Modelo de diseño ergonómico para puestos de trabajo en pymes.

Caso de estudio en Barranquilla, Colombia

Ángel León González-Ariza — Dr. de Ingeniería Industrial
Miguel Ángel Ruiz-Bacca — Diseñador Industrial

UNIVERSIDAD DEL NORTE, Km. 5 vía Puerto - Barranquilla (Colombia).
Tfno: +575 3509509. agonzale@uninorte.edu.co; mbacca@uninorte.edu.co

Recibido: 29/09/2010 • Aceptado: 08/05/2011

Ergonomic design model for work stations in smes. Case study: Barranquilla (Colombia)

ABSTRACT

• This article is framed into a macro project of collaboration between the Universidad del Norte and the private sector. The project looked for the modernization of an export oriented SME related with the industry of processing glass, steel and aluminum products to be used in architecture (e.g.: doors and windows), automotive industry (e.g.: tempered glass) and other industries (e.g.: cool logistics). The purpose of this article is to feature the activities and results achieved by the identification, definition and characterization of the micro system Person - Machine (P-M) of Small and Medium Enterprises (SMES) of the processing glass industry in Barranquilla-Colombia. The case study was the development of methods to establish a work dynamic to ensure optimum labor conditions in an ergonomic framework at the company Tempro S.A.

The diagnosis was done from the ergonomic global valuation of 21 workplaces applying the LEST method, which allowed determining the factors of risk of workers. Besides, the RULA method was used for the detection of the critical workplaces that need more detailed valuations on postures and efforts. This study was based on previous information about the loads of work, requirements, responsibilities, efforts and conditions of work and risk, in a general form.

As a result, the diagnosis allowed the identification of 11 critical postures. A single description of the microenvironment was performed for every posture under ideal conditions, redefining his characteristics and looking for requirements of use, function, structure, production, information and formals. A virtual computed simulation was designed to perform the ergonomic testing to analyze the critical tasks according to the diagnosis of valuation of postures and efforts.

• Keywords: ergonomic design, productivity, toughened glass, human factors, activity.

RESUMEN

Este artículo se enmarca dentro de un proyecto macro Universidad–Empresa, realizado por la Universidad del Norte de Barranquilla y cofinanciado por Colciencias, que buscaba modernizar una PYME tradicional, orientada a exportar productos resultantes de la transformación del vidrio y productos complementarios de acero y aluminio, destinados a la arquitectura (puertas y ventanas), vidrio templado para vehículos y vidrio para soluciones industriales.

En particular, el artículo tiene como finalidad la presentación de actividades y resultados logrados en la identificación, definición y caracterización del microsistema Persona – Máquina (P-M) de las pequeñas y medianas empresas (PYMES) transformadoras del vidrio templado en Barranquilla Colombia. El caso de estudio es la empresa Tempro S.A., para la que se desarrollaron métodos encaminados a establecer una dinámica de trabajo que asegure condiciones laborales óptimas desde un enfoque ergonómico.

La primera etapa consistió en el diagnóstico ergonómico global de 21 puestos de trabajo aplicando el método LEST, que permitió determinar los factores de riesgo a los que se encuentran mayormente expuestos los operarios. Previo a este estudio, se desarrolló un análisis ocupacional donde se contempló las cargas de trabajo, requerimientos, responsabilidades esfuerzos y condiciones de trabajo y riesgo, en forma general.

El diagnóstico permitió identificar 11 puestos considerados críticos, para los que se empleó el método RULA en la valoración de posturas y esfuerzos. Para

cada puesto de trabajo se realizó la descripción del micro-entorno requerido para el desarrollo de la actividad en óptimas condiciones, replanteando sus características y contemplando requerimientos de uso, función, estructurales, productivos, información y formales.

Para la comprobación ergonómica se diseñó y puso en práctica una técnica de simulación virtual computarizada, analizando las tareas consideradas críticas según el diagnóstico de valoración de posturas y esfuerzos.

Palabras clave: diseño ergonómico, productividad, vidrio templado, factores humanos, actividad.

1. INTRODUCCIÓN

Se trata de una empresa colombiana especializada en la transformación de vidrio templado que ha crecido significativamente, obteniendo mayor visibilidad en el mercado y, por consiguiente, un creciente volumen de proyectos. Para responder a los nuevos desafíos, la empresa requería con urgencia reestructurarse a nivel administrativo y operativo y en este sentido, la optimización ergonómica y definición de las funciones para los puestos de trabajo en planta, eran aspectos fundamentales en el mejoramiento del clima laboral e incremento de la productividad en la organización.

Rodríguez (2007) define al puesto de trabajo como un sistema que "está constituido por el ser humano y los medios de trabajo [máquinas], actuando en conjunto en el proceso de trabajo, en el espacio de trabajo y en el entorno de trabajo, según las condiciones de ejecución de la tarea que se va a realizar"[1] .

Según Mondelo, et al. (2001), en el diseño ergonómico de puestos de trabajo es primordial priorizar al usuario sobre los demás actores. Por lo anterior, se establecen diferentes tipos de relaciones en la interfaz usuario – máquina y las interacciones entre ellos determinan las características que debería tener el puesto. En el desarrollo del proyecto de investigación se hizo énfasis en los siguientes tipos de relaciones:

- Relaciones dimensionales: buscan la compatibilidad entre las medidas antropométricas de los usuarios y las características formales de los componentes del puesto.
- Relaciones informativas: buscan la coherencia entre la actividad realizada y la percepción y transmisión de información necesaria para el desarrollo de las diferentes tareas.
- Relaciones de control: buscan la coherencia entre la máquina y la regulación de su funcionamiento empleando los mandos apropiados.
- Relaciones ambientales: buscan la compatibilidad de los usuarios con los componentes del microentorno ambiental (ruido, iluminación, microclima).
- Relaciones de manejo de cargas: buscan la disminución del esfuerzo requerido por el operario en el transporte y manipulación de objetos.

El objetivo principal de este estudio, en el contexto de la PYME transformadora de vidrio templado, consiste en diseñar y validar puestos de trabajo, a partir de la caracterización de su microentorno e interfaz usuario – máquina, optimizando las relaciones de tipo dimensional, informativo, control, ambiental y manejo de cargas. Para el estudio, siguiendo a Cruz y Garnica (2006, p.162), el microentorno es la zona volumétrica donde un operario o usuario desarrolla la tarea del manejo de la máquina o artefacto, supeditada a la distancia de manipulación y el espacio vital. En la Fig. 1 se puede apreciar uno de los conceptos fundamentales tenidos en cuenta en la investigación como es la relación existente entre el usuario-máquina y su microentorno.

Fig. 1: Interrelación Usuario-Máquina. Adaptado de Cruz et al. (2006, p.19). Fuente: Elaboración propia.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. DIMENSIONAMIENTO DE LA MUESTRA

La población objeto de estudio está constituida por las empresas dedicadas a la producción de vidrio templado, estructuras en acero y aluminio en Barranquilla, Colombia. La muestra está conformada por los puestos de trabajo en planta en las líneas de producción vidrio, acero y aluminio.

2.2. MÉTODOS

Para el diseño ergonómico de los puestos de trabajo se siguió un proceso que abarcó tres grandes etapas: identificación de oportunidades de mejora, caracterización de los puestos de trabajo y desarrollo de propuestas de diseño.

2.2.1. Identificación de Oportunidades de Mejora

Diagnóstico y Valoración Global

Se evaluaron 21 puestos de trabajo en planta categorizados según la línea de producción, ver Tabla 1.

[1] *Rodríguez M. Ergonomía básica. 1ª edición. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2007. p.21. ISBN: 978-847-978-131-6*

ACERO Y ALUMINIO	VIDRIO	OTROS
Almacén de Perfiles en Acero y Aluminio	Almacén de Vidrio Automotriz	Almacén de Suministros
Corte de Acero	Auxiliar de Horno	Cargue y Desgargue
Corte de Acero Mecanizado	Carpintería	
Fresado – Taladrado	Corte de Vidrio	
Marquetería de Aluminio	Diamantado	
Marquetería de Aluminio Mecanizada	Instalación de Vidrio Automotriz	
Pulido de Acero	Horno	
Soldado	Sandblasting	
Torno	Serigrafía	
	Taladro de Vidrio	

Tabla 1: Puestos de trabajo en planta empresa Tempro S.A.
Fuente: Elaboración propia basada en trabajo de campo.

De cada puesto se recolectaron datos mediante observación directa, registro en video y entrevistas a los operarios, lo cual permitió la identificación de las diferentes tareas de la actividad y su correspondiente flujo de trabajo. Para el análisis y diagnóstico se aplicó el método LEST (Laboratoire d'Economie et Sociologie du Travail), desarrollado por F. Guélaud, M.N. Beauchesne, J. Gautrat y G. Roustang en 1978. El método contempla 16 variables agrupadas en cinco dimensiones: ambiente físico, carga física, carga mental, aspectos psicosociales y tiempo de trabajo, como se observa en la Tabla 2.

ENTORNO FÍSICO	CARGA FÍSICA	CARGA MENTAL	ASPECTOS PSICOSOCIALES	TIEMPOS DE TRABAJO
Ambiente térmico	Carga estática	Apremio de tiempo	Iniciativa	Tiempo de trabajo
Ruido	Carga dinámica	Complejidad	Estatus social	
Iluminación		Atención	Comunicaciones	
Vibraciones		Minuciosidad	Relación con el mando	
			Identificación con el producto	

Tabla 2: Variables por cada dimensión según el método LEST.
Fuente: Diego-Más et al. (2006).

Cada dimensión es valorada por medio de las puntuaciones que presenta el método LEST. La evaluación global del puesto de trabajo oscila entre 0 y 10, indicando la situación de la actividad, ver Tabla 3.

Teniendo en cuenta que para el registro y procesamiento de los datos se utilizó como instrumento la aplicación en línea ergonautas.com, desarrollada por la Universidad Politécnica de Valencia (licencia tipo registro de usuario profesional, adquirida por la Universidad del Norte para esta investigación) y que ésta es una versión simplificada, se analizaron 14 de las 16 variables que contempla el método.

PUNTAJE	ACTUACIÓN
0, 1, 2	Situación satisfactoria
3, 4, 5	Débiles molestias. Algunas mejoras podrían aportar más comodidad al trabajador
6, 7	Molestias medias. Existe riesgo de fatiga
8, 9	Molestias fuertes. Fatiga
10	Nocividad

Tabla 3: Sistema de puntuación método LEST.
Fuente: Diego-Más et al. (2006).

Los investigadores decidieron concentrar el análisis en las dimensiones entorno físico y carga física, dado que son éstas las directamente vinculadas con la descripción del microentorno e interfaz usuario – máquina.

Para estos cargos se hizo la valoración global ergonómica, con base a la tabla de puntuación, lo que permitió la identificación de 11 puestos de trabajo que presentaron desde molestias medias hasta nocividad (8 a 10 puntos) para las dimensiones ambiente físico y carga física, éstas últimas fueron priorizadas con base al alcance del proyecto, que buscaba intervenir los puestos en su redimensionamiento y caracterización de microentorno según las tareas de la actividad que implicaban un mayor esfuerzo físico. Ver Tabla 4.

Valoración de Posturas y Esfuerzos

Para el análisis de las tareas críticas en los puestos seleccionados se aplicó el método RULA (Rapid Upper Limb Assessment), desarrollado por los doctores McAatamney y Corlett de la Universidad de Nottingham en 1993 para evaluar la exposición de los trabajadores a factores de riesgo que pueden ocasionar trastornos en los miembros superiores del cuerpo: posturas, repetitividad de movimientos, fuerzas aplicadas, actividad estática del sistema músculo-esquelético.

El método RULA facilita el análisis de las relaciones angulares que las diferentes partes del cuerpo adoptan para determinada postura. En este sentido, la herramienta empleada fue el registro fotográfico de vistas paralelas a los planos corporales sagital y frontal, para posteriormente realizar las mediciones de los ángulos sobre las imágenes utilizando la aplicación ErgoMaster (licencia adquirida por la universidad para este proyecto de investigación)[2], siguiendo el procedimiento descrito por Chiner, et al. (2004) para la evaluación de riesgos posturales.

El método divide el cuerpo en dos grupos de segmentos: el grupo A (brazo, antebrazo, muñeca y giro de muñeca)

[2] *Software versión 4.00.0029.*

	PUESTO ANALIZADO	ENTORNO FÍSICO	CARGA FÍSICA
1	Almacén de Perfiles en Acero y Aluminio	10	10
2	Corte de Acero	10	10
3	Almacén de Vidrio Automotriz	10	10
4	Carpintería	10	10
5	Cargue y Descargue	10	10
6	Corte de Vidrio	9	10
7	Diamantado	9	10
8	Serigrafía	9	10
9	Almacén de Suministros	9	10
10	Sandblasting	8	9
11	Corte de Acero Mecanizado	8	10
12	Fresado - Taladrado	7	10
13	Pulidor de Acero	6,5	10
14	Taladro de Vidrio	5	10
15	Marquetería de Aluminio Mecanizada	5	10
16	Soldado	5	10
17	Torno	5	10
18	Auxiliar de Horno	5	10
19	Horno	5	10
20	Marquetería de Aluminio	5	3
21	Instalación de Vidrio Automotriz	3	3

Tabla 4: Selección de cargos a través de las dimensiones establecidas.
Fuente: Elaboración propia con basada en trabajo de campo.

y el grupo B (cuello, tronco y piernas). La puntuación final de la postura para cada uno de los grupos corporales se obtiene a partir de la puntuación adjudicada a cada zona corporal, según tablas que suministra el método RULA. Las mediciones realizadas son principalmente angulares, contemplando además la actividad muscular realizada y la fuerza aplicada durante la realización de la tarea.

Para ilustrar el método, se presenta a manera de ejemplo la valoración para los brazos como parte del los miembros del grupo A. La puntuación del brazo es el resultado de las mediciones angulares de este miembro con respecto al eje del tronco como se visualiza en la Fig. 2.

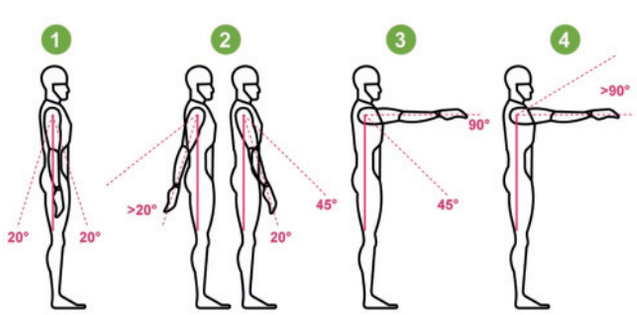

Fig. 2: Posiciones angulares brazo.
Fuente: Elaboración propia basada en las instrucciones del método RULA.

La puntuación para las posiciones angulares se asigna según los valores suministrados por las tablas del método RULA. Ver Tabla 5.

PUNTOS	POSICIÓN
1	Desde 20° de extensión a 20° de flexión
2	Extensión >20° o flexión entre 20° y 45°
3	Flexión entre 45° y 90°
4	Flexión >90°

Tabla 5: Valores según las posiciones angulares brazo.
Fuente: Diego-Más et al. (2006).

Después de analizar ambas categorías (A y B), se asignan puntajes globales para cada una y se determina el puntaje final con las indicaciones sobre la actuación para cada tarea, según Tabla 6.

NIVEL	ACTUACIÓN
1	Cuando la puntuación final es 1 ó 2 la postura es aceptable.
2	Cuando la puntuación final es 3 ó 4 pueden requerirse cambios en la tarea: es conveniente profundizar en el estudio
3	La puntuación final es 5 ó 6. Se requiere el rediseño de la tarea; es necesario realizar actividades de investigación.
4	La puntuación final es 7. Se requieren cambios urgentes en el puesto o tarea.

Tabla 6: Sistema de puntuación método RULA.
Fuente: Diego-Más et al. (2006).

El procedimiento de aplicación de este método consiste principalmente en lo siguiente:

- Identificar los ciclos de trabajo y seleccionar las posturas que se evaluarán.
- Identificar, para cada postura, el lado del cuerpo (izquierdo o derecho) que se debe evaluar.
- Determinar las puntuaciones para cada parte del cuerpo
- Obtener la puntuación final del método y el nivel de actuación para determinar la existencia de riesgos.
- Revisar las puntuaciones de las diferentes partes del cuerpo para determinar dónde es necesario aplicar correcciones en el diseño del puesto.

2.2.2. Caracterización propuesta para los puestos de trabajo

Después de varios análisis, los investigadores decidieron tomar como referencia los parámetros antropométricos de la población laboral colombiana ACOPLA 95, estudio realizado por Estrada et al. (1995) para el Instituto de Seguros Sociales, dado que contempla las medidas antropométricas de las diferentes regiones del país, lo que permitió tomarlos como base para el desarrollo del proyecto.

CAT.	SUBCAT.	REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS	PARÁMETRO ACTIVADO	FACTOR INFLUENCIADO	PERCENTILES	DIMENSIONES cm
Función	Mecanismo	Debe facilitar la labor de rociar la arena en función de la presión y la dirección requerida	Altura radial (codo) de pie	Mecanismos de trabajo	N/A	N/A
	Confiabilidad	Debe aplicar la arena en las condiciones que requiere la actividad	N/A	Mecanismos de trabajo	N/A	N/A
	Factores Humanos	Debe evitar la adopción de posturas incorrectas	Rotación Tronco Altura radial (codo) de pie	Alcances Alturas	Rot. Tronco: Todos Altura radial (codo) de pie: rango 5 y 95	Rot. Tronco: 35° Altura radial (codo) de pie: entre 98.7 y 114.3 cm
		Debe permitir la adopción de posturas de descanso por tiempos de ejecución de tareas	Altura ingle Altura radial (codo) de pie	Alcances Alturas Mecanismos de trabajo	Altura ingle: rango P5 y 95 Altura radial (codo) de pie: rango 5 y 95	Altura ingle: 78.2 y 91.9cm Altura radial (codo) de pie: entre 98.7 y 114.3 cm
		Debe minimizar el esfuerzo a realizar	Brazo – Antebrazo Zona dorsal	Alcances Ubicación de componentes	N/A	N/A
	Resistencia	Debe ser resistente a rayaduras y precisión	N/A	Materiales	N/A	N/A

Tabla 7: Ejemplo especificación de requerimientos ergonómicos. Modificado de Mondelo et al. (2001 p.59).
Fuente: Elaboración propia.

Caracterización puesto de trabajo

Los investigadores realizaron la descripción de cada puesto de trabajo a partir del diagnóstico y los resultados de la valoración de posturas y esfuerzos. De este modo, según el trabajo realizado en cada tarea (liviano, moderado, pesado), se definieron características básicas de la interfaz usuario – máquina, tales como: la postura del operario (erguido o sentado), planos o superficies de trabajo (superior, medio o bajo), relaciones de movimiento, y dimensiones antropométricas para los percentiles 5 y 95, abarcando así al 90% de la población; de igual forma, se tomó como base a la población masculina entre 20 y 59 años.

Para dimensionar los puestos de trabajo, los valores del percentil 5 se emplearon como referente para los alcances de las extremidades que requieren la extensión del cuerpo o alcances máximos y los valores del percentil 95 permitieron asignar las medidas para componentes del puesto que respondían a holguras.

Siguiendo con lo anterior, se especificaron también los requerimientos ergonómicos, categorizados por uso, función, estructurales, productividad, identificación y formales. En la Tabla 7 se visualiza un ejemplo a partir del trabajo realizado por los investigadores acerca de las especificación de requerimientos ergonómicos, tomando como base la estructura planteada por Mondelo, et al. (2001) para la descripción de relaciones funcionales.

Caracterización del microentorno

Por otro lado, en esta etapa se especifican también las condiciones que debe cumplir el microentorno y los factores a priorizar en el diseño del puesto de trabajo: área total que ocupa, zonas de circulación, iluminación y ambiente térmico requeridos para el desarrollo de la actividad.

2.2.3. Desarrollo de propuestas de diseño

A partir de la caracterización de la interfaz usuario–máquina y la identificación de las tareas con mayor riesgo, se diseñaron las máquinas que hacen parte del puesto. Se establecieron el plano o superficie de trabajo, las zonas para el movimiento del operario y otros aspectos influenciados por los ángulos de barrido, visión, anchuras y alturas de acuerdo con las dimensiones antropométricas de la población laboral colombiana. Para cada diseño de máquina se hicieron modelos digitales computarizados utilizando el programa 3DStudio MAX (licencia propiedad de la Universidad del Norte).

Posteriormente se comprobó el mejoramiento de las condiciones del operario, por lo que se confrontaron los resultados obtenidos en la valoración de posturas y esfuerzos realizada en la etapa de identificación de oportunidades de mejora. Como la construcción de los modelos físicos de comprobación requería una mayor inversión por parte de la PYME, el empresario y los investigadores acordaron hacer una simulación virtual computarizada. Con base en

los valores antropométricos de los percentiles 5 y 95, se hicieron modelos digitales de dos usuarios ideales para cada grupo, siguiendo a Mondelo, et al. (2001) en su ejemplo de la familia Maximín.

Los modelos humanos se animaron para que adoptaran las posturas necesarias según la tarea y se capturaron imágenes para realizar comprobaciones de salida aplicando el método RULA. Como instrumento de modelado y animación se empleó la aplicación de software 3DStudio MAX.

3. PROCESO Y RESULTADOS

3.1. CASO DE ESTUDIO: PUESTO DE TRABAJO ALMACÉN DE PERFILES

A continuación se presenta como ejemplo el procedimiento para el puesto de trabajo Almacén de perfiles, siguiendo el método propuesto en el numeral 1.2. Antes de continuar con la sección, se debe anotar que el haber seleccionado el almacén de perfiles tuvo como razones ser uno de los puestos de trabajo con mayor puntaje en las dimensiones entorno físico y carga física, y además las sugerencias del dueño de la empresa de iniciar con este puesto por las continuas quejas de inconformidad y rotación que se presentaban en el mismo.

3.1.1. Identificación de Oportunidades de Mejora

Para el puesto de trabajo seleccionado, se intensificó la observación directa y el trabajo fotográfico, lo mismo que una entrevista de análisis ocupacional que permitió determinar las oportunidades de mejora relacionadas con: transporte de perfilería, almacenamiento de perfilería, alcances máximos y condiciones ambientales, como se muestra en la Figura 3.

Fig. 3: Condiciones de inicio almacén de perfiles.
Fuente: Fotografía realizada por los investigadores al inicio del estudio.

Diagnóstico y Valoración Global

El puesto de trabajo almacén de perfiles es el área destinada al almacenamiento de bloques de perfiles, previo al ensamble de éstos con los vidrios. La actividad consiste en realizar el proceso de almacenaje de perfilería en aluminio y acero: recepción, clasificación, codificación, despacho e inventario. Por las dimensiones y pesos de los perfiles, se consideran críticas las posturas angulares y esfuerzos que adopta el operario al momento de izar cargas y clasificar los perfiles. En la siguiente figura se muestra el flujo de la actividad del puesto de trabajo.

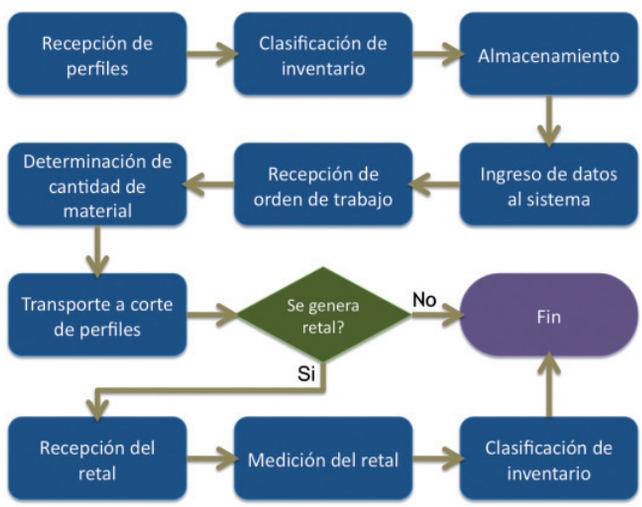

Fig. 4: Flujo de actividad almacén de perfiles.
Fuente: Elaboración propia basado en trabajo de campo.

Se evaluaron 14 variables del método LEST, agrupadas en cinco dimensiones: carga física, entorno físico, carga mental, aspectos psico-sociales y tiempo de trabajo, en los que los resultados muestran cómo la carga física y el entorno físico son críticos, con puntuación de 10, como se observa en la figura siguiente.

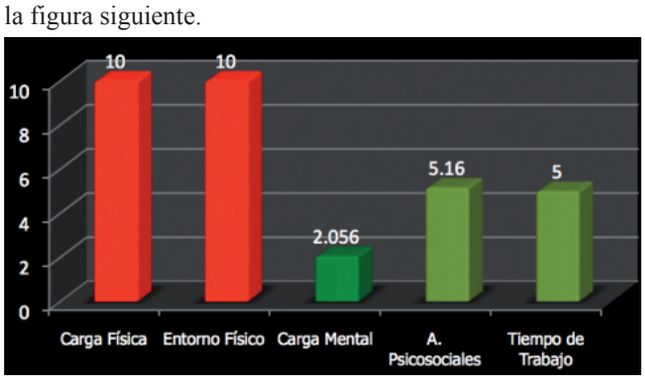

Fig. 5: Valoración global del puesto almacén de perfiles.
Fuente: Elaboración propia basada los resultados del software ergonautas.com.

De acuerdo con los resultados por dimensiones, se presenta un ambiente nocivo para carga física (10 puntos) específicamente por problemas relacionados con la carga

dinámica; en algunos casos el operario debe transportar piezas con un peso superior a 20kg en distancias mayores a 3m; en promedio, las cargas se transportan entre 10 y 30 veces por hora.

Otra dimensión que presenta un ambiente nocivo es el entorno físico (10 puntos), afectado principalmente por la temperatura, pues oscila entre 28 y 34°C durante un período de tiempo de la jornada laboral. En la siguiente figura se detallan los puntajes obtenidos por variable en las diferentes dimensiones estudiadas.

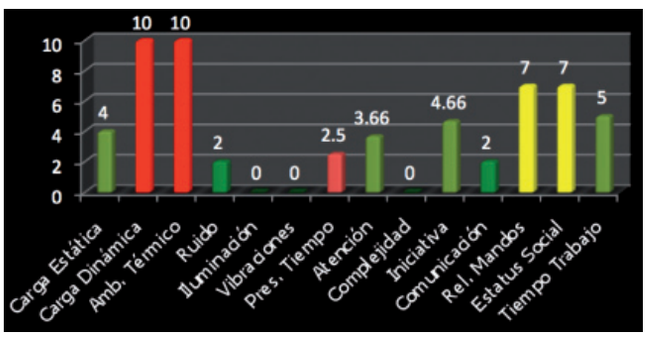

Fig. 6: Valoración por variables puesto almacén de perfiles.
Fuente: Elaboración propia basada los resultados del software ergonautas.com.

Resultados Valoración de Posturas y Esfuerzos

Almacenamiento: cada perfil pesa aproximadamente 4Kg, almacenados por tipo de material y clasificados según las líneas de productos de la empresa. Los estantes para su ubicación están a una altura máxima de 1.8m desde el suelo, lo que ocasiona que el trabajador deba levantar los brazos para poder alcanzar los perfiles almacenados allí. La altura del operario también es un factor que influye en las distancias y los esfuerzos realizados en la actividad. Las posturas críticas ocurren al alcanzar los perfiles de los estantes que se encuentran a mayor y menor altura (30cm).

Fig. 7: Medición de ángulos diagnóstico almacenamiento – puesto almacén de perfiles.
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 8 se muestran los resultados del análisis de la postura adoptada para alcanzar los perfiles en los estantes altos, tomando como base las mediciones angulares y los parámetros del método RULA.

RESULTADO RULA DIAGNÓSTICO	
Puntaje brazo	6
Puntaje antebrazo	1
Puntaje muñeca	3
Puntaje giro de muñeca	1
Puntaje postura muñeca/brazo	7
Puntaje actividad muscular muñeca/brazo	0
Puntaje esfuerzo/carga muñeca/brazo	1
Puntaje final muñeca/brazo	**8**
Puntaje cuello	2
Puntaje tronco	2
Puntaje piernas	1
Puntaje postura tronco	2
Puntaje actividad muscular tronco	0
Puntaje esfuerzo/carga tronco	1
Puntaje final cuello, tronco y piernas	**3**
PUNTAJE FINAL	**6**

Tabla 8: Puntuación diagnóstico tarea almacenamiento – puesto almacén de perfiles.
Fuente: Elaboración propia basada los resultados del software ErgoMaster.

La puntuación final del análisis fue de 6, lo que indica que es necesario el rediseño de la tarea como lo sugiere el método RULA.

3.1.2. Caracterización propuesta para el puesto de trabajo seleccionado

Según las características de las tareas realizadas en el puesto almacén de perfiles, los investigadores determinaron las siguientes dimensiones antropométricas, con los valores para los percentiles 5 y 95, ver Fig. 8.

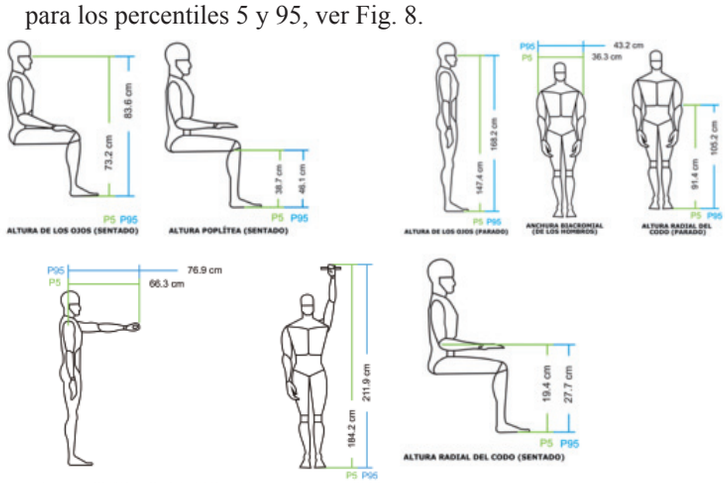

Fig. 8: Dimensiones antropométricas percentiles 5 y 95.
Fuente: Elaboración propia basado en las tablas antropométricas del estudio ACOPLA 95.

Los valores antropométricos se emplearon en la construcción de los modelos humanos para cada percentil, utilizando el software 3D Studio MAX, como se observa en las Fig. 9 y 10.

Fig. 9: Modelos humanos percentiles 5 y 95.
Fuente: Elaboración propia con el programa 3D Studio MAX.

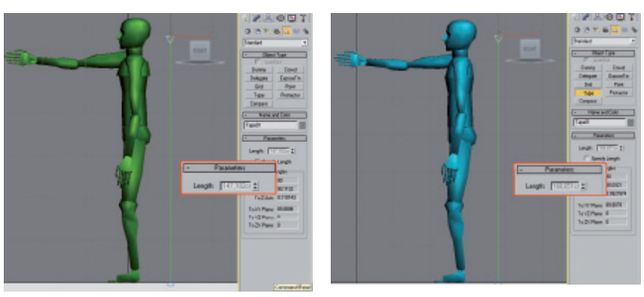

Fig. 10: Construcción de modelos humanos percentiles 5 y 95: asignación de medida altura de los ojos (parado).
Fuente: Elaboración propia con el programa 3D Studio MAX.

Caracterización puesto de trabajo

El puesto de trabajo almacén de perfiles está conformado por el área que se genera a partir de la interacción entre el usuario, la estantería para el almacenamiento de los perfiles y la plataforma rodante para el cargue y descargue de la materia prima.

Plano o Superficie de Trabajo: se determinó la utilización del plano anterior vertical del cuerpo a la altura del codo en posición de pie, con extensión horizontal para el almacenamiento de los perfiles no procesados. Se propone un área de 1.093m de alto x 5m de ancho para facilitar el almacenamiento de perfiles de 6m de longitud. El tipo de actividad desarrollada involucra trabajo pesado, razón por la que la altura superior de la superficie de trabajo (soporte de materia prima) debe ser menor a la altura de los codos del trabajador-usuario.

Movimiento: se delimitaron áreas necesarias para zonas de libre circulación para un operario con la herramienta de trabajo en uso (plataforma rodante para el cargue y descargue de la materia prima). En el mismo sentido, se planteó la posibilidad de graduación del plano superior de trabajo mediante un sistema de elevación de piñón-cremallera y facilitar el alcance máximo de las repisas de almacenamiento, disminuyendo el esfuerzo hecho por el operario.

Requerimientos ergonómicos: siguiendo la estructura planteada por Mondelo, et al (2001), se plantearon los requerimientos del puesto, categorizados por uso, función, estructura, productividad, identificación y forma. En la Tabla 9 se presentan los requerimientos establecidos para la relación de uso.

Caracterización del microentorno

Desde el punto de vista del microentorno laboral, tiene un área total de 160.92 m2, para el almacenamiento de perfiles angulares, tubos y listones de acero y aluminio. Se propuso destinar un área especial para agrupar los retales. Igualmente se delimitaron zonas para el tránsito de trabajadores-usuarios y de una plataforma rodante para el cargue y descargue de la materia prima.

Zona de Circulación: se propuso una distancia de 300cm entre cada uno de los sistemas para el almacenamiento de perfiles, teniendo en cuenta que según Panero y Zelnik (1991) la anchura mínima recomendada para pasillos de doble circulación es de 172.7 cm para dos cuerpos de percentil 95; los 127.3cm restantes corresponden al espacio para el traslado (holgado) de la plataforma rodante transportando materia prima e insumos, ver Fig. 11.

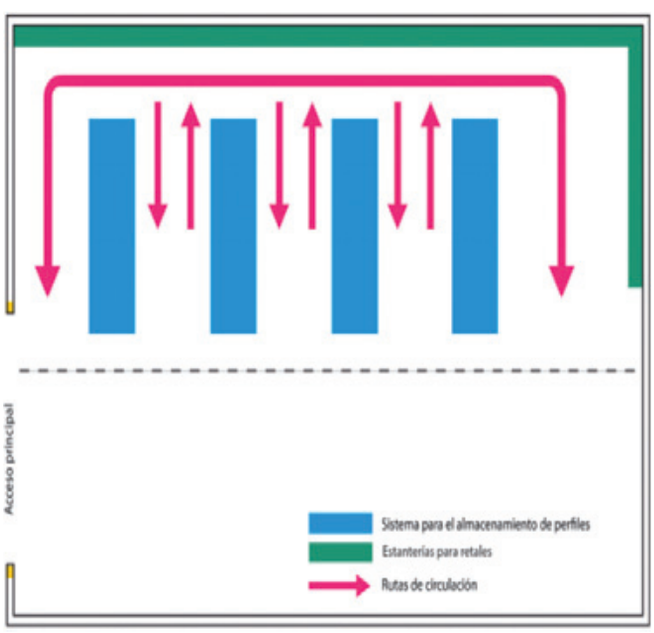

Fig. 11: Distribución área de trabajo almacén de perfiles.
Fuente: Elaboración propia basado en Panero y Zelnik (1991)

Iluminación: según la norma GTC-8 de ICONTEC (1994, p.21)[3], para áreas generales en las construcciones de tipo almacenes-bodegas, se recomendó que el nivel de iluminancia del área de trabajo oscile entre 100 a 150 lx (intervalos inferiores de la misma). Para áreas de circulación, orientación simple y visitas cortas temporales en recintos interiores se recomendó que el nivel de iluminancia del área

[3] *INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Electrotecnia. Principios de Ergonomía Visual. Iluminación para Ambientes de Trabajo en Espacios Cerrados. GTC 8. Bogotá: ICONTEC, 1994. p.21.*

REQUERIMIENTOS DE DISEÑO ALMACÉN DE PERFILES						
CAT.	SUBCAT.	REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS	PARÁMETRO ACTIVADO	FACTOR INFLUENCIADO	PERCENTILES	DIMENSIONES cm
	Seguridad	Debe facilitar la manipulación de perfiles en diferentes alturas	Altura vertical máxima Largura del Alcance Anterior de la Extremidad Superior Altura radial (codo) de pie	Mecanismos de trabajo	Alcance vertical máximo: P5 Largura de Alcance: P5 Altura radial (codo) de pie: rango P5 y 95	Alcance vertical máximo: 198.3 cm Largura de alcance: 66.3 cm Altura radial (codo) de pie: entre 98.7 y 114.3 cm
		Debe proteger el operario durante cargue /descargue de material	Brazo – Antebrazo Hombros Zona dorsal-lumbar	Mecanismos de trabajo Elementos de protección	N/A	N/A
		Debe proteger el material de deformaciones	N/A	Distribución de componentes Mecanismos de trabajo	N/A	N/A
	Mantenimiento	Debe facilitar la limpieza del área de almacenaje	N/A	Accesos Geometría	N/A	N/A
		Debe facilitar el proceso de mantenimiento	N/A	Accesos Geometría	N/A	N/A
	Reparación	Debe requerir menor cantidad de piezas y componentes	N/A	Componentes Estructura	N/A	N/A
		Debe tener disponibilidad de repuestos en el mercado	N/A	Piezas estándar	N/A	N/A
	Ergonomía	Debe facilitar la ubicación y clasificación de perfiles	Largura del Alcance Anterior de la Extremidad Superior Postura región dorsal lumbar Altura radial (codo) de pie	Distribución de componentes Mecanismos de trabajo	Largura de Alcance: 5 Altura radial (codo) de pie: rango 5 y 95	Largura de alcance: 66.3 cm Altura radial (codo) de pie: entre 98.7 y 114.3 cm
		Debe minimizar el tiempo y esfuerzo requerido para realizar la actividad mejorando las condiciones de trabajo.	Brazo – Antebrazo Zona dorsal-lumbar	Alcances Mecanismos de trabajo	N/A	N/A
		Debe especificar alcances/ alturas máximas y mínimas	Zona lumbar Zona dorsal Brazo-Antebrazo	Alcances Alturas	N/A	N/A
		Debe optimizar el proceso de ubicación, selección y traslado de material	Largura de Alcance Anterior de la Extremidad Superior Posturas región dorsal lumbar Altura radial (codo) de pie	Alcances Alturas	Largura de Alcance: 5 Altura radial (codo) de pie: rango 5 y 95 Angulaciones en columna	Largura del alcance: 66.3 cm Altura radial (codo) de pie: entre 98.7 y 114.3 cm Angulaciones en columna: Lumbar: 30 Dorsal: 33

Tabla 9: Requerimientos de uso – puesto almacén de perfiles.

de trabajo varíe de 50 a 100 lx (intervalos inferiores de la misma).

Ambiente Térmico: se sugirió que el ambiente térmico del entorno no alcance niveles superiores a los 25°C de temperatura. Para épocas en las que este nivel tiende a aumentar, se recomendó la instalación de reguladores de temperatura (ventiladores) que propicien condiciones de confort para la protección del trabajador-usuario de un ambiente de trabajo caluroso y crítico que derive en la adquisición de enfermedades.

3.1.3. Propuesta de diseño ergonómico

La propuesta de diseño ergonómico del puesto de trabajo consiste en una estructura rígida constituida por un eje central al cual se anclan seis bandejas sobre las cuales se ubican los bloques de perfiles. Las bandejas se desplazan a través del eje de forma perpendicular por medio de un sistema de elevación formado por ocho piñones cremallera accionados mediante dos manivelas ubicadas en los laterales del estante de almacenaje. Para el desarrollo de la alternativa se tuvieron en cuenta aspectos ergonómicos como alcances máximos, largura de la extremidad superior y alturas, minimizando así los índices de esfuerzo físico y posturas angulares requeridas para el desarrollo de la labor, ver Fig. (s). 12, 13,14 y 15.

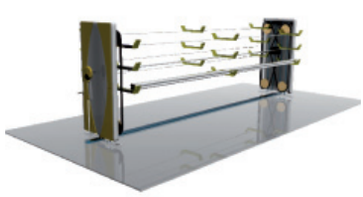

Fig. 12: Propuesta ergonómica puesto de trabajo almacén de perfiles, tarea almacenamiento. Fuente: Elaboración propia utilizando el software 3DStudio MAX.

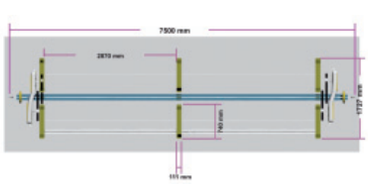

Fig. 13: Vista superior puesto de trabajo almacén de perfiles, tarea almacenamiento. Fuente: Elaboración propia utilizando el software 3DStudio MAX.

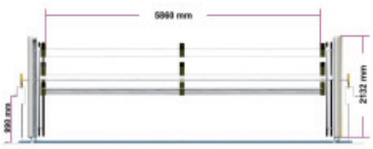

Fig. 14: Vista frontal puesto de trabajo almacén de perfiles, tarea almacenamiento. Fuente: Elaboración propia utilizando el software 3DStudio MAX.

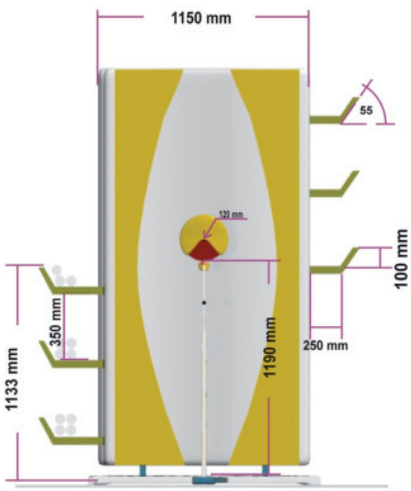

Fig. 15: Vista lateral puesto de trabajo almacén de perfiles, tarea almacenamiento. Fuente: Elaboración propia utilizando el software 3DStudio MAX.

Comprobación Virtual Computarizada

En la siguiente figura se presenta la simulación con el usuario percentil 5, realizando la tarea de ubicación de perfiles en el puesto de trabajo. Sobre el modelo humano se simularon las posiciones angulares para el desarrollo de la tarea haciendo uso del Software 3DStudio MAX.

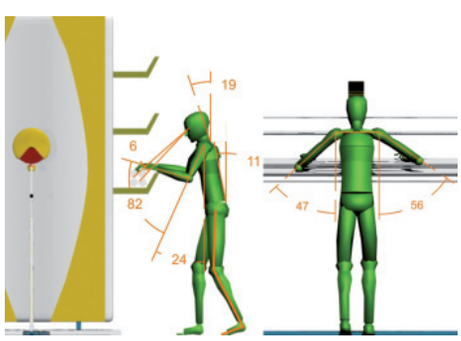

Fig. 16: Medición de ángulos percentil 5, propuesta ergonómica puesto de trabajo almacén de perfiles, tarea almacenamiento. Fuente: Elaboración propia utilizando el software 3DStudio MAX.

Los resultados de la comprobación virtual aplicando el método RULA se presentan en la Tabla 10.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el puntaje final fue de 3, lo cual quiere decir que es conveniente profundizar en el estudio del puesto cuando se realice con modelos de comprobación reales.

En la Fig. 17 se presentan la simulación con el usuario percentil 95 realizando la misma tarea de ubicación de perfiles en el puesto de trabajo. Sobre el modelo humano se simularon las posiciones angulares para el desarrollo de la tarea haciendo uso del Software 3DStudio MAX, ver Figuras 16 y 17.

RESULTADO RULA COMPROBACIÓN	
Puntaje brazo	3
Puntaje antebrazo	1
Puntaje muñeca	1
Puntaje giro de muñeca	1
Puntaje postura muñeca/brazo	2
Puntaje actividad muscular muñeca/brazo	0
Puntaje esfuerzo/carga muñeca/brazo	1
Puntaje final muñeca/brazo	**3**
Puntaje cuello	2
Puntaje tronco	2
Puntaje piernas	1
Puntaje postura tronco	2
Puntaje actividad muscular tronco	0
Puntaje esfuerzo/carga tronco	1
Puntaje final cuello, tronco y piernas	**3**
PUNTAJE FINAL	**3**

Tabla 10: Puntuación percentil 5, propuesta ergonómica puesto de trabajo almacén de perfiles, tarea almacenamiento.
Fuente: Elaboración propia basada los resultados del software ErgoMaster.

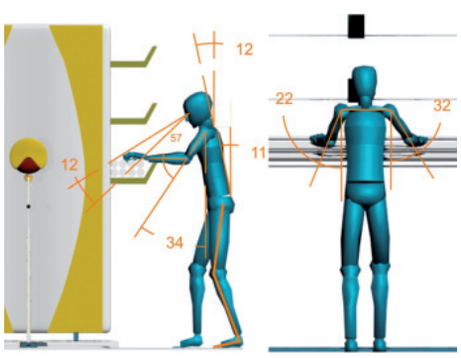

Fig. 17: Medición de ángulos percentil 95, propuesta ergonómica puesto de trabajo almacén de perfiles, tarea almacenamiento. Fuente: Elaboración propia utilizando el software 3DStudio MAX.

Los puntajes del estudio anterior se dan en la Tabla 11.

RESULTADO RULA DIAGNÓSTICO	
Puntaje brazo	3
Puntaje antebrazo	1
Puntaje muñeca	1
Puntaje giro de muñeca	1
Puntaje postura muñeca/brazo	2
Puntaje actividad muscular muñeca/brazo	0
Puntaje esfuerzo/carga muñeca/brazo	1
Puntaje final muñeca/brazo	**3**
Puntaje cuello	2
Puntaje tronco	2
Puntaje piernas	1
Puntaje postura tronco	2
Puntaje actividad muscular tronco	0
Puntaje esfuerzo/carga tronco	1
Puntaje final cuello, tronco y piernas	**3**
PUNTAJE FINAL	**3**

Tabla 11: Puntuación percentil 95, propuesta ergonómica puesto de trabajo almacén de perfiles, tarea almacenamiento.
Fuente: Elaboración propia basada los resultados del software ErgoMaster.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el puntaje final también es de 3, lo cual quiere decir que es conveniente profundizar en el estudio del puesto cuando se realice con modelos de comprobación reales.

4. CONCLUSIONES

Del diseño ergonómico de puestos de trabajo realizado en este estudio se concluye lo siguiente:

La caracterización de las condiciones del puesto de trabajo, así como la comprobación virtual computarizada realizada con los modelos humanos constituyen una alternativa válida y rentable que brinda a las PYMES un punto de partida para la toma de decisiones. No obstante, el uso de esta técnica no excluye la realización de un plan de comprobaciones reales con modelos físicos que permitan una retroalimentación con mayor exactitud.

Si bien se tomó la decisión de utilizar los métodos LEST y RULA para hacer la valoración global ergonómica, así como de las posturas y esfuerzos, es importante aclarar las limitantes de cada uno. En el caso del método LEST sólo debe utilizarse para puestos de trabajo en los cuales las condiciones ambientales y el lugar de trabajo no sean variables, y de igual manera, el método RULA es válido para el análisis de actividades que impliquen en mayor medida el uso de las extremidades superiores sobre las extremidades inferiores.

Mediante la realización de modificaciones dimensionales y adecuaciones tecnológicas propuestas para cada actividad, la comprobación virtual computarizada presentó resultados satisfactorios para los usuarios que corresponderían a los percentiles 5 y 95. El 80% de los puestos pasó de presentar altas puntuaciones (5 a 7) a puntuaciones admisibles que constituyen condiciones convenientes para el bienestar del usuario (1 y 2).

Pese a la notable mejoría lograda en los diferentes puestos de trabajo a nivel de posturas y esfuerzos según la comprobación realizada con el método RULA, el 16% aún maneja puntuaciones que revelan la necesidad de realizar cambios (3 y 4) que se sugiere, deben ir ligados a la incorporación procesos mecánicos y/o automatizados; es el caso de los puestos almacén de perfiles, pulido de acero, y cargue y descargue de suministros.

La intervención ergonómica de cada puesto de trabajo estuvo enfocada en cambios dimensionales teniendo en cuenta aspectos antropométricos buscando el mayor grado de confort para que el usuario desarrolle la actividad, disminuyendo el tiempo empleado durante su ejecución, y procurando un mayor nivel de productividad.

La investigación tuvo el acompañamiento de los directivos de la empresa y fue recibido a satisfacción dado el interés de ponerlo en práctica en una siguiente etapa de desarrollo.

5. AGRADECIMIENTOS

Este artículo es parte del proyecto titulado “Modelación de plantas y desarrollo de un sistema de soporte para la programación de operaciones industriales de producción integrado con la logística y transporte del vidrio templado de Tempro s.a.” GRANTS: Cod. 1215-403-20119. CT. 469-2007 Cofinanciado por Colciencias.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Chiner M, Diego A, Alcaide J. Laboratorio de Ergonomía. 1ª edición. México: Alfaomega, 2004. 213p. ISBN: 970-15-0887-4
- Cruz A, Garnica A. Principios de Ergonomía. 3ª edición. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2004. 230p. ISBN: 958-648-454-8
- Estrada J, Restrepo M, Parra M, et al. Parametros antropométricos de la población laboral colombiana. Estudio ACOPLA95. Medellín: Universidad de Antioquia, 1995. 232 p.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Electrotecnia. Principios de Ergonomía Visual. Iluminación para Ambientes de Trabajo en Espacios Cerrados. GTC 8. Bogotá: ICONTEC, 1994.
- Mondelo P, Gregory E, Blasco J, et al. Ergonomía 3: Diseño de puestos de trabajo. 2ª edición. Barcelona: Alfaomega, 2001. 270p. ISBN: 970-15-0298-1
- Panero J, Zelnik M. Las dimensiones humanas en los espacios interiores: Estándares antropométricos. Castán Santiago (trad.). México: Gustavo Gili, 1991. 306 p. ISBN: 968-6085-97-1
- Rodríguez M. Ergonomía básica. 1ª edición. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2007. 278 p. ISBN: 978-847-978-131-6
- Diego-Más José, Asencio Sabina. Método LEST - Evaluación global del puesto de trabajo - ergonomía y prevención de riesgos laborales [en línea]. Universidad Politécnica de Valencia, 2006 [ref. de septiembre 2009]. Capítulo I. Fundamentos del método. Disponible en World Wide Web:
- http://www.ergonautas.upv.es/metodos/lest/lest-ayuda.php
- Diego-Más José, Asencio Sabina. Método RULA - Rapid Upper Limb Assessment - ergonomía y prevención de riesgos laborales [en línea]. Universidad Politécnica de Valencia, 2006 [ref. de septiembre 2009]. Capítulo I. Fundamentos del método. Disponible en World Wide Web: <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/rula/rula-ayuda.php