hay un artículo [28], que trata de el rediseño de un tren suburbano en Australia debido a las quejas de los maquinistas que conducían el nuevo tren. Las principales quejas eran sobre dolores en brazos debido al uso del controlador principal, pero también contaban con preocupaciones en la disposición del pedal de hombre muerto, espacio para las piernas y asiento ajustable, entre otras.

El estudio está fundamentado en la observación y grabación del conductor durante su trabajo, unos cuestionarios sobre comodidad y usabilidad que fueron contestados por una amplia muestra de conductores y un análisis de problemas antropométricos con software de CAD. Con los resultados, se rediseñó y fabricó un prototipo que sirvió como prueba para comprobar si los cambios producidos eran adecuados. Las principales modificaciones fueron de redistribución de los botones de uso principal y algunos secundarios como el intercomunicador entre otros. Para concluir el estudio se procedió a la realización de un estudio estadístico con cuestionarios que confirmara que los cambios eran adecuados para los maquinistas.

- También se consultó un estudio en la revista del Instituto de Biomecánica de Valencia de Julio de 2009 [24] donde se realiza un análisis ergonómico de las cabinas de un nuevo metro ligero. En este estudio se realizaron unas encuestas a varios expertos sobre la conducción e interacción vehículo-maquinista donde se identificaron una serie de tareas principales y secundarias, asociadas con unas frecuencias y un discomfort. Posteriormente, realizando unas simulaciones en 3D se vieron posturas que para el percentil 05 europeo eran conflictivas, ya que requeriría que este adoptase una posición forzada. También se realizó un estudio de visibilidad donde determinaron que el campo visual exterior del maquinista se veía obstaculizado por el panel de mandos.

- En otro artículo de la revista *Applied Ergonomics* 1987 [10] se explica cómo en Suecia se emplearon cuestionarios en una muestra de 50 conductores expertos para mejorar el puesto de conducción del tren Rc5. En estos cuestionarios los conductores explicaban qué elementos de la versión anterior (Rc4) cambiarían o modificarían, posteriormente se realizó otra encuesta con el nuevo puesto de conducción y la evaluación de los nuevos cambios fue positiva. Algunos elementos que se modificaron fueron: altura y espesor de la mesa de control, reposapiés, asiento o posición del velocímetro.
Otro estudio similar lo encontramos en el artículo [22] que trata del proceso de diseño de una nueva cabina de tren en Suecia donde reciben la ayuda de varios conductores para mejorar el diseño ya existente.

Artículos referente a las metodologías empleadas para la realización de estudios similares, los encontramos también en la revistas *International Journal of Industrial Ergonomics* y *Applied Ergonomics* entre otras.

- La edición de 2006 de *Applied Ergonomics* contiene un artículo realizado por la Universidad de Múnich [19], donde se explica cómo se hizo un estudio ergonómico del puesto de trabajo de los cirujanos que realizan laparoscopias. Para este estudio se trabajó con simulaciones hechas con CATIA y RAMSIS, dos programas que sirven para la creación y simulación de entornos 3D con modelos humanos. Se comenzó haciendo una representación las tareas típicas de una operación de este tipo con el personal necesario, que en este caso eran un cirujano, un asistente y una enfermera, y esta representación fue grabada en video. A continuación se simularon estas posturas y posteriormente se realizó un análisis postural y ergonómico del puesto. Para concluir el estudio se amplió con sugerencias de mejora y simulaciones para comprobar su efecto. En este caso una sugerencia fue del cambio de posición de la pantalla de visualización lo que permitía al cirujano mantener una postura más cómoda durante la laparoscopia.
- En la impresión realizada en 2002 [1] encontramos de un estudio realizado para el análisis de posturas adoptadas en la conducción de un automóvil y así realizar un estudio ergonómico del asiento. Para este, se realizaron estudios posturales con un sistema de marcadores marca ELITE, que permite calcular la posición de estos marcadores mediante la grabación con múltiples cámaras. También se hizo uso una manta de presiones marca TEKSCAN que permite una grabación de la distribución de presiones para cada postura adoptada. Con estos resultados se pudieron evaluar las posturas que el conductor adoptaba y la presión que ejercía en el asiento en cada una de estas posturas, así si alguna postura obtuviese un resultado desfavorable se podrán hacer sugerencias para mejorarlas. Para finalizar se comenta que la metodología empleada en este ejemplo ha sido implementada en investigación industrial y se usa en el proceso de diseño como predicción de confort en los asientos.
- Otro artículo publicado en 2000 en *Applied Ergonomics* [6], es un caso donde emplean los programas de ordenador 3DSSPP y AutoCAD para el estudio de unas tareas de trabajo en una cadena de montaje del sector de automoción. Los resultados obtenidos por simulación se comparan con un estudio independiente, basado en la

observación de los trabajadores realizando las mismas tareas, llegando a conclusiones similares con lo que se concluye que este tipo de estudios pueden ser de gran utilidad en el análisis y diseño de puestos de trabajo

- En la revista *International Journal of Industrial Ergonomics* del año 1998 encontramos un estudio [30] de una planta química donde se realizaron grabaciones en video de las posturas de los trabajadores. Estas posturas luego fueron analizadas con el método OWAS, clasificadas para el posterior análisis estadístico, llegándose a conclusiones sobre posibles posturas peligrosas. Con el análisis se quiso probar la efectividad de este método para la detección de posturas con alto riesgo y su eliminación.
- En la edición del año 2010 hay un estudio [13] realizado por la universidad de China para validar las técnicas de simulación virtual para aplicaciones ergonómicas reales. Estadísticamente llegan a la conclusión de que en la simulación virtual los sujetos experimentan más discomfort y fatiga antes que en el puesto real. También hacen notar la importancia industrial que este tipo de estudios pueden tener a la hora de diseñar puestos de trabajo ya que podrían reducir tiempos y costes e incrementar la calidad y salud del usuario.
- En la edición de 2000 encontramos un artículo [25]: que hace referencia a un proyecto alemán llamado 3D Soft Dummy emprendido en 1988 por la Asociación Alemana de Investigación en Ingeniería en la Automoción (FAT) para la creación de un modelo humano que sirviera para la simulación de movimientos para investigar temas de confort y ergonomía en diferentes ambientes como puede ser la cabina de conducción de un coche. Usaron un sistema de grabación con dos cámaras que les permitió la creación de un modelo en 3D que posteriormente emplearían para la evaluación ergonómica de conducción de un automóvil

En esta última parte están otros artículos que también relacionados con el tema que nos ocupa:

- El artículo de *Applied Ergonomics* de 1973 [4] donde encontramos un estudio del desarrollo de la ergonomía en locomotoras de vapor. Es un artículo antiguo pero se pueden ver cambios que han servido para evolucionar las locomotoras de vapor para un uso más ergonómico. También en el artículo [14] encontramos un estudio de sobre el confort de un asiento de autobús haciendo uso de electromiogramas y análisis del diseño ya existente.
- El artículo [12] comenta la importancia que tiene la posibilidad de una recreación virtual para la evaluación ergonómica en el diseño de un producto, su evaluación o validación ya que ahorramos tiempo y dinero. El artículo [17] trata de una validación con métodos estadísticos de un modelo humano de segmentos unidos usado para calcular fuerzas y pares en las articulaciones
- En el artículo [29] tenemos un interesante estudio donde comparan los resultados obtenidos por simulación 3D con los datos reales en la determinación de posturas de levantamiento de cargas con la espalda.

- En el artículo [9] se comenta el desarrollo de un nuevo modelo de estudio de la columna vertebral en posición sentada, donde se analizan las posturas al estar sentado y se comprueban los resultados de los diferentes estudios ya hechos en este ámbito.
- También hemos consultado artículos que hacen un enfoque dirigido a las vibraciones en asientos para conductores ya podría ser útil en futuros proyectos o la ampliación de este [23] y [27]
- En el artículo [18] se explica la importancia de la buena medición de la antropometría de los sujetos para la buena recreación de las dimensiones corporales. Estas están basadas en puntos de referencia del cuerpo, estas pueden ser medidas tradicionalmente(a mano) o con un scanner. El estudio trata del cálculo del error al realizar estas mediciones. Este artículo puede ser útil para otros estudios más detallados, donde necesitemos gran precisión en las medidas antropométricas del sujeto

3 NORMATIVA APLICADA

La normativa aplicada y consultada para la realización de este estudio ergonómico ha sido:

-*Norma UNE EN ISO 14738-2003*. Seguridad de las máquinas. Requisitos antropométricos para el diseño de puestos de trabajo asociados a máquinas. (Véase en anexo 14.3, Figura 84, Figura 85, Figura 86 y Figura 87)

Esta norma se ha empleado para comprobar si el operario del puesto tiene alcance de forma adecuada a todos los botones, pulsadores, palancas, etc.

-*Norma UNE-EN 1005-4:2005+A1:2009*. Seguridad de las máquinas. Comportamiento físico del ser humano. Parte 4: Evaluación de las posturas y movimientos de trabajo en relación con las máquinas.

-*Norma UNE-EN 1005-5:2007*. Seguridad de las máquinas. Comportamiento físico del ser humano. Parte 5: Evaluación del riesgo por manipulación repetitiva de alta frecuencia.

-*NTP 601 Evaluación de las condiciones de trabajo: carga postural. Método REBA*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, España.

Estas normas han sido consultadas para la evaluación postural y determinación de nivel de riesgo.

-*Norma EN 547-3-1996*. Seguridad de las maquinas. Medidas del cuerpo humano. Parte 3: Datos Antropométricos.

Esta norma ha servido para determinar datos antropométricos de los percentiles de población europeos

4 METODOLOGÍA

En este apartado se explica la metodología de trabajo empleada durante la elaboración de este proyecto y, haciendo uso de los estudios similares encontrados en revistas científicas, se propone una metodología general de trabajo para un análisis ergonómico de puestos de trabajo. En la Figura 1, que se encuentra a continuación, se resumen los pasos que se sugieren para esta metodología. Posteriormente se encuentran descritos más en detalle estas tareas.

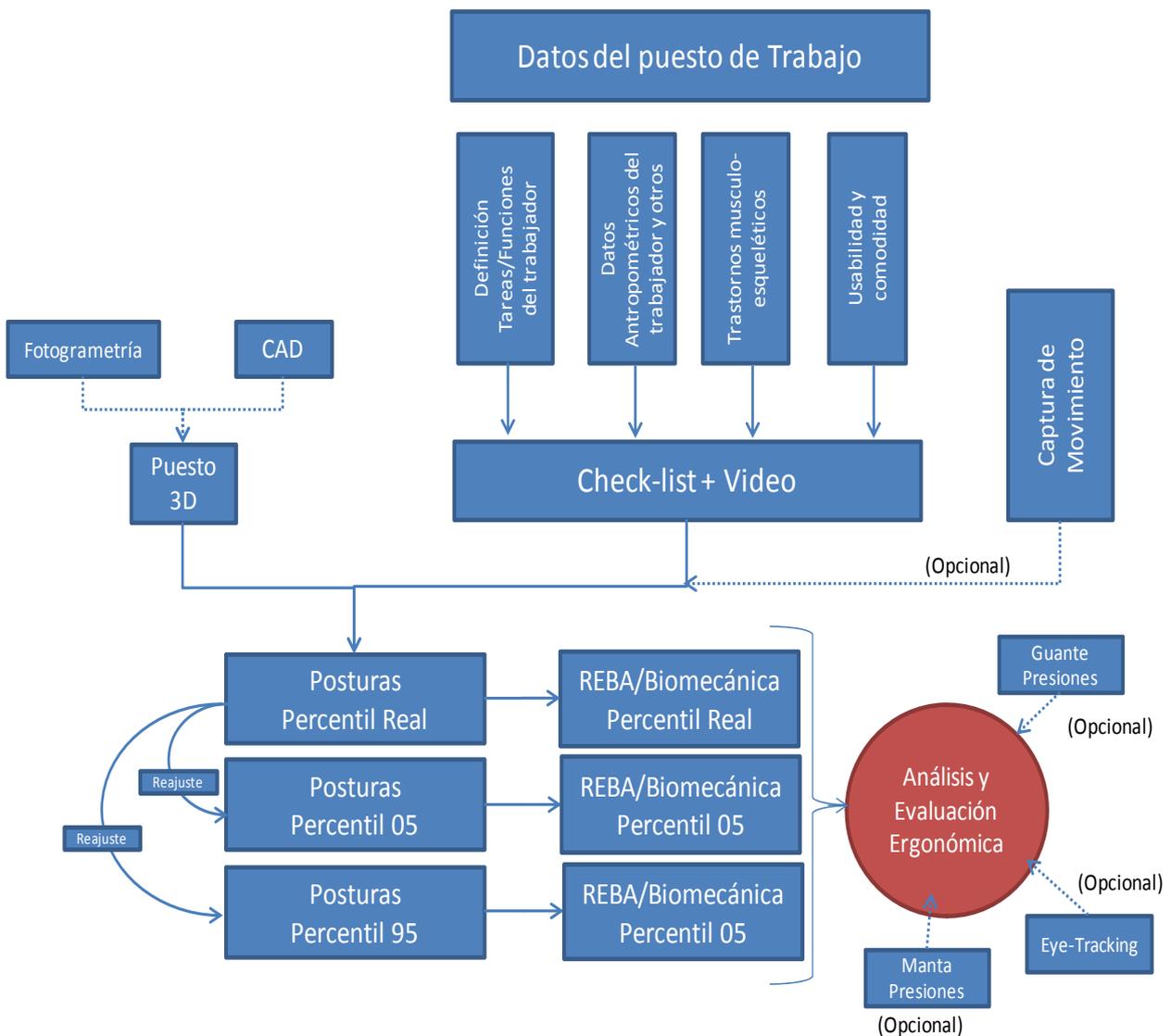


Figura 1

En la primera parte tenemos las acciones que se deben hacer en el lugar donde tengamos el puesto de trabajo (en nuestro caso: la cabina del tren Talgo S-112).

4.1 FOTOGRAMETRÍA DEL PUESTO DE TRABAJO

Se han de tomar varias fotografías del puesto de trabajo que servirán para la recreación del puesto en 3D por fotogrametría (ver anexo 14.11). Debemos cerciorarnos de que al tomar las fotografías, en ellas aparezcan los elementos más importantes del puesto al menos vistos desde 2 ángulos diferentes. Por tanto, cuantas más fotos se tomen y más diferenciadas sean (diferentes posiciones y orientaciones) mejores resultados obtendremos.

Si disponemos de planos en CAD del puesto, no sería necesaria la toma de fotos y recreación del puesto en 3D por fotogrametría.

4.2 ENTREVISTA GRABADA EN VIDEO

Se ha de realizar una entrevista con check-lists que conviene sea grabada en video. En dicha entrevista el maquinista o los operarios del puesto han de ser preguntados sobre:

- a. Tareas y Funciones de su trabajo (Posturas y frecuencias)
- b. Problemas Musculo-esqueléticos.
- c. Usabilidad y comodidad del puesto

La grabación nos permitirá posteriormente simular en el entorno 3D las posturas más importantes.

4.3 MEDICIÓN DEL SUJETO

La medición del sujeto servirá para recrear con exactitud al operario (Percentil Real) mediante un modelo biomecánico (ver anexo 14.10).

Las medidas que tomaremos serán:

- a. Estatura
- b. Altura hasta el codo
- c. Altura hasta los nudillos

Una vez finalizada la obtención de datos en campo, tenemos las tareas de procesamiento:

4.4 RECREACIÓN DEL PUESTO 3D

Con las fotografías tomadas y empleando un software de fotogrametría (como el Photomodeler v6) recrearemos el puesto en 3D. Esta recreación será la usada para el análisis dimensional y como escena donde interactuará nuestro modelo humano biomecánico. (Ver anexo 14.11)

4.5 SIMULACIÓN DE POSTURAS EN PERCENTIL REAL

Basándonos en la grabación de la entrevista recrearemos las posturas que el operario realiza en su trabajo cotidiano. Con estas posturas clave realizaremos un estudio REBA (Ver sección 8.1) y Biomecánico (Ver sección 8.2) que nos indicará el nivel de riesgo postural.

4.6 CAMBIO A PERCENTILES 05 Y 95

El programa de Move Human de la universidad de Zaragoza dispone de un método que nos permite casi automáticamente retallar al modelo 3D y ajustar las posturas para realizar las mismas tareas que el percentil Real.

El proceso se ve en detalle en la Figura 2 más abajo.

4.7 SIMULACIÓN DE PERCENTILES 05 Y 95

El haber realizado el cambio de percentiles nos permite un análisis mucho más en detalle de la ergonomía del puesto ya que podemos simular como interactuaría un sujeto de percentil 95 (188 cm.) y otro de percentil 05 (153 cm.) Al igual que para el percentil Real, efectuaremos los análisis REBA y de Biomecánica para comparar y analizar los resultados. Ver Figura 3

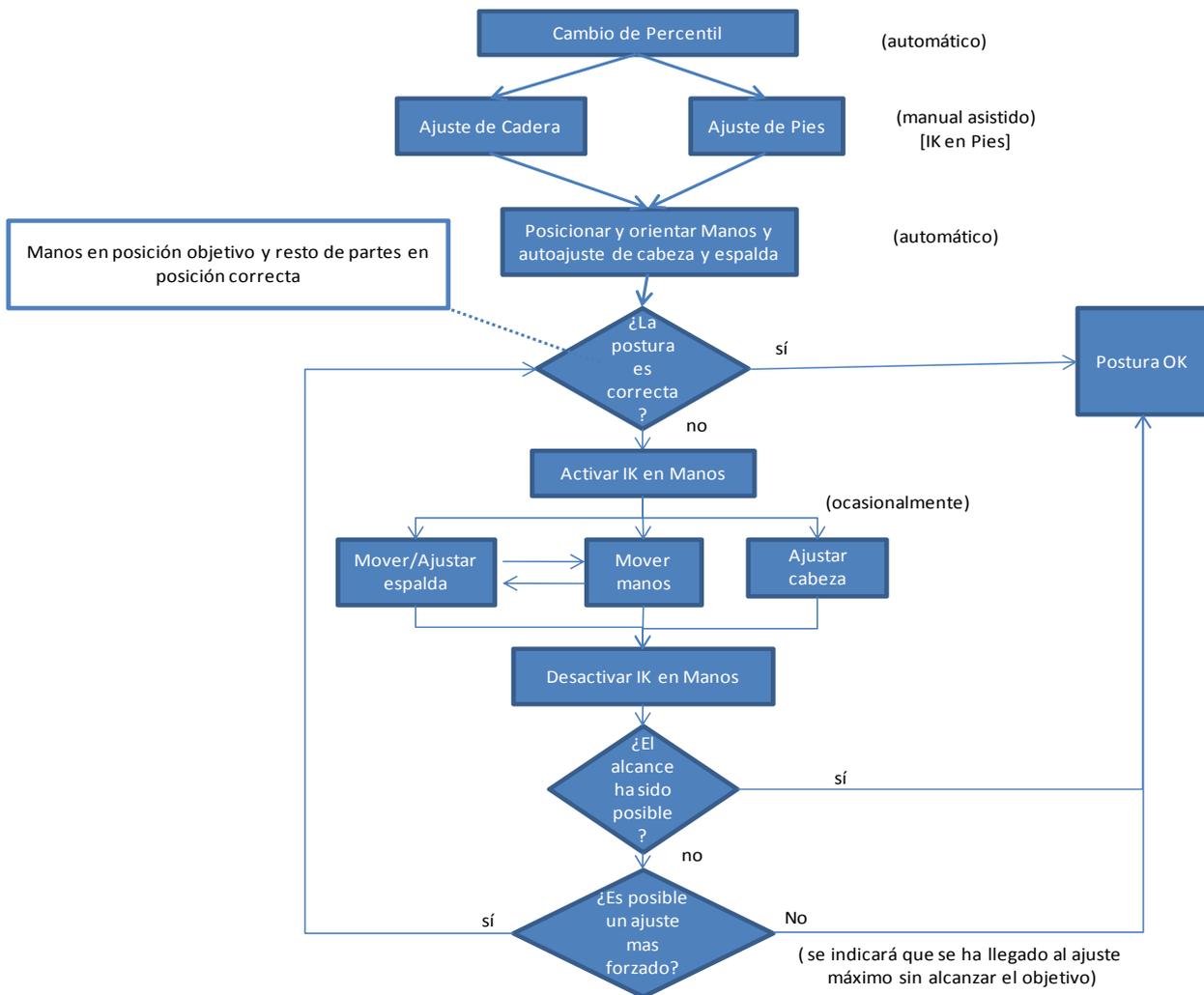


Figura 2



Figura 3

A continuación se explican los complementos que podemos emplear opcionalmente y que podrían ayudar a una realización de un análisis más detallado:

4.8 CAPTURA DE MOVIMIENTO

El sistema Move-Human dispone también de un módulo de captura de movimiento basado en sensores inerciales *Xsens*, que permite una recreación muy exacta de los movimientos realizados por el operario.

4.9 MANTA DE PRESIONES

Para la evaluación del asiento del puesto de trabajo podemos añadir el uso de una manta de presiones que servirá para comprobar si el diseño es adecuado. Esta manta nos permite una visualización de las presiones ejercidas por el operario al estar sentado y adoptando diferentes posturas. Si se diera el caso de que existieran zonas de altas concentraciones de presiones, se procedería con un estudio para determinar si dichas presiones son producidas por el diseño del asiento o por las posturas que debe adoptar el operario para la realización de sus tareas.

4.10 EYE-TRACKING

Eye-tracking es un sistema que será útil para la evaluación de visibilidad del puesto de trabajo y para asegurarnos de que los mensajes que requieran especial atención sean fácil y correctamente visibles.

El sistema consta de unas gafas de seguimiento ocular que permiten el análisis del movimiento del ojo. Se complementó con un casco con dos cámaras panorámicas instaladas, que durante la entrevista del trabajador nos permitirán ver lo mismo que el operario. (Ver anexo 14.13)

4.11 GUANTE DE PRESIONES

Es un sistema similar a la manta de presiones pero que nos permite la visualización de las presiones ejercidas en las manos al accionar pulsadores, palancas o al utilizar cualquier tipo de herramienta. Con estas presiones podemos comprobar si los pulsadores cumplen las normas europeas

5 EQUIPAMIENTO UTILIZADO

En este apartado de la memoria se enumeran el equipo y programas de ordenador empleados para la toma y procesamiento de datos.

5.1 HARDWARE

Para la obtención de datos en campo del puesto de trabajo se hizo uso del siguiente equipamiento:

-Una cámara *Canon EOS D550* de 18 mega píxeles, que permite la toma de fotos de gran resolución y la grabación de video en alta definición (Full HD), equipada con una lente gran angular (8-16mm) que permite una amplia visión en la captura de fotos o video en lugares de trabajo donde no hay mucho espacio.



Figura 4

-Dos cámaras panorámicas de 170° marca *Drift HD170*, que son capaces de grabación de video en alta definición, y que estaban instaladas en un casco. Al llevar puesto el casco, el conductor nos proporcionará dos grabaciones de su campo de visión. Una cámara estará situada en posición horizontal y otra lateralmente con una inclinación de 30 grados, con ambas obtendremos unos videos que nos servirán para analizar el campo visual



Figura 5

-Un sistema de seguimiento ocular (Eye-tracking) *ASL* que consta de unas gafas especiales que permiten una grabación del campo visual del conductor y simultáneamente donde está mirando en cada momento. (Ver anexo 14.13)



Figura 6

-Una manta de presión de *XSENSOR Technology Corporation*. Con ella se puede visualizar la distribución de presiones en el asiento pudiendo encontrar los puntos donde haya concentraciones de presiones elevadas y estudiar si estas son debidas al asiento o a la postura adoptada. (Ver anexo 14.12)

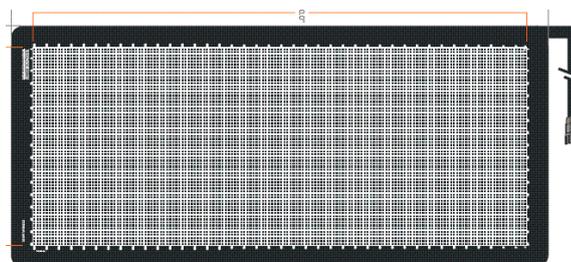


Figura 7

5.2 SOFTWARE

Los datos han sido procesados usando los siguientes programas informáticos:

- Las fotos usadas para la recreación 3D del entorno han sido procesadas en el programa de fotogrametría llamado *Photomodeler v6* que permite, con varias fotos, la recreación del entorno con sus formas y texturas. (ver anexo 14.11)

Una vez modelizado el entorno de trabajo, se empleó el software de *Move-Human Sensors* de la Universidad de Zaragoza para la recreación de las posturas clave y el análisis REBA y Biomecánico. En esencia el paquete de software de Move-Human consta de varios programas:

- *Poser 8* es un programa de animación en 3D que utiliza modelos biomecánicos de figuras humanas para recrear posturas anatómicamente similares a las de una persona real. También se dispone de unas herramientas creadas por la UZ para Move Human que facilitan el trabajo con este programa. (ver anexo 14.10)
- *Hoja Excel de REBA*. Con la postura ya simulada en Poser 8, se exportan los datos de posición y giros de los diferentes segmentos que componen el cuerpo del modelo. Estos datos son empleados en el análisis postural por método REBA (Rapid Entire Body Assessment). (ver anexo 14.4)
- *Hoja Excel de Biomecánica*. Al igual que con la hoja de Excel de REBA, utilizamos los datos exportados desde *Poser 8* para visualizar estadísticas de varias partes del cuerpo. Para este proyecto se consideraron importantes los gráficos de los tres giros importantes de espalda y brazos. (ver anexo 14.5).
- El software empleado para el EyeTracking (ver anexo 14.13) es el *Eye Vision*.
- Para la obtención de resultados de las presiones la manta se dispone de un software específico de *Xsensor* llamado *X3 Medical V6* que nos permite la visualización de tanto un mapa de presiones, como valores medios, máximos y más datos útiles. (ver anexo 14.12)

6 DESCRIPCIÓN DEL PUESTO Y ANÁLISIS FUNCIONAL

6.1 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DEL PUESTO

El pupitre de conducción del tren de alta velocidad Talgo S-120 está compuesto por tres consolas unidas llamadas STFA, STFB y STFC y un panel horizontal. En estas cuatro zonas de trabajo encontramos diferentes tipos de interruptores y pulsadores.

En la consola frontal (STFA) el conductor dispone de los componentes que utilizará principalmente como pueden ser el DMI del ECTS para las indicaciones ópticas y acústicas de mensajes o señales y para el mando por medio de pantalla táctil, los manómetros de presión en cilindros de freno, el indicador de velocidad del tren o el de tensión real en la catenaria. También en la sección frontal pero en el panel horizontal el maquinista encuentra las principales palancas manipuladoras de freno de servicio y tracción, además de algunos pulsadores e interruptores basculantes como pueden ser los de control de pantógrafo o iluminación.

Desplazados lateralmente en las consolas izquierda (STFB) y derecha (STFC) encontramos pulsadores e interruptores de uso menos frecuente como pueden ser los de activación de parasoles o control del régimen de funcionamiento del aire acondicionado. También se dispone de dos pantallas táctiles usadas para la preparación del tren antes de su puesta en marcha y que además permite la visualización de los pasajeros al desembarcar. En el extremo izquierdo del pupitre tenemos el intercomunicador y el GSM-R para la comunicación con azafatas o radiotelefonía. En el extremo derecho también se encuentra la “seta” de parada de emergencia.

En el reposapiés, el maquinista tiene un pedal denominado del “Hombre Muerto”. Este pedal es un recurso empleado para que en caso de que el conductor sufriera algún tipo de accidente que le impidiera controlar el tren, este automáticamente se detuviera. En el panel horizontal también hay dos pulsadores que tienen el mismo efecto, de manera que si el conductor quiere levantarse puede hacerlo sin que se detenga el tren.

(Véase Figura 37 , Figura 38), (para nomenclatura Figura 39 en Anexo 14.1)

A la altura de las rodillas en el lateral derecho el maquinista dispone de una papelera donde depositar basura. El asiento del conductor dispone de un sistema neumático que le permite acercarse y alejarse al pupitre a la vez que subir y bajar en altura. El asiento puede girar sobre el eje vertical y el respaldo es móvil también. Véase Figura 40.



Figura 9



Figura 8

6.2 DESCRIPCIÓN DE TAREAS

En esta sección se describen las principales tareas que el maquinista realiza en su jornada laboral.

Jornada laboral:	8 hrs.
Tiempo máx. de conducción:	5 hrs.
Trayecto máx. alta velocidad:	3.5 hrs.

Observación durante conducción: La conducción del tren de alta velocidad es automática. Una vez que el conductor ha puesto en marcha el tren, su función es únicamente de observación. Su atención se centra principalmente en la pantalla central del STFA, aunque esporádicamente revise el resto de pantallas e indicadores laterales. (frecuencia: alta)

Puesta en Marcha/Frenado del tren: Se realiza con los mandos principales y la vista fijada en el monitor central del STFA donde aparece toda la información necesaria para esta operación. (frecuencia: baja)

Diagnosis y preparación del tren: Antes del inicio de un viaje, el maquinista utiliza las pantallas de diagnosis de las consolas STFB o STFC para la preparación y comprobación de los sistemas del tren. (frecuencia: baja)

Accionamiento de parasoles: En la consola derecha STFC se encuentran los pulsadores que accionan los tres parasoles que dispone la cabina de conducción. (frecuencia: baja)

Uso de GSM-R e intercomunicador: El GSM-R es utilizado en al inicio del viaje, cuando el maquinista introduce los datos de posición o durante el viaje cuando quiere hacer una

llamada por radiotelefonía. El intercomunicador permite la comunicación del maquinista con el servicio del tren y avisar de los pasos por túneles. (frecuencia: baja)

Apertura de puertas: Las puertas se accionan con unos pulsadores situados en la parte central del pupitre. Esta tarea se realiza para permitir el acceso y desembarco de pasajeros. (frecuencia: baja)

Alumbrado y climatización: Estos pulsadores del SFTC son usados por el maquinista para activar o desactivar el alumbrado y climatización del tren. (frecuencia: baja)

Controles de conducción en zona muerta: Si el tren pasara por este tipo de zona, el maquinista tendría que accionar los pulsadores situados en la parte central del pupitre. (frecuencia: muy baja)

Pulsador de freno de emergencia: En el caso de una emergencia el maquinista tendría que accionar la “seta” de emergencia. (frecuencia: muy baja, casi nula)

Ajuste de asiento y reposapiés: Es una tarea que realiza al acceder al asiento por primera vez antes de iniciar el viaje. (frecuencia: muy baja)

Hombre Muerto: Como requisito de seguridad, el maquinista debe accionar un pedal o pulsador llamado de “Hombre Muerto” cada pocos segundos. (frecuencia: muy alta)

Auxiliares: Como por ejemplo puede ser el uso de la papelera. (frecuencia: muy baja)

6.3 FILMACIÓN DE LA ACTIVIDAD

Con la cámara Canon se hicieron grabaciones de video con las que se pudo comprobar las posturas que el conductor adoptaba durante las tareas anteriormente descritas. A su vez gracias a este video, se simularon las posturas con el programa Poser 8 que nos servirá para calcular los ángulos de los segmentos corporales y hacer el análisis ergonómico de las posturas.

Con la grabación en video de la entrevista se procedió a la selección de las posturas importantes que serán las que luego analicemos y a partir de las cuales obtendremos resultados y estadísticas.

En total se seleccionaron y simularon 40 posturas que están recogidas en los anexos 14.2.1 (Índice) y 14.2.2 (fotos)

6.4 INFORMACIÓN PORPORCIONADA POR EL USUARIO

Durante la filmación de la actividad y la entrevista con check-lists se obtuvo información muy interesante referente al trabajo en la cabina de conducción, como por ejemplo:

Referente al campo visual, el conductor indicó que a pesar de no poder ver el frontal o “morro” del tren, llegaba a tener suficiente percepción de las medidas con el tiempo. También comentó que a veces en la pantalla principal del STFA se veían reflejados, cuando el sol le incidía frontalmente lo que dificultaba la lectura de datos.

Para bajar del tren a la vía se dispone de una escalerilla en el lateral, pero si el tren se para en una curva muy peraltada puede llegar a resultar muy difícil volver a subir

El embarque y desembarque de los pasajeros sólo se muestra por el monitor izquierdo en el STFB. En consecuencia cuando el embarque es por la derecha le producía cierta confusión.

El maquinista manifestó la sensación de que el asiento estuviera instalado un poco girado hacia la izquierda, se supone que en la posición de enclavamiento para la conducción. El ajuste de altura y distancia del asiento al pupitre eran correctos ya que le permitía un adecuado alcance a los mandos y pulsadores.

Durante la conducción, la visión de los indicadores de uso poco frecuente le obliga cada cierto tiempo a un barrido de izquierda a derecha de todo el pupitre, con el correspondiente giro cervical. No obstante, esta tarea es esporádica aunque necesaria.

El maquinista dijo que tenía ciertas molestias en la zona de los hombros, pero no eran persistentes y cambiando de postura desaparecían.

De acuerdo a la información suministrada por el maquinista se han definido las siguientes frecuencias, a efectos de clasificar las tareas que realiza durante la conducción. Son porcentajes aproximados del tiempo estimado que el maquinista está realizando una actividad con respecto a la duración de un viaje medio.

Frecuencia:	Alta	70 – 100 %
	Media	30 – 70 %
	Baja	10 – 30 %
	Muy baja	0 – 10 %

6.5 POSTURAS, TAREAS Y FRECUENCIAS

A continuación se encuentra la tabla que recoge las tareas principales con las posturas que adoptaba para su realización y la frecuencia estimada de estas posturas

TABLA DE CLASIFICACION DE POSTURAS-TAREAS

<i>Grupo Posturas</i>	<i>Tareas Principales</i>	<i>Frec.</i>	<i>Posturas</i>
1. Observación/Conducción	A. Observación durante conducción	Alta	1.1 y 1.2
2. Mandos Principales	B. Puesta en marcha/Frenado	Baja	2.1 y 2.2
3. Controles y Displays	C. Diagnósis y Preparación	Baja	3.1., 3.2., 3.3.2.
	D. Control Parasoles	Baja	3.3.3.
	E. GSM-R/Intercomunicador	Baja	3.2.4.
	F. Control Puertas	Baja	3.1.3.a
	G. Alumbrado/Climatización	Baja	3.2.1. 3.3.1.
	H. Controles Zona Muerta	Muy baja	3.1.2. 3.2.3.
	I. Freno de Emergencia	Muy baja	
4. Asiento y Reposapiés	J. Ajuste Asiento	Muy baja	4.1., 4.2. 4.3., 4.4.
	K. Pedal Hombre Muerto	Alta	4.5.
	L. Tareas auxiliares	Muy baja	4.6.

Figura 10

7 ANALISIS DIMENSIONAL

Con el programa de fotogrametría obtuvimos la recreación en 3D del puesto, donde pudimos medir las dimensiones más importantes del puesto de trabajo.

Dimensiones Generales Planta

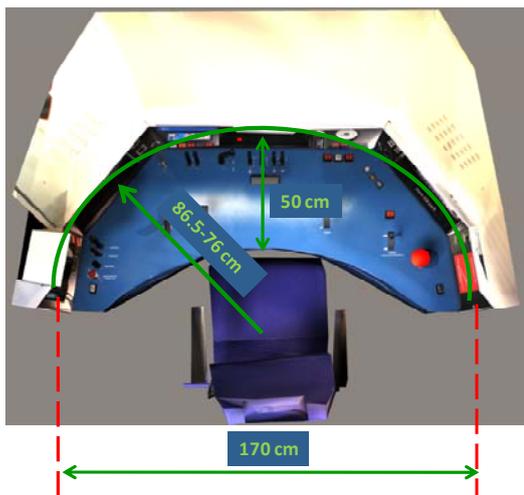


Figura 11

Dimensiones Generales Perfil

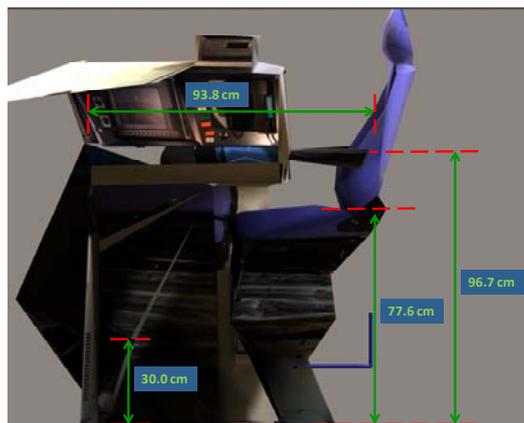


Figura 12

Dimensiones Generales Alzado



Figura 13

	Dimensiones	Datos	UNE-14738	OK?	Guía PVD (RD 488/97)	OK?
hueco para los pies	Anchura	560	700	Menor	450	OK
	Profundidad	430	700	Menor	350	OK
	Inclinación	20º	-	-	0-15º	Mayor
hueco para piernas	C:	500	457	OK		
	D:	790	882	Menor		
plano de trabajo	H	925	1030			
	K	42	30	Mayor		
	W	967	1060			
alcance máximo	A2		730	OK		
	B2	1700	1170	Mayor		
	C2	500	415	Mayor		

Figura 14

Para ver el significado de las dimensiones:

Hueco para los pies: [Figura 42](#), [Figura 43](#)

K,H,W : [Figura 44](#)

C, D: [Figura 46](#)

A2: [Figura 45](#)

B2, C2: [Figura 47](#)

8 ANALISIS POSTURAL Y DEL CAMPO VISUAL

8.1 REBA

Con las posturas más importantes se realizó un análisis REBA con el sistema Move-Human de la Universidad de Zaragoza. A continuación tenemos un ejemplo de postura analizada, donde podemos ver los resultados obtenidos para los tres percentiles estudiados. En el anexo 14.6 se tienen las restantes posturas analizadas.

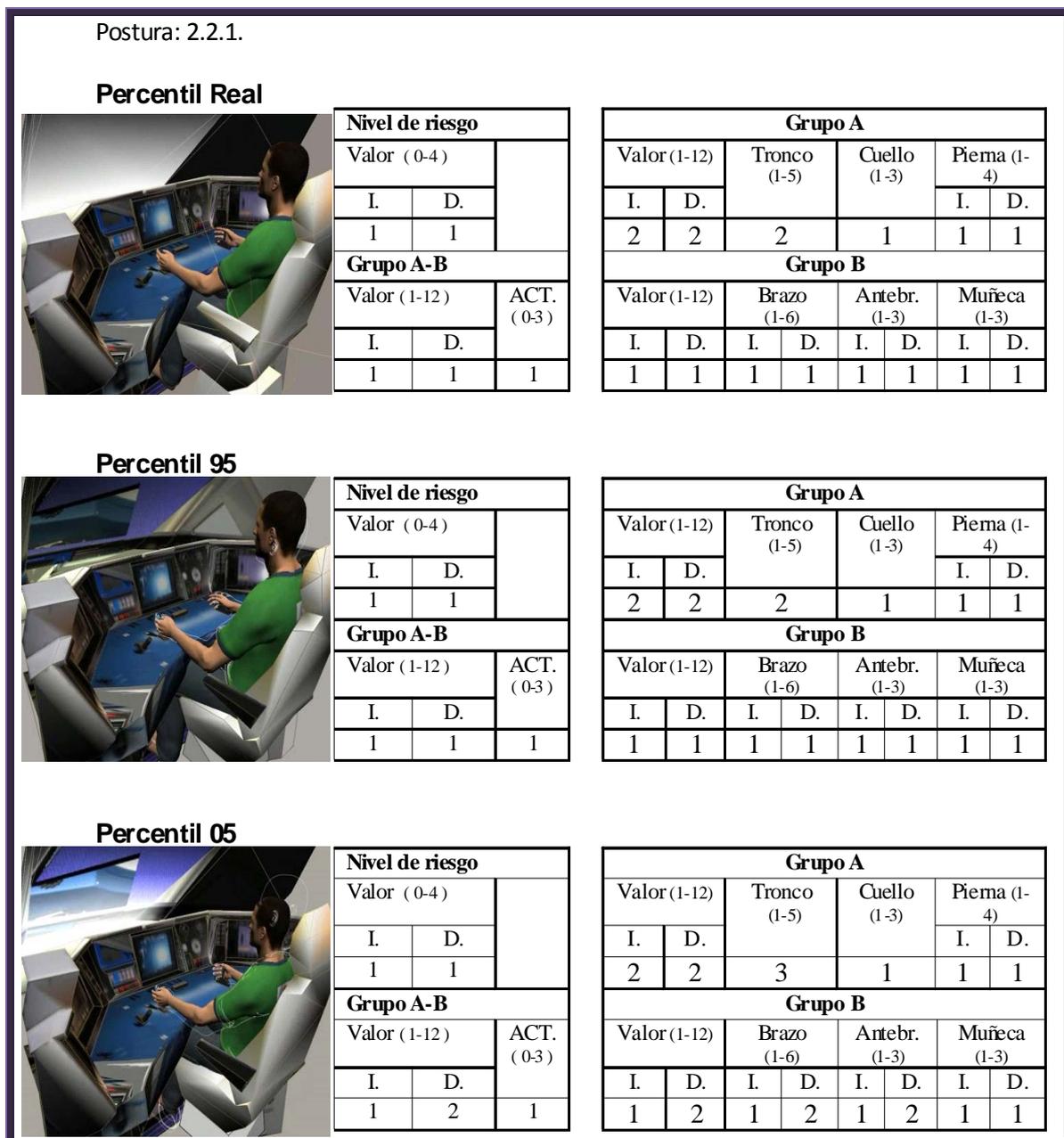


Figura 15

A continuación se encuentran las tablas y gráficos con estadísticas obtenidas para los niveles de riesgo posturales. La primera parte es una comparación de los tres percentiles simulados. En ella se pueden comparar por separado los niveles de riesgo obtenidos tanto para el lado izquierdo del cuerpo como el derecho. En el anexo 14.6 existe una sección donde están recogidas las estadísticas para los tres percentiles divididos en diferentes secciones anatómicas (Brazos, Tronco/cuello, Antebrazos, y Muñecas)

Niveles de riesgo, estadísticas:

Percentil Real

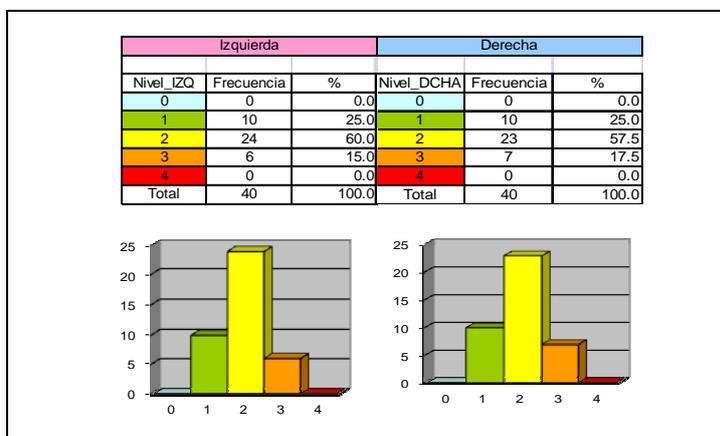


Figura 16

Percentil 95

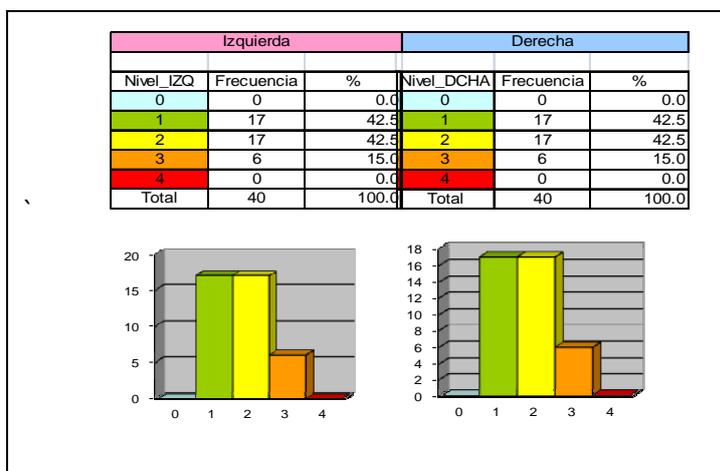


Figura 17

Percentil 05

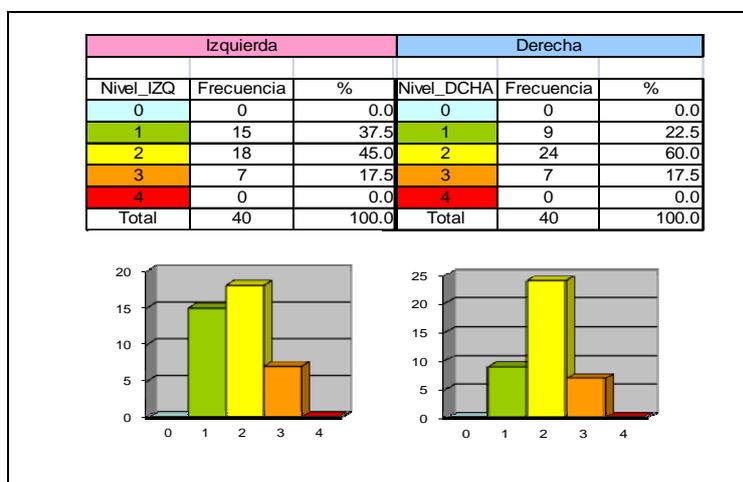


Figura 18

8.2 BIOMECÁNICA

En esta sección se disponen los resultados de ángulos de varias partes del cuerpo como son la espalda y brazos en las diferentes posturas adoptadas por el conductor.

En la siguiente página se presenta la Figura 19 que contiene las simulaciones del percentil real de tres posturas críticas para la espalda, y brazos. Para una consulta más detallada, en el anexo 14.7 se encuentran graficas con las estadísticas de los ángulos en las posturas estudiadas para los tres percentiles. También dentro del anexo 14.5 donde se recogen el significado de cada uno de los parámetros angulares que se citan en este documento

Postura: 3.2.4 (Espalda)

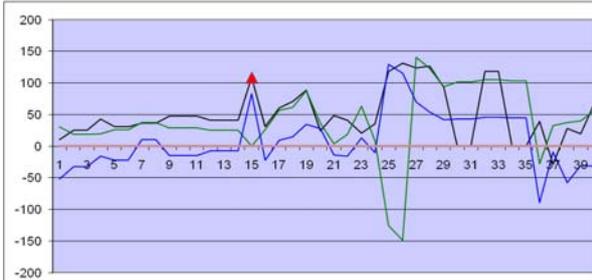
Percentil Real



		Valor de Marca	Máximo	Mínimo
1 - Espalda.Rs	Marcado	5.80	24.00	-19.02
2 - Espalda.Ri		-30.73	43.60	-30.73
3 - Espalda.Rp		41.13	41.13	-21.87

Postura: 3.1.1. (Brazo derecho)

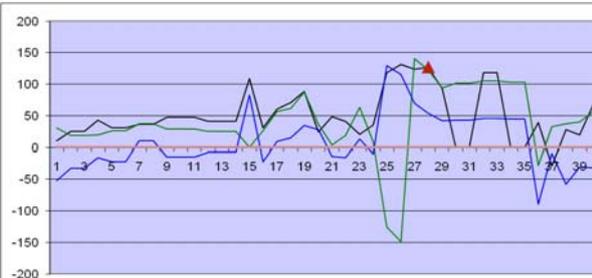
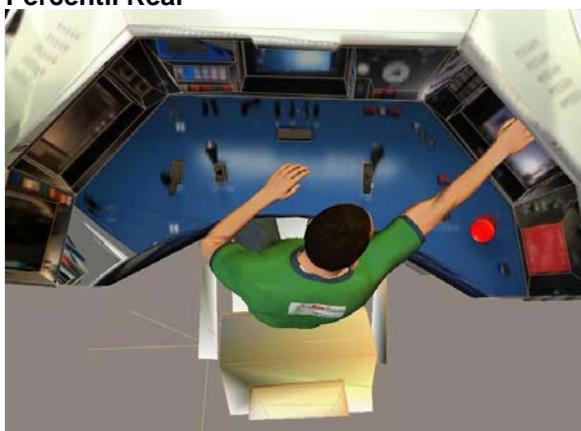
Percentil Real



		Valor de Marca	Máximo	Mínimo
1 - Brazo.D.Rs	Marcado	108.81	130.86	-29.03
2 - Brazo.D.Ri		0	140.44	-148.56
3 - Brazo.D.Rp		83.09	129.58	-89.42

Postura: 3.3.2. (Brazo derecho)

Percentil Real



		Valor de Marca	Máximo	Mínimo
1 - Brazo.D.Rs	Marcado	126.72	130.86	-29.03
2 - Brazo.D.Ri		122.78	140.44	-148.56
3 - Brazo.D.Rp		54.47	129.58	-89.42

Figura 19

8.3 CAMPO VISUAL

Con el sistema de seguimiento ocular y las simulaciones realizadas en *Poser 8*, se ha concluido que el conductor tiene una buena visibilidad de todas las pantallas, botones, palancas y displays del pupitre de conducción.

En la Figura 20, abajo, se puede ver al conductor con el sistema de *Eyetracking* mientras efectúa una tarea de chequeo previa a la puesta en marcha del tren. En la Figura 21 tenemos el mismo instante grabado con la cámara del *Eyetracking*. Se puede observar una cruz roja en la imagen indicando el lugar exacto que el conductor estaba mirando en ese instante.

Para más información consulte el anexo 14.13



Figura 20



Figura 21

9 DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES EN BUTACA

Se llevó a cabo el registro de datos de la distribución de presiones correspondiente a un total de cuatro posturas:

- Postura 1 (Figura 22): Posición de observación, con apoyo de los antebrazos en el pupitre. Postura de conducción habitual durante la conducción a velocidad normal de marcha. Espalda apoyada sólo en la zona lumbar.
- Postura 2 (Figura 23): Posición de operación con las manos sujetas a los controladores de tracción y freno. Postura habitual durante la salida o llegada a la estación. Espalda apoyada sólo en la zona lumbar.
- Postura 3 (Figura 24): Posición de descanso, con la espalda bien apoyada en el respaldo del sillón (zona dorsal y lumbar). No habitual en el conductor observado, ya que no le requería la necesaria atención y actitud de alerta.
- Postura 4 (Figura 25): Posición presionando el pedal de “hombre muerto” con el pie.

A continuación se incluye ciertas fotos ilustrativas de cada una de las posturas citadas.



Figura 22



Figura 23



Figura 24



Figura 25

NIVEL DE RIESGO DE ACUERDO A LA "PRESION MEDIA".

A efectos de este estudio se ha definido un nivel de RIESGO de producción de úlceras, dependiendo de la presión media de cada zona, que va de 1 a 4 puntos, en función de la siguiente clasificación:

- Si Presión < 32 mmHg Riesgo nivel 1. Amarillo, no hay riesgo.
- Si 32 < Presión < 60 Riesgo nivel 2 Azul, riesgo bajo.
- Si 60 < Presión < 80 Riesgo nivel 3 Naranja, riesgo alto.
- Si Presión > 80 Riesgo nivel 4 Rojo, riesgo muy alto.

		postura 1	postura 2	postura 3	postura 4
maquinista	TOTAL	1	1	1	1
	Cabeza	1	1	1	1
	Tórax	1	1	1	1
	Lumbar	1	1	1	1
	Sacro	2	2	2	2
	Piernas	1	1	1	1

Figura 26

En el anexo 14.8 se presentan más resultados obtenidos y también otras maneras del cálculo de riesgo postural, como son la máxima presión o el parámetro SPD.

10 USABILIDAD Y COMODIDAD

Con la información facilitada por el conductor se llegó a las siguientes conclusiones respecto a la usabilidad y comodidad del puesto de trabajo:

- El maquinista considera que la ubicación de los mandos principales (control tracción y freno) es idónea ya que se encuentran en el campo visión más directo, en la parte central y a su alcance en posición cómoda.
- La localización del intercomunicador/radiotelefonía está demasiado alejada ya que obliga al usuario a adoptar una postura forzada y poco cómoda a la hora de su utilización.
- La pantalla de control central que está ubicada dentro del STFA facilita una posición natural durante las tareas de conducción y control del vehículo. Sin duda esta configuración es más adecuada que la de dos equipos independientes existentes en las unidades más antiguas.
- El campo visual exterior del tren es adecuado, se ve con claridad las vías durante la conducción. El campo visual interior también es apropiado para la visualización de los controles y avisos del tren. Durante la tarea de conducción hay ocasiones en que el sol incide de frente al conductor, necesitando activar los parasoles.
- El asiento es adecuado y cómodo para el puesto, el mapa de presiones no refleja ningún punto de presión muy elevada y es fácilmente regulable para diferentes antropometrías, aunque el conductor comentó que tenía una sensación de que estuviese girado un par de grados a la izquierda.
- El reposapiés es regulable en altura lo que permite el uso adecuado a personas con diferentes antropometrías.
- Durante la tarea de conducción el maquinista tiene que pulsar el pedal del “Hombre Muerto” cada pocos segundos, lo que le obliga a estar atento y en su asiento la mayor parte del tiempo. No obstante, dispone de unos botones en el pupitre con la misma finalidad, que le permiten levantarse y estirar las piernas o realizar algún estiramiento de la espalda para relajarla, sin dejar de realizar esta tarea tan importante y frecuente.
- En el caso de que el maquinista tuviera que bajar a la vía, el tren dispone de unas escalerillas para ello, pero convendría estudiar si es adecuada para percentiles bajos.

11 VALORACIONES Y CONCLUSIONES DEL ESTUDIO ERGONÓMICO

A continuación se describen las valoraciones y conclusiones obtenidas con los datos del estudio ergonómico.

VALORACION DIMENSIONAL:

- Según las simulaciones, hemos estimado los siguientes rangos mínimos de Regulación para los elementos que se indican:

Altura del asiento entre	65 y 75 cm. (respecto al suelo)
Altura del reposapiés entre	20 y 40 cm. (respecto al suelo)

- El reposapiés resulta inferior en anchura y profundidad al tamaño recomendado por la UNE 14738, sin embargo sí cumple los criterios de la ISO 9241 (recogidos también en la Guía técnica de PVD del INSHT).
- El plano de trabajo es alto, pero permite la postura sentada correcta, ya que se dispone de silla y reposapiés regulables. El espesor del pupitre no cumple la normativa, pero sólo difiere en 1,2cm de lo marcado.
- El espacio libre para las piernas debería ser algo mayor en la zona de los pies y habría que comprobar si hay suficiente holgura a nivel de las rodillas, especialmente en profundidad. (no se dispone de datos para comprobar este extremo, ya que no se tomaron fotos suficientes de esa zona).
- Se puede observar que los controles principales están dentro de la zona alcance máximo (Norma UNE-14738-02) (ver Figura 47) pero el resto de los mandos se encuentran más alejados, es conveniente el rediseño de este aspecto que también ha sido corroborado por la valoración postural explicada a continuación.

VALORACIÓN POSTURAL:

- Brazos: existe mayor riesgo en el derecho que en el izquierdo con un 17,5% de posturas de riesgo muy alto. La situación más favorable para el brazo derecho la encontramos en P95.
 - La flexión del brazo derecho se mantiene por encima de 60º durante el 30% de la actividad, superando incluso los 90º, límite de riesgo muy alto, en un 20 %. En abducción más del 20% posturas superan los 90º, límite de riesgo muy alto, destacando que esto no se produce en P95.

- La flexión del brazo izquierdo se mantiene por encima de 60° durante el 20% de la actividad, superando incluso los 90°, límite de riesgo muy alto, en un 15 %. Entre 12-15% posturas superan los 90° de abducción, límite de riesgo muy alto, siendo superior al ángulo de 45° de confort.
- Espalda: se aprecia un riesgo alto sólo en 10% de posturas de P50, que desaparecen por completo en P95. La flexión de la espalda es correcta durante casi toda la actividad, sin embargo un porcentaje alto de posturas (40%) mantiene una lateralización, inadecuada, relacionada fundamentalmente con la manipulación de controles laterales. La rotación o giro de la espalda por encima de los límites adecuados, coincide con las posturas en las que hay lateralización aunque el porcentaje de estas es menor.
- Cuello: observamos un nivel de riesgo muy alto para P05 en un 40% de posturas, debido a la dificultad de acceder a los controles, mandos y displays más alejados.
- Valoración global: queda manifiesto que un 15% de posturas en el lado izquierdo y un 17% en el lado derecho presentan un riesgo ALTO (nivel3), no apareciendo ninguna de riesgo muy alto. Predominando las posturas de riesgo medio para ambos lados.

En cuanto a las posturas analizadas individualmente, es interesante destacar que:

- En las tareas de observación y de uso de mandos principales, consideramos más adecuada la postura con apoyo completo de la espalda ya que disminuye el riesgo postural y la tensión del cuello. Se debe tener en cuenta que ambas tareas son las de mayor frecuencia en este puesto de trabajo y una postura incorrecta puede acabar provocando lesiones y molestias en la zona cervical.
- En la manipulación de los diferentes pulsadores frontales y laterales, las posturas que se adoptan son incorrectas con un nivel de riesgo 3, es decir ALTO para los tres percentiles ya que los brazos deben flexionarse de manera excesiva y en ocasiones también la espalda. Observándose que en el P95 el riesgo es ligeramente menor. Por tratarse de tareas de baja frecuencia su repercusión es menor, pero podemos concluir que las zonas de alcance están alejadas y el diseño del puesto podría mejorarse reduciendo estas distancias y también colocando el mayor número posible de los mismos en la zona frontal.
- El uso del teléfono (tarea de baja frecuencia) requiere flexión y torsión de la espalda y una postura inadecuada del cuello. Sería recomendable reubicarlo en una zona más fácilmente accesible.
- Ninguna posturas tiene un nivel de riesgo alto en el estudio de presiones con valores entre 32,5 y 33,8 mmHg mínimamente superiores al valor de 32 mmHg.
- Por último la papelera sería conveniente situarla en un lugar más próximo aunque su uso es muy infrecuente.

Estas posturas incorrectas de espalda y brazos se reducen considerablemente en P95, lo que indica claramente que los controles y pulsadores están colocados a una distancia más adecuada para personas con esas dimensiones corporales. Esto nos permite concluir que el puesto en su conjunto tiene un riesgo postural Medio- Bajo y que está mejor adaptado para los percentiles mayores (P95). Sería recomendable rediseñar la posición de los mismos, situándolos si es posible más cercanos y frontales al trabajador, teniendo en cuenta la frecuencia de uso de cada uno de ellos, priorizando los más utilizados, aunque casi todas estas son tareas de baja frecuencia.

Por último es recomendable que el trabajador realice cambios posturales durante la conducción incluso levantándose periódicamente, puesto que el estatismo postural conlleva a la aparición de lesiones musculoesqueléticas.

12 ESTUDIO ECONÓMICO

En esta sección se explica el estudio realizado sobre la viabilidad económica de realizar estudios ergonómicos de este tipo, en una empresa de servicios ajenos, para la prevención de riesgos laborales. Se trataría de una ampliación de los servicios que ofrece esta empresa con estudios como el que se recoge en este proyecto.

A continuación se describen la inversión inicial necesaria, la viabilidad económica esperada y para terminar un análisis de sensibilidad para escenarios pesimista y optimista.

12.1 INVERSION INICIAL

En esta tabla se desglosa el coste de la inversión inicial para la compra del equipo necesario para la realización de evaluaciones ergonómicas:

	cantidad	Precio	Total
Cámara DSLR Canon EOS 60D	1	800.00 €	800.00 €
objetivo gran angular 8-16mm	1	700.00 €	700.00 €
Trípode para cámara	1	100.00 €	100.00 €
Flash Canon	1	280.00 €	280.00 €
Antorcha de diodos	1	70.00 €	70.00 €
Cámaras Video Panorámico Drift	2	350.00 €	700.00 €
casco y fijaciones para cámaras Drift	1	80.00 €	80.00 €
Coded Targets y referencias de Fotogrametría	1	20.00 €	20.00 €
Ordenador Portátil	1	1,000.00 €	1,000.00 €
Software Move Human	1	6,000.00 €	6,000.00 €
Manta de Presiones Xsens	1	26,000.00 €	26,000.00 €
Eye-Tracking	1	30,000.00 €	30,000.00 €
Guantes de Presiones	1	15,000.00 €	15,000.00 €
Sistema de Captura de Movimiento por sensores inerciales	1	20,000.00 €	20,000.00 €
Total=			100,750.00 €

Figura 27

12.2 VIABILIDAD ECONÓMICA

Se han considerado los siguientes gastos fijos (anuales):

	cantidad	Precio	Total
Técnicos	2	30,000.00 €	60,000.00 €
laboratorio/almacén	1	3,600.00 €	3,600.00 €
Mantenimiento software	1	3,000.00 €	3,000.00 €
Total=			66,600.00 €

Figura 28

Euros/unidad	
3,900.00 €	completo
2,200.00 €	medio
1,000.00 €	básico

Figura 29

VARIABLES para cálculo:

Trabajo(meses/año)=	11
% de financiación	20.00%
Int. Crédito	3.00%
Impuestos =	35.00%
Tasa actualización =	6.00%

Figura 30

Escenario esperado

El escenario esperado para este tipo de empresa es el siguiente

Num. Proyectos al mes	
0.09	completo
2	medio
3	básico
5.00%	tasa de crecimiento

Figura 31

Con lo que obtenemos los siguientes resultados al quinto año de operación:

VAN =	33,439.78 €
TIR =	19.80%
ICB =	0.41

Figura 32

Véase el [anexo 14.9](#) para ver más figuras y gráficos

12.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD Y RIESGOS

Aquí se presentan dos casos, uno pesimista y otro optimista, para el cálculo de rentabilidad de la inversión.

Escenario Pesimista

En este caso consideramos que inicialmente la empresa tendrá poca demanda de proyectos, pero esta irá creciendo conforme se vea el buen resultado del servicio dado.

Número de proyectos realizados al mes:

Num. Proyectos al mes	
0.00	completo
2	medio
2.2	básico
8.00%	tasa de crecimiento

Figura 33

Resultados al quinto año de operación:

VAN =	5,196.37 €
TIR =	8.11%
ICB =	0.06

Figura 34

Escenario Optimista

Como último caso tenemos el optimista, donde se ve que la demanda inicial de proyectos es más alta pero con un crecimiento más moderado.

Número de proyectos realizados al mes:

Num. Proyectos al mes	
1	completo
1.5	medio
2	básico
2.50%	tasa de crecimiento

Figura 35

Resultados al quinto año de operación:

VAN =	65,339.16 €
TIR =	32.74%
ICB =	0.81

Figura 36

Consúltense el anexo 14.9 para ver más figuras y gráficos

13 CONCLUSIONES GENERALES

- Referente al estado de la técnica, se hizo una búsqueda de estudios similares para tener una referencia de trabajos previos. Se encontraron artículos que contenían información muy útil para el desarrollo del proyecto como por ejemplo un estudio ergonómico de un quirófano de laparoscopias, [19]. Este ejemplo da a entender que ya existen estudios ergonómicos realizados basados en simulación por ordenador y que los resultados obtenidos son buenos. En general la metodología que nosotros empleamos fue similar a la empleada en ejemplo. También se encontró un artículo del análisis postural en conductores de coches [1] que es un ejemplo de una metodología de trabajo parecido pero con captura de movimiento basada en marcadores *ELITE*, lo que permite una simulación de las posturas muy precisa. El sistema *Move-Human* de la Universidad de Zaragoza dispone de un sistema de captura de movimiento basado en sensores inerciales que permite una captura tan precisa como con los sensores *ELITE*, pero consideramos que las posturas que el conductor adoptaba eran fácilmente simulables sin este equipo así que optamos por la grabación en video y la posterior recreación de las posturas manualmente.
También se consultó un artículo sobre investigación de problemas posturales de conductores con el método RULA [20] En este artículo se valida el uso del método RULA por lo tanto la opción del uso del método REBA con un solo maquinista fue considerada adecuada para la realización de nuestro análisis. Se encontraron estudios realizados por el Instituto de Biomecánica de Valencia [24] y en la revista *Applied Ergonomics* 2000 [28] muy similares al que se realizó en este proyecto y sirvieron como referencia y ayuda para identificar posibles puntos de mejora a priori.
- La valoración y conclusiones de la metodología empleada y sugerida en este proyecto son positivas. En resumen, esta metodología consiste en una toma de datos en campo, y el posterior análisis. La toma de datos en campo consta de fotografía del puesto, medición del sujeto y una entrevista grabada en video. Opcionalmente se puede disponer del uso de un sistema de Eye-tracking, una manta y guante de presiones y sensores de captura de movimiento. La entrevista con el operario es un punto que tiene especial importancia ya que la información que proporciona es muy útil y específica, debido a su experiencia personal con el puesto de trabajo. En el punto de análisis de datos tenemos la recreación del puesto, mediante fotogrametría o planos 3D, la simulación el movimiento con modelos biomecánicos y el análisis postural mediante el método REBA y Biomecánica.
Se ha podido comprobar que los resultados obtenidos son acertados y están justificados. Esto sugiere que esta metodología pueda ser aplicada a otros puestos de trabajo para su análisis y evaluación ergonómica.

- Las conclusiones generales respecto al puesto de conductor de tren de alta velocidad estudiado son que la disposición de los elementos en el pupitre está algo alejada del alcance máximo recomendado siendo el percentil 95 el que menor riesgo postural posee. (Cuanto menor es el percentil del operario peor alcance tiene a los elementos más alejados.) Se recomienda por tanto que se acerquen algo más las pantallas y botones de las consolas STFA, STFB y STFC. Especial mención requiere el intercomunicador y GSM-R que están demasiado lejos y para su uso el conductor toma una postura de riesgo elevado. También se destaca que la mayor parte del tiempo, el conductor adopta una postura relajada de observación, por tanto en general no es un puesto especialmente conflictivo.
- Las conclusiones obtenidas del estudio económico son que si una empresa dedicada a la prevención de riesgos quisiera implantar la evaluación ergonómica de puestos como un añadido a sus servicios, podría considerar el sistema que nosotros hemos empleado, una inversión rentable y factible que en el peor escenario es rentable antes de 5 años.

REFERENCIAS

1. Andreoni, G., Santambrogio, G.C., Rabuffetti, M., Pedotti, A. 2002. **Method for the analysis of posture and interface pressure of car drivers.** Applied Ergonomics 33, 511-522.
2. Borg, G., 1985. **An Introduction to Borg's RPE-Scale.** Movement Publications, Ithaca, NY.
3. Brienza, D.M., Karg, P.E., Geyer, M.J., Kelsey, S., Trefler, E. 2001. **The relationship between pressure ulcer incidence and Buttock-Seat cushion interface Pressure in at-risk elderly wheelchair users.** Archives of Physical Medicine and Rehabilitation 82, 529-33
4. Coombs, L.F.E. 1973. **Steam locomotive ergonomics.** Applied Ergonomics 4, 23-28.
5. Corlett, E. N., Bishop, R.P., 1976. **A technique for assessing postural discomfort.** Ergonomics 19, 175 -182.
6. Feyen, R., Lui, Y., Chaffin, D., Jimmerson, G., Joseph, B., 2000. **Computer-aided ergonomics: a case study of incorporating ergonomics analyses into workplace design.** Applied Ergonomics 31, 291-300.
7. Gil Agudo, A., de la Peña González, A.I., del Ama Espinosa, A., Pérez Rizo, E., Crespo Ruiz, B., y Pérez Nombela, S. 2010 . **Evaluación de la distribución de las presiones de apoyo en la interfaz usuario-cojín para determinar la presión de inflado de los cojines de aire.** Rehabilitación 44 (1):32-39
8. Gil Agudo, A., de la Peña-González, A.I., del Ama-Espinosa, A., Pérez-Rizo, E., Diaz-Dominguez, E., Sánchez Ramos, A. 2009. **Comparative study of pressure distribution at the user-cushion interface with different cushions in a population with spinal cord injury.** Clinical Biomechanics 24, 558-563.
9. Harrison, D.D., Harrison, S.O., Croft, A.C., Harrison, D.E., Troyanovich, S.J. 1999. **Sitting Biomechanics Part 1: Review of the literature.** Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics Vol. 22, Num 9, 594-609
10. Hedberg, G. 1987. **Evaluation of the driver's cab in the Rc5 engine.** Applied Ergonomics 18.1, 35-42.
11. Hignett, S., McAtamney, L. 2000. **Rapid Entire Body Assessment: REBA.** Applied Ergonomics 31, 201-205.
12. Honglun, H., Shouqian, S., Yunhe, P. 2007. **Research on virtual human in ergonomic simulation.** Computer and Industrial Engineering 53, 350-356

13. Hu, B., Ma, L., Zhang, W., Slavendy, G., Chablat, D., Bennis, F. 2010 **Predicting real-world ergonomics measurements by simulation in a virtual environment.** International Journal of Industrial Ergonomics 30, 1-8
14. Jianghong, Z., Long, T. 1994. **An evaluation of comfort of a bus seat.** Applied Ergonomics 25, 386-392.
15. Johansson, A., Nilsson, L. 2006. **Evaluation of Discomfort Using Real-time Measurements of Whole Body Vibration and Seat Pressure Distribution While Driving Trucks.** Master's Thesis in Ergonomic Design & Production Engineering. Lulea University of Technology. Sweden.
16. Karhu, O., Kansu, P., y Kuorinka, L., 1977, **Correcting working postures in industry: A practical method for analysis.** Applied Ergonomics, 8, 199-201.
17. Kingma, I., de Looze, M.P., Toussaint, H.M., Klijnsma, H.G., Bruijnen, T.B.M. 1996 **Validation of a full body 3-D dynamic linked segment model.** Human Movement Science 15, 833-860.
18. Kouchi, M., Mochimaru, M., 2011 **Errors in landmarking and the evaluation of the accuracy of traditional and 3D anthropometry.** Applied Ergonomics 42, 518-527.
19. Marcos, P., Seitz, T., Bubb, H., Wichert, A., Feussner, H. 2006. **Computer simulation for ergonomic improvements in laparoscopic surgery.** Applied Ergonomics 37, 251-258.
20. Massaccesi, M., Pagnotta, A., Soccetti, A., Masali, M., Masiero, C., Greco, F., 2003. **Investigation of work-related disorders in truck drivers using RULA method.** Applied Ergonomics 34, 303-307
21. McAtamney, L., Corlett, N. 1993. **RULA: A survey method for the investigation of work related upper limb disorders.** Applied Ergonomics 24(2), 91-99
22. Olsson, E., Jansson, A., 2005. **Participatory design with train drivers — a process analysis.** Interacting with Computers 17, 147-166.
23. Rahmatalla, S., Xia, T., Contratto, M., Kopp, G., Wilder, D., Law, L.F., Ankrum, J. 2008. **Three-dimensional motion capture protocol for seated operator in whole body vibration.** International Journal of Industrial Ergonomics 38, 425-433.
24. Ruiz Rodríguez, J.R., Solaz Sanahuja, J.S., de Rosario Martínez, H., Miglianico, D. Julio 2009., **Diseño de la cabina de ferrocarriles metropolitanos.** Revista de Biomecánica 52, 9-11. Instituto de Biomecánica de Valencia.
25. Seitz, T., Balzulat, J., Bubb, H., 2000. **Anthropometry and measurement of posture and motion.** International Journal of Industrial Ergonomics 25, 447-453.

26. Seigler, T. M. 2002 **A Comparative Analysis of Air-inflated and Foam Seat Cushions for Truck Seats**. Master's Thesis for the degree of Master of Science in Mechanical Engineering. Virginia
27. Stein, G.J., Mucka, P., Gunston, T.P., Badura, S., 2008. **Modelling and simulation of locomotive driver's seat vertical suspension vibration isolation system**. International Journal of Industrial Ergonomics 38, 384-395..
28. Stevenson, M.G., Coleman, N., Long, A.F., Williamson, A.M. 2000. **Assessment, re-design and evaluation of changes to the driver's cab in a suburban electric train**. Applied Ergonomics 31, 499-506.
29. Sutherland, C.A., Albert, J.W., Wrigley, A.T., Callaghan, J.P. 2008. **A validation of a posture matching approach for the determination of 3D cumulative back loads**. Applied Ergonomics 39, 199-208.
30. Vedder, J. 1998. **Identifying postural hazards with a video-based occurrence sampling method**. International Journal of Industrial Ergonomics 22, 373-380.
31. Waters, T.R., Putz-Anderson, V., Garg, A., Fine, L.J. 1993. **Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks**. Ergonomics 6, 749-476.