

## ERGONOMÍA Y HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN 3D PARA EL DISEÑO DE PRODUCTOS Y PROCESOS PRODUCTIVOS

Alberto Sánchez Lite

Manuel Garcia

Francisco Martinez

Javier Zabaleta

Patricia Rabanal

Cristina Gallo

### Abstract

Nowadays ergonomic factors, technology of 3D design, simulation tools and virtual reality techniques give us an excellent opportunity from the earliest stages of the product and process design, and a real approach to product life cycle. Also they can be used to improve current products and process in order to increase usability, human comfort, productivity and safety.

This paper presents two applications of this approach. The first application shows the integration of ergonomic criteria in the design of a micro-bus designed from a blank sheet for the transportation of persons with disabilities, using 3D simulation tools. This program is not an adaptation of an existing vehicle, but a specific project for this group. The second one, by means of a case study based on a real process, has as an objective the ergonomic improvement of a workstation take into account control of the musculoskeletal disorders derived from work-related musculoskeletal disorders WMSDs.

**Keywords:** ergonomics; 3D simulation tools; product design, ergonomic improve of manufacturing process

### Resumen

Actualmente los factores ergonómicos, la tecnología de diseño 3D, las herramientas de simulación y las técnicas de realidad virtual nos proporcionan una excelente oportunidad desde las primeras etapas del diseño de productos y procesos, suponiendo un acercamiento real al ciclo de vida del producto. No se debe olvidar también su utilización para mejorar los productos actuales y el proceso, a fin de aumentar la facilidad de uso, el confort humano, la productividad y la seguridad. De las dos aplicaciones recogidas en este artículo, la primera de ellas, muestra la integración de los criterios ergonómicos en el diseño de un microbús para el transporte de personas con discapacidad, empleando herramientas de simulación 3D. La segunda de ellas, mediante un caso real, muestra una mejora de proceso, mediante la mejora ergonómica del puesto de trabajo actuando sobre los factores de riesgo generadores de trastornos músculo-esqueléticos desde un entorno simulado de trabajo en 3D.

**Palabras clave:** ergonomía; herramientas de simulación 3D; diseño de producto, mejora ergonómica de procesos industriales.

## 1. Introducción

Hoy en día los factores ergonómicos, la tecnología de diseño 3D, las herramientas de simulación y las técnicas de realidad virtual nos proporcionan excelentes beneficios desde las primeras etapas del diseño de productos y procesos, así como acercamiento real al ciclo de vida del producto. También pueden emplearse en la mejora de los productos actuales y del proceso, con el fin de aumentar la facilidad de uso, el confort humano, la productividad y la seguridad.

El entorno de diseño 3D que propone la metodología aplicada en las aplicaciones presentadas, se basa en un modelo de simulación centrado en un Modelo Humano digital (DHM) integrado en una herramienta comercial ampliamente utilizada en el diseño de vehículos de transporte, la cual consiste en una representación digital humana en un escenario virtual replica del futuro escenario final real, facilitando de esta forma el estudio ergonómico y permitiendo realizar estudios sobre la accesibilidad, confort y seguridad y las mejoras que son necesarias para optimizar la calidad de vida. (Vincent G. Duffy, 2007).

Esta herramienta no es sencilla de utilizar, y es necesario contar con un equipo de ingenieros específico, con conocimientos en ergonomía, con habilidad a la hora de realizar CAD (Lockett et al., 2005), y con otra serie de destrezas requeridas con el fin de desarrollar un análisis adecuado.

Un DHM trata de simular el comportamiento humano, reemplazando la realidad por un modelo, estudiando las consecuencias que sobre las personas pudiera tener el producto o proceso, antes de tomar una decisión. En este estudio se ha utilizado el DHM físico, el cual abarca el área tradicional de la ergonomía, es decir, está íntimamente relacionado tanto con la fisiología aplicada, la cual incluye la biomecánica y la ergonomía, como con la seguridad.

Gracias a la herramienta anteriormente descrita, es posible eliminar las barreras físicas, favoreciendo la diversidad humana, acondicionando el producto y el proceso, e introduciendo las soluciones más adecuadas para maximizar el beneficio.

Las aplicación que nos ocupa, además de abordar la ergonomía, pretende llevar a cabo una política de prevención, con el fin de evitar los accidentes y de mejorar la seguridad, empleando para ello los escenarios virtuales, pues facilitan la tarea de mejora del dicho sistema de prevención (Karwowski, 1992).

En este artículo se recogen dos aplicaciones. La primera de ellas muestra la integración de los criterios ergonómicos en el diseño de un microbús para el transporte de personas con discapacidad, empleando herramientas de simulación 3D. La segunda de ellas, mediante un caso real, muestra una mejora de proceso, mediante la mejora ergonómica del puesto de trabajo actuando sobre los factores de riesgo generadores de trastornos músculo-esqueléticos desde un entorno simulado de trabajo en 3D.

## 2. Objetivos

Mediante 2 aplicaciones se pretende mostrar el uso de herramientas de simulación 3D, junto con la incorporación de criterios ergonómicos para el diseño y mejora de productos y procesos.

La primera, centrada en producto, se centra en la fase inicial del proyecto de diseño de un nuevo vehículo de transporte urbano universal, donde se combinan el diseño conceptual, el universal y el ergonómico, buscando una adecuada relación entre conceptos técnicos, diseño accesible, fiabilidad, estética y ergonomía.

En la segunda, centrada en procesos industriales, el objetivo se es realizar una mejora ergonómicamente de los puestos de trabajo en una pequeña empresa del sector metal, para reducir en lo posible el riesgo y las posibles lesiones, evitando que se produzcan accidentes y dolencias futuras (prevención), y alcanzar las soluciones ergonómicas adecuadas que favorezcan el trabajo de todos los operarios, logrando así que mejore la calidad de vida en el lugar de trabajo.

### **3. Metodología**

#### **3.1. Integración de criterios ergonómicos en el diseño de producto**

Esta aplicación surge como consecuencia de la importancia del transporte urbano en la sociedad, el cual es una de las formas de transporte más empleadas actualmente, destacando como principales usuarios los ancianos y las personas con discapacidad, (Ashford, 1981). Sin embargo, el transporte urbano, fundamentalmente el autobús, presenta numerosas barreras que complican y dificultan el acceso a dicho transporte.

En base a esta situación, esta primera aplicación se centra en la fase inicial del proyecto de diseño de un nuevo Vehículo de Transporte Urbano Universal (vehículo TU2), donde se combinan el diseño conceptual, el universal y el ergonómico, constituyendo de esta forma, el pilar básico en la fabricación de un innovador producto de alta calidad. (Klatte, 1997).

Se busca la adecuada correlación entre los conceptos técnicos vinculados a la construcción del vehículo (Broström et al. 2011), el diseño accesible y la humanización del diseño, reforzada por la ergonomía, la fiabilidad y la estética, (Yang et al. 2010). Este trabajo abre una nueva área en el diseño de producto. Partiendo de una idea innovadora, se desarrolla el diseño del nuevo lay out del vehículo urbano, claramente influenciado por la diversidad humana y complementado con la evaluación ergonómica, con el firme propósito de garantizar tanto a los usuarios como al conductor de dicho vehículo la calidad de vida y la seguridad demandada.

Esta nueva metodología de diseño aprovecha el potencial de la simulación y los escenarios virtuales en los estudios ergonómicos (Wilson, 1999). La estrecha relación entre ambas vertientes, permite incrementar la capacidad de ambas aplicaciones, favoreciendo la búsqueda de nuevas soluciones conjuntas que alcancen el objetivo principal de la presente aplicación.

A lo largo de este estudio se analizará la Generación de los Primeros Conceptos, estudiando el diseño conceptual, íntimamente influenciado por el diseño universal. El desarrollo del lay-out del microbús se confeccionará en base a la aplicación de las herramientas de simulación 3D, las cuales, favorecen la integración de la Realidad Virtual (RV) y el Diseño Asistido por Ordenador (CAD), permitiendo diseñar el nuevo producto, es decir, el microbús, de forma directa e intuitiva, cumplimentando las principales necesidades demandadas por

los clientes. (Bourdod, et al; 2010). De forma simultánea, se desarrollará el diseño ergonómico, analizando las diferentes mejoras incluidas en el nuevo lay out, y la implantación del sistema de prevención adecuado.

La metodología de trabajo de la Generación de Primeros Conceptos consta de las siguientes etapas:

Etapas 1.- Benchmarking: Observación y evaluación.

Etapas 2.-Medición antropométrica y evaluación ergonómica.

Etapas 3.-Análisis de objetivos de calidad.

Etapas 4.- Diseño Conceptual mediante el uso de entornos virtuales.

### **3.2. Integración de criterios ergonómicos en el diseño de proceso**

La Directiva Europea 89/391/CEE, relativa a la aplicación de las medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo, que contiene el marco jurídico general en el que opera la política de prevención comunitaria; y en particular en su Artículo 6, sobre los Principios de la acción preventiva, establece como uno de los principios generales, el tener en cuenta la evolución de la técnica. En esa línea, y con el fin de conseguir la convergencia entre competitividad empresarial y responsabilidad social, la unión de la ciencia ergonómica junto con las herramientas de diseño y simulación 3D, mediante la utilización de un Modelo digital Humano, representa una excelente opción para velar por la seguridad en el trabajo e incrementar la productividad.

Para ello se han desarrollado las distintas etapas que a continuación se describen, dentro de una metodología en la que se ha incluido el uso de un DMH en un entorno 3D que reproduce fielmente las condiciones actuales de los puestos de trabajo y el impacto ergonómico que las mejoras planteadas tendrían en los mismos.

Finalmente se ha evaluado la viabilidad técnica y económica de las nuevas soluciones con el fin de obtener máxima rentabilidad, y productividad, permitiendo la continuidad del trabajo y la oportunidad de mejora para el trabajador y la empresa.

La metodología propuesta para la mejora ergonómica del proceso tiene como objetivo la detección, evaluación, y control de los WMSDs, para mejorar las condiciones ergonómicas de los puestos de trabajo. Dicha metodología consta de las siguientes fases:

Fase 1: Análisis de la situación actual

Fase 2: Diseño CAD 3D y Evaluación ergonómica de los puestos de trabajo actuales

Fase 3: Propuestas de Mejora y su diseño CAD 3D

Fase 4: Rediseño CAD 3D de Puesto de trabajo y Evaluación Ergonómica de las Mejoras

Fase 5: Viabilidad técnico-económica de las propuestas

Fase 6: Implementación y Validación en Planta

## **4. Casos de Aplicación**

#### 4.1. Integración de criterios ergonómicos en el diseño de producto

##### Etapa 1.- Benchmarking: Observación y evaluación.

Esta primera etapa consiste en una fase de observación del entorno convencional, es decir, se analiza el lay-out de vehículos adaptados que permita detectar la disposición en planta de cada uno de los dispositivos necesarios en el sistema de transporte, y posteriormente, evaluar la necesidad de demandada de nuevos cambios en el compartimento para que de esta forma el nuevo vehículo mejore su efectividad a la hora de favorecer tanto el traslado como la conducción de personas con discapacidad.

Por lo tanto, en esta etapa se desarrollan simultáneamente el proceso de detección (interno), analizando las necesidades de los usuarios y el benchmarking (externo), el cual lleva a cabo un estudio de mercado, permitiendo a ambos procesos el desarrollo adecuado de las adaptaciones necesarias para favorecer la movilidad.

Consecuentemente, en esta etapa se requiere un importante esfuerzo intelectual, basado en una medición de la realidad, implementada por una anticipación de cambios y nuevos condicionantes, que desemboca en un conocimiento profundo del entorno de trabajo, es decir, del microbús.

El estudio de mercado (benchmarking) desarrollado en esta primera etapa, analiza los vehículos disponibles actualmente en el mercado que permiten el traslado de personas con discapacidad.

La principal diferencia de los vehículos analizados en el benchmarking respecto al futuro microbús, producto final del presente proyecto, es que ninguno de los vehículos estudiados presentan adaptaciones adecuadas para que dichos vehículos puedan ser conducidos por personas con discapacidad.

Los vehículos analizados en el benchmarking son los siguientes: Microbús con cuatro plazas destinadas a personas con movilidad reducida, Furgoneta de ocho plazas, con posibilidad de convertir las ocho plazas en cinco plazas y una plaza para personas con movilidad reducida y Ambulancia.

Las dimensiones de los vehículos se recogen en la tabla 1

**Tabla 1: Medidas vehículos benchmarking**

TIPO	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PESO
MICROBUS ADAPTADO	7345mm	1993mm	2800mm	5000kg
MERCEDES BENZ VITO TRAVEL LINER	4993 mm	1901 mm	1902 mm	2940 kg
AMBULANCIA SERIE 29L	2626 mm	1800 mm	1545 mm	3200kg

Atendiendo a la base legislativa existente en la actualidad sobre el transporte de personas con movilidad reducida, se han de tener presente las siguientes normativas:

Según el Real Decreto 818/2009 de 8 Mayo, concretamente en el artículo 4.2, en el párrafo "e", se establece que los vehículos que estén diseñados y contruidos para el transporte de

no más de ocho pasajeros además del conductor, no deben superar los 3500kg de peso neto.

La norma nacional UNE 26494:2004 en base a Vehículos de carretera establece que los vehículos empleados en el transporte de personas con movilidad reducida, la capacidad ha de ser igual o menor a nueve plazas, incluido el conductor.

Y por último, la normativa vinculada al Real Decreto 2028/1986, cuya última publicación data del 27 de Marzo de 2009, analiza las diferentes normas asociadas con la accesibilidad a los vehículos de clase I.

En base a la normativa citada, junto con la tabla comparativa procedente del benchmarking sobre las diferentes dimensiones de vehículos adaptados sometidos a estudio, se pueden estimar las medidas adecuadas del lay-out del futuro microbús, las cuales se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2.- Medidas de partida para los distintos conceptos**

TIPO	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PESO
LAY-OUT	5200mm	2000 mm	2000mm	3500kg

Una vez valuadas las dimensiones técnicas del lay-out, se procede al análisis de la voz del usuario, favoreciendo de esta forma la participación activa en el diseño ergonómico del nuevo sistema de transporte.

Por ser el campo de la discapacidad muy amplio, son numerosos los requerimientos propuestos por los clientes, entre ellos se seleccionan las demandas más destacadas, las cuales permiten incrementar la calidad de vida de un mayor número de usuarios: Espacio reservado a personas con movilidad reducida, sujeciones para sillas de ruedas, sistemas de comunicación visuales y acústicos de sobre aviso de parada, localización de parada, sistema GPS para conducción, elementos manipulables de alto contraste, sistema de control adaptable al tipo de conductor (con o sin discapacidad), sistemas de seguridad para todos los viajeros, barreras de seguridad ergonómicas en las rampas de acceso o salida.

De esta forma, aunando las características físicas, junto con las necesidades de los usuarios, se puede desarrollar un diseño de calidad, ergonómico y seguro, apto para pasajeros y conductores con o sin discapacidad, ya que como se ha comentado anteriormente la ergonomía no distingue entre discapacitados y no discapacitados

### **Etapa 2.- Medición antropométrica y evaluación ergonómica.**

La segunda etapa de la metodología de trabajo presta atención a los factores de riesgo relacionados con las posturas adoptadas tanto por el conductor como por los usuarios.

Es en esta etapa donde se recopila la información relativa a las dimensiones adecuadas del lay-out del microbús en base a la relación entre las medidas antropométricas de los usuarios, y la geometría del compartimento del vehículo, así como los movimientos y operaciones más comunes y repetitivas que se realizan en el interior del vehículo (Duncan et al; 2000), (Loose et al; 2000), (Brodeur et al; 1996).

La evaluación ergonómica se basa en diversas metodologías reconocidas mundialmente como son el método OWAS (Karhu et al. 1977), RULA (McAtamney & Corlett ; 1993), REBA ( Hignett & McAtamney ; 2000), LUBA (Kee & Karwowski; 2001) , los cuales permiten determinar y analizar el lay-out del microbús, reduciendo el esfuerzo por parte de los usuarios a la hora de acceder al vehículo, evitando la aparición de lesiones musculoesqueléticas en el puesto de conducción y orientar la búsqueda hacia nuevas soluciones

ergonómicas que permiten mejorar la calidad de vida de los usuarios al servicio de transporte.

Se logra, por lo tanto, finalmente en esta etapa detectar los principales factores de riesgo ergonómicos, y optimizar las dimensiones del lay-out del futuro microbús en base al estudio de antropométrico de los usuarios, favoreciendo de esta forma el acceso y uso universal nuevo microbús, garantizando la calidad de vida de los pasajeros y del conductor.

### **Etapa 3.- Análisis de objetivos de calidad.**

En la tercera etapa se analizan con detalle los requerimientos de calidad necesarios en un sistema de transporte urbano que promueve la sostenibilidad del sistema de transporte de pasajeros y la tarea de conducción.

No solo se considerarán los objetivos asociados al sistema sino que también se debe prestar atención a los diferentes objetivos de calidad individuales de cada usuario en base a las distintas necesidades requeridas según las diversas discapacidades existentes.

El presente estudio aplicará el marco normativo de la UNE-EN 13816 en busca de las soluciones más adecuadas en el diseño universal, pues permite la convergencia coordinada de los objetivos del sistema y los objetivos individuales de los usuarios.

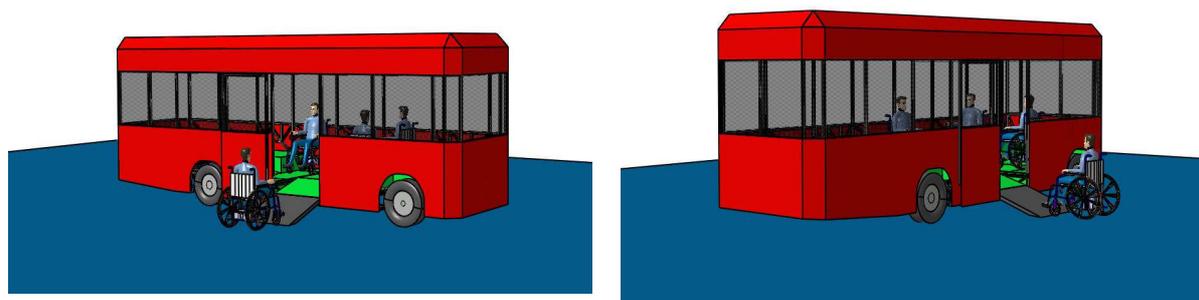
### **Etapa 4.- Diseño Conceptual mediante el uso de entornos virtuales.**

En la actualidad, distintos estudios muestran como la utilización de escenarios virtuales, herramientas de simulación y los análisis ergonómicos previos hacen posible una mejora en la calidad del producto, incrementando su eficiencia y seguridad (Chaffin D. 2002).

Es en esta última etapa donde se desarrolla el escenario virtual del nuevo vehículo gracias a uso de un Modelo Humano Digital (DHM). El DHM trata de simular el comportamiento humano, reemplazando la realidad por un modelo, estudiando las consecuencias que sobre las personas pudiera tener el producto, antes de tomar una decisión. En este estudio se propone la utilización del DHM físico que abarca el área tradicional de la ergonomía incluido en Human Delmia V5 R19.

Gracias a estas herramientas es posible eliminar las barreras físicas, acondicionando el entorno del microbús y seleccionando las soluciones más adecuadas para todos los usuarios. La figura 1 muestra una de las diversas propuestas de diseño conceptual del nuevo microbús planteadas.

**Figura 1: Modelo 3D conceptual**



Una vez finalizada la fase Generación de Primeros Conceptos, se continuará con el progresivo las distintas etapas del desarrollo del proyecto en cuestión.

## **4.2. Integración de criterios ergonómicos para la mejora de procesos.**

### **Fase 1: Análisis de la situación actual**

El caso de estudio presenta una situación real llevada a cabo en una pequeña empresa del sector del metal. Son varios los procesos de fabricación que dicha empresa incluye dentro de su actividad, como son montaje, corte por chorro de agua más abrasivo, corte por plasma de alta definición y curvado de perfiles.

Una vez conocidos todos los procesos de fabricación que en la empresa tienen lugar, se hace un primer análisis a partir de la observación de todos los puestos de trabajo, con el objetivo de detectar la presencia de factores de riesgo ergonómico en los mismos. Dicho análisis preliminar se completa con el histórico de lesiones de la planta.

Se considera de vital importancia la opinión de los operarios que ocupan los puestos, por ello se realizó la encuesta del Cuestionario Nórdico a todos los trabajadores de la empresa. Lo que con eso se pretende es realizar una evaluación de forma rápida de los resultados obtenidos.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos de la primera observación, el histórico de lesiones producidas en planta y la opinión de los propios trabajadores, se obtiene una visión global de cada puesto, y permite tomar la decisión de qué puesto o puestos requieren la aplicación de mejoras ergonómicas.

En este caso, y a través de toda la información recogida, se decidió que el puesto de trabajo que presentaba mayor riesgo ergonómico era el de curvado de perfiles, el cual es ocupado por un solo operario por turno de trabajo.

### **Fase 2: Diseño CAD 3D y Evaluación ergonómica de los puestos de trabajo actuales**

Para la realización del diseño tridimensional de la planta de la empresa del metal, es necesario tener dos tipos de datos: por un lado, las medidas de las máquinas, utillajes y herramientas de trabajo y el lay-out del puesto, y por otro, el conjunto de tareas o actividades que el operario lleva a cabo en el puesto durante el proceso de fabricación, además de las características del material que manipula

La forma de obtención de toda la información requerida para el diseño del escenario fue a través de la visita al centro de trabajo, donde se tomaron medidas directamente: dimensiones máquina curvadora, herramientas y otros utillajes que componen el puesto, además del entorno del puesto.

Una vez modelado el puesto se incorporó el factor humano a través del uso de un DHM. El modelo digital humano se emplea para representar las posturas y los movimientos realizados por los operarios en su jornada laboral, y para realizar el análisis de esas posiciones adoptadas. Para el estudio se considerarán dos percentiles, 95% hombre y 5% mujer, con lo cual se consigue abarcar toda la población de operarios de la planta.

Una vez que se ha generado un modelo inicial representativo del proceso real, uno de los pasos más importantes para la detección y estudio de los riesgos que conllevan la realización de las tareas y operaciones que ejecuta el operario, consiste en la elección de los métodos de evaluación ergonómica que serán empleados para el análisis del puesto.

Son muchos los métodos de valoración postural y manejo manual de cargas que se han desarrollado a lo largo de las últimas décadas: OWAS (Karhu et al., 1977), NIOSH (Niosh, 1981), RULA (McAtamney L, Y Corlett, E.N; 1993), REBA ( Hignett S y McAtamney L, 2000), LUBA (Kee D., Karwowski W;2001) , Check List OCRA (Colombini D, Occhipinti E and Grieco A,2002), entre otros muchos, permitiendo todos ellos determinar el riesgo de lesión debido a la aparición de trastornos músculo-esqueléticos, y su análisis.

Esta etapa, a través del empleo del método de evaluación ergonómica RULA, incluido dentro del software DELMIA V5, aplicado sobre el DHM, que permite detectar la presencia de problemas ergonómicos relacionados con las tareas ejecutadas en el puesto, y considerar su importancia.

### **Fase 3: Propuestas de Mejora y su diseño CAD 3D**

Una vez realizados todos los análisis del puesto de curvado de perfiles, se plantean las propuestas de mejora para paliar las molestias más comúnmente producidas en el puesto, que son causadas principalmente por los siguientes motivos: altura del puesto excesivamente baja, y almacenaje del material de partida y del producto acabado a la altura del suelo. Por lo tanto, es necesario plantear soluciones a esos problemas, con el objetivo de evitar la aparición de lesiones, o al menos, minimizar lo máximo posible los riesgos para su aparición.

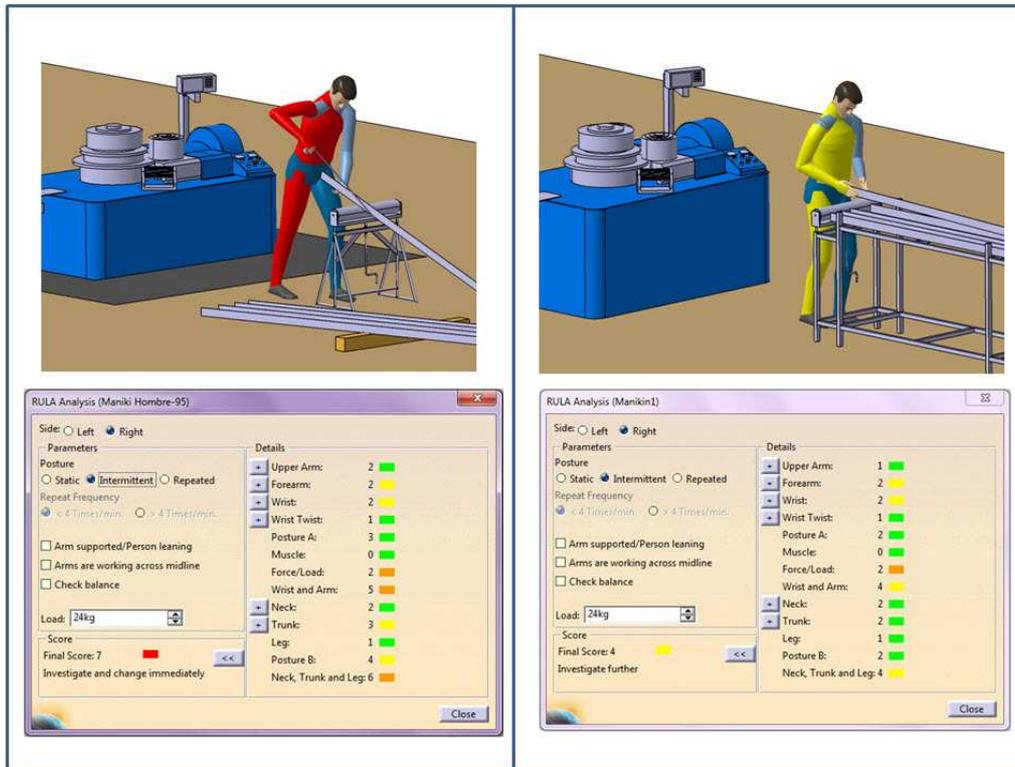
### **Fase 4: Rediseño CAD 3D de Puesto de trabajo y Evaluación Ergonómica de las Mejoras**

La etapa de rediseño permite visualizar las diversas propuestas de mejora que se introducen en el puesto, determinar su impacto en el entorno del mismo y realizar un nuevo análisis ergonómico que permitirá comprobar la eficacia de las soluciones de mejora propuestas.

El hecho de poder ver y evaluar la validez de los nuevos elementos diseñados antes de su fabricación ayuda en gran manera a la toma de decisiones, eliminando posibles errores en la realización cambios de diseño e inversiones en el rediseño de los puestos de trabajo.

A través del empleo del método de evaluación RULA, el mismo empleado en la tercera etapa del estudio, se evalúa la mejora que se consigue a través de la aplicación en el proceso de fabricación de las soluciones propuestas. Un ejemplo de mejora se ve en la Figura 2, la cual muestra una reducción del riesgo de sufrir trastornos músculo-esqueléticos por parte del operario en la operación de adquirir el material para la posterior alimentación de la máquina curvadora, al introducir una mesa que sirve de almacén de material de partida, en lugar de almacenarlo sobre el suelo. Al realizar esta mejora la puntuación final RULA pasa de tener un valor 7, que es la mayor puntuación que da este método, a tomar un valor de 4 (este resultado informa de la presencia de riesgo con un nivel muy inferior a la situación de partida)

Figura 2: Diseño 3D puesto original y Rediseño



### Fase 5: Viabilidad técnico-económica de las propuestas

Las propuestas de rediseño del puesto deben evaluarse técnicamente respecto a la mejora ergonómica aportada y su factibilidad de ejecución, así como mediante un análisis de coste beneficio.

La determinación de los beneficios y de los costes de un proyecto ergonómico es una tarea complicada, la evaluación de los costes siempre es más sencilla. En la mayoría de los proyectos ergonómicos, existen, entre otros los siguientes costes: personal, equipamiento y material, posible reducción de la productividad debido a la alteración del funcionamiento normal de la planta en la fase de implantación y estudio.

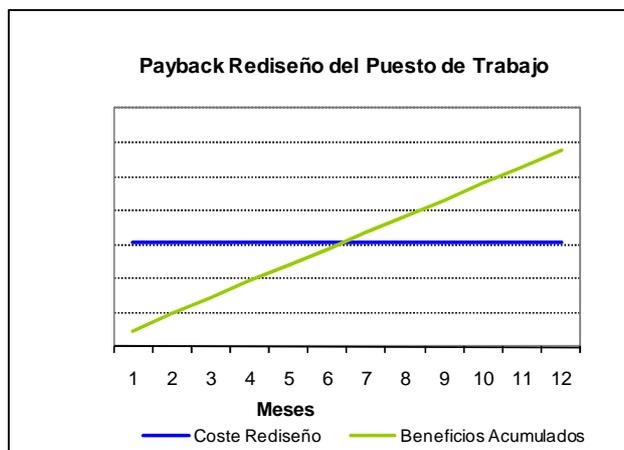
Junto a estos costes se analizan los beneficios que se pueden conseguir tras la implantación de las mejoras., entre los que se pueden citar: reducción de costes por compensaciones, incremento de la productividad, Alargar el ciclo de vida los recursos, Mejora de la imagen de la compañía, Mejora del clima laboral.

Para realizar el estudio de coste beneficio se ha utilizado una revisión de 250 casos de estudios (Oxenburgh, 1991), junto la guía generada por Puget Sound Chapter of the Human Factors and Ergonomics Society.

Se han analizado mejoras correspondientes a la altimetría de la máquina, distribución de materia prima y producto terminado, así como acciones administrativas como la rotación en los puestos. La figura 3 resume los resultados obtenidos del análisis coste-beneficios de las

mejoras implementadas en el diseño 3D del nuevo puesto de trabajo, mostrando un “pay-back” inferior a 1 año.

**Figura 3 Análisis Coste Beneficios propuestas de mejora en el puesto de trabajo**



### Fase 6: Implementación y Validación en Planta

Gracias a los resultados obtenidos en las fases de estudio anteriores, actualmente la planta se encuentra un proceso para la implementación de las propuestas. Posteriormente se realizará la validación en planta mediante el estudio de los valores obtenidos finalmente con las mejoras propuestas. Esta fase se cerrará con un dossier que permitirá recoger las experiencias aprendidas para futuros proyectos.

### 5. Conclusiones

Las metodologías utilizadas genera procedimientos sistemático que puede ser utilizados en distintos entornos de concepción y desarrollo de producto-proceso, así como para la mejora de entornos productivos.

La utilización de un DHM permite reproducir las condiciones iniciales y generar las propuestas en un entorno fácilmente reconocible y evaluable por todos los componentes de los equipos de trabajo en producto y proceso (no solamente para los técnicos).

Por otra parte el uso de estas herramientas requiere de una inversión importante, así como contar con técnicos que no solo dominen la herramienta, sino que también tenga formación en ergonomía.

### 6. Referencias

Ashford, N.J; Transport for the elderly and the handicapped. Applied Ergonomics. (1981). 12.2.87-92.

Bourdot, P; Convard, T; Picon, F; Ammi, M; Touraine, D; Vézien, J.M. VR\_CAD integration: Multimodal immersive interaction and advanced haptic paradigms for implicit edition of CAD models. Computer-Aided Design 42 (2010) pp 445-461

Brodeur, R; Reynolds, H; Rayes , K; Cui ,Y. The Initial Position and Postural Attitudes of Driver Occupants, Posture. Ergonomics Research Laboratory. MSU, East Lansing, MI June. (1996).

Broström ,R; Bengtsson ,P; Axelsson, A. Correlation between safety assessments in the drive-car interaction design process. *Applied Ergonomics* 42 (2011) 575-582.

Chaffin, D.B. On Simulating Human Reach Motions for Ergonomics Analyses. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, Vol. 12(3) (2002) pp 1-13.

Duffy Vicent G.. Modified Virtual Build Methology for Computer-Aided Ergonomics and safety. *Humans Factors and Ergonomics in Manufacturing*, (2007) 17(5),pp 413-422.

Duncan Jerry R; Keleher D Brad; Newendorp Bruce C; Ryken Michael J. Designing for populations of people using tools describing more of their dimensions. et al. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. Santa Mónica: (2000).Vol.6 p. 739.

Hignett,S. y McAtamney, L;, REBA: Rapid Entire Body Assessment. *Applied Ergonomics*, (2000) 31, pp. 201-205.

Karhu,O; Kansu,P; y Kuorinka,L; Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. *Applied Ergonomics*,8, (1997) pp.199-201.

Karwowski, W.,. Worker safety in computer-integrated manufacturing systems: needs for research. In: Brodner, P.,Karwowski, W. (Eds.), *Ergonomics of Hybrid Automated Systems III*. (1992) Elsevier Science, Amsterdam, pp. 469–480.

Kee D., Karwowski W. LUBA: an assessment technique for postural loading on the upper body based on joint motion discomfort and maximum holding time. *Applied Ergonomic*, 32,( 2001)pp 357-366.

Klatte, T; Daetz, W; Laurig ,W. Quality improvement through capable processes and ergonomic design. *International Journal of Industrial Ergonomics* 20 (1997) 399-411.

Lockett, J.F., Assmann, E., Green, R., Reed, M.P., Raschke, U., Verriest, J-P., 2005.Digital human modelling research and development user needs panel. In: *Proceedings of the 2005 SAE Digital Human Modeling for Design and Engineering Symposium*, Iowa City, USA, June 14–16. SAE 2005-01-274.

Loose M P de; Roetting M; Vink P; Luszczak H. Toward comfortable and efficient man-machine interaction in the cabins of vehicles. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. Annual Meeting*. Santa Monica: (2000).Vol.3 pg. 340.

McAtamney,L. y Corlett,E.N. RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24, (1993) pp. 91-99.

Wilson, J.R.,. Virtual environments applications and applied ergonomics. *Applied Ergonomics* (1999) 30, 3-9.

Yang,M; Bo, Q.F. Study on the Method of Humanized Design. *Applied Mechanics and Materials* (2010) (Volumes 44 - 47).

Oxenburgh M., 'Increasing productivity and profit through health and safety. Case studies in successful occupational health and safety practice '. *Journal of Occupational Rehabilitation* Volume 2, Number 1 / March 1992

Puget Sound Chapter of the Human Factors and Ergonomics Society:  
<http://www.pshfes.org/cba.htm> (ultimo acceso marzo 2011)

## **Correspondencia**

Para más información contacte con:[aercyl@aercyl.com](mailto:aercyl@aercyl.com)