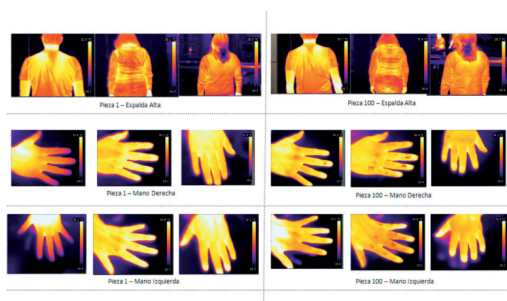


Estudio preliminar de la evaluación de riesgos músculo esqueléticos a través de la termografía infrarroja en una célula experimental de montaje



Amalia Yoguez-Seoane*

Claudia del Carmen Gutiérrez-Torres**

Miguel Ángel López Ontiveros*

José Alfredo Jiménez Bernal**

Doctorado Ingeniería Sistemas

Doctorado Ingeniería Mecánica

Doctorado Ingeniería Industrial

Doctorado Ingeniería Mecánica

* UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA. Azcapotzalco. Av. San Pablo No. 180 Col. Reynosa Tamaulipas, 02200, México. amyoguez@yahoo.com

** INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Zacatenco, México

Recibido: 01/07/2012 • Aceptado: 23/07/2013

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/5217>

PRELIMINARY STUDY OF THE MUSCULOSKELETAL RISK THROUGH THE METHOD OF INFRARED THERMOGRAPHY IN AN EXPERIMENTAL ASSEMBLY STATION

ABSTRACT

• This work develops a protocol for tracking thermal parameters (skin temperature) in operators (men and women) that work in an experimental assembly station, by monitoring the temperature of the skin on the back-shoulders-hand, using the method of infrared thermography as a noninvasive tool for risk assessment in musculoskeletal diseases. The study characterizes the difference in temperature for men and women that perform same manual assembly tasks. It is observed the infrared thermography as a useful tool that allows collecting data that can be used in the biomechanical design of work stations.

• **Keywords:** Infrared Thermography, musculoskeletal disorders, assembly cell, fatigue.

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla un protocolo para el rastreo de parámetros térmicos (temperatura de la piel) en operadores (hombres y mujeres) que trabajan una célula de ensamble experimental, el estudio se lleva a cabo a través del monitoreo de la temperatura de la piel en espalda-hombro-mano, utilizando el método de termografía infrarroja como una herramienta no invasiva para la evaluación de riesgos en enfermedades musculoesqueléticas. En el estudio se caracterizan las diferencias de temperatura para hombres y mujeres que realizan tareas iguales de ensamble manual.

Se visualiza a la termografía infrarroja como una herramienta útil que permite recolectar datos que pueden ser utilizados para el diseño biomecánico de estaciones de trabajo.

Palabras clave: Termografía infrarroja, enfermedades músculo esqueléticas, células de ensamble, fatiga.

1. INTRODUCCIÓN

El estrés físico o la incomodidad en el lugar de trabajo pueden afectar a largo

plazo la salud o la habilidad para desarrollar tareas físicas de una manera efectiva, Potvin *et al* [1] reportan que la incidencia de problemas músculo esqueléticos en las extremidades superiores se ha incrementado en las últimas décadas. Pérez [2] indica que en México se calcula que 38 por ciento de las enfermedades ocupacionales se debe a estos padecimientos. Es en este sentido que el estudio de estas lesiones permanece como un área prioritaria de investigación para reducir su incidencia e impacto en el trabajo y en los sistemas de seguridad social, su estudio ha sido abordado con diversos enfoques sistémicos o multidisciplinarios, existiendo una diversidad de metodologías y técnicas que han sido aplicadas para evaluar el impacto de las tareas repetitivas en ensambles manuales, por ejemplo: Ryan y Haslegrave [3] desarrollan un protocolo verbal para recolectar y analizar datos referentes a los pensamientos de los operadores durante el desarrollo de tareas manuales. You y Kwon [4] en una revisión de 31 artículos científicos publicados entre 1997 y 2002 realizan un análisis de diferentes métodos de medición, y técnicas de análisis de la evaluación de tareas repetitivas. El mé-

todo más común reportado por You y Kwon [4] para medir el estrés ergonómico involucra anexas al cuerpo diferentes dispositivos mecánicos. Los niveles de estrés son medidos a través de los movimientos del cuerpo.

Sommerich *et al.* [5] realizan un estudio para caracterizar un perfil biomecánico de tareas manuales repetitivas reportando que la posición de la muñeca y los dedos, la fuerza, la actividad muscular y la presión en el túnel carpal son factores significativos en la evaluación de tareas manuales repetitivas. La actividad muscular resultará en el incremento del flujo de la sangre simultáneamente al incremento en el esfuerzo de los músculos. Es en este sentido que la termografía infrarroja se ha aplicado como una herramienta que permite, a distancia y sin contacto, medir y visualizar temperaturas superficiales.

Como lo expresan Sanz *et al.* [6] y Niehof [7], la cámara infrarroja recibe y cuantifica la radiación térmica emitida y reflejada por los diferentes materiales y las transforma en imágenes digitales. Con el uso de la técnica se puede detectar la energía emitida por las venas y arterias de acuerdo con Oligher [8], quien menciona que a mayor flujo de sangre mayor la energía emitida. A mayor intensidad del trabajo desarrollado por una persona, los niveles de energía son mayores, y más sangre es necesaria. La temperatura registrada en la imagen termográfica es una herramienta importante para el diagnóstico médico ya que la ciencia ha demostrado que todas las enfermedades causan cambios de temperatura en un órgano. Algunos tipos de desórdenes disminuyen la temperatura mientras que otras la incrementan. Estudios termográficos para evaluar los daños causados por la fatiga en músculos a través de la termografía infrarroja destacan su uso como una técnica cualitativa para evaluar el estrés ergonómico en los lugares de trabajo. Diferentes metodologías y protocolos han sido desarrollados para examinar los riesgos de sufrir desórdenes músculo esquelético a través de la evaluación de imágenes térmicas. Entre ellos se destacan los siguientes trabajos de investigación:

Salvalaio *et al.* [9] analizan el uso del pedal por un baterista y como a través de la termografía infrarroja se puede evaluar cualitativamente los músculos involucrados y su relación con los daños resultantes por la fatiga. Lourenco *et al.* [10] realizan un análisis similar evaluando las condiciones de un pianista. Morales *et al.* [11] enfocan la aplicación de la termografía infrarroja, como método no invasivo para evaluar posibles riesgos a sufrir de lesiones músculo esqueléticas en operarios de la industria manufacturera de neumáticos en Venezuela. Gold *et al.* [12] examinan la temperatura de la piel en mano antes y después de desarrollar una corta tarea de mecanografía como un indicador de desórdenes músculo esqueléticos en las extremidades superiores. Stratul *et al.* [13] muestran como la ausencia de principios ergonómicos pueden causar problemas músculo esqueléticos en el campo de la medicina dental, asimismo muestran el síndrome del túnel carpal o tendinitis utilizando métodos termográficos.

Korukcu y Kilic [14] llevan a cabo un estudio para rastrear la temperatura de la mano y del rostro utilizando la ter-

mografía infrarroja bajo periodos de calor en un automóvil. Rustemeyer *et al.* [15] realizan una valoración termográfica de la región facial encontrando asimetrías de temperatura en la cara. Zontak *et al.* [16] realizan un estudio para caracterizar la temperatura normal de la piel en respuesta al ejercicio utilizando termografía.

El marco contextual propuesto por Battine *et al.* [17] para el diseño de los sistemas de ensamble demanda la consideración de guías ergonómicas y no solamente el análisis del tiempo de las tareas (variables tecnológicas y ambientales), es en este sentido que las investigaciones en el área de la termografía se visualizan con un potencial en el campo de la ergonomía, como una herramienta que permite identificar factores de riesgo que puedan causar desórdenes músculo esquelético más eficazmente, medir la efectividad de las intervenciones ergonómicas en los lugares de trabajo y cuantificar la demanda de trabajo en la fisiología humana midiendo los efectos del trabajo a través de lecturas térmicas. Keerthi y Babski [18] expresan la necesidad de desarrollar técnicas alternativas para cuantificar factores de riesgo para incrementar el entendimiento de los mecanismos fisiológicos del trabajo relacionado con la causa de problemas músculo esqueléticos.

La contribución del presente trabajo se enfoca en el análisis y evaluación de la variación de la temperatura del cuerpo, monitoreando la temperatura en espalda-hombro-mano a través del uso de la termografía infrarroja, a través de un estudio preliminar y de tipo exploratorio para el rastreo de parámetros térmicos en operadores (hombres y mujeres) que trabajan en una célula de ensamble experimental, caracterizada por operaciones que están presentes en tareas de ensamble manual en la industria, emulando un puesto de trabajo en las áreas de manufactura donde predominan las operaciones con movimientos repetitivos, apoyándose de videos grabados en alta velocidad (120 fps) para observar los movimientos repetitivos del cuerpo. La investigación pretende evaluar en un estudio preliminar y de tipo exploratorio las zonas de confort y/o zonas de riesgo en conjunto con parámetros termográficos, así como el impacto de las tareas repetitivas en hombres y mujeres en la fisiología del cuerpo a través de lecturas térmicas. Este trabajo puede ser de interés para los ingenieros industriales interesados en la ergonomía e involucrados en el diseño de la pre-producción, ayudando de esta forma con información para la selección de la mejor solución del sistema de ensamble.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. SELECCIÓN DE LOS SUJETOS DE ESTUDIO

Cuatro estudiantes voluntarios de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco-México (dos mujeres y dos hombres) (Mujeres edad 22-27 años) (Hombres 23-27 años) fueron invitados para participar en el estudio. Previo al estudio se realizaron entrevistas con los participan-

tes (preguntándoles si tenían alguna lesión músculo esquelética previa y si habían realizado algún esfuerzo físico sobresaliente antes de llegar al laboratorio) y ninguno de ellos presentaban antecedentes de problemas musculoesqueléticos. Antes de iniciar con el estudio se asignaron 5 minutos de descanso seguido de un periodo de capacitación de 10 minutos donde se explicó la secuencia de ensamble de un conector eléctrico Figura 3. Se determinaron 5 minutos para práctica y permitir al sujeto de estudio familiarizarse con la secuencia y método de ensamble antes de llevar a cabo el estudio. No se observaron casos donde los voluntarios se consideraran inapropiados para participar en el estudio. Dominancia de mano reportada: mano derecha, en todos sus casos.

2.2. MATERIALES

Para realizar el estudio se construyeron dos células: la primera corresponde a la célula de trabajo experimental (Figura 1) y la segunda corresponde al diseño de una célula de ensamble (Figura 2).

2.2.1. Célula de trabajo experimental

La célula de trabajo experimental muestra el área de trabajo del investigador responsable de llevar a cabo el estudio, se empleó una cámara termográfica *FLIR* de la serie E40 con certificado de calibración de origen, Rango de temperatura -20°C a 650°C , Sensibilidad Térmica $<0.07^{\circ}\text{C}$ @ 25°C , Resolución IR 160×120 , Frecuencia de imagen 60Hz, Rango Espectral 7.5 a $13\mu\text{m}$ un cronómetro, una cámara fotográfica de alta velocidad *FUJI HS-100*. El siguiente equipo informático fue utilizado para el análisis de datos *FLIR Quick Report Version 1.2*. La célula de trabajo experimental es usada como célula de entrenamiento donde se explica al operador la secuencia de ensamble. Una vez que el operador está familiarizado con la secuencia de ensamble el operador es transferido a la célula de ensamble. No se recolectaron datos durante la sesión de entrenamiento.



Fig. 1: Célula de trabajo experimental

2.2.2. Célula de ensamble

La estación de trabajo fue configurada como se muestra en la figura 2, se utilizó una mesa de trabajo de $110 \times 65.5\text{cm}$ y 11 contenedores de plástico $17 \times 12\text{cm}$. La tarea de ensamble se desarrolló en una mesa de trabajo que simula un ambiente de manufactura. Los parámetros ambientales que registraron al momento de llevar a cabo la prueba fueron 17.4°C y 34% HR, la actividad de ensamble se llevó cabo en un área donde no existen corrientes de aire o cambios bruscos de temperatura. Con objeto de simular un ambiente de trabajo ergonómico se utilizó una silla de trabajo giratoria, con respaldo y asiento ajustable y base de 5 anclas. Se invitó a los operadores a ajustar su silla antes de llevar a cabo el experimento. La cámara termográfica fue enfocada a una altura de la espalda del operador a una distancia de 30 cm. Los sujetos de estudio vestían ropa de algodón en colores rosa y blanco (mujeres); gris y verde (hombres).



Fig. 2: Célula de ensamble

2.2.3. Protocolo

Los operadores informaron de su consentimiento para realizar el estudio, así como su interés en participar en futuros estudios. Se tomaron imágenes termográficas al inicio del estudio, en posición de reposo, se dio instrucción a los operadores ensamblar 100 piezas. La Figura 3 muestra la pieza de estudio, la cual es un conector eléctrico comercial curvo 90° medida $3/8''$, material ZAMAC ASTM AG40A/SAE 903, con certificado de calidad UL 514B, peso aproximado 100 gr, bordes y contras maquinados.

Con un contador se contabilizó el número de piezas ensambladas, imágenes termográficas fueron capturadas al ensamblar 25, 50, 75 y 100 piezas, se le pidió a los operadores notificaran si existía dolor en brazo, espalda o manos, llevando un registro del momento en que presentaron molestias y la parte del cuerpo donde se presentaba dolor. El estudio fue llevado a cabo en una sola sesión, es decir, sin periodos de descanso.

Los movimientos de las manos fueron filmados con una cámara de alta velocidad *FUJI HS-100* a 120 fpm con una

resolución de 640x480 píxeles, con el fin de realizar estudios posteriores para identificar la diferencia en la técnica de trabajo de hombres y mujeres.



Fig. 3: Conector Eléctrico

Para asegurar las condiciones de exactitud en el estudio, se siguieron recomendaciones presentadas por Stratul *et al.* [13], enfocándose principalmente a mantener un área libre de corrientes de aire, para así evitar errores en la medición real del cuerpo.

3. RESULTADOS

Después de la evaluación de las imágenes termográficas (presentadas en la Figura 4) se observa un incremento en la temperatura de los zonas involucrados en la realización de movimientos repetitivos manuales hombro y espalda, asimismo se observa que la temperatura del hombre tiene incrementos superiores a las mujeres evaluadas, como lo muestra la Figura 5 de una manera gráfica. Los tiempos de ensamble de las 100 piezas variaron de 27.7 a 43.3 minutos. El menor correspondió a un hombre y el mayor a una mujer.

La Fig. 5 muestra una gráfica de los intervalos de temperatura máxima observados en las partes del cuerpo evaluadas. En las

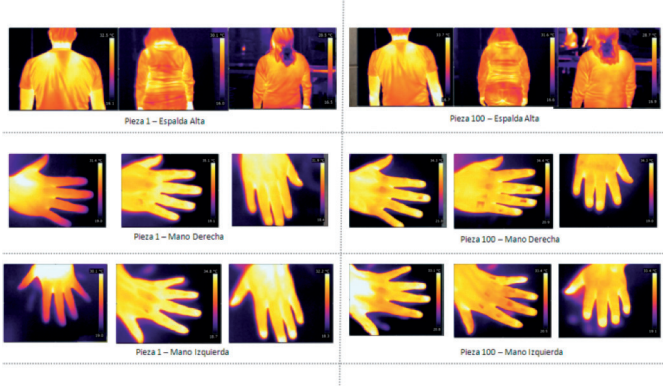


Fig. 4: Imágenes termográficas

temperaturas registradas se observaron rangos de temperatura mayores en la espalda alta y hombro de los hombres en comparación con los rangos de temperaturas registrados en las mujeres. La temperatura en la espalda alta en promedio registra un valor de 32.72°C para los hombres, mientras que

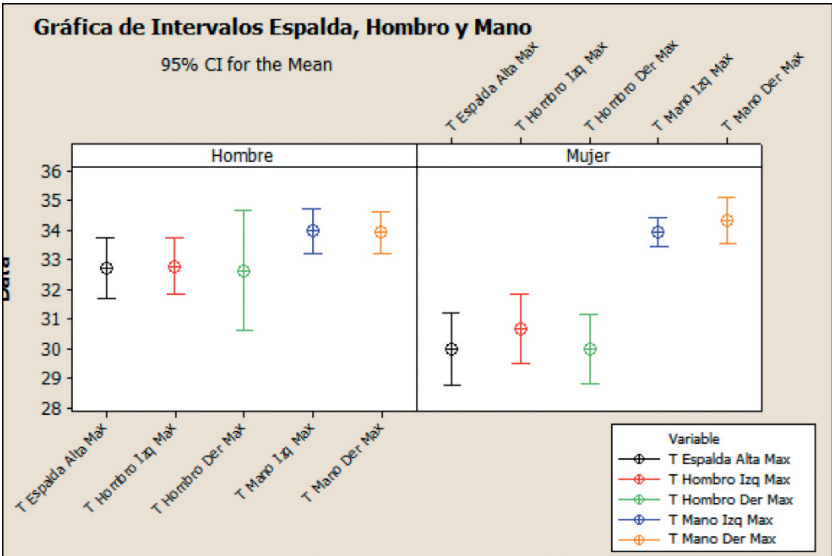


Fig. 5: Gráfica de Intervalos de Temperatura

Temperatura (°C)	Género	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
T Espalda Alta Max	Hombre	32.722	1.342	31.000	31.650	32.600	34.150	34.800
	Mujer	29.967	1.576	26.800	28.850	30.300	31.200	31.400
T Hombro Izq. Max	Hombre	32.789	1.257	31.200	31.550	32.700	33.900	34.900
	Mujer	30.644	1.527	27.700	29.600	31.100	31.800	32.300
T Hombro Der Max	Hombre	32.644	2.615	28.100	30.150	33.500	34.500	35.400
	Mujer	29.967	1.535	27.300	28.750	30.000	31.250	31.800
T Mano Izq. Max	Hombre	33.978	1.002	32.600	33.150	34.000	34.950	35.400
	Mujer	33.944	0.631	32.900	33.450	34.100	34.250	35.000
T Mano Der Max	Hombre	33.933	0.930	32.100	33.250	34.000	34.650	35.000
	Mujer	34.333	1.039	32.000	33.850	34.600	35.000	35.200

Tabla 1: Estadística Descriptiva del Experimento Inicial

para las mujeres registra un valor de 29.96°C, la temperatura del hombro izquierdo para el hombre registra un valor promedio de 32.78°C, mientras que para la mujer registra un valor de 30.64°C, el hombro derecho para el hombre registra un valor de 32.64°C y para la mujer 29.96°C esta diferencia de rangos de temperatura nos permite concluir que aún para tareas manuales iguales, las mujeres tienden a trabajar con movimientos diferentes, en este caso se observó una dominancia en el movimiento de las manos en mayor medida, a diferencia de los hombres cuyo trabajo se caracterizan por un movimiento integral brazo-mano. Las mujeres registraron temperaturas superiores en las manos, mano derecha 34.33°C para las mujeres y 33.93°C para los hombres. La Tabla I muestra la estadística descriptiva del estudio.

La termografía permite visualizar el hecho propuesto por Dahlberg *et al.* [19] que la técnica en el trabajo y los síntomas musculo esqueléticos difieren entre hombres y mujeres que desarrollan el mismo tipo de actividad. Aún cuando las temperaturas registradas en las mujeres son menores para la espalda se reportó dolor en uno de los casos, así como dolor en los dedos de la mano derecha. A pesar que el hombre y la mujer llevan a cabo el mismo trabajo, no desarrollan la tarea de la misma manera en términos biomecánicos, Kilbom y Messing [20] atribuyen estas diferencias a los siguientes aspectos: diferencias biológicas, fortaleza en músculos, tamaño del cuerpo para explicar las diferencias en problemas musculo esqueléticos entre hombres y mujeres.

El nivel de trabajo se puede registrar a través de diferencia de temperatura en las distintas partes del cuerpo. Las gráficas de temperatura obtenidas a partir de la termografía permiten visualizar posibles lesiones músculo esqueléticas, particularmente en este estudio. La termografía puede ser una herramienta de diagnóstico muscular efectivo, proporcionando imágenes de diagnóstico no invasivas y de costo relativamente bajo.

Con el fin de ampliar el estudio presentado y hacer uso de la termografía no sólo como un medio de diagnóstico de posibles lesiones músculo esqueléticas, sino también como un medio de evaluación de acciones preventivas y correctivas implementadas para prevenir lesiones de los operadores

cuando se realizan tareas repetitivas se diseñó otro experimento. En este caso, se modificaron las condiciones de la mesa de trabajo de los sujetos de estudio inclinándose ésta 30° hacia el operador, los objetos de trabajo fueron colocados en el perímetro normal de trabajo (Área Farley), los contenedores fueron colocados considerando los principios de economía de movimientos, eliminado el cruce de manos y buscando un equilibrio en el uso de ambas manos, los contenedores usados tienen también una inclinación aproximada de 20 grados, Se utilizó un metrónomo para marcar el ritmo de producción (77 golpes por minuto), se utilizó una disposición de materiales en arco. Las condiciones de este experimento fueron de temperatura 16.6°C y humedad del 41% HR. En la figura 6 se muestra la célula de ensamble modificada.

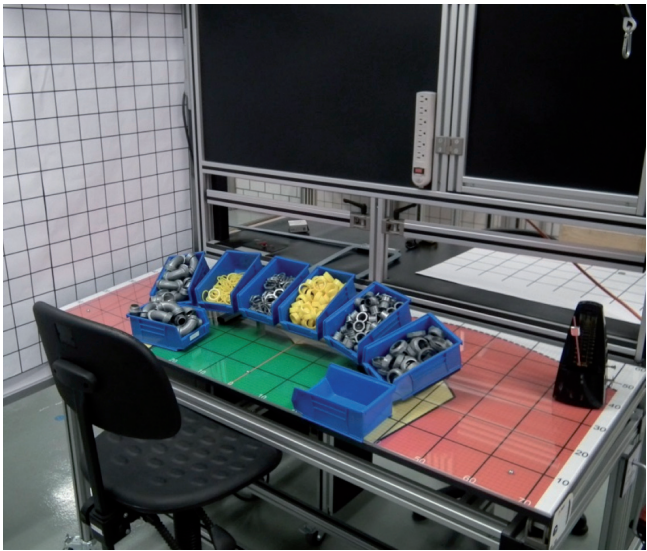


Fig. 6: Célula de ensamble modificada

Además, se modificó la carga de trabajo, que pasó de un ensamble de 100 piezas (experimento original) a un ensamble de 150 piezas. También, se implementó un micro descanso al llegar a la pieza 75. Se les pidió a los operadores imple-

Temperatura (°C)	Género	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
T Espalda Alta Max	Hombre	30.95	0.686	30.20	30.40	30.60	31.60	32.1
	Mujer	34.51	0.773	33.30	33.85	34.20	35.175	35.7
T Hombro Izq. Max	Hombre	30.71	0.641	29.90	30.225	30.40	31.375	31.6
	Mujer	34.05	0.976	32.70	33.65	34.14	35.35	35.7
T Hombro Der Max	Hombre	31.00	0.717	30.00	30.35	30.85	31.60	32.1
	Mujer	34.49	0.738	32.30	33.925	34.20	35.10	35.5
T Mano Izq. Max	Hombre	34.24	0.945	31.80	34.00	34.20	34.525	35.6
	Mujer	30.57	0.824	29.20	29.925	30.50	30.95	32.1
T Mano Der Max	Hombre	33.90	0.755	32.30	33.35	33.95	34.475	34.9
	Mujer	30.87	0.699	29.70	30.55	30.85	31.375	32.1

Tabla II: Estadística Descriptiva del Experimento Modificado

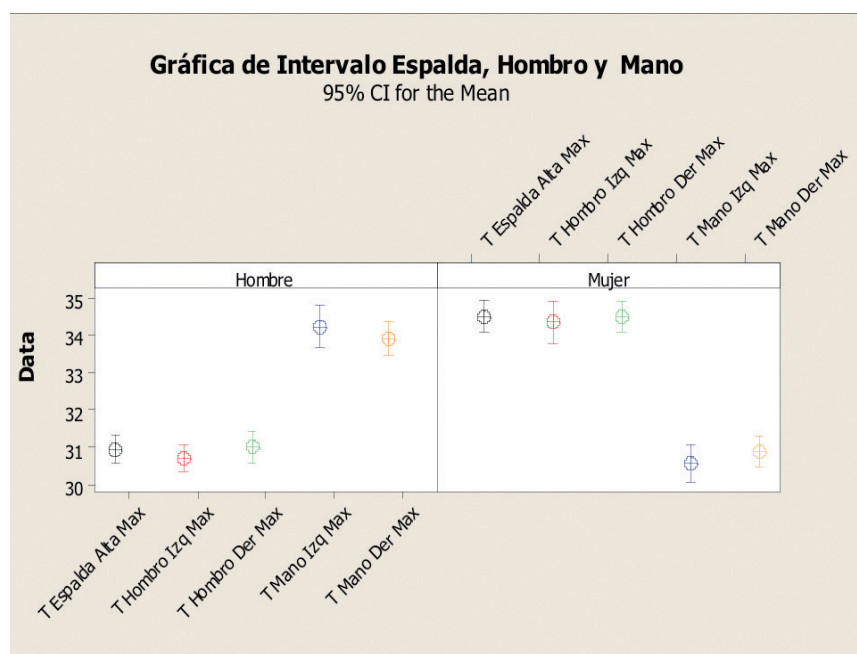


Fig. 7: Gráfica de intervalos de temperatura con modificaciones en la carga de trabajo

mentar una rutina de ejercicios completa durante su descanso la cual incluye ejercicios para ojos, cuello, hombros, espalda alta, antebrazos, muñecas y manos propuesta por Leah [21].

En la Fig. 7 se muestra una gráfica de los intervalos de temperatura máxima observados en las partes del cuerpo para este nuevo experimento. En las temperaturas registradas se observaron rangos de temperatura mayores en la espalda alta y hombro de las mujeres en comparación con los rangos de temperaturas registrados en los hombres. La temperatura en la espalda alta en promedio registra un valor de 30.95°C para los hombres, mientras que para las mujeres registra un valor de 34.51°C, la temperatura del hombro izquierdo para el hombre registra un valor promedio de 30.71°C, mientras que para la mujer registra un valor de 34.05°C, el hombro derecho para el hombre registra un valor de 31°C y para la mujer 34.49°C. En el caso de este experimento las mujeres registraron temperaturas inferiores en las manos, mano derecha 30.87°C para las mujeres y 33.90°C para los hombres. La Tabla II muestra la estadística descriptiva del estudio.

4. DISCUSION

Los experimentos reportados muestran la utilidad de la termografía como herramienta de diagnóstico muscular. En ambos casos permiten mostrar las diferencias en las técnicas de trabajo entre hombres y mujeres. En el primer caso, se observa que para la configuración dada a la célula de ensamble la técnica de trabajo de los sujetos de género masculino monitoreados presentan una carga de trabajo mayor en el caso de la espalda y los hombros, mientras que los sujetos de género femenino presentan mayor carga de trabajo en las

manos. Esto de acuerdo a las temperaturas medidas con la cámara termográfica.

Los resultados del segundo experimento muestran los efectos que la modificación de la célula de trabajo ocasiona en la técnica de trabajo usada por hombres y mujeres. En este caso son las mujeres las que presentan mayor carga de trabajo en la espalda alta y los hombros, mientras que los hombres presentan mayores temperaturas en las manos. Es necesario hacer notar que esto demuestra la premisa de que los hombres y las mujeres presentan distintas técnicas de trabajo y distintos síntomas para la misma actividad.

Debe agregarse que una de las voluntarias presentó molestias músculo esqueléticas durante el primer experimento, mientras que en el segundo experimento ninguno de los sujetos presentó molestias de este tipo. Todos los sujetos estuvieron de acuerdo en que la implementación del micro descanso a la mitad del proceso de ensamble proporcionó una sensación de bienestar que les permitió continuar trabajando a pesar de haber

aumentado el número de piezas a ensamblar.

Lo anterior concuerda con Sharma *et al.* [22] quienes señalan a la termografía como una herramienta de diagnóstico muscular efectivo, proporcionando imágenes de diagnóstico no invasivas, de costo relativamente bajo y reproducibles.

Además, Saptari *et al.* [23] y Chow [24] proponen una línea de investigación para conocer como la variabilidad humana en términos de edad, cultura y género pueden contribuir de manera significativa en la productividad de una línea de ensamble. Dahlberg *et al.* [19] sugieren la necesidad de mayor investigación para descubrir por qué las mujeres que desempeñan la misma actividad que los hombres sufren de mayores problemas musculo esqueléticos en mayor grado que los hombres.

La termografía también se visualiza como una técnica para evaluar la efectividad de los ejercicios acotados para mitigar los riesgos por síntomas del túnel carpal y así promover entre los empleados la toma de conciencia y la participación en ejercicios enfocados a incrementar la flexibilidad, fortaleza y circulación en las extremidades superiores y de esta manera contribuir a mitigar los efectos del síndrome del túnel carpal, Thomas *et al.* [25] presentan una dinámica de ejercicios enfocadas a mitigar los riesgos del síndrome del túnel carpal, en este sentido sería interesante observar sus efectos a través del método de termografía infrarroja, una línea de investigación puede ser sugerida con este enfoque.

5. CONCLUSIONES

De los resultados reportados en este trabajo puede concluirse que existe una gran influencia en la configuración de

la estación de trabajo en el desempeño de los operadores. Además, pudo comprobarse que la técnica de trabajo difiere en hombres y mujeres para la misma tarea repetitiva.

La termografía ha mostrado ser una herramienta eficiente en la evaluación de las cargas de trabajo en los diferentes músculos utilizados en tareas repetitivas con lo cual podría convertirse en un medio de detección y prevención de lesiones músculo esqueléticas con la ventaja de ser una técnica de relativamente bajo costo y no intrusiva. Esto debido a que el aumento de temperatura en los músculos puede ir desde los 38°C a 54°C [26] lo que puede suponer una muerte celular o necrosis y el consiguiente daño al músculo.

Como actividades a futuro se considera tomar una muestra más grande y evaluar diferentes tipos de tareas, así como estudios enfocados a evaluar la ergonomía en una estación de trabajo considerando no solamente operadores de diferente sexo, también con operadores de diferentes edades y tiempos más prolongados para la ejecución de las tareas pensando en la posibilidad de crear estaciones de trabajo flexibles y adecuadas a cualquier tipo de perfil.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue desarrollado con soporte proporcionado por la Universidad Autónoma Metropolitana – Departamento de Sistemas-Ingeniería Industrial- Azcapotzalco.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Pérez P. Enfermedades Ocupacionales en México. 2012. Disponible en internet: <http://www.uamero.uam.mx/UAMeros/insides/newsb.aspx?pid=1726> [consulta: 5 Febrero 2012]
- [2] Potvin J, Chiang J, Mckean C, et al. "A psychophysical study to determine acceptable limits for repetitive hand impact severity during automotive trim installation". *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2000. Vol.26 p.625-637
- [3] Ryan B, and Haslegrave. "Developing a verbal protocol method for collecting and analyzing reports of workers' thoughts during manual handling tasks". *Applied Ergonomics*. 2007. Vol.38 p.805-819
- [4] You H and Kwon O. "A survey of repetitiveness assessment methodologies for hand intensive tasks". *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2005. Vol.35 p.353-360
- [5] Sommerich C-M, Morras S, Parnianpour M. "A method for developing biomechanical profiles of hand-intensive tasks". *Clinical Biomechanics*. 1998. Vol.13 p.261-271
- [6] Sanz A, Vicente M, Barneto A et al. "Diagnóstico Fibrosarcoma Felino por Imagen Termográfica". *Revista Complutense de Ciencias Veterinaria* 2008. Disponible en internet <http://revistas.ucm.es/vet/19882688/articulos/RCCV0808220134A.PDF> [consulta: 12 diciembre 2011]
- [7] Niehof P. "Video Thermography: Complex Regional Pain Syndrome in the Picture. Universidad de Rotterdam. 2007. Disponible en internet http://repub.eur.nl/res/pub/10704/071003_Niehof,%20Sjoerd.pdf [consulta: 12 diciembre 2010]
- [8] Ohliger A. "Can Ergonomic Stress Be Measured Using Thermography?". *InfraMation Proceedings* 2006.
- [9] Salvalaio C, Silva FP, Pinho A. et al. "Qualitative Evaluation of Physical Effort in Bass Drum Pedal Drive by Thermography". *Science and Technology*. 2001. Vol1 p.1-6
- [10] Lourenco S, Clemente M, Coimbra D et al., "The assessment of trapezius muscle symptoms of piano players by the use of infrared thermography". *International Symposium on Performance Science*. 2011
- [11] Morales M, Medina E, Carnevali A et al. "Termografía infrarroja y el estudio de riesgos de lesiones músculo esqueléticas". *Ingeniería Industrial*. 2011 Año10. No.1 p.55-67
- [12] Gold JE, Cherniack M, Hanlon A et al. "Skin Temperature in the dorsal hand of office workers and severity of upper extremity musculoskeletal disorders". *International Arch Occupational Environmental Health*. 2009. Vol.82 p.1281-1292
- [13] Stratul S, Rusu D, Kulcsar R et al "Thermographical methods in highlighting the tendinitis in dentistry". *Annals of DAAAM and Proceedings*. 2010. Vol.21 No.1, p.1373-1374
- [14] Korukcu M, Kilic M, "Tracking Hand and Facial Skin Temperatures in an automobile by using Ir-Thermography during heating period". 2012. *Gazi University Journal of Science*. Vol.25 p.207-217
- [15] Rustemeyer J, Radtke J, Bremerich A. "Thermography and thermoregulation of the face". *Head and Face Medicine*. Disponible en internet <http://www.head-face-med.com/content/3/1/17> [consulta: 3 enero 2011]
- [16] Zontak A, Sideman S, Verbitsky O. "Dynamic Thermography: Analysis of Hand Temperature during Exercise". *Annals of Biomedical Engineering*. 1998. Vol.26 p.988-993
- [17] Keerthi G, Babski K. "Reliability of thermal readings of the skin surface over the anterior deltoid during intermittent overhead tapping tasks". *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2012. Vol.40 p.136-142
- [18] Battini D, Paccio M, Persona A, Sgarbossa F. "Linking Ergonomics Evaluation and Assembly System Design Problems in a New Integrated Procedure". 19th Conference on Production Research. 2007
- [19] Dahlberg R, Karlquist L, Bildt C et al. "Do work technique and musculoskeletal symptoms differ between men and women performing the same type of work tasks?". *Applied Ergonomics*. 2004. Vol.35 p.521-529
- [20] Kilbom A, Messing K. "Work-related musculoskeletal disorders". *Women health at work*. 1998. p.203-227
- [21] Leah, C. "Exercises to reduce musculoskeletal discomfort for people doing a range of static and repetitive work". *Health and Safety Executive (HSE), Londres*. 2011. Disponible en internet www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr743.pdf [consulta: 25 junio 2013]
- [22] Sharma D, Smith E, Hazeleman B et al. "Thermographic changes in keyboard operators with chronic forearm pain". *British Medical Journal*. 1997. p.314
- [23] Saptari A, Soon W, Rizel M, "Jig Design, "Assembly Line Design and Work station design and their effect to productivity", *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*. 2011. Vol.5 No.1 p.9-16
- [24] Chow W-M. "Assembly Line Design: Methodology and Applications", Marcel Dekker, New York, 1990
- [25] Thomas E, Butterflied R, Herrick RT. "Effects of exercise on carpal tunnel syndrome symptoms". *Applied Ergonomics*. 1992. No.24 Vol.2, p.101-108
- [26] ABRAMS, G.D. S.A. Price and L.M. Wilson, eds. "Response of the body to injury: Inflammation and repair. In: *Pathophysiology: Clinical Concepts of Disease Processes*" Mosby, St. Louis, MO., 1997, p. 38-58