

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Tesis Doctoral

Personalización basada en sensores para la estimación del estrés por calor en ambientes laborales

Que presenta

Pablo Pancardo García

Para obtener el grado de
Doctor en ciencias de la computación

Directores

Dr. Francisco Diego Acosta Escalante
Dr. Edgard Iván Benítez Guerrero

Cunduacán, Tabasco, México

Febrero, 2016



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Tesis Doctoral

Personalización basada en sensores para la estimación del estrés por calor en ambientes laborales

Que presenta

Pablo Pancardo García

Para obtener el grado de
Doctor en ciencias de la computación

Comité Tutorial: **Dr. Francisco Diego Acosta Escalante**
Dr. Edgard Iván Benítez Guerrero
Dr. José Adán Hernández Nolasco

Jurado: **Dr. Miguel Antonio Wister Ovando** Presidente
Dr. José Adán Hernández Nolasco Secretario
Dr. Diego López de Ipiña González de Artaza Vocal
Dr. Francisco Diego Acosta Escalante Vocal
Dr. Edgard Iván Benítez Guerrero Vocal

Cunduacán, Tabasco, México

Febrero 2016





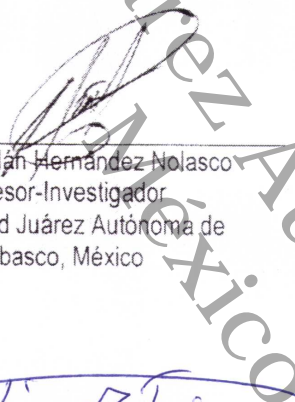
UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO


"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

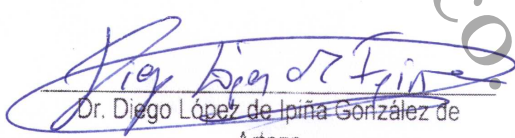
DIVISIÓN ACADÉMICA DE INFORMÁTICA Y SISTEMAS


En la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, de acuerdo al Reglamento de Estudios de Posgrado vigente, se revisó el trabajo de investigación titulado "Personalización basada en sensores para la estimación del estrés por calor en ambientes laborales", realizado por el C. Pablo Pancardo García, estudiante del Doctorado Interinstitucional en Ciencias de la Computación para obtener el Grado de Doctor en Ciencias de la Computación bajo la modalidad de Tesis.

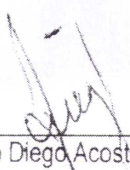
Los integrantes del jurado, después de revisar el trabajo, y en virtud de que se han atendido satisfactoriamente las observaciones y recomendaciones, otorgamos nuestra aprobación para que continúe los trámites correspondientes a la obtención del grado.

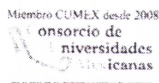

Dr. José Adán Hernández Nolasco
Profesor-Investigador
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México


Dr. Miguel Antonio Wister Ovando
Profesor-Investigador
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México


Dr. Diego López de Ipiña González de Artaza
Profesor Titular
Universidad de Deusto, España


Dr. Edgard Iván Benítez Guerrero
Profesor de Tiempo Completo
Universidad Veracruzana, México


Dr. Francisco Diego Acosta Escalante
Profesor-Investigador
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México



Carretera Cunduacán-Jajpa Km. 1, Colonia Esmeralda, C.P. 86690, Cunduacán, Tabasco, México.
E-mail: direccion.dais@ujat.mx
Teléfonos: (993) 358 1500 ext. 5727, (914) 336 0616, Fax: (914) 336 0870





UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



DIVISIÓN ACADÉMICA DE INFORMÁTICA Y SISTEMAS

Oficio No.561/2016/DAIS-D
10 de febrero de 2016.

M.C. Pablo Pancardo García
Estudiante del DICC
Cunduacán, Tabasco.

Me refiero a su oficio de fecha 27 de enero de 2016, mediante el cual solicita validación de las figuras académicas participantes en el desarrollo de sus estudios doctorales, para lo cual me permito hacer de su conocimiento que con base en el Dictamen del Consejo Académico del Doctorado Interinstitucional en Ciencias de la Computación (DICC), presidido por el Dr. Francisco Diego Acosta Escalante en su carácter de Presidente del Consejo Académico, Secretario Técnico y Coordinador del Programa DICC, se determina la Validación de las Figuras Académicas en sus distintas responsabilices, Director, Co-director y Jurado de examen de grado.

Director:

Dr. Francisco Diego Acosta Escalante
Dr. Edgard Iván Benítez Guerrero

Comité Tutorial:

Dr. Francisco Diego Acosta Escalante
Dr. Edgard Iván Benítez Guerrero
Dr. José Adán Hernández Nolasco.

Jurado:

Dr. Miguel Antonio Wister Ovando	Presidente
Dr. José Adán Hernández Nolasco	Secretario
Dr. Diego López de Ipiña González de Artaza	Vocal
Dr. Francisco Diego Acosta Escalante	Vocal
Dr. Edgard Iván Benítez Guerrero	Vocal

Se extiende la presente para dar continuidad a los trámites de obtención de grado.

Atentamente

M.A.T.I. Eduardo Cruces Gutiérrez
Director

C.c.p. Dr. Francisco Diego Acosta Escalante.- Secretario Técnico del DICC
Dr. Jesús Hernández del Real. Jefatura de Posgrado.
Archivo.
Consecutivo

Miembro CUMEX desde 2008



UNA ALIANZA DE CALIDAD POR LA EDUCACIÓN SUPERIOR

Carretera Cunduacán-Jalpa Km. 1, Colonia Esmeralda, C.P. 86690. Cunduacán, Tabasco, México.

E-mail: direccion.dais@ujat.mx

Teléfonos: (993) 358 1500 ext. 6727; (914) 336 0616; Fax: (914) 336 0870



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



11111000011

DIVISIÓN ACADÉMICA DE INFORMÁTICA Y SISTEMAS

Oficio No.1088/2016/DAIS-D
08 de febrero de 2016.

M.C. Pablo Pancardo García
Estudiante del DICC
Cunduacán, Tabasco

Por este medio me permito hacer de su conocimiento que con base en el Dictamen del Consejo Académico del Doctorado Interinstitucional en Ciencias de la Computación (DICC), dirigido por el Dr. Francisco Diego Acosta Escalante en su carácter de Secretario Técnico del Consejo Académico, se determina en Anexo 1, que las publicaciones sometidas a revisión cumplen con los requisitos de obtención del grado previstos en el programa.

Sin otro particular reciba usted un cordial saludo.

Atentamente


MATI Eduardo Cruces Gutiérrez
Director

C.c.p. Dr. Francisco Diego Acosta Escalante.- Secretario Técnico del DICC
Dr. Jesús Hernández del Real. Responsable del Área de Posgrado.
Archivo.

Miembro CUMEX desde 2008

Consortio de
Universidades
Mexicanas
UNA ALIANZA DE CALIDAD POR LA EDUCACIÓN SUPERIOR

Carretera Cunduacán-Jalpa Km. 1, Colonia Esmeralda, C.P. 86690. Cunduacán, Tabasco, México.
E-mail: direccion.dais@ujat.mx
Teléfonos: (993) 358 1500 ext. 6727; (914) 336 0616; Fax: (914) 336 0870



DIVISIÓN ACADÉMICA DE INFORMÁTICA Y SISTEMAS

ANEXO 1

Producto 1

El artículo “Reconocimiento de la actividad física para el bienestar y salud de trabajadores en ambientes calurosos” se encuentra en la revista Komputer Sapiens (ISSN: 2007-0691) Año V volumen III, disponible para descarga en la siguiente liga: http://komputersapiens.smia.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=72&Itemid=84

Evidencia de arbitraje.

El proceso de arbitraje se describe en el archivo ks_guia_edicion.pdf, disponible en la liga:

http://komputersapiens.smia.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=67&Itemid=96

Evidencia del índice.

La revista pertenece al índice CONACYT de Revistas mexicanas de divulgación científica y tecnológica. La información se encuentra disponible en: http://komputersapiens.smia.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=73&Itemid=93

Estado.

Publicado en Diciembre de 2013.

Relación con la tesis doctoral.

El artículo es derivado de la revisión del estado del arte sobre personalización para estimar el estrés por calor.

Producto 2

La ponencia “A Sensor-Based Method for Occupational Heat Stress Estimation” fue presentada en el Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence Congress, UCAMI 2014 en Belfast, Irlanda del Norte en Diciembre de 2014.

Evidencia de arbitraje.

Los envíos son sometidos a arbitraje, el cual se describe en la siguiente liga: <http://scm.ulster.ac.uk/~scmresearch/SERG/ucamiwaal2014/submissions.html>

La ponencia fue revisada por miembros del comité de programa del evento. El listado del comité de programa se encuentra disponible en: <http://scm.ulster.ac.uk/~scmresearch/SERG/ucamiwaal2014/committee.html>



DIVISIÓN ACADÉMICA DE INFORMÁTICA Y SISTEMAS

Evidencia del índice.

Las memorias del evento fueron publicadas en Springer Lecture notes in computer science. Tal como se menciona en: <http://scm.ulster.ac.uk/~scmresearch/SERG/ucamiwaal2014/index.html>

Estado.

Publicado en Diciembre de 2014.

Relación con la tesis doctoral.

El artículo expuesto es donde se describe la propuesta de método personalizado de estimación de estrés por calor, basado en sensores wearables.

Producto 3

El capítulo de libro “A Sensor-Based Method for Occupational Heat Stress Estimation” fue incluido en el libro Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence. Personalisation and User Adapted Services. ISBN 978-3-319-13102-3. DOI 10.1007/978-3-319-13102-3_41. Disponible en: <http://www.springer.com/cn/book/9783319131016>

Evidencia de arbitraje.

Los libros editados por Springer tienen un proceso de arbitraje. Tal como se menciona en: <https://www.springer.com/cn/authors-editors/book-authors-editors>

Evidencia del índice.

Editorial: Springer International Publishing

Estado.

Publicado en diciembre de 2014.

Relación con la tesis doctoral.

El capítulo es donde se describe la propuesta de método personalizado de estimación de estrés por calor, basado en sensores wearables.

Producto 4

“Real-Time Personalized Monitoring to Estimate Occupational Heat Stress in Ambient Assisted Working”

Evidencia de arbitraje.

El proceso de revisión de los artículos para la revista Sensors se encuentra descrito y disponible en: <http://www.mdpi.com/journal/sensors/instructions>



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



DIVISIÓN ACADÉMICA DE INFORMÁTICA Y SISTEMAS

Evidencia del índice.

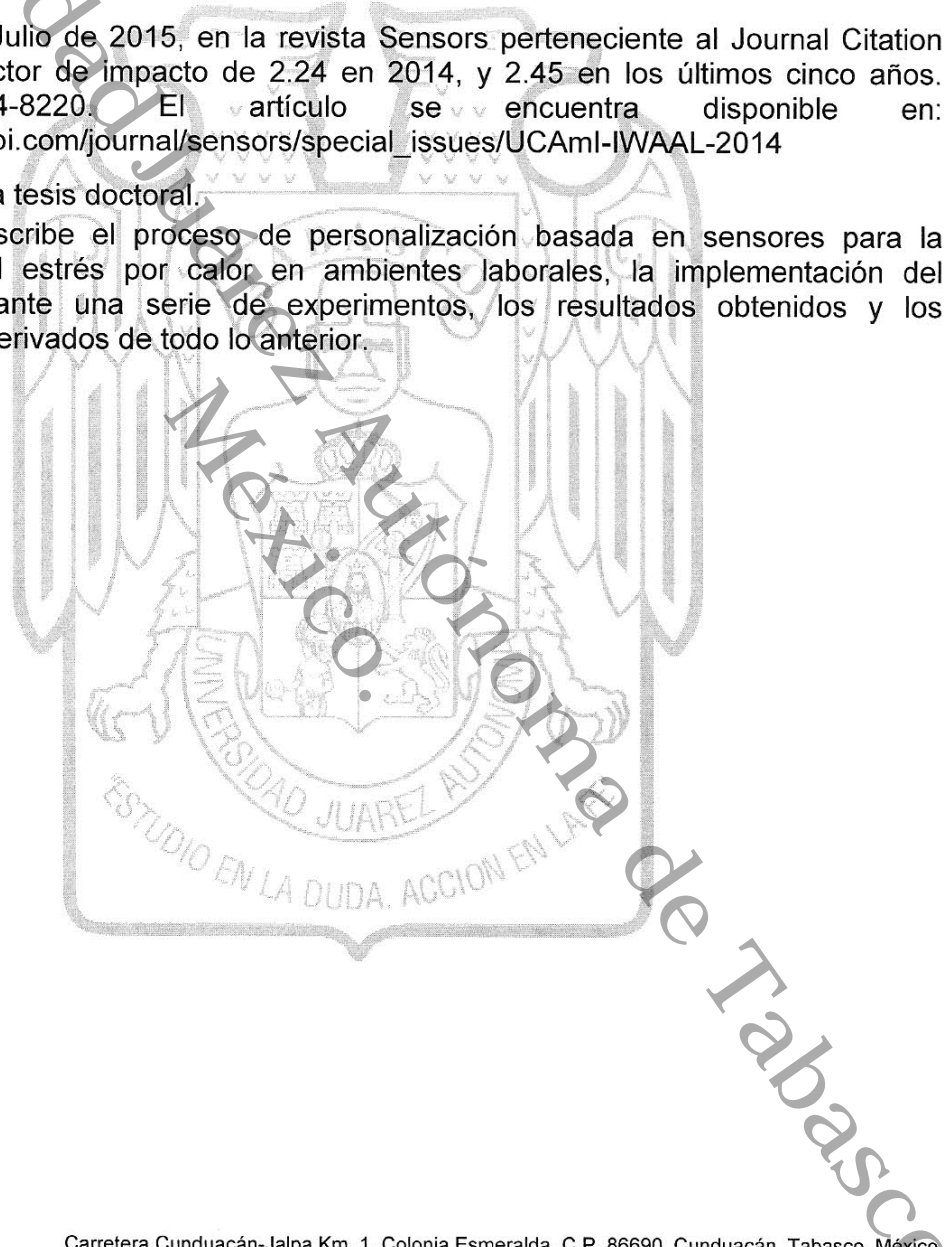
Los índices a los que pertenece la revista se encuentran disponibles en la liga:
<http://www.mdpi.com/journal/sensors/indexing>

Estado.

Publicado en Julio de 2015, en la revista Sensors perteneciente al Journal Citation Report con factor de impacto de 2.24 en 2014, y 2.45 en los últimos cinco años. ISSN: 1424-8220. El artículo se encuentra disponible en:
http://www.mdpi.com/journal/sensors/special_issues/UCAmI-IWAAL-2014

Relación con la tesis doctoral.

El artículo describe el proceso de personalización basada en sensores para la estimación del estrés por calor en ambientes laborales, la implementación del proceso mediante una serie de experimentos, los resultados obtenidos y los aprendizajes derivados de todo lo anterior.



Miembro CUMEX desde 2008



UNA ALIANZA DE CALIDAD POR LA EDUCACIÓN SUPERIOR

Carretera Cunduacán-Jalpa Km. 1, Colonia Esmeralda, C.P. 86690. Cunduacán, Tabasco, México

E-mail: direccion.dais@ujat.mx

Teléfonos: (993) 358 1500 ext. 6727; (914) 336 0616; Fax: (914) 336 0870



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



DIVISIÓN ACADÉMICA DE INFORMÁTICA Y SISTEMAS

Oficio Núm.350/2016-DAIS-D
10 de Febrero de 2016

MC. Pablo Pancardo García

En virtud de que cumple satisfactoriamente los requisitos establecidos en el Reglamento de General de Estudio de Posgrado Vigente en la Universidad, informo a Usted que se autoriza la impresión del Trabajo recepcional **"Personalización basada en sensores para la estimación del estrés por calor en ambientes laborales"** para presentar Examen de Grado y obtener el Grado de Doctor en Ciencias de la Computación bajo la modalidad de Tesis.

Sin otro particular aprovecho la oportunidad para saludarte

Atentamente


MATI. Eduardo Cruces Gutiérrez

Director

C.c.p. Director de Tesis: Dr. Francisco Diego Acosta Escalante.
C.c.p. Director de Tesis: Dr. Edgar Iván Benítez Guerrero



Carretera Cunduacán-Jalpa Km. 1, Colonia Esmeralda, C.P. 86690. Cunduacán, Tabasco, México.
E-mail: direccion.dais@ujat.mx
Teléfonos: (993) 358 1500 ext. 6727; (914) 336 0616; Fax: (914) 336 0870

Carta de Autorización

A quien corresponda:

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente la tesis de grado denominada, **“Personalización basada en Sensores para la Estimación del Estrés por Calor en Ambientes Laborales”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de la tesis antes, mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco a los 10 días del mes de febrero de 2016.

Autorizo



Pablo Paredo García

Cesión de Derechos

Cunduacán, Tabasco, a 10 de febrero de 2016

A quien corresponda:

El abajo firmante, declara que el trabajo de tesis doctoral titulado, **“Personalización basada en Sensores para la Estimación del Estrés por Calor en Ambientes Laborales”** es de mi autoría intelectual y por lo tanto cedo los derechos de comunicación pública, reproducción, distribución, difusión en general y puesta a disposición electrónica de la citada tesis doctoral, de forma gratuita y no exclusiva, a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, a la cual relevo de cualquier sanción y asumo responder a cualquier reclamo de derechos de autor ante las autoridades competentes.

Atentamente

Autor:

Pablo Pancardo García	Calle Estoril 122, Fracc. Lisboa, Col. Primero de Mayo, Villahermosa, Tabasco, México	
-----------------------	---	---

Resumen

La Inteligencia Ambiental consiste en una solución computacional que hace uso de la tecnología (usualmente sensores) para la medición de los parámetros ambientales, la identificación de los actores (personas y objetos) y conocimiento de las acciones que están desarrollando en un escenario, con la finalidad de ofrecer información a los usuarios que les permita actuar en un entorno confortable y proactivo, conforme a sus necesidades particulares. Cuando la visión de la inteligencia ambiental es aplicada a escenarios laborales el dominio se conoce como Trabajo Asistido por el Ambiente (AAW, del inglés *Ambient Assisted Working*), que de manera específica permite la ejecución de las tareas laborales mediante interacciones transparentes, discretas y amigables entre usuarios y los sistemas de cómputo; preservando para los usuarios un estado de bienestar, seguridad y salud. Un aspecto importante que deben cubrir los sistemas para AAW es la personalización, que en este ámbito permitiría ofrecer soluciones inteligentes considerando el contexto (perfil del usuario, los parámetros ambientales y las actividades que se realizan); contrario a los enfoques de personalización comunes en sistemas computacionales que son hacia aspectos cosméticos de las interfaces o el tipo de contenido ofrecido. Como un primer esfuerzo para lograr una personalización adaptativa con base en el contexto y su dinamismo, se propone una arquitectura funcional de referencia y un método genérico para la adquisición de datos, procesamiento y ofrecimiento de resultados ad hoc. La propuesta se cristaliza en un caso de estudio, el cual trata del monitoreo y control del Estrés por Calor en un Ambiente Laboral (ECAL). Esta condición de salud sucede cuando un trabajador se encuentra físicamente activo en un entorno caluroso. El ECAL puede producir tensión en el cuerpo que lleva a la incomodidad, afectaciones severas o incluso la muerte (golpe de calor). Con la finalidad de preservar la seguridad y salud de los trabajadores, ISO ha desarrollado normativas (7243, 7933 y 9886) que contienen métodos para estimar el ECAL, sin embargo, estos métodos son subjetivos, impersonales, con resultados tardíos e incluso invasivos. Adicionalmente las normas no contemplan su aplicación para ambientes extremos muy calurosos ni trabajadores con condiciones distintas (en sexo, salud, juventud, etc.) a la persona tipo en la que se basan las normativas. Por tanto se propone una solución de monitoreo personalizado, basado en tecnología no invasiva de sensores portátiles, *in situ* y en tiempo real, que permita preservar el bienestar, la seguridad y la salud de los trabajadores, lo cual es una opción conveniente y técnicamente avanzada para la estimación del ECAL tomando en cuenta las características físicas individuales de los trabajadores en lugar de características estándar establecidas en la normativa ISO. Lo anterior posibilita alertar de manera pertinente a los supervisores cuando la situación se vuelva crítica. De la revisión efectuada al estado del arte se concluye que ninguno de los trabajos relacionados ofrece una solución personalizada, *in situ*, en tiempo real y apoyada por sensores no invasivos. Un primer grupo de trabajos relacionados utiliza un enfoque convencional en donde las estimaciones de esfuerzos son con base en una tabla genérica o en apreciaciones subjetivas. Otro grupo más de trabajos relacionados, apoyados en tecnología, tienen como finalidad una predicción a corto plazo del estrés por calor que se puede alcanzar. Dado lo anterior es que proponemos este nuevo enfoque para la estimación y control del ECAL, en donde la validación de la propuesta se hace mediante un prototipo empleado en una serie de experimentos con actividades laborales. Los resultados obtenidos demuestran la eficiencia de la arquitectura y métodos propuestos.

Abstract

5 Ambient Intelligence is a computing solution that uses technology (usually sensors) for measuring environmental parameters, identifying actors (people and objects) and knowing the actions taking place in a scenario, in order to provide users with intelligent services that enable them to act in a comfortable and proactive environment, according to their particular needs. When the vision of ambient intelligence is applied to working scenarios domain it is known as Ambient Assisted Working (AAW), which specifically allows the execution of work tasks through transparent, discrete and friendly interactions between users and computer systems; preserving users a state of wellness and health. An important aspect that must cover systems for AAW is personalization, which in this area would provide intelligent solutions considering the context (user profile, environmental parameters and activities carried out); contrary to common customization approaches in computer systems applied to cosmetic aspects of the interfaces or the type of content offered. As a first effort to achieve an adaptive personalization based on the context and dynamism, it is proposed a functional reference architecture and a generic method for data acquisition, processing and ad hoc provision of results. The proposal is crystallized in a case study, which is the monitoring and control of heat stress in a work environment (HSWE). Heat stress is a health condition which happens when a worker is physically active in a hot environment. HSWE can cause stress on the body that leads to discomfort, severe damages or even death (heat stroke). In order to preserve the safety and health of workers, ISO has developed standards (7243, 7933 and 9886) containing methods for estimating HSWE, however, these methods are subjective, impersonal, with late results and even invasive. Additionally, standards are not considered to be applied in very hot or extreme environments neither to workers with different conditions (sex, health, youth, etc.) to the type person included in standards. Therefore, it is proposed a personalized monitoring solution, based on non invasive portable sensors technology, *in situ* and in real time, which is a convenient and technically advanced option for estimating the HSWE taking into account workers physical characteristics instead of standard features set forth in ISO standards. This enables pertinently alert supervisors when the situation becomes critical. In the revision made to the state of the art, it is concluded that none of the related works provide a personalized, in situ, in real-time and supported by non-invasive sensors solution. A first group of related works use a conventional approach where efforts are estimations based on a generic table or subjective judgments. Another group of related jobs, supported by technology, are aimed at short-term prediction of heat stress that can be achieved. So, we propose this new approach to estimate and control the HSWE, where the validation of the proposal is made by a prototype used in a series of experiments with work activities. The results obtained demonstrate the efficiency of the proposed architecture and methods.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi amada esposa Maribel y a mis tres campeones Pablo, Gustavo y Arturo.

Gracias por estar conmigo durante este largo camino.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Agradecimientos

Gracias a Dios por permitirme todo lo necesario para lograr esta importante meta.

Agradezco el apoyo importantísimo de mi director de tesis, Dr. Francisco Diego Acosta Escalante, quien supo atinadamente dirigir este esfuerzo de investigación y depositó su confianza en mi. También doy gracias al Dr. Edgard Iván Benítez Guerrero, mi segundo director de tesis, por sus valiosas aportaciones y sugerencias para enriquecer este trabajo.

Asimismo, reconozco el apoyo solidario y contribuciones de mis compañeros del cuerpo académico "Sistemas Distribuidos", Dr. José Adán Hernández Nolasco y Dr. Miguel Antonio Wister Ovando.

Muchas gracias al Mtro. Eduardo Cruces Gutiérrez, Director de la División Académica de Informática y Sistemas, por su soporte y acompañamiento para lograr los espacios de tiempo y recursos administrativos necesarios, en pro del buen desarrollo y culminación de este proyecto de tesis.

Gracias al Dr. Diego López de Ipiña González de Artaza, de la Universidad de Deusto, España, por sus palabras de ánimo y orientación en momentos previos a la publicación de resultados.

Varias actividades desarrolladas durante este proyecto fueron soportadas gracias a los recursos otorgados por el FOMIX-TAB Grant Number: TAB-2014-C29-24-5876

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Contribuciones

En el siguiente listado se mencionan cada uno de los productos obtenidos durante el desarrollo de la investigación.

Artículos publicados

1. Artículo de investigación titulado “Real-Time Personalized Monitoring to Estimate Occupational Heat Stress in Ambient Assisted Working” publicado en Julio de 2015 en la revista *Sensors* perteneciente al *Journal Citation Report* con factor de impacto de 2.24 en 2014, y 2.45 en los últimos cinco años. Siendo la publicación con mayor factor de impacto de todas las producidas por los miembros de la generación del doctorado.
2. Artículo de divulgación titulado “Reconocimiento de la actividad física para el bienestar y salud de trabajadores en ambientes calurosos” publicado en la revista *Komputer Sapiens*. Año V Volumen III correspondiente a Septiembre-Diciembre de 2013. Revista perteneciente al índice de revistas de divulgación científica y tecnológica del CONACYT.

Ponencias en congresos

1. Ponencia titulada “Utilización de un Sensor de Frecuencia Cardíaca para Estimar el Esfuerzo Físico” presentado en XII Congreso Nacional y IX Congreso Internacional de Informática y Sistemas 2015. Villahermosa, Tabasco, México. Octubre de 2015.
2. Ponencia titulada “A Sensor-Based Method for Occupational Heat Stress Estimation” presentado en el Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence Congress, UCAMI 2014. Belfast, Irlanda del Norte en Diciembre de 2014.
3. Ponencia titulada “Avances en la personalización de la estimación del estrés por calor” presentado en el Simposio de Avances de Investigación en el Posgrado dentro del Congreso Internacional organizado por la Asociación Nacional de Instituciones en Tecnologías de la Información y Comunicaciones (ANIEI) en Octubre de 2014.

Productos derivados

1. La tesis de Licenciatura titulada “Construcción de Conjuntos de Datos (DataSets) con Sensores”, derivada de este proyecto y dirigida por el autor de esta tesis doctoral obtuvo el primer lugar en el Certamen Nacional de Tesis de Licenciatura 2015, (categoría en Informática), organizado por la ANIEI en Octubre de 2015.
2. Reporte técnico titulado “Personalización para Estimar el Agobio por Calor en Ambientes Laborales mediante el Uso de Sensores Vestibiles (*wearables*)” derivado de la estancia de investigación durante agosto-septiembre de 2015 en la Universidad Veracruzana.

3. Responsable de proyecto de investigación aplicada titulado “Monitoreo fisiológico personalizado para estimar el agobio por calor”, clave PFI-UJAT-2014-IA-01 con financiamiento por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, periodo 2015-2016.
4. Solicitud de patente titulada “Aparato de detección de desórdenes de movimientos” con expediente MX/a/2015/016459 ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (IMPI) en Noviembre de 2015, de la cual soy uno de los coautores.
5. Se encuentra en proceso el registro de la patente titulada “Aparato y método para estimar el estrés térmico”.

Citaciones a esta investigación

1. Los artículos derivados de esta investigación, “A Sensor-Based Method for Occupational Heat Stress Estimation” y “Real-Time Personalized Monitoring to Estimate Occupational Heat Stress in Ambient Assisted Working”, fueron citados en enero de 2016 en el artículo “Occupational heat stress profiles in selected workplaces in India” de V. Venugopal et al. publicado en la revista “International journal of environmental research and public health” indexada en el JCR con factor de impacto de 2.035. Nuestra investigación se resalta como una propuesta exitosa que emplea tecnología no invasiva para estimar el esfuerzo físico de trabajadores laborando en ambientes calurosos.

5

1

33

Contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Motivación	2
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos particulares	4
1.4. Hipótesis	5
1.5. Preguntas de investigación	5
1.6. Metodología	5
1.7. Organización de esta tesis	6
2. Estado del arte	7
2.1. Inteligencia ambiental	7
2.2. Sensores	8
2.2.1. Sensores fisiológicos	8
2.2.2. Sensores ambientales	9
2.2.3. Sensores de actividades	9
2.3. Trabajo asistido por el ambiente (<i>Ambient Assisted Working</i>)	10
2.4. Personalización y cuidado de la salud en espacios laborales	12
2.5. Estrés térmico	13
2.5.1. Estrés por frío	14
2.5.2. Estrés por calor	14
2.6. Trabajos relacionados	23
2.6.1. Arquitecturas para personalización	23
2.6.2. Cuidado de la salud en ambientes laborales	24
2.6.3. Monitoreo y control del estrés por calor	26
2.7. Resumen del capítulo	27
3. Arquitectura y métodos propuestos	29
3.1. Arquitectura funcional de referencia	29
3.2. Método genérico	30
3.3. Método de estimación del nivel de estrés por calor	31
3.4. Proceso de monitoreo continuo	39
3.5. Resumen del capítulo	40
4. Experimentación	41
4.1. Protocolo de experimentación	41
4.2. Usuarios participantes	45
4.3. Materiales	45

4.3.1. Equipos y dispositivos	45
4.3.2. Prototipo	53
4.4. Calibración de equipos y dispositivos	59
4.5. Resumen del capítulo	62
5. Resultados	63
5.1. Resultados de los experimentos	63
5.2. Resultados del prototipo	75
5.2.1. Usabilidad del prototipo	81
5.3. Análisis de los resultados	82
5.4. Resumen del capítulo	84
6. Conclusiones	85
6.1. Soluciones	85
6.2. Líneas futuras de investigación	87
Referencias	88

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Lista de figuras

2.1. Zonas tropicales del mundo.	17
2.2. Trabajador soldando en espacio exterior.	18
2.3. Trabajadores en asfaltado.	19
2.4. Trabajador en un horno de pan.	20
2.5. Trabajador del campo.	21
2.6. Trabajadores en taller de soldadura.	22
2.7. Trabajadores realizando una perforación.	23
3.1. Modelo de la segunda generación de la Teoría de la Actividad según Engestron.	29
3.2. Arquitectura de referencia para el Trabajo Asistido por el Ambiente.	30
3.3. Método genérico para el Trabajo Asistido por el Ambiente.	31
3.4. Filosofía para sistemas de AAW centrados en el usuario.	32
3.5. Método propuesto de estimación del estrés por calor.	33
3.6. Proceso de Monitoreo Continuo.	39
4.1. Variables controlables y no controlables del proceso de monitoreo continuo.	41
4.2. Actividad de barrer	44
4.3. Actividad de limpiar ventanas de vidrio	44
4.4. Actividad de apilar sillas	45
4.5. Smartphone Samsung Galaxy S4 octa-core chipset, 1.6-GHz Quad + 1.2 GHz Quad CPU.	46
4.6. Cinturón elástico con bolsa para smartphone.	47
4.7. Monitor de frecuencia cardiaca marca Zephyr con Bluetooth para Android y WindowsPhone 8.	47
4.8. Usuario con smartphone en brazo y monitor cardiaco en pecho.	48
4.9. Baumanómetro marca Omron Modelo HEM-742INT.	49
4.10. Smartwatch marca Basis modelo B1.	49
4.11. Estetoscopio convencional.	50
4.12. Termómetro digital multifunción de temperatura ambiental y humedad relativa marca OBI modelo 292312.	51
4.13. Smartwatch con sensor de movimientos marca GeneActiv.	51
4.14. Caminadora eléctrica ProForm 6.0 ZT Treadmill.	52
4.15. Arquitectura específica para el ECAL.	53
4.16. Registro, modificación y eliminación de datos del trabajador.	54
4.17. Captura de los datos del trabajador.	55
4.18. Flujo de la información cuando la carga de trabajo es estimada como ligera.	56
4.19. Flujo de la información cuando la carga de trabajo es estimada como moderada.	57
4.20. Flujo de la información cuando la carga de trabajo es estimada como vigorosa.	58
4.21. Participante en el proceso de calibración.	60

4.22. Relación entre GeneActiv y Samsung S4. 61

5.1. Gráfico de los niveles de aceleración registrados para cada participante para la actividad de barrer. 64

5.2. Gráfico de la aceleración obtenida de cada participante para la actividad de limpiar ventanas. 64

5.3. Gráfico de la aceleración obtenida de cada participante para la actividad de apilar sillas pesadas. 65

5.4. Gráfico del consumo en METs de cada participante para la actividad de barrer. 67

5.5. Gráfico del consumo en METs de cada participante para la actividad de limpiar vidrios. 67

5.6. Gráfico del consumo en METs de cada participante para la actividad de apilar sillas. 68

5.7. Gráfico del costo cardíaco relativo para cada participante en la actividad de barrer 70

5.8. Gráfico del costo cardíaco relativo para cada participante en la actividad de limpiar ventanas 70

5.9. Gráfico del costo cardíaco relativo para cada participante en la actividad de apilar sillas 71

5.10. Gráfico de los niveles de carga de trabajo de cada participante para la actividad de barrer. 72

5.11. Gráfico de los niveles de carga de trabajo de cada participante para la actividad de limpiar ventanas. 73

5.12. Gráfico de los niveles de carga de trabajo de cada participante para la actividad de apilar sillas. 74

5.13. Información de la actividad del trabajador. 75

5.14. Checklist del supervisor. 76

5.15. Alarma de advertencia de posible ECAL. 77

5.16. Pantalla indicando que el trabajador esta sometido a ECAL. 78

5.17. ECAL para el Trabajador 4. 79

5.18. ECAL para el Trabajador 6. 80

5.19. ECAL para el Trabajador 7. 80

5.20. Niveles de usabilidad percibidos por cada uno de los trabajadores 81

Lista de tablas

2.1. Desventajas de las Normativas ISO relacionadas.	16
3.1. Valores de Costo Cardiac Absoluto (CCA) para un trabajo.	35
3.2. Niveles de esfuerzo a partir del costo cardiaco relativo.	36
3.3. Temperaturas TGBH límite (°C) de acuerdo a la carga de trabajo.	38
4.1. Actividades de los experimentos.	43
4.2. Características descriptivas de los participantes.	46
4.3. Características de los participantes.	59
4.4. Resultados de la calibración.	60
5.1. Resultados obtenidos usando el acelerómetro contenido en el Samsung S4.	63
5.2. Resultados en METs y su correspondiente carga de trabajo a partir de los valores más grandes seleccionados (Samsung S4)	66
5.3. Resultados obtenidos con el monitor de frecuencia cardiaca Zephyr.	69
5.4. Estrés por calor estimado.	72

Universidad Veracruzana Autónoma de Tabasco.

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se narran los antecedentes que dan origen al proyecto de investigación, las causas que incentivaron la elección del tema de estudio y el planteamiento de la problemática que se atiende. Por último, se menciona la estructura que tiene este documento.

1.1. Antecedentes

El término “Inteligencia Ambiental” (AmI, siglas derivadas de *Ambient Intelligence*) fue introducido a principios de este siglo por el Grupo Consultivo del Programa de Tecnologías para la Sociedad de la Información de la Unión Europea (ISTAG, siglas derivadas de *Information Society Technology Advisory Group*). El concepto fue creado para calificar a ambientes en donde los humanos están rodeados de interfaces inteligentes, soportadas por tecnología de cómputo y de red, residentes en objetos de la vida diaria, tales como prendas de vestir, muebles, vehículos, caminos y materiales inteligentes [27].

Los escenarios o entornos considerados con Inteligencia Ambiental (AmI) deben estar conscientes de las características específicas de la presencia humana y sus actividades para entregar servicios inteligentes de información, tanto por indicaciones del usuario como de manera autónoma proactiva, dada la situación y contexto específicos que se presenten [27]. Un servicio inteligente es aquel que obtiene información del contexto empleando sensores, la integra, procesa y produce conocimiento útil para el usuario [24]. Es por esto que un sistema sensible al contexto requiere, entre otras cosas, ser capaz de “reconocer y medir” (usualmente mediante sensores), los valores ambientales, el perfil del usuario y las actividades realizadas. Todo con la finalidad de ofrecer servicios de valor agregado alimentados con conocimiento adquirido a partir del contexto. La AmI debe ser discreta (la interacción debe ser relajada y agradable para la persona), y no implica una curva de aprendizaje empinada.

El concepto de AmI ha sido adoptado y se le relaciona con escenarios de la vida cotidiana, dando surgimiento a lo que se conoce como Vida Asistida por el Ambiente (AAL, siglas derivadas de *Ambient Assisted Living*). La AAL se refiere a los sistemas inteligentes de asistencia para una vida mejor, más saludable y más segura en las condiciones de vida preferidas y abarca conceptos, productos y servicios que vinculan las nuevas tecnologías y el entorno social. Su objetivo es mejorar la calidad de vida, esto es, el bienestar físico, mental y social de todas las personas (con especial atención a las personas mayores), en todas las etapas de la vida [80].

La AAL ha recibido mucha atención debido al crecimiento demográfico de la población adulta y por las posibilidades de cuidado y soporte que representa para las personas mayores. Sin embargo, existe un campo de aplicación igualmente importante en la vida laboral. En el contexto laboral se

le solicita a las personas alta movilidad y flexibilidad, además se les demanda trabajar hasta edades más avanzadas. Pero, aunque con el tiempo las personas desarrollan más conocimiento laboral, las habilidades no tienen el mismo comportamiento. Por tanto, las personas necesitan sistemas de soporte a la medida para mantener la eficiencia y efectividad laboral, pero con los elementos de prevención o ajustes necesarios para las habilidades cambiantes [15].

Cuando se trata de contribuir para desarrollar escenarios laborales sanos y seguros, las tecnologías de la información y comunicación pueden tener un papel relevante, en este sentido, los principios de la AmI aplicados a la adaptación de los espacios de trabajo resultan en el surgimiento de un dominio llamado Trabajo Asistido por el Ambiente (AAW, siglas derivadas de *Ambient Assisted Working*), que es un área emergente de la Inteligencia Ambiental [15], en donde las soluciones propuestas tienen como finalidad atender necesidades específicas de los trabajadores, tomando en consideración los valores de las variables ambientales y fisiológicas proporcionados por sensores de variados tipos.

Originalmente los esfuerzos de investigación en el AAW están orientados a facilitar o apoyar las actividades de las personas mayores o con discapacidades en su ambiente laboral para que sea un entorno saludable y confortable [80], sin embargo, nosotros pensamos que este ámbito puede ser mucho más amplio y contemplar a todas las personas en general, el dominio de la AmI no debería centrarse en el rendimiento de las personas y debe incluir estudios sobre el bienestar, la seguridad y la salud de los trabajadores. Existen en la literatura diversos ejemplos de soluciones que contribuyen al bienestar y cuidado de la salud de los trabajadores.

Migliaccio *et al.* [51] utilizan sensores de aceleración y ubicación para identificar posturas incorrectas al momento de levantar un objeto pesado. Esto es, la posición correcta para levantar un objeto del suelo, de acuerdo a los especialistas en salud, debe ser flexionar las piernas tratando de mantener la espalda lo más recta posible, en vez de doblarse para alcanzar los objetos en el suelo, no flexionando las piernas. La postura incorrecta representa un riesgo de daño para la columna vertebral. En este estudio se registra este tipo de actividad riesgosa y la ubicación donde se lleva a cabo.

Senyurek *et al.* [76] emplean acelerómetros portados en el cuerpo para medir las actividades de movimiento que pudieran requerir alertar a los servicios de emergencia en los lugares de trabajo. Se menciona que monitorear personas trabajando solas requiere no sólo detectar las caídas o actividad excesiva, sino otras situaciones como largos periodos de inactividad y posiciones inesperadas del trabajador. Se monitorean actividades como correr y saltar dado que estas actividades son inusuales en sitios de trabajo y podrían indicar una situación de emergencia. Se clasifican éstas como actividades excesivas, ejemplos son, un largo periodo de inactividad o una pose inesperada del trabajador.

En el estudio de Koskimaki *et al.* [42], fue colocada una unidad de medidas inerciales en la muñeca de un trabajador y la información de aceleración y velocidad angular fue empleada para decidir cual actividad estaba realizando el trabajador en ciertos intervalos de tiempo. Esta información de actividad puede ser usada para sistemas de instrucción proactiva o para asegurarse de que todas las fases necesarias del trabajo son desempeñadas.

1.2. Motivación

Existen múltiples trabajos relacionados con la inteligencia ambiental, y particularmente con el trabajo asistido por el ambiente. Estos trabajos son relevantes porque todos los trabajadores en menor o mayor medida se encuentran expuestos a riesgos de salud derivados de su actividad laboral, no

importando la condición social, económica, ni de formación. Claro está, que existen trabajos mucho más riesgosos que otros. Sin embargo, no tomar las previsiones necesarias para tratar de evitar el impacto negativo de los accidentes o enfermedades trae consigo muchas pérdidas para las empresas a nivel mundial. Explícitamente, el aspecto económico de las organizaciones se ve afectado, ya que de presentarse riesgos laborales, y no contar con sistemas de monitoreo y control, se finaliza en ausentismo, pago de primas de seguro elevadas, pérdida de personal valioso, pago por afectaciones, etc. [61].

Hay situaciones en donde el sistema requiere ser alimentado de datos particulares del perfil del usuario y de las actividades que el usuario realiza en tiempo real para poder ofrecer soluciones eficientes. El ajuste de un sistema con inteligencia ambiental, tanto al contexto como a los usuarios, permite lo que se conoce como personalización [3]. La personalización es una característica que deben cumplir los sistemas con AmI para que los servicios que ofrezcan se encuentren adaptados a las necesidades de cada uno de los usuarios y que los resultados ofrecidos sean útiles para quien hace uso del sistema, ya que deben ser creados explícitamente para dicho usuario y considerando las condiciones actuales del contexto en que se encuentra.

De modo especial, la personalización en el área de la salud ha llevado a la evolución de los servicios preventivos tradicionales en hospitales hacia sistemas inteligentes ambientales que permiten que dichos servicios sean personalizados y puedan efectuarse *in situ* (hogar, por ejemplo), en la forma adecuada y en el momento justo [16]. Otro aspecto fundamental de la importancia de la personalización en el área de la salud radica en que los seres humanos somos únicos y por tanto particulares, en consecuencia lo que para una persona aplica, para otra aparentemente igual en fisiología y características, podría ser completamente distinto [47].

En consecuencia, existe la necesidad de tener sistemas que incorporen mecanismos de personalización. La personalización es importante porque los usuarios somos diferentes, más allá de la adaptabilidad de las interfaces es necesario resultados particulares. Dado que el entorno cambia, las respuestas deseadas pueden cambiar. Con un proceso de personalización la calidad de las respuestas mejora y el tiempo de vida útil del sistema se incrementa.

A la fecha existen importantes avances en cuanto a la personalización, aunque la mayoría se encuentran dirigidos a escenarios educativos, por tanto el enfoque central es hacia las interfaces de usuario y a los contenidos que se presentan [34], o bien sea, hacia modelos de usuario específicos [60], por ejemplo para apoyo a personas mayores o con discapacidades [18, 16]. Pensamos que es necesaria una personalización en un sentido más amplio, que considere mucho de lo que puede ser contexto. Un marco de referencia que permita visualizar sistemas que puedan tener una gran variedad de respuestas deseadas.

Específicamente en sistemas de AAW hacen falta esquemas para la personalización de los sistemas con base en el contexto. Un modelo arquitectónico que sirva de referencia para la visualización de sistemas en ambientes inteligentes. Contar con una arquitectura de referencia y métodos que permitan la implementación de un sistema AAW, así como los mecanismos para su control (alertas, predicciones, conocimiento, etc.). Pocos trabajos de investigación se han centrado en la personalización en sistemas con AmI para ambientes laborales, y a nuestro conocimiento ninguno con el enfoque aplicado en esta tesis.

Una arquitectura y método de referencia contribuyen a visualizar la amplitud y ventajas que puede ofrecer el AAW y que no se limite a personas mayores o discapacitados. Existe un amplio abanico de aplicaciones que pueden desarrollarse a partir de una arquitectura y métodos de referencia.

Por ejemplo, vigilancia de posturas correctas, vigilancia de comportamientos peligrosos, aplicaciones para diversas áreas laborales (química, minería, construcción, agricultura, oficios en general). En particular, el monitoreo para el aseguramiento del confort y en consecuencia el cuidado de la salud, trae beneficios para la sociedad en su conjunto, puesto que se ofrece una propuesta para el cumplimiento de normativas de seguridad e higiene en el trabajo.

Un caso de estudio en donde se aprecia la importancia de la personalización en la salud y los resultados en tiempo real, es el llamado Estrés Térmico, que sucede cuando una persona sufre afectaciones a su salud debido a estar inmerso en un ambiente, ya sea muy frío o muy caluroso. Cuando la tensión sucede en un entorno con temperaturas altas recibe el nombre de Estrés por Calor y cuando éste se presenta durante la jornada de trabajo se trata particularmente de Estrés por Calor en Ambientes Laborales (ECAL).

Las implicaciones del cambio climático y las consecuencias devastadoras para la población de zonas tropicales, como la situación ocurrida en la India durante 2015, en donde cerca de 1,700 personas murieron a causa del calor derivado del cambio climático [56]. Estudios efectuados en zonas tropicales demuestran la importancia de un monitoreo continuo de la situación, dado los resultados que se han obtenido. Es importante resaltar que ante la problemática antes planteadas, la motivación de la investigación es hacia el cuidado de la salud y el bienestar empleando tecnología de punta, en vez de una finalidad de tipo económico como puede ser el incremento de la productividad o la automatización.

La presente tesis alimenta la línea de generación y aplicación del conocimiento: Temas emergentes en ingeniería de software del Doctorado Interinstitucional en Ciencias de la Computación. Asimismo contribuye a la producción de conocimientos y se encuentra acorde con las acciones planeadas en el Cuerpo Académico de Sistemas Distribuidos de la División Académica de Informática y Sistemas de la UJAT para lograr la consolidación de este grupo de investigación.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Ofrecer una solución de estimación personalizada basada en sensores para el bienestar y cuidado de la salud de las personas, que considere el perfil del usuario, los valores fisiológicos del sujeto, los parámetros ambientales y las actividades que se desarrollan.

1.3.2. Objetivos particulares

- Proponer una arquitectura para los sistemas de trabajo asistido por el ambiente que permita ofrecer resultados personalizados, considerando al usuario y su contexto.
- Proponer un método de captura, procesamiento y ofrecimiento de resultados para los sistemas de trabajo asistido por el ambiente que produzca resultados personalizados al perfil del usuario y su contexto.
- Desarrollar un proceso de monitoreo personalizado y en tiempo real, basado en tecnología no invasiva de sensores portátiles, que represente una opción técnicamente avanzada para estimar

el ECAL *in situ* conforme a las normas ISO y que sea útil para los usuarios advirtiéndoles cuando se presente una situación de riesgo.

- Elaborar un prototipo de sistema de trabajo basado en el proceso de monitoreo y alerta que permita validar la propuesta mediante la ejecución de un protocolo de experimentación.
- Diseñar un protocolo de experimentación para validar las propuestas, que incluya pruebas con usuarios de perfiles diversos (sexo, edad, peso, etc.), con valores ambientales diferentes (temperatura y humedad ambientales) y distintas actividades físicas (esfuerzos variados).

1.4. Hipótesis

Una solución basada en sensores que considere las variables de perfil y fisiología del usuario, así como los parámetros ambientales y las actividades físicas que se desarrollan permite estimar, en tiempo real y efectiva, el nivel de confort físico de cada persona para tomar acciones hacia su bienestar, seguridad y cuidado de la salud.

De modo específico el estrés por calor, como una alteración al confort, puede ser monitoreado y controlado en forma personalizada y en tiempo real (al usar tecnología de sensores que capturan la fisiología del sujeto, la carga de trabajo y parámetros ambientales) de manera más efectiva y menos invasiva que si se emplean los métodos ISO relacionados.

1.5. Preguntas de investigación

- ¿Qué características debe tener una propuesta de solución para sistemas AAW para ofrecer resultados personalizados de acuerdo al perfil del usuario y su contexto?
- ¿Qué características debe tener una arquitectura y método para sistemas AAW para cumplir las propiedades de personalización y objetividad?
- ¿Cuáles funciones de personalización debe incluir un monitoreo para que pueda ser aplicable a ambientes laborales especiales (construcción, campo) y a trabajadores con características particulares (obesos, enfermos)?
- ¿Es el monitoreo personalizado en tiempo real, basado en tecnología no invasiva de sensores portátiles, una opción conveniente y técnicamente avanzada para la estimación del ECAL y que permite dar cumplimiento a las normas ISO 7243 y 7933, a la vez que puede ser aplicable en ambientes y personas que no son estándares?

1.6. Metodología

El tipo de investigación realizada es exploratoria-descriptiva. El carácter de exploratorio lo recibe porque se trata de un estudio cuyo objetivo es examinar un tema o problema que ha sido poco estudiado con el enfoque que se propone [74]. Es de tipo descriptivo porque su propósito es medir las variables o especificar las propiedades del fenómeno a investigar [74].

Para dar respuesta a las preguntas de investigación fue necesario elaborar un diseño de investigación y aplicarlo al contexto de estudio. El diseño de investigación se refiere a la estrategia concebida para alcanzar los objetivos, responder a las interrogantes y contestar la hipótesis formulada en el contexto particular [74].

Un experimento es un estudio de investigación en el que se manipulan deliberadamente una o mas variables independientes (supuestas causas) para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o mas variables dependientes (supuestos efectos), dentro de una situación de control para el investigador [74].

34

1.7. Organización de esta tesis

Esta tesis está organizada de la siguiente manera:

En el Capítulo 1 se narran los antecedentes, se explica la motivación y se hace el planteamiento de la problemática. El planteamiento comprende describir el problema, objetivo, hipótesis, preguntas de investigación y metodología.

La revisión efectuada al estado del arte para conocer la situación actual respecto al dominio al que pertenece este proyecto (Inteligencia ambiental, sensores, personalización, trabajo asistido por el ambiente, etc.), así como trabajos que tratan o se encuentran relacionados con el estrés por calor en los sitios de trabajo se encuentra en el Capítulo 2.

Después de los resultados de la revisión al estado de arte, en el Capítulo 3 se presenta la propuesta de arquitectura y método de referencia que ofrecen una solución tecnológica a la necesidad de personalización planteada, también se muestra la correspondencia que existe entre la arquitectura y método propuestos, y el caso de estudio.

El Capítulo 4, titulado Experimentos, detalla el protocolo de experimentación creado y aplicado, las características de los participantes, el escenario y las actividades laborales realizadas. También se muestran los equipos y dispositivos físicos empleados, así como el prototipo de software utilizado.

3

Los resultados obtenidos a partir de la ejecución de los experimentos se encuentran en el Capítulo 5. Se incluyen tablas de los valores resultantes tanto para el acelerómetro como para el sensor de frecuencia cardiaca. Dichos valores son transformados en estimaciones de gasto energético y nivel de esfuerzo, lo cual junto con los valores ambientales lleva a determinar si existe estrés por calor.

Por último, en el Capítulo 6 se expresan las conclusiones y aprendizajes obtenidos a partir de los hallazgos derivados de éste proyecto. También se mencionan las líneas futuras de investigación que visualizamos.

Capítulo 2

Estado del arte

Este capítulo contiene el marco conceptual y referencial en los cuales se circunscribe esta tesis. Tanto desde el punto de vista del área de las ciencias de la computación a la que pertenece el proyecto de investigación, como de la arquitectura y métodos propuestos; de igual manera se incluyen los conceptos relacionados con el caso de estudio y trabajos similares al nuestro.

2.1. Inteligencia ambiental

El fundamento de la visión de la AmI está dado por el hecho de que los avances tecnológicos permiten la integración de la electrónica en el medio ambiente, apoyando así a los actores, es decir personas y objetos, para interactuar con su entorno de una manera confiable y natural. Además, hay un deseo creciente de que el papel de las TICs no debe limitarse al aumento de la productividad, sino que también debería apoyar a las personas en su vida en términos de cuidado, bienestar, educación y creatividad. En otras palabras, las nuevas tecnologías no deberían aumentar la complejidad funcional, sino que deben contribuir a la experiencia de interactuar con productos y servicios, simples y fáciles de usar [1].

Para Acampora *et al.* y Aarts *et al.* [3, 1], un sistema AmI es identificado por varias características particulares:

1. Consciente del contexto: Explora la información contextual y situacional. Los sensores empujados en el ambiente pueden determinar el contexto en el cual toman lugar ciertas actividades, en donde el contexto proporciona información significativa acerca de las personas y el ambiente, por ejemplo, identidad y posición espacial.
2. Personalizado: Específico y acorde a las necesidades de cada individuo. El ambiente puede reconocer a los usuarios y ajustarse a las necesidades individuales de los mismos para maximizar el soporte. El proceso automático para obtener perfiles puede capturar los perfiles individuales de los usuarios a través de los cuales se pueden establecer ajustes de personalización y filtrado de información.
3. Anticipado: Puede anticipar las necesidades de un individuo sin la mediación consciente del sujeto. Hacer que el medio ambiente actúe sin necesidad de una mediación consciente por parte del usuario, asimismo, puede extrapolar características de comportamiento y generar respuestas proactivas.

4. Adaptativo: Se adapta a las necesidades cambiantes de los individuos. El ambiente puede cambiar en respuesta a las necesidades de los usuarios. Puede aprender de situaciones recurrentes y necesidades cambiantes, y ajustarse en consecuencia.
5. Ubicuo: Se encuentra embebido e integrado en nuestros ambientes cotidianos. En cualquier lugar, en cualquier momento, en cualquier objeto.
6. Transparente: Permanece en un segundo plano de forma discreta en nuestra vida diaria.

El concepto de Inteligencia Ambiental proporciona una visión de la Sociedad de la Información y el Conocimiento en donde el énfasis se encuentra en: sistemas más amigables con el usuario, servicios más eficientes, empoderamiento del usuario y soporte a las interacciones humanas. Las personas están rodeadas de interfaces intuitivas inteligentes que están empotradas en todo tipo de objetos y en un ambiente que es capaz de reconocer y responder a la presencia de diferentes individuos de una manera transparente, discreta y a menudo invisible [26].

2.2. Sensores

Los sistemas Micro-Electro-Mecánicos (MEMS por sus siglas en inglés) son elementos mecánicos y electromecánicos (dispositivos y estructuras) desarrollados mediante técnicas de micro-fabricación [50]. Los avances tecnológicos en los MEMS son muy importantes y junto con las tecnologías de información y comunicaciones posibilitan el diseño de soluciones de alto desempeño, con bajo consumo energético y bajo costo económico, conocidas como sensores. Los sensores son elementos pequeños que pueden incrustarse en objetos cotidianos móviles y son capaces de comunicarse de forma inalámbrica. Una de las tareas principales de este tipo de nodos integrados en red es reunir información del contexto (por ejemplo, información sobre la situación ambiental o la condición de un artefacto) [9]. Los principales tipos de sensores empleados y los parámetros que miden en aplicaciones de cómputo ubicuo y pervasivo son: movimiento, aceleración, luz, proximidad, audio, fuerza mecánica, presión, posición, tensión, flujo, radiación, temperatura y humedad [9, 20].

El dominio de la salud y el bienestar representa uno de los sectores más atractivos con un alto potencial para contribuir al crecimiento del mercado y el desarrollo de nueva tecnología de sensores. Existen sensores portables, vestibles y desechables para el cuidado de la salud, pero también para la medición de las actividades físicas y el bienestar, en muchos casos son usados para el monitoreo de la frecuencia cardíaca, presión arterial, respiración y para efectuar el diagnóstico de enfermedades específicas [20].

También hay aplicaciones emergentes asociadas a sensores ambientales. El monitoreo de estructuras y condiciones ambientales, son ejemplos. Otras aplicaciones mayores que son parte de las llamadas ciudades inteligentes, son la gestión activa del tráfico y sistemas de transporte interactivo, redes inteligentes para iluminación y suministro energético, monitoreo de la contaminación espacio-temporal y pronóstico del tiempo. La mayoría de las aplicaciones son habilitadas por redes inalámbricas de sensores ambientales y la nube.

2.2.1. Sensores fisiológicos

Las tecnologías de sensores para el cuidado de la salud se encuentran en un rango que va desde el monitoreo fisiológico (tal como la frecuencia cardíaca, y el análisis sanguíneo) hasta aplicaciones para

detectar caídas, asistencia y rehabilitación. Los sensores se ocupan tanto en el hogar como en espacios exteriores, y algunos usos comprenden el telecuidado, telemonitoreo y la salud móvil (mHealth). La mHealth posibilita el monitoreo remoto y la gestión de pacientes afectados por enfermedades crónicas, incluyendo diabetes, fallos cardiacos y enfermedades pulmonares. Un factor clave para la proliferación de sensores en el cuidado sanitario es la disponibilidad de sensores que forman microsistemas acoplados de bajo costo, en muchos casos, formados de microcontroladores de bajo consumo y módulos de telemetría eficientes y confiables. Este aspecto han posibilitado el desarrollo de soluciones de bajo consumo energético, precisas, robustas, confiables y compactas. Algunos ejemplos de sensores fisiológicos sirven para el monitoreo de la sudoración, temperatura corporal y frecuencia cardiaca.

2.2.2. Sensores ambientales

Los sistemas inteligentes recopilan una serie de tecnologías líderes y soluciones destinadas a mejorar la seguridad en el trabajo, en los edificios, en los vehículos, etc. y el control de las condiciones ambientales. En este marco, los sensores ambientales juegan un papel clave en aplicaciones de seguridad y de detección del medio ambiente. Los sensores son elementos importantes en el monitoreo ambiental debido a su tendencia decreciente en costos y facilidad de despliegue, una de las primeras aplicaciones fue hacia sistemas de agricultura automatizada que pudieran detectar la variabilidad del ambiente (tal como heladas), y alertar a los agricultores [73].

Algunos de los sensores más conocidos de medición ambiental son de temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento, altitud y latitud (GPS).

2.2.3. Sensores de actividades

El reconocimiento de las actividades humanas es una tarea importante para los sistemas con inteligencia ambiental. La identificación del estado de una persona constituye información valiosa que puede ser usada para alimentar otros sistemas. Por ejemplo, los resultados de un sistema de detección de caídas podrían ser usados para mejorar las recomendaciones de otro sistema. Entre los dispositivos para el reconocimiento de actividades, los brazaletes conteniendo sensores han adquirido gran popularidad debido a que son tecnología no invasiva y posibilitan identificar actividades complejas formadas por varias actividades simples desarrolladas a lo largo del tiempo y el espacio[32].

Los sistemas basados en visión usando una sola o múltiples videocámaras también son usados para reconocer las actividades de la vida diaria. Estos sistemas son adecuados para la captura de movimientos cuando las actividades son efectuadas principalmente en áreas pequeñas, tal como una oficina o casa. Un ejemplo popular de estos sistemas es el Kinect de Microsoft, que incluye una cámara infrarroja y una cámara RGB estándar. Este tipo de sistemas tiene varias ventajas como bajo costo, producen mucha información y tienen la habilidad de operar en cualquier momento, incluso en la noche. Sin embargo, estos sistemas tienen bajo rendimiento en condiciones de luz natural, pudiendo darse que no se puedan ver los puntos de interés [7].

Algunos sensores para la detección y reconocimiento de actividades incluyen de movimiento, aceleración, visión, cámaras e infrarrojos.

2.3. Trabajo asistido por el ambiente (*Ambient Assisted Working*)

Todas las actividades realizadas en los ambientes de trabajo, no importando las condiciones demográficas, sociales, tecnológicas y económicas llevan a riesgos de salud y seguridad ocupacionales. Debido a esto, el análisis y evaluación de los riesgos ocupacionales ocupan un rol importante para asegurar la identificación temprana y la prevención eficiente, contribuyendo así a la salud y bienestar de los trabajadores y fortaleciendo la competitividad económica de las empresas [72].

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) es una agencia tripartita de las Naciones Unidas con representantes del gobierno, empleadores y trabajadores [61]. Esta estructura tripartita hace a la OIT un foro único en el cual los gobiernos y las partes sociales de la economía de sus 185 estados miembros pueden debatir en forma libre y abierta para elaborar normativas y políticas para el trabajo.

La Constitución de la OIT establece el principio de que los trabajadores deben estar protegidos contra las enfermedades y los accidentes del trabajo. Aunque para millones de trabajadores la realidad es muy diferente. Según estadísticas de la OIT, 2.3 millones de personas mueren cada año debido a accidentes y enfermedades relacionadas con el trabajo. Un estimado de 160 millones de personas sufren enfermedades relacionadas con el trabajo y hay un estimado de 317 millones de accidentes por año relacionados con el trabajo. Los daños ocasionados por las enfermedades y accidentes a los trabajadores y sus familias son incalculables [25].

En términos económicos, la OIT ha estimado que el 4% del PIB mundial anual se pierde como consecuencia de las enfermedades y accidentes laborales. Los empleadores se enfrentan a retiros tempranos, pérdida de personal calificado, ausentismo y primas de seguro elevadas debido a enfermedades y accidentes relacionados con el trabajo. Sin embargo, muchas de estas tragedias se pueden prevenir mediante la aplicación de buenas prácticas de prevención, la denuncia y la inspección.

Con la finalidad de mejorar la calidad de vida en escenarios de trabajo se deben realizar una serie de pasos para asegurar que los trabajadores se encuentran protegidos contra enfermedades o daños a la salud debido a sus actividades laborales. La OIT recomienda la introducción de una cultura de salud y seguridad preventivas, la promoción y desarrollo de instrumentos relevantes y técnicas de asistencia [72].

En este sentido, el surgimiento de la disciplina tecnológica llamada Trabajo Asistido por el Ambiente cobra relevancia, ya que trata precisamente de la implementación de la visión de la AAI en los entornos laborales, haciendo que los sistemas soportados por sensores y técnicas computacionales ofrezcan servicios que faciliten el acceso, desplazamiento y operación de todos los trabajadores; ofrezcan servicios de soporte para sus actividades; monitoreen y controlen las condiciones ambientales; y procuren la seguridad y salud por medio de la prevención de daños y enfermedades [80].

Por tanto, la alianza europea para la innovación en AAL [80] menciona varios aspectos relacionados con el trabajo que deben ser cubiertos para que las actividades se desempeñen en un entorno de bienestar y salud. Estos son :

- Acceso a los espacios de trabajo. El ambiente de trabajo debe ser diseñado para ser accesible para individuos con deficiencias motoras y para quienes necesitan ayuda para moverse (muletas, silla de ruedas). Esto concierne tanto al acceso a edificios y espacios, como a la estación de trabajo. De hecho, normativas internacionales y las regulaciones de cada país definen algunos

requerimientos de espacio y condiciones que necesitan ser adoptados en el diseño de edificios y áreas de trabajo para garantizar el acceso a todos los empleados.

- Aseguramiento de las condiciones ambientales de trabajo. Más allá de la arquitectura de las áreas de trabajo, muchas leyes y normativas internacionales definen los parámetros relacionados con factores ambientales como temperatura, luz, cambios del aire, la posición de equipos y elementos en el trabajo (herramientas como monitores, sillas y escritorios). Estos elementos tienen un impacto fuerte en el desempeño de los trabajadores y en la preservación de su salud y bienestar. Desafortunadamente, a menudo estos parámetros no son monitoreados y esto tiene consecuencias negativas en los trabajadores. Los ambientes de trabajo inteligentes deben tener sensores que midan parámetros del ambiente, tal como temperatura y humedad, y de acuerdo a los datos obtenidos, variar el acondicionador del aire, por ejemplo.
- Soporte para el trabajo. Se deben desarrollar instrumentos tecnológicos para dar soporte a individuos con capacidades diferentes o a personas mayores, conforme a sus características. En particular, adoptando un enfoque de AAL, los instrumentos de trabajo y el ambiente laboral deben ser interactivos, facilitando el intercambio de información acerca de las tareas que necesitan realizarse y las habilidades del usuario; y en consecuencia de lo anterior, establecer las condiciones necesarias del ambiente para soportar a los trabajadores en sus actividades y mejorar la calidad del trabajo.
- Prevención de enfermedades y daños a la salud. La preservación de la salud es uno de los derechos más importantes de los trabajadores. Todo tipo de trabajo tiene su conjunto de riesgos que pueden afectar la salud de los empleados y potencialmente conducir a la aparición de enfermedades. Por ejemplo, trabajos que se efectúan frente a una terminal de video a menudo causan que los trabajadores tengan problemas de visión. Trabajos manuales que involucran el movimiento de objetos pesados pueden llevar al surgimiento de hernias, problemas con articulaciones y huesos, enfermedades musculo-esqueléticas; las tareas efectuadas en ambientes ruidosos causan problemas de escucha.
- Seguridad y regulaciones de salud. El derecho al trabajo, seguridad y bienestar son principios que se encuentran reconocidos y aceptados internacionalmente. A pesar de esto, las estadísticas muestran que la prevalencia de daños y enfermedades laborales es muy alta: cada año sólo en la Union Europea ocurren 150,000 muertes causadas por el trabajo (8,900 por accidentes y 142,000 por enfermedades laborales) de acuerdo a datos de la Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo.

Con base en las investigaciones previas, pero con un ámbito distinto al usado en la literatura, en donde el AAW tiene como objetivo apoyar la productividad de las personas mayores, el trabajo aquí propuesto se enmarca en una nueva dimensión del ámbito del AAW que concebimos como un ambiente laboral con la tecnología necesaria de medición, procesamiento y entrega de resultados que permita a los trabajadores desempeñar sus actividades apoyados en la automatización inteligente del entorno hacia la productividad, colaboración, bienestar, seguridad y salud; todo ello con interacciones transparentes, discretas y amigables entre usuarios y sistemas.

2.4. Personalización y cuidado de la salud en espacios laborales

Por sus avances, los sistemas inteligentes han llegado a ser una parte integral de la vida de muchas personas y los servicios que ofrecen los hacen de lo más capaces y variados, aunque los usuarios esperan poder personalizar un servicio para cumplir sus necesidades particulares y no aceptar una solución genérica. La personalización puede variar desde factores cosméticos simples, tales como tonos personalizados para teléfonos hasta una adaptación compleja de la presentación de un sitio web de compras para un usuario específico, con base en su comportamiento previo de compras; por mencionar dos ejemplos. Se espera que las técnicas innovadoras se extiendan a un amplio rango de campos. Uno de los segmentos de la población que se beneficia con los avances de los sistemas personalizados son las personas con discapacidades o con necesidades específicas (enfermos, embarazadas), pues contribuyen a mejorar su calidad de vida. Estos sistemas inteligentes deben ser capaces de personalizar los servicios ofrecidos a los usuarios, dependiendo de sus perfiles concretos [83].

Existe una amplia variedad de enfoques para personalizar un sistema, y la clasificación puede variar de acuerdo a la técnica utilizada o la finalidad que se espera. Para Anand *et al.* [6], las técnicas de personalización para generar una experiencia Web personalizada al usuario son: filtrado basado en contenido, filtrado colaborativo tradicional, técnicas basadas en modelos (algoritmos para minería de datos), filtrado colaborativo basado en ítems, enfoques basados en agrupamiento, enfoques basados en reglas de secuencia y asociaciones, enfoque de teoría de grafos y técnicas híbridas. Otra clasificación es la descrita por Kuffik *et al.* [43], donde las técnicas de representación y razonamiento de modelos de usuario se catalogan como: basado en contenido, basado en casos, colaborativo o social, demográfico, basado en conocimiento y propuestas híbridas.

Es particularmente importante facilitar la interacción en ambientes laborales en donde los trabajadores quieren enfocarse en el proyecto que ejecutan, sin ser afectados de alguna manera por la tecnología. Un ejemplo puede apreciarse en el trabajo de Zato *et al.* [83] donde se desarrolla un prototipo de detección de proximidad para facilitar la integración en espacios laborales de personas con discapacidades. El objetivo principal del prototipo es detectar la proximidad de una persona a una computadora empleando la tecnología ZigBee y entonces, personalizar su espacio de trabajo de acuerdo a su perfil de usuario. El sistema fue desarrollado empleando una arquitectura multiagente.

Se encuentra establecido por muchos investigadores que el uso de la AmI en el cuidado de la salud es de suma importancia ya que permite desarrollar soluciones basadas en condiciones médicas individuales, tales como discapacidades físicas o mentales, enfermedades crónicas o situaciones de rehabilitación; o bien sea, el simple hecho de las características particulares de los usuarios, lo cual lleva a un cuidado personalizado. Los desarrollos en infraestructura y tecnología para el logro de los propósitos de cuidado de la salud incluyen ambientes inteligentes, robots de asistencia, sensores portables y tejidos de vestimenta inteligente [3].

La personalización y el cuidado de la salud en ambientes laborales se hace necesario debido a situaciones contemporáneas tales como el estrés, la carga de trabajo y los riesgos laborales. En este sentido, la Organización mundial de la salud define estos tres conceptos de la siguiente manera [62]:

Estrés laboral

Es la respuesta que las personas pueden tener cuando se presentan demandas de trabajo que no van acordes con su conocimiento y habilidades y que retan su capacidad para hacerles frente. El estrés ocurre en un amplio rango de circunstancias laborales pero, a menudo, se complica cuando los empleados sienten inadecuada supervisión o poco apoyo de sus colegas, así como poco control

sobre los procesos del trabajo. Puede haber una confusión entre presión y estrés. La presión en el trabajo es inevitable debido a las demandas en los ambientes de trabajo contemporáneos. La presión es algo percibido como aceptable por un individuo, y puede incluso mantener a los trabajadores en alerta, motivados, con capacidad de trabajar y aprender, dependiendo de los recursos disponibles y las características personales. Sin embargo, cuando esa presión es excesiva o no es manejable se está hablando de estrés. El estrés puede dañar la salud de un empleado y el desempeño del negocio. Aunque el estrés normalmente se asocia con perjuicios mentales también comprende el aspecto físico, como es el caso de este proyecto de tesis.

Carga de trabajo

Es la cantidad de trabajo que realiza un individuo. Una carga de trabajo puede ser excesiva dependiendo de diversos factores como la fisiología del individuo, o bien sea, por la percepción del trabajador respecto a la actividad que debe ejecutar. Una carga de trabajo es cuantitativamente excesiva cuando un sujeto tiene que realizar mayor cantidad de trabajo del que puede desempeñar de forma confortable. La carga se clasifica como cualitativamente excesiva porque el trabajador percibe que el trabajo que debe hacer es muy difícil.

Riesgos laborales

Específicamente en el área laboral, el observatorio de riesgos de la agencia europea para la seguridad y la salud en el trabajo [52] ha identificado cuatro tipos diferentes de riesgos en el mundo del trabajo: 1) riesgos físicos, 2) riesgos psicosociales, 3) riesgos biológicos y 4) riesgos químicos. Sin excluir los riesgos multifactoriales, los cuales pueden encontrarse en varias de estas categorías. Dentro de los riesgos físicos se encuentran considerados ruido, estrés térmico, iluminación, vibración y radiación iónica.

2.5. Estrés térmico

El estrés térmico pertenece a la clasificación de riesgos físicos laborales y se produce porque el cuerpo se encuentra en una temperatura inadecuada. La temperatura del cuerpo humano debe estar en una constante cercana a 37° centígrados, lo cual se logra por medio de un balance dinámico entre la producción de calor y la pérdida de calor. El centro de regulación de calor en el hipotálamo controla este balance.

El calor es producido por los procesos metabólicos, la actividad muscular y el consumo de alimentos. El calor es intercambiado con el ambiente en que se está inmerso por medio de la conducción, la convección, la radiación y la evaporación del sudor. Las combinaciones de estos factores pueden causar diferentes grados de comodidad o incomodidad. Existen varios índices para expresar el grado de estrés térmico resultante de la combinación de estos factores, por ejemplo, los índices de la temperatura efectiva, temperatura efectiva corregida y temperatura de globo y bulbo húmedo.

Conforme a lo mencionado en [63], los conceptos relacionados con ambientes térmicos pueden conceptualizar dos tipos de estrés térmico: estrés por frío y estrés por calor.

2.5.1. Estrés por frío

Sucede cuando las temperaturas ambientales caen, como ocurre cuando se entra a un cuarto frío. Un humano trata de reducir la superficie de piel expuesta (ya sea acurrucándose o vistiendo ropa gruesa de lana). Cuando sucede el estrés por frío se da la vasoconstricción periférica de los vasos de la piel y se pueden producir lesiones vasculares, sabañones, congelamiento (gangrena seca) o el pie de trinchera (gangrena húmeda). En contraposición, la producción de calor se incrementa si se tiene alto tono muscular y se tiritita (temblores). Los casos extremos de estrés por frío pueden resultar en hipotermia, baja de temperatura de órganos principales y la muerte.

2.5.2. Estrés por calor

El Estrés por Calor es un problema de salud que afecta a las personas que se encuentran realizando esfuerzos físicos en entornos calurosos y sin los tiempos de descanso necesarios para refrescarse [59]. Los esfuerzos, el consumo energético y los valores ambientales llevan a distintos niveles de agobio por calor, que de menor a mayor severidad, pueden ir desde incomodidad hasta golpe de calor, o incluso la muerte [68]. Tales afectaciones a la salud representan un problema a nivel mundial y existen escenarios que requieren atención especial por sus condiciones extremas de temperatura y/o humedad (climas tropicales, desiertos), o características especiales de los trabajadores (obesos, enfermos, mujeres, adultos de edad media o mayores, etc.).

Los estados del estrés por calor son los que se mencionan a continuación:

- Control vasomotor. En tanto el estrés por calor se incrementa, la sangre es bombeada más hacia la piel y menos hacia los órganos viscerales y el cerebro. En esta situación se dice que hay estrés cardiovascular y taquicardia. El trabajo muscular es reducido puesto que este produce más calor. El agotamiento por calor es manifestado por dolores de cabeza, mareos, somnolencia, pérdida de concentración y anorexia.
- Enfriamiento por evaporación. El cuerpo comienza a sudar conforme al grado de estrés y climatización que se tenga. La pérdida de cloruro de sodio a través del sudor causa calambres por calor (calambres dolorosos que inician en los músculos con los que se trabaja y se extiende a otros músculos) y se agravan los problemas cardiovasculares debido a la deshidratación. El volumen de orina se reduce. La velocidad alta del aire y una humedad relativa baja ayudan a enfriar el cuerpo por medio de la evaporación del sudor. La exposición al calor seco se encuentra en fundidoras, fábricas de acero y en la industria del vidrio, por ejemplo. La exposición al calor húmedo se encuentra en las fábricas textiles, las minas, la industria de alimentos conservados y lavanderías.
- Golpe de calor. Si la sudoración no es suficiente para mantener la temperatura del cuerpo dentro del rango fisiológico, el centro de regulación de calor falla, la sudoración se detiene, la piel se deshidrata y se dice que la persona sufre un golpe de calor. La inconsciencia y la muerte pueden seguir. El golpe de calor ocurre mayormente con personas en ambientes húmedos calurosos especialmente cuando están expuestas a la luz solar. Es una situación de emergencia donde se indica un rápido enfriamiento, rehidratación y toma de electrolitos.

El orden de severidad para la salud, de menor a mayor grado, causado por el estrés por calor es [63]:

1. Lasitud, irritabilidad e incomodidad.
2. Bajo desempeño en el trabajo y falta de concentración.
3. Sarpullido.
4. Agotamiento por calor.
5. Golpe de calor.

Normativas ISO para el estrés por calor

La normativa ISO para valorar la reacción humana a los ambientes calurosos comprende varios documentos, los tres más importantes son ISO 7243 [40], ISO 7933 [39] e ISO 9886 [37].

ISO 7243 determina un índice térmico simple obtenido a partir de valores ambientales (temperatura, humedad y radiación solar) y la intensidad de la actividad física que realiza el sujeto. El índice térmico indica si el trabajador se encuentra bajo estrés térmico dadas las condiciones ambientales y el tipo de trabajo que efectúa. Proporciona un método para evaluar el efecto medio del calor sobre un individuo durante un periodo representativo de su tipo de actividad, aunque no aplica para periodos muy cortos ni para zonas de confort. Tiene como desventaja que sólo considera un perfil estándar y estático de trabajador [68], aún más, la categorización del tipo de actividad (pesada, moderada y liviana) es fija durante todo el tiempo. Lo anterior no es eficiente porque aunque un trabajador puede tener un trabajo considerado como pesado, eso no implica que durante toda la jornada se encuentre realizando actividades con alto esfuerzo físico. Lo mismo puede ocurrir en sentido inverso, con trabajos clasificados como de esfuerzo liviano. Derivado del resultado de estimación del estrés por calor, la normativa recomienda el porcentaje de tiempo de cada hora que el trabajador debe descansar.

Otra normativa es la ISO 7933, que ofrece un método para estimar el intercambio de calor entre un trabajador y su ambiente. Es un método para la predicción de la tasa de sudoración y temperatura que el cuerpo humano alcanza como resultado del esfuerzo y las condiciones térmicas en el área de trabajo. La sudoración es una respuesta del cuerpo para tratar de lograr el balance térmico (producción interna de calor = pérdida de calor), ante la influencia de los diferentes parámetros físicos ambientales (estimados conforme a ISO 7726 [38]) y consumo energético (estimado conforme a ISO 8996 [36]) derivado de las actividades. A pesar de la mayor precisión de ISO 7933 respecto a ISO 7243, se ha documentado su invalidez en climas cálidos o húmedos [10] y estudios [67] han demostrado su ineficacia al basarse en la tasa de sudoración del individuo, lo cual no es eficiente porque no es personalizado. ISO 7933 usa los parámetros ambientales y la estimación de la tasa metabólica del trabajador, lo cual es conveniente, porque el estrés es resultado de factores internos y externos; sin embargo, su objetivo es la evaluación del estrés por calor (usando un método para la predicción de la tasa de sudoración) para determinar los tiempos de exposición en los cuales la tensión fisiológica es aceptable, pero se requiere de parámetros ambientales y fisiológicos, estos últimos por el tipo requerido son difíciles de obtener.

Por otra parte, ISO 9886 es una normativa que describe los principios de medición fisiológica que pueden ser utilizados en el establecimiento de sistemas de supervisión personales de los trabajadores expuestos a ambientes calurosos. En ISO 9886 se proporciona orientación sobre la medición fisiológica y la interpretación. Al basarse éste estándar en condiciones fisiológicas internas es adecuado para ambientes en donde el trabajador viste ropa protectora especial que dificulta la ventilación. Este aspecto no es considerado en los otros dos estándares (7243 y 7933). Lo que se mide para aplicar este estándar es: temperatura corporal, temperatura de la piel, frecuencia cardiaca y pérdida de masa corporal. Sin embargo, a pesar de su mayor exactitud es muy invasiva ya que entre las mediciones

válidas para obtener la temperatura corporal considera alguna de las siguientes: esofágica, rectal, gastrointestinal, oral (interior de la boca), timpánica, del canal auditivo y urinaria. ISO 9886 considera mediciones fisiológicas al cuerpo humano para estimar la respuesta al trabajo. Esta normativa proporciona gran exactitud, pero requiere de la utilización de laboratorios especializados.

Las normativas son autónomas y pueden ser utilizadas de forma independiente. En cualquier evaluación exhaustiva, sin embargo, se pueden utilizar en conjunto. Adicionalmente en ninguna de ellas se considera su medición en tiempo real y su comportamiento en el tiempo, lo cual consideramos de suma importancia. Los valores de las tablas de referencia están basados en un varón joven sano estándar, no siendo considerado mujeres, discapacitados, embarazadas, personas mayores, enfermos, etc. La interpretación adecuada puede apoyar a un sistema de recomendaciones para prevenir riesgos para la salud de los trabajadores.

La normativa ISO 7243 es la más aceptada a nivel mundial por su sencillez y facilidad de implementación. Sin embargo, el uso de tablas estáticas no es conveniente y ninguna puede considerarse de aplicabilidad general [69].

Las normativas de ISO son usadas como base para normativas locales en muchos países y son aplicadas para estimar el ECAL.

En la Tabla 2.1 se muestran algunas desventajas de cada una de las normativas ISO.

Normativa	Desventajas
ISO 7243	Algunos estudios concluyen que la aplicación de sus recomendaciones de tiempos de descanso son muy precavidas. Las mediciones no consideran las variaciones en ritmo o intensidad de trabajo durante una jornada laboral. La intensidad del trabajo la establece como Ligera, Moderada o Vigorosa para todo el tiempo de la jornada. Solo emplea un perfil estándar estático de trabajador.
ISO 7933	Esta normativa contiene dos tipos de métodos para estimar el consumo metabólico. Para el primero de ellos, se emplean tablas y en el segundo, mediciones fisiológicas. Ambos tipos usan valores de un usuario estándar (varón, 1.8 metros de altura, 70 kilogramos de peso, etc.), de modo que no son métodos personalizados. Las mediciones no son en tiempo real. Esta normativa solo considera sujetos estándar con buena salud y en forma para el trabajo que desempeñan. Hay evidencia creciente que esta normativa tiene validez limitada y no es usable [10].
ISO 9886	El método propuesto en esta normativa requiere de varias mediciones fisiológicas, por ejemplo, la temperatura corporal es uno de los datos de entrada y para lo cual, una fuente considerada válida tiene que ser una de las siguientes: esofágica, rectal, gastrointestinal, oral, tímpano, canal auditivo, la orina. El método es muy invasivo y requiere que las mediciones sean hechas en un laboratorio especializado.

Tabla 2.1: Desventajas de las Normativas ISO relacionadas.

Acotamiento sectorial y geográfico

El escenario específico del caso de estudio considera personas en ambientes calurosos extremos. Cabe señalar que, de acuerdo a la clasificación climática actualizada de Köppen [70], existen amplias áreas del globo terráqueo que corresponden a zonas con clima cálido. Estas regiones en específico son las

que se encuentran adyacentes al ecuador, tanto hacia el norte como al sur del mismo. El área comprendida entre el trópico de cáncer y el trópico de capricornio. Como se puede apreciar en la Figura 2.1, el área antes mencionada se remarca con una franja en color rojo y comprende principalmente países subdesarrollados (América, África y Asia), en donde las personas pueden ser más vulnerables debido a la aplicación de pocas medidas de seguridad industrial relacionadas con las afectaciones a la salud por temperatura ambiental elevada.



Figura 2.1. Zonas tropicales del mundo.

Aún más, el escenario no se limita a espacios calurosos por naturaleza climática, sino que aplica para todos aquellos lugares que de manera artificial tienen un ambiente caluroso. Ejemplos de estos son calderas, hornos para fundición de metales, vidrio, etc. Se trata de puntos geográficos que, aunque de forma natural no son cálidos, dadas las actividades industriales que se realizan reúnen condiciones para ser considerados de altas temperaturas y pueden representar un peligro para la salud de quienes allí laboran.

Las Figuras 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7 ilustran algunos escenarios donde es pertinente la estimación y control del ECAL.

La Figura 2.2 ilustra una situación común que implica que los trabajadores deben realizar actividades físicas en espacios exteriores y se encuentran afectados por las condiciones ambientales como la radiación solar, la cual contribuye a acrecentar la sensación térmica.



Figura 2.2: Trabajador soldando en espacio exterior.

La Figura 2.3 muestra a trabajadores realizando actividades de bacheo y reparación de calles. En estos casos los días soleados y las temperaturas altas del ambiente tienen una repercusión directa en el ECAL. Si se trabaja con asfalto en caliente la sensación térmica se ve incrementada dado el material que se manipula.



Figura 2.3: Trabajadores en asfalto.

En la Figura 2.4 se ve un espacio en donde a pesar de que el trabajador no se ubica en exteriores y expuesto a radiación solar, el hecho de que se encuentre cerca de una fuente de calor importante, como es el horno de pan, contribuye a la presencia del ECAL.



Figura 2.4: Trabajador en un horno de pan.

Las actividades del campo, como la agricultura y limpieza de terrenos (como en la Figura 2.5), son escenarios importantes que requieren de control del ECAL, ya que los trabajos comúnmente implican esfuerzos vigorosos y las personas se encuentran afectadas por las condiciones ambientales. Por tanto, en estas situaciones existe la combinación de condiciones climáticas y actividad física extenuante.



Figura 2.5: Trabajador del campo.

Hay situaciones en donde además de las condiciones climáticas y la actividad física realizada, se debe considerar el impacto de la vestimenta que se porta. Y aunque la vestimenta como un factor a considerar se encuentra fuera del alcance de esta tesis, existen estudios acerca del ECAL en donde la vestimenta toma importancia fundamental. La Figura 2.6 es un ejemplo de estos escenarios.



Figura 2.6: Trabajadores en taller de soldadura.

La Figura 2.7 representa una situación de perforación que es una actividad laboral común en la región geográfica de Tabasco, México. Durante este tipo de actividad los trabajadores se encuentran realizando actividades físicas demandantes y expuestos a las condiciones climáticas tropicales, propias de la región.



Figura 2.7: Trabajadores realizando una perforación.

2.6. Trabajos relacionados

2.6.1. Arquitecturas para personalización

Los sistemas de manera tradicional se conceptualizan considerando las necesidades del negocio o un grupo de usuarios, sin embargo, las necesidades de sistemas ubicuos llevan hacia el desarrollo de propuestas en donde las respuestas que deben ser ofrecidas a los usuarios, inmersos en el contexto, toman relevancia fundamental. Para lograr este propósito es necesario que los sistemas sean concebidos con esquemas de personalización que cumplan con las expectativas. Dicha personalización debe considerar los diversos aspectos que integran el contexto. Existen propuestas recientes que van más allá de los sistemas de personalización común y consideran variables como la personalidad, aspectos sociales y éticos [78].

La evolución de los servicios de salud preventivos para personas mayores bajo modelos tradicionales en hospitales hacia sistemas inteligentes ambientales que permiten que dichos servicios sean personalizados y puedan efectuarse en el hogar en la forma adecuada y en el momento justo puede apreciarse en el trabajo descrito por Cacciagrano *et al.* [16]. Se encuentra basado en una arquitectura de tres capas convencional, la capa inferior corresponde a dispositivos físicos, la capa intermedia a la lógica del negocio y la capa superior al nivel de aplicaciones.

La necesidad de crear modelos que permitan la conceptualización de sistemas personalizados conscientes del contexto ya se ha establecido, por ejemplo Sutcliffe *et al.* [78] describen una propuesta

que soporta la adecuación para usuarios individuales y analiza la interacción entre el contexto y la funcionalidad; se propone un modelo de dos capas para diseñar sistemas centrados en el humano y enfocado a los requerimientos personales. El modelo tiene una capa de las características de características físicas (edad, peso, compleción, etc.) y mentales (cognición) y una capa de objetivos personales y valores individuales (creencias, actitudes, motivación, etc.). Aunque ésta propuesta considera un modelo de usuario más completo, respecto a otros, ya que analiza aspectos físicos y mentales, no toman en consideración las interacciones con la comunidad.

La proposición de arquitecturas para sistemas con inteligencia ambiental requiere de mecanismos para evaluar la efectividad y eficiencia de las propuestas. Abdulrazak *et al.* [2] hacen una revisión profunda de los diversas maneras para evaluarlas en la práctica y dividen los mecanismos en siete categorías diferentes: (1) frameworks para la evaluación de diseños arquitecturales y la infraestructura, (2) simulación, pruebas y técnicas de verificación que cubren métricas y sus técnicas de medición para varios componentes de los sistemas, (3) enfoques de evaluación centradas en el usuario para pruebas de campo y laboratorio, evaluación cuantitativa y cualitativa, evaluación formativa y sumaria, así como, evaluación a la medida, (4) estudios de usabilidad para los productos, (5) enfoques de evaluación contextual para la calidad de la tecnología y el contexto, (6) modelo de aceptación de la tecnología en cuanto al impacto de la misma en los usuarios y sus factores de aceptación, y por último, (7) evaluación ecológica por implicaciones ambientales de la tecnología.

2.6.2. Cuidado de la salud en ambientes laborales

Existe una gran variedad de trabajos relacionados con el cuidado de la salud y el bienestar en el trabajo. Por tanto, las necesidades que cubren o el objetivo para el cual fueron desarrollados es diverso. Algunos trabajos que hacen uso de la tecnología para el cuidado de la salud en ambientes laborales son:

Cho *et al.* [19] utilizan los sensores contenidos en un smartphone para la clasificación de actividades y la estimación del gasto energético en METS en un escenario de la construcción, pero basado en el compendio de actividades predefinidas [4]; así, no aplica para cualquier actividad laboral. Lo anterior representa una seria desventaja ya que el reconocimiento se encuentra limitado a ciertas actividades físicas desde un nivel de abstracción que consideramos alto. Por ejemplo, se identifica que alguien está barriendo y a partir de ese reconocimiento se le otorga un valor estimado promedio de consumo energético en METs para la actividad de barrer. No representa una medición real de consumo energético, ya que el hecho de que su actividad sea barrer, no implica que siempre se encuentra barriendo (en el tiempo) y siempre con la misma intensidad (asignación de valor promedio). Por tanto, la propuesta de Cho [19] no es una medición efectiva, objetiva y en tiempo real.

Relacionado con la identificación de posturas del cuerpo que pueden ser peligrosas para la integridad de la persona se tiene el escrito de Migliaccio *et al.* [51]. Los autores efectúan la identificación de una postura riesgosa empleando actividad, fisiología y localización. En ese artículo una situación riesgosa para la salud es la conjunción de las tres situaciones siguientes: 1) que se presente una postura que rebase un umbral de ángulo de flexión torácica medido usando un acelerómetro triaxial, 2) que el ritmo cardiaco rebase un umbral definido, el cual es medido empleando un sensor de ritmo cardiaco, y 3) que el usuario se encuentre ubicado en cierto lugar del escenario laboral definido en donde deben estar cierto tipo de objetos que se cargan. Aunque la propuesta representa una opción de cuidado de la salud, tiene los inconvenientes siguientes: se encuentra limitada a áreas laborales predefinidas que deben tener sólo un cierto tipo de objeto a cargar, la postura riesgosa identificada sólo es una (flexión

torácica) y el valor del umbral fisiológico que no debe rebasarse considerando el ritmo cardiaco no es personalizado, sino genérico. Por tanto, la propuesta no aplica para actividades laborales libres no predefinidas, no es personalizada y se encuentra confinada a áreas fijas con objetos únicos para cargar.

Un ejemplo del uso de tecnología de medición para el cuidado de la salud lo desarrollaron Gatti *et al.* [33]. En este caso se usa un monitor de ritmo cardiaco para analizar la relación que existe entre tensión física y la productividad laboral. Se emplea un sensor de ritmo cardiaco para determinar cuando existe tensión física en el individuo. La tensión física fue definida mediante un proceso de regresión lineal aplicado a un conjunto de siete sujetos. Lo que demuestra el artículo es que entre más intensidad de actividad física se tenga (aceleración de ritmo cardiaco), entonces disminuye la velocidad en la tarea de construcción simulada de armar una plataforma de varios niveles empleando paneles de hormigón (7 kg) sobre soportes de plástico. Se aprecia como algo de sentido común, es para una actividad predefinida, no considera valores ambientales y la finalidad no es obtener valores individuales.

Senyurek *et al.* [76] construyeron una solución para alertar a los servicios de emergencia cuando se presente un situación de peligro o inesperada en un ambiente laboral, para ello emplean acelerómetros portados en el cuerpo para medir las actividades de movimiento que pudieran requerir alertar a los servicios de emergencia. En su propuesta se menciona que monitorear personas trabajando solas requiere no solo detectar las caídas o actividad excesiva, sino otras situaciones como largos periodos de inactividad y posiciones inesperadas del trabajador. Se monitorean actividades como correr y saltar dado que estas actividades son inusuales en sitios de trabajo y podrían indicar una situación de emergencia. Se clasifican estas como actividades excesivas, ejemplos son un largo periodo de inactividad o pose inesperada del trabajador.

En el estudio de Koskimaki *et al.* [42], fue colocada una unidad de medidas inerciales en la muñeca de un trabajador y la información de aceleración y velocidad angular fue empleada para decidir cual actividad estaba realizando el trabajador en ciertos intervalos de tiempo. Esta información de actividad puede ser usada para sistemas de instrucción proactiva o para asegurarse de que todas las fases necesarias del trabajo son desempeñadas de manera correcta. El objetivo en este estudio es conocer si el patrón de la actividad es conforme a lo establecido como correcto.

Algunos trabajos son interesantes, aún cuando no son aplicados al mundo laboral, por ejemplo Albinali *et al.* [5] tratan de personalizar la estimación del gasto energético. En dicho trabajo los autores comentan que aunque en muchas investigaciones médicas se utilizan técnicas de regresión aplicadas a todo el conjunto de datos de sensores y se obtiene un modelo de regresión, que a su vez produce buenas estimaciones globales de gasto energético, se tiene la limitante que se debe tener una distribución de actividades físicas que sea similar a la del conjunto de datos de entrenamiento. Si no es así, se puede sobreestimar o subestimar el gasto energético de actividades particulares. Por tanto, ellos crean modelos de regresión específicos para diversos tipos de actividades. Los autores utilizan sensores vestibles colocados en tres ubicaciones del cuerpo para detectar el tipo de actividad. Las tres ubicaciones del cuerpo seleccionadas son la cadera, el brazo y la pierna dominantes. Teniendo los datos de los sensores se aplica el modelo regresión específico al tipo de actividad y se estima el gasto energético.

Aunque la propuesta busca personalizar las estimaciones de gasto energético, y es una opción viable, consideramos que la individualización sería más conveniente hacia el tipo de persona (dado su perfil), en vez de hacia el tipo de actividad. Un mismo tipo de actividad puede ser efectuada por personas tan diversas en fisiología que las estimaciones de gasto energético deben ser diversas. El

monitoreo para AAW ha sido aplicado a diversas áreas, tales como: deportes [14, 23], la industria de la construcción [51, 33], agricultura [48], la industria minera [35], bomberos [79], salud y confort laborales [65]. La mayoría de las investigaciones están orientadas a incrementar la productividad y automatizar las actividades.

2.6.3. Monitoreo y control del estrés por calor

Suárez-Cabrera [77] describe un estudio de estrés por calor empleando el estándar ISO 7243 y comparando los resultados con los obtenidos a partir de aplicar el estándar ISO 7933 (evaluación del estrés térmico en condiciones que lleven a incremento excesivo de la temperatura o pérdida de líquidos para una persona común y así determinar los tiempos máximos de exposición permitidos dada la tensión fisiológica). La prueba se aplicó en Cuba a 21 trabajadores, obteniéndose valores con riesgos para la salud para 11 trabajadores al aplicar el estándar ISO 7243, pero obteniendo nivel de riesgo por estrés por calor para sólo uno de los trabajadores, cuando se aplica el ISO 7933 a los mismos 21 trabajadores. Los resultados muestran la necesidad de aplicar un análisis más detallado en los casos en que el índice del ambiente térmico supere o esté próximo al valor de referencia. Lo cual afirma que los métodos propuestos en el estándar ISO 7243 no son suficientes para conocer el índice real de estrés por calor en el que se encuentra un trabajador.

Tal como menciona Suárez-Cabrera, la medición de las condiciones ambientales y el tipo de actividad que se realiza no es un método suficiente para conocer el índice térmico real en el que un trabajador se encuentra. El trabajo descrito por Claassen *et al.* [21] también expone las deficiencias del uso del termómetro ambiental propuesto por la ISO 7243. En consecuencia, para que la estimación del estrés por calor sea eficiente es necesario contar con un método que sea personalizado y en tiempo real. Esto quiere decir que debe considerar el perfil del usuario (edad, sexo, peso, padecimientos), los cambios que se van suscitando en el ambiente (temperatura, humedad, viento) y el tipo de actividad que se realiza en cada momento en el tiempo.

Existen muchos trabajos relacionados con la determinación del estrés por calor, aunque muy pocos considera el reconocimiento de las actividades [64, 66]. En estos trabajos se hace uso de una red inalámbrica de sensores capaz de medir parámetros físicos como la temperatura y humedad relativa para determinar el índice de estrés térmico con base a la normativa mexicana STPS-015-2001 (basada en ISO 7243). En el primero de los trabajos el escenario es una torre de perforación petrolera y en el segundo trabajadores de la construcción.

Otro trabajo disponible en la literatura es el de Lee *et al.* [44], que aunque no se ocupa precisamente del estrés térmico, si consiste en una red de sensores para monitorear las condiciones ambientales del área donde se encuentran laborando trabajadores de la construcción. Con base en las mediciones reportadas por la red se deben tomar las precauciones necesarias cuando los valores ambientales son inconvenientes.

Un trabajo más, relacionado con determinar el estrés por calor en trabajadores es el de Callejón *et al.* [17]. El estudio fue aplicado a trabajadores agrícolas en donde con base en las condiciones del clima se determinan los meses del año en los cuales se puede tener estrés por calor, pero sólo se consideran las condiciones ambientales, no se consideran las actividades que se realizan. Otro trabajo de este mismo tipo es el de Marucci *et al.* [48]. Rednic *et al.* [71] también estudian el estrés por calor, aunque el objetivo es predecir estimaciones en el corto plazo haciendo uso del aprendizaje automático.

Ya que las normativas de ISO son independientes y comúnmente son aplicadas de modo excluyente. Para lograr algo más preciso, proponemos una solución que integra los beneficios de cada normativa y contribuye a la conformidad. Ninguno de los métodos propuestos por ISO cumplen los objetivos de ser un monitoreo continuo personalizado, *in situ*, en tiempo real y no invasivo. Un paso importante es conocer, justo a tiempo, cuánta energía ha gastado un trabajador como resultado de su esfuerzo físico continuo.

Los avances tecnológicos, tales como acelerómetros pequeños y dispositivos para medir la frecuencia cardiaca, logran un monitoreo efectivo que es continuo, no invasivo, portátil, *in situ* y en tiempo real. Algunos trabajos relacionados ya han demostrado que la fusión (combinación) de datos de sensores es una buena opción para estimar el consumo energético [22]. En nuestro caso, esto es muy conveniente porque implica un método objetivo y efectivo. La propuesta aplica a escenarios que son calurosos por naturaleza (tropicales) o artificialmente calurosos.

2.7. Resumen del capítulo

En este capítulo se definieron conceptos y ámbitos relacionados con la inteligencia ambiental, el trabajo asistido por el ambiente y la personalización en sistemas de cómputo; se dio importancia especial a la personalización aplicada al cuidado de la salud. Por otra parte, se mencionaron conceptos e implicaciones referentes al estrés por calor en ambientes laborales, lo anterior con la finalidad de contextualizar el escenario del caso de uso estudiado, así como las normativas existentes para éste tipo de afectación al confort y la salud. Se ilustraron algunos escenarios laborales en donde la estimación y control del estrés por calor cobra mucha importancia, tal como la agricultura, la construcción y trabajo en hornos. En la última sección de este capítulo se describen trabajos previos en la literatura que se encuentran relacionados con las arquitecturas de personalización, el cuidado de la salud en el trabajo y específicamente estudios del estrés por calor en ambientes laborales. Lo cual sirve para resaltar que el enfoque de personalización propuesto y reflejado en el caso de estudio es una orientación diferente a lo desarrollado en trabajos previos.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Capítulo 3

Arquitectura y métodos propuestos

En este capítulo se presentan las propuestas de arquitectura funcional de referencia y el método genérico para la captura de valores del contexto, procesamiento de los valores y la obtención de resultados en los sistemas de AAW. Posteriormente se hace una correspondencia de la arquitectura y método genérico propuestos hacia el desarrollo de arquitectura y métodos específicos para su implementación en el caso de estudio. El caso de estudio, como se ha mencionado, trata de la estimación del nivel de estrés por calor en un ambiente laboral.

3.1. Arquitectura funcional de referencia

La Teoría de la Actividad se muestra como un referente adecuado cuando se plantean situaciones que involucran a grupos de personas en los que, de alguna forma, se realizan actividades mediadas o facilitadas por un soporte tecnológico [28]. Como marco teórico que es, hay muchos aspectos y usos de la misma que requieren una interpretación por parte de quienes deseen llevarla a la práctica y que la dirigen hacia una perspectiva más pragmática.

Esta teoría ofrece un marco conceptual en el que situar los elementos sociales y tecnológicos de un sistema en una misma unidad de análisis, llamada actividad; otros elementos importantes son el objetivo de la actividad, su resultado, la comunidad que la desarrolla junto a sus reglas sociales, el sujeto de la actividad y las herramientas que se utilizan para llevarla a cabo [8]. La Figura 3.1 muestra el modelo de los elementos que intervienen según esta teoría.

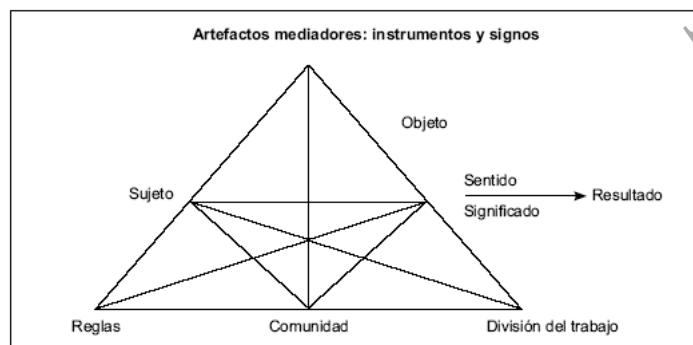


Figura 3.1: Modelo de la segunda generación de la Teoría de la Actividad según Engestrón.

La teoría de la actividad la cual trata de comprender el curso de las actividades incorporando las influencias externas así como los actores en si mismos [41]. Uno de los principios más importantes en la teoría de la actividad es la orientación hacia el objetivo, lo cual establece que los objetivos siempre cargan conocimiento socio-culturales de qué se puede ser hacer y cómo puede ser hecho. Otro principio más establece que las actividades son mediadas a través de herramientas físicas y no físicas. Por último, pero no menos importante, las actividades están jerárquicamente compuestas de acciones las cuales a su vez se componen de operaciones [82]. Dado los postulados anteriores considerados que el modelo de la teoría de la actividad es pertinente para los sistemas de AAW.

Tomando como base la propuesta de los elementos que conforman el modelo de la teoría de la actividad, y considerando que los sistemas de AAW comprenden sujetos realizando acciones en un entorno social, proponemos la arquitectura funcional abstracta que se muestra en la Figura 3.2 y que representan, sin ser una lista exhaustiva, los elementos que intervienen en los sistemas de Trabajo Asistido por el Ambiente.

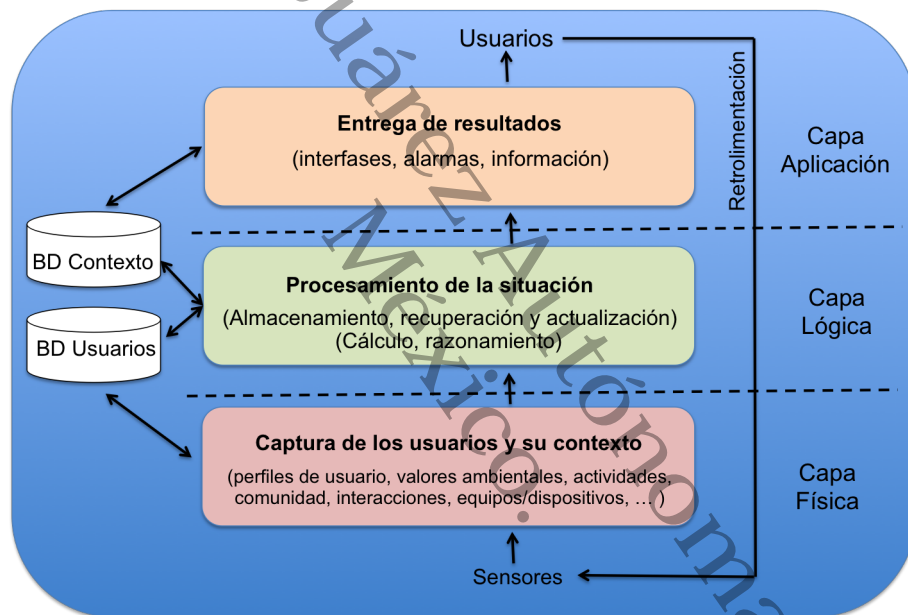


Figura 3.2: Arquitectura de referencia para el Trabajo Asistido por el Ambiente.

3.2. Método genérico

El método para sistemas de AAW debe considerar un ciclo continuo de captura de valores (normalmente leídos por los sensores) y posteriormente procesados para ofrecer los resultados a los usuarios. La captura del contexto comprende aspectos como el perfil del usuario (que puede variar en el tiempo) y de las actividades (físicas, mentales, sociales, etc.) que dan origen a la situación dentro del contexto. Durante la implementación del método deberán de registrarse los valores de los sensores y se hará uso de datos registrados con anterioridad en las bases de datos.

La Figura 3.3 muestra el método genérico para los sistemas de Trabajo Asistido por el Ambiente.

Por otra parte, aunque la AmI ha venido evolucionando (desde la visión inicial del ISTAG en 2002),

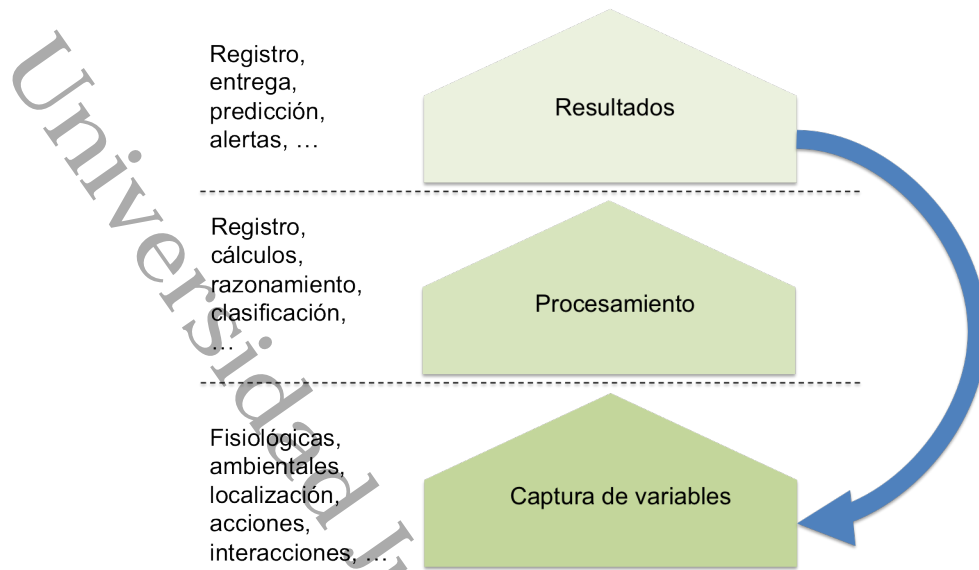


Figura 3.3: Método genérico para el Trabajo Asistido por el Ambiente.

aún mantiene la visión del diseño de sistemas centrados en el usuario, más que en la tecnología. Hay propuestas para que con este nuevo enfoque se mejore la experiencia del usuario en el uso de sistemas. Para lograr una experiencia eficiente y agradable para el usuario, consideramos que en los sistemas para AAW debe prevalecer la filosofía de diseño centrado en el usuario. La Figura 3.4 representa el enfoque que consideramos se debe tener en mente cuando se diseñan los sistemas AAW. Como se puede apreciar en la Figura 3.4, el objetivo más importante es la utilidad del sistema y que las respuestas obtenidas sean las justas. La usabilidad o conveniencia no son los aspectos más importantes.

La Figura 3.4 muestra la filosofía para centrar los sistemas en las necesidades de los usuarios.

3.3. Método de estimación del nivel de estrés por calor

Es importante resaltar que nuestra propuesta se enfoca a estimar el esfuerzo derivado de una actividad física, en vez del reconocer la actividad misma. La mayoría de las propuestas tecnológicas tratan de reconocer la actividad física para, a partir de ello, determinar el gasto energético. Sin embargo, dado que nosotros queremos tener estimaciones personalizadas, no se aplica la idea de querer reconocer la actividad, sino los gastos y esfuerzos individuales. La decisión se fundamenta en el hecho de que dos personas realizando una misma actividad pueden no estar gastando la misma cantidad de energía (dado el perfil y la intensidad personal) y ni el mismo esfuerzo (derivado de aspectos como la condición física).

En esta sección se presenta el método para la estimación del nivel de estrés por calor. Se detalla cada uno de los pasos que integra el método propuesto, ilustrando las fórmulas utilizadas de dominios diversos como nutrición y ergonomía, así como los materiales empleados en la fase de implementación. Todo lo anterior resulta en un esquema de proceso general para estimar el estrés por calor de manera personalizada y en tiempo real.

3.3. MÉTODO DE ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE ESTRÉS POR CALOR

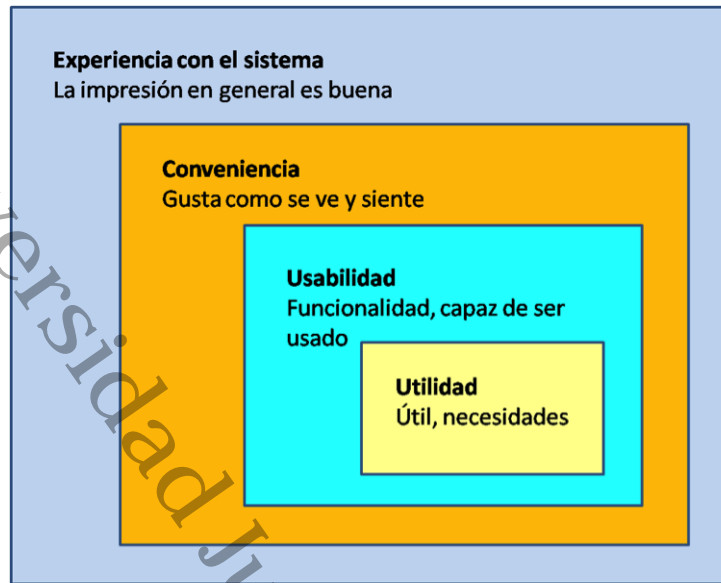


Figura 3.4: Filosofía para sistemas de AAW centrados en el usuario.

El método propuesto se ilustra en la Figura 3.5. Primero determinamos la intensidad de los movimientos con un dispositivo que mide la aceleración. Con base en la intensidad de los movimientos se obtiene el estimado de consumo energético por cada minuto y en tiempo real. Como una segunda oportunidad para conocer el nivel de estrés, y si se cuenta con sensor de frecuencia cardiaca, se obtiene la intensidad del esfuerzo a partir de la frecuencia cardiaca medida en tiempo real. Con los valores de entrada del consumo energético y el nivel de esfuerzo se estima la carga de trabajo. Teniendo la carga de trabajo y las condiciones ambientales de temperatura y humedad se determina si existe estrés por calor, y en un momento dado, en qué nivel.

Captura de los datos

En este paso, los instrumentos (acelerómetro, frecuencia cardiaca y sensores ambientales), fueron calibrados comparando y ajustando sus mediciones respecto a aquellas contenidas en la literatura o conforme a medidores especializados convencionales. Se hizo la captura de movimientos y parámetros ambientales (temperatura y humedad relativa) empleando los sensores contenidos en el smartphone. Los valores ambientales fueron homologados respecto al termómetro de globo de bulbo húmedo, conforme a la normativa ISO 7243. Se utilizaron los sensores de temperatura y humedad del smartphone debido a su portabilidad, bajo costo (al estar incluidos) y facilidad de lectura de los valores. Adicionalmente, para obtener valores personalizados, introdujimos las características del sujeto (edad, sexo, peso y estatura) al alimentar los algoritmos de estimación.

La frecuencia cardiaca fue medida después de diez minutos de descanso pleno, el resultado se etiquetó como frecuencia mínima personal. Después, se solicitó a los participantes realizaran una prueba de esfuerzo máximo para obtener lo que sería la frecuencia cardiaca máxima. Para ello, los usuarios debieron utilizar una caminadora eléctrica y caminar a 3 mph durante 30 segundos, seguidamente otros 30 segundos a 4 mph, luego un minuto a 5 mph y por último un minuto más a 6 mph. Inmediatamente después fue tomada la frecuencia cardiaca. Se utiliza el valor de 6 mph porque en [29], dicha velocidad es considerada para un trabajo vigoroso. En algunos casos, la frecuencia cardiaca máxima puede

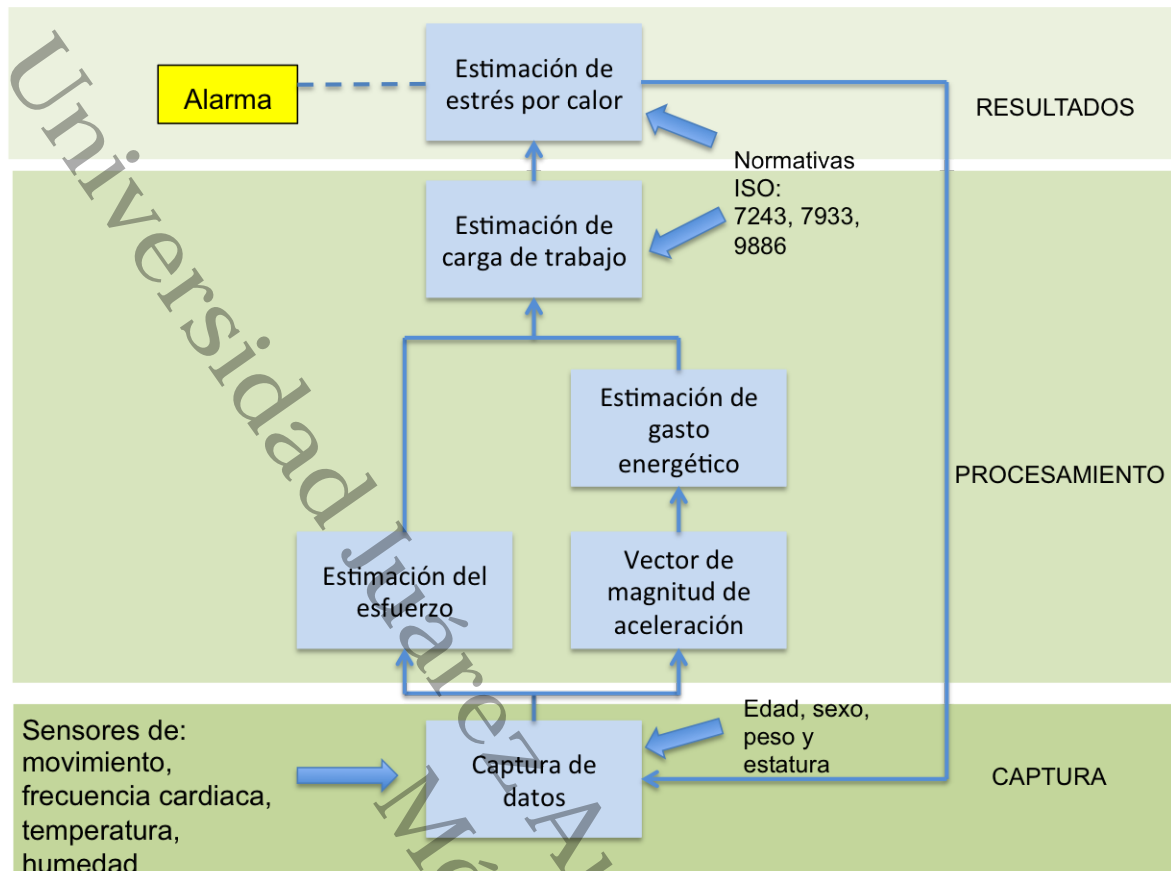


Figura 3.5: Método propuesto de estimación del estrés por calor.

incluso ser calculada a partir de fórmulas estándar ($frecuencia\ cardiaca\ maxima = 220 - edad$), aunque con pérdida de resultados personalizados.

La propuesta de monitoreo continuo ofrece mejores resultados cuando todos los sensores necesarios se encuentran en el smartphone, pero debe probarse la precisión de la medición de los sensores de temperatura y humedad debido a la cercanía al cuerpo humano. Cuando los sensores no están incluidos en el smartphone, los valores podrían ser obtenidos de sensores externos. La temperatura y humedad se miden al principio y final de cada actividad (periodos de uno o algunos minutos), con buenos resultados, ya que los valores son muy cercanos para ser obtenidos con monitoreo continuo.

Vector de magnitudes de aceleración

El nivel de aceleración tiene correlación con la intensidad de una actividad física, de modo que se colocaron smartphones a la cadera y muñeca del usuario y se ajustaron con un cinturón elástico en el caso de la cadera, y para la muñeca con una malla elástica quirúrgica. El objetivo fue elegir cual de los dos dispositivos se encontraba en la mejor posición para representar el esfuerzo físico de cada actividad. Se registraron los valores de los ejes x , y y z . Los datos de los sensores se filtraron usando una técnica llamada pasa-bajo para atenuar el efecto de las frecuencias originadas por pequeños movimientos involuntarios [11], los cuales no corresponden a la actividad física. No se emplea un filtro pasa-alto porque la intención no es identificar una actividad específica.

3

Uno de los métodos más populares para calcular la intensidad de una actividad física es sumarizar los valores de salida producidos por el acelerómetro sobre los tres ejes espaciales, de modo que se obtenga un valor escalar [12]. Para estimar el esfuerzo en una actividad física, necesitamos sumar el vector de magnitudes de aceleración (VMA) y determinar a que nivel corresponde.

Así, el VMA es calculado de acuerdo a la fórmula 3.1.

$$VMA = \sum_{t_0}^{t_0+T} (|a_x| + |a_y| + |a_z|)dt \quad (3.1)$$

donde a_x , a_y , a_z son los valores del acelerómetro, con filtro pasa-bajo aplicado, correspondiente a los ejes x , y y z . El intervalo de suma (T) es 60 segundos (*i.e.*, correspondiente al epoch, el cual es una medición cuantitativa de actividad física en un cierto periodo de tiempo). En un trabajo previo del dominio [75], se ha demostrado que un periodo de un minuto es relevante para identificar la intensidad de una actividad.

Grabamos los valores de los ejes (x , y , z), cada 20 milisegundos, lo cual implica 50 registros por segundo. Los valores de las gravedades por minuto son obtenidos de los valores de los ejes. El VMA es usado para obtener el equivalente en METs consumidos. Este proceso es detallado en la sección de calibración.

Estimación del Gasto Energético

Empleamos el calculo del VMA para trasladarlo a METs. Esto nos permitió obtener una estimación efectiva del gasto energético considerando el nivel de intensidad física en cada momento durante un día de trabajo. Un MET es una unidad de medida de la intensidad del ejercicio que expresa cuantos mililitros de oxígeno (VO_2) son consumidos por kilogramo en un minuto. VO_2 representa el reto metabólico total que un ejercicio impone. Un MET, el cual es igual a 3.5 mL/kg por minuto, es considerado como el promedio de gasto energético para un humano típico en reposo. La intensidad del ejercicio puede ser expresada como múltiplo de gasto energético en reposo.

La tasa metabólica o de consumo de energía fue obtenida de acuerdo a los niveles de intensidad física en el tiempo. En los movimientos físicos, el gasto de energía está correlacionado con la aceleración. Esto significa, que una aceleración mayor en los movimientos físicos involucra más gasto energético. De la suma de los valores de aceleración durante un minuto, se hace una correspondencia a los METs consumidos conforme a la correlación establecida en la fase de calibración.

Usamos la Tasa Metabólica Basal (TMB; la cantidad de gasto energético necesario para mantener las funciones vitales del cuerpo) para estimar el gasto energético personalizado cuando los trabajadores tienen periodos de descanso durante su jornada laboral. Convencionalmente, el consumo basal se encuentra cercano al 60 % del consumo diario, de modo que es pertinente usar una fórmula que se encuentre personalizada al considerar el sexo, edad, estatura y peso de los individuos.

Calculamos la TMB usando la ecuación de Harris-Benedict (basada en las características personales de los individuos) y se hace la correspondencia a METs. Las fórmulas 3.2 y 3.3 de Harris-Benedict se muestran a continuación.

$$TMB \text{ hombres} = (10 * \text{peso en kgs}) + (6.25 * \text{estatura en cms}) - (5 * \text{edad en años}) + 5 \quad (3.2)$$

$$TMB \text{ mujeres} = (10 * \text{peso en kgs}) + (6.25 * \text{estatura en cms}) - (5 * \text{edad en años}) - 161 \quad (3.3)$$

Estimación del esfuerzo

Para obtener una estimación del esfuerzo (nivel de esfuerzo físico del trabajador), empleamos un método basado en la frecuencia cardíaca, ya que este tipo de parámetro tiene una precisión del 90 % en la estimación de esfuerzos, conforme a la normativa ISO 9886.

La Tabla 3.1 muestra la propuesta de Chamoux para conocer el Costo Cardíaco Absoluto (CCA) para una actividad laboral, el cual es obtenido usando el Promedio de la Frecuencia Cardíaca (PFC) y la Frecuencia Cardíaca en Reposo (FCR) de la persona. El PFC se obtiene a partir del valor promedio de la frecuencia del trabajador durante una jornada convencional, lo cual contribuye a la personalización y a considerar la aclimatación del trabajador a su actividad laboral. La FCR es obtenida después de que una persona ha dormido durante al menos 8 horas y se encuentra en reposo.

Valor de CCA	CCA para un trabajo
0-9	Muy ligero
10-19	Ligero
20-29	Moderado
30-39	Pesado
40-49	Muy pesado

Tabla 3.1: Valores de Costo Cardíaco Absoluto (CCA) para un trabajo.

La estimación del CCA se obtiene aplicando la Fórmula (3.4).

$$CCA = PFC - FCR \quad (3.4)$$

Por ejemplo, una persona con promedio de frecuencia cardíaca $PFC = 95$ (de 70–120 latidos por minuto) y una $FCR = 70$ tiene un CCA igual a 25.

Chamoux propuso una fórmula que es considerada personalizada. Entonces, tenemos que obtener una Frecuencia Cardíaca Máxima Teórica (FCMT) y aplicarla a la Formula (3.4), tal como se muestra en la Fórmula (3.5), llamándose entonces Costo Cardíaco Relativo (CCR).

$$CCR = \left(\frac{[CCA * 100]}{[FCMT - FCR]} \right) \quad (3.5)$$

De manera convencional, el valor de la FCMT es obtenido de restar la edad de la persona a 220, sin embargo, si consideramos una FCMT real y personalizada, entonces se puede solicitar al usuario que efectúe una actividad extenuante (tal como subir escaleras tan rápido como pueda) e inmediatamente medir su frecuencia cardíaca, de modo que podríamos obtener un valor digamos de 152, por

3.3. MÉTODO DE ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE ESTRÉS POR CALOR

ejemplo. Entonces tenemos:

$$CCR = \left(\frac{[25 * 100]}{[152 - 70]} \right) = 30.48 \quad (3.6)$$

donde el CCR es un valor real y personalizado.

La Tabla 3.2 muestra los niveles de esfuerzo considerando el costo cardiaco relativo para el usuario. Conforme a la propuesta de Chamoux y a partir de los datos de frecuencia cardiaca, se tienen siete niveles de esfuerzo para el usuario, que van desde muy ligero hasta intenso [30]; ajustando éste criterio hacia tres niveles se obtienen los niveles de ligero, moderado y vigoroso, lo anterior para tener conformidad y correspondencia con la normativa ISO 7243. Usamos las lecturas de frecuencia cardiaca del dispositivo Zephyr y aplicamos el método de Chamoux para conocer que tan exhaustiva es una actividad para los trabajadores[30].

Valor CCR	CCR para un Usuario	CCR agrupado
0-9	Muy ligero	Ligero
10-19	Ligero	
20-29	Un tanto moderado	Moderado
30-39	Moderado	
40-49	Un tanto pesado	Vigoroso
50-59	Pesado	
60-69	Intenso	

Tabla 3.2: Niveles de esfuerzo a partir del costo cardiaco relativo.

Hemos agrupado en tres niveles los valores de costo cardiaco relativo obtenidos mediante el método de Chamoux, para lograr conformidad con la normativa ISO 7243. Para valores de costos entre cero y 19, el esfuerzo es considerado Ligero; para costos de 20–39, el esfuerzo es Moderado, y es Vigoroso para valores superiores a 39.

Estimación de la Carga de Trabajo

Proponemos dos maneras de estimar la carga de trabajo; la primera basada en la intensidad de los movimientos relacionados con la actividad y la segunda basada en la frecuencia cardiaca derivada del esfuerzo realizado durante la actividad. La intensidad de los movimientos es medida en METs, lo cual representa el consumo de energía, y su valor en METs depende en donde es colocado el sensor de movimientos en el cuerpo y el tipo de actividad desarrollada; mientras que el CCR no siempre tiene una relación lineal con la intensidad de los movimientos (por ejemplo, cuando la actividad implica cargar objetos pesados).

En nuestra propuesta, primero comparamos los valores del VMA (para cada posición del sensor en el cuerpo), y seleccionamos el mayor. El valor seleccionado fue convertido a METs y etiquetado conforme con [29] (un gasto energético inferior a 1.5 METs es etiquetado como sedentario; de 1.5–3.99 METs es ligero; entre 4 y 6.99 es moderado; y para valores de 7 METs o superiores es vigoroso). También el CCR es etiquetado en tres niveles agrupados, como se muestra en la Tabla 3.2. Finalmente, las etiquetas para los movimientos y la frecuencia cardiaca son comparados, y elegimos aquella que

mejor represente la carga de trabajo.

Por ejemplo, en el caso de que una actividad (apilar sillas) tenga una intensidad de movimientos etiquetada como “ligera” y un CCR etiquetado como “moderado”, se selecciona la etiqueta del CCR, ya que ésta es la que mejor representa la carga de trabajo (el corazón es considerado mejor indicador según ISO 8996). En el caso de una actividad (barrer) que tenga una intensidad de movimiento etiquetada como ligera y un CCR etiquetado como ligero, la etiqueta correspondiente a los movimientos es seleccionada, ya que es la que mejor representa la carga de trabajo.

Estimación del estrés por calor

La estimación del estrés por calor se hace considerando los niveles establecidos en la normativa ISO 7243, pero usando los niveles de carga de trabajo obtenidos a partir de los datos capturados por nuestros sensores y procesados en el dispositivo móvil, en vez del uso de tablas genéricas que ofrece la normativa. La finalidad del proceso anterior es ofrecer estimaciones personalizadas y en tiempo real. También usamos los valores ambientales capturados por los sensores de temperatura y humedad del smartphone.

Método para la aproximación al Termómetro de Globo y Bulbo Húmedo (TGBH)

ISO 7243 recomienda un termómetro especializado muy costoso, llamado Termómetro de Globo y Bulbo Húmedo (WBGT del inglés *Wet Bulb Globe thermometer*) para la captura de los valores ambientales; sin embargo, como una opción práctica y económica, nosotros usamos una fórmula de aproximación al Termómetro de Globo y Bulbo Húmedo (TGBH), la cual fue desarrollada por la Oficina Australiana de Meteorología (*Australian Bureau of Meteorology*) [57], y a cuyo resultado nosotros llamamos $TGBH_A$, en donde se coloca el subíndice A para indicar que se trata de una aproximación. La fórmula de aproximación toma como base las lecturas ofrecidas por termómetros convencionales, tales como los contenidos en el smartphone, para medir la temperatura del aire (ambiental) y se aplica la fórmula simplificada (3.7) [58]:

$$TGBH_A = 0.567 * T_a + 0.393 * e + 3.94 \quad (3.7)$$

donde:

T_a = Temperatura del aire (°C) y e = presión de vapor del agua (hPa) (humedad).

La presión de vapor puede ser calculada a partir de la temperatura y la humedad relativa empleando la Ecuación (3.8):

$$e = \frac{rh}{100} * 6.105 * \exp\left(\frac{17.27 * T_a}{237.7 + T_a}\right) \quad (3.8)$$

donde:

rh = Humedad relativa (%).

3.3. MÉTODO DE ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE ESTRÉS POR CALOR

La aproximación usada por la Oficina Australiana de Meteorología no toma en cuenta las variaciones en la intensidad de la radiación solar o la velocidad del viento y asume hasta un nivel de radiación solar moderada alta en condiciones de viento ligero [57].

El uso de esta aproximación puede dar lugar a estimaciones incorrectas del estrés por calor, particularmente en condiciones de alta nubosidad o con mucho viento. Bajo estas condiciones, es probable que la aproximación sobre estime el estrés. La aproximación también puede ocasionar una sobre estimación durante la noche o cuando el sol se encuentra debajo del horizonte.

Para los escenarios donde se desarrollaron los experimentos, esto no representa un problema ya que se trata de un clima muy cálido.

Aunque la aproximación de la Oficina Australiana de Meteorología no es precisa bajo ciertas condiciones [57], ésta representa una opción efectiva, económica y fácil para obtener el índice del TGBH, ya que no se requiere de equipo especializado costoso, tal como se considera en la normativa ISO.

Estrés por calor y alarma

Empleamos la Tabla 3.3 (de ISO 7243) como referencia para determinar cuando un trabajador se encuentra bajo estrés por calor.

Regimen de trabajo-descanso	Carga de trabajo		
	Ligero	Moderado	Vigoroso
Trabajar de forma continua	30.0°C	26.7°C	25.0°C
75 % trabajar + 25 % descansar; por cada hora	30.6°C	28.0°C	25.9°C
50 % trabajar + 50 % descansar; por cada hora	31.4°C	29.4°C	27.9°C
25 % trabajar + 75 % descansar; por cada hora	32.2°C	31.1°C	30.0°C

Tabla 3.3: Temperaturas TGBH limite (°C) de acuerdo a la carga de trabajo.

A partir de la carga de trabajo y el valor del TGBH_A, el sistema puede mostrar cada minuto al usuario, si se encuentra bajo estrés por calor. Para determinar el nivel de estrés por calor, tomamos la etiqueta que implique mayor intensidad de esfuerzo entre la de movimientos-consumo energético y la de costo cardiaco relativo. Entonces, con base en la tabla ISO (Tabla 3.3) se establece si una persona se encuentra en estrés por calor. La persona es advertida de su condición de estrés y se le hace saber el régimen de trabajo-descanso que se debe aplicar por cada hora conforme a la recomendación de la normativa ISO.

En nuestra propuesta, la estimación personalizada de los niveles de carga de trabajo representa la diferencia vital respecto a la apreciación visual o el uso de tablas genéricas (tipo de oficio) que ofrece la normativa. La estimación personalizada conduce a obtener también una estimación de estrés por calor personalizada. Por ejemplo, dos trabajadores en las mismas condiciones ambientales y efectuando la misma actividad física pueden diferir los resultados de la estimación de carga de trabajo, llevando a diferentes valores en la estimación de estrés por calor.

Aparte de medir el nivel de estrés por calor, la solución concebida también incluye características reactivas, puesto que alerta al usuario cuando se tiene un cierto nivel de estrés por calor y alerta también al supervisor del trabajador, cuando se mantiene el nivel de estrés por calor por un periodo

de tiempo.

3.4. Proceso de monitoreo continuo

La propuesta de proceso de monitoreo del ECAL se muestra en la Figura 3.6.

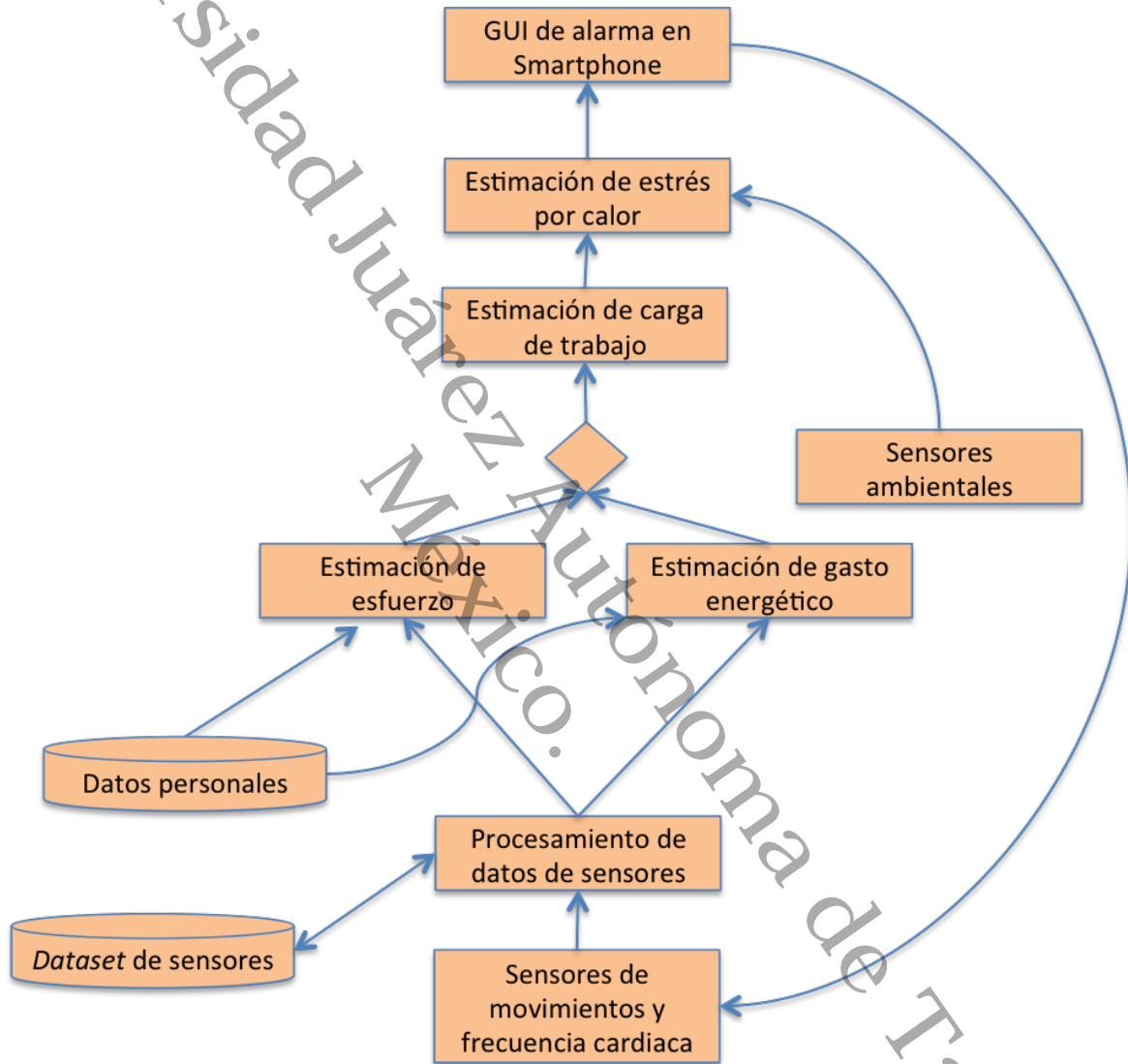


Figura 3.6: Proceso de Monitoreo Continuo.

Capturamos la identificación y características (edad, sexo, altura y peso) del trabajador usando la interfaz gráfica del prototipo. También capturamos el valor de frecuencia cardiaca en reposo (FCR) y la frecuencia cardiaca máxima teórica (FCMT) personal. Los datos capturados son almacenados en una base de datos para ser recuperados cuando se necesite.

Está demostrado que los acelerómetros y sensores de frecuencia cardiaca pueden ser usados para estimar el consumo energético [45]. Los valores de los ejes (x, y, z) son capturados en tiempo real

durante la ejecución de las actividades físicas usando el acelerómetro del smartphone. El VMA es obtenido a partir de los valores de los ejes medidos por los sensores, colocados en la cadera y en la muñeca, usando la ecuación (3.1). Se elige el valor más grande de VMA por minuto porque es el que mejor representa la intensidad del movimiento relacionado con la actividad. Al valor seleccionado se le obtiene su correspondencia en METs usando la ecuación (4.1) obtenida en el paso de calibración del acelerómetro del smartphone, y luego se hace la correspondencia de METs hacia nivel de carga de trabajo de acuerdo a la propuesta de [29].

Sin embargo, hay actividades físicas que tienen poca intensidad de movimientos, pero no necesariamente un menor esfuerzo. Por lo que proponemos usar el sensor de frecuencia cardiaca para incluir este tipo de actividades. Capturamos la frecuencia cardiaca en tiempo real usando el sensor y aplicamos los valores de FCR y FCMT a las ecuaciones (3.4) y (3.5), con lo que se obtiene el costo cardiaco relativo (CCR). El valor de CCR es usado para determinar unos de los niveles de carga de trabajo (ligero, moderado o vigoroso) usando la Tabla 3.2.

Después de eso, una vez teniendo dos etiquetas catalogan el nivel de carga de trabajo, la primera empleando la intensidad de los movimientos (VMA-METs) y la segunda la frecuencia cardiaca (CCR), se elige la etiqueta que represente de mejor manera la intensidad del esfuerzo físico. Para conocer si el trabajador se encuentra bajo estrés por calor, se toman los valores del sensor de temperatura y humedad relativa del smartphone y se aplica la ecuación (3.7) para obtener el índice del TGBH. Si se quiere evitar la posible alteración de las lecturas de los sensores de temperatura y humedad del smartphone debido a la cercanía del teléfono con el calor corporal del trabajador, entonces otro dispositivo puede ser colocado en la pared y obtener a partir de éste los valores de temperatura y humedad ambientales. Como paso siguiente se ubica en la Tabla 3.3 tanto el valor de TGBH_A correspondiente como la carga de trabajo estimada para determinar la condición del trabajador (ECAL estimado). Si el trabajador se encuentra bajo estrés, se envía el mensaje de alerta correspondiente. Luego, reinicia el proceso.

3.5. Resumen del capítulo

El capítulo incluye la arquitectura funcional propuesta que sirve como referencia para definir los elementos de operatividad que deben considerarse en un sistema de trabajo asistido por el ambiente con características de personalización. Asimismo, se mostró el método genérico para la adquisición de datos, su procesamiento y el ofrecimiento de resultados. Luego se describieron a detalle cada uno de los métodos y fórmulas propuestas para la estimación y control del estrés por calor en ambientes laborales; los métodos y cálculos empleados se encuentran plenamente aceptados en el dominio de la ergonomía y nutrición. El proceso que se sigue para el cálculo del ECAL considera tanto la estimación del consumo energético debido a los movimientos registrados por el acelerómetro como la estimación de esfuerzo derivada del monitoreo de la frecuencia cardiaca; de esta manera al fusionar dos técnicas conocidas se busca mayor objetividad en las estimaciones. Se concluye el capítulo con la explicación del proceso de monitoreo continuo que permite la estimación y control personalizado del ECAL.

Capítulo 4

Experimentación

En este capítulo se presentan el protocolo de experimentación que fue seguido para obtener los resultados; así como las características de los usuarios que realizaron los experimentos y los materiales empleados en el caso de uso, tanto físicos (equipos y dispositivos) como lógicos (software del prototipo).

4.1. Protocolo de experimentación

En el diseño de un experimento es necesario definir las variables de entrada y la salida que se espera. La Figura 4.1 muestra los dos tipos de variables que intervienen en un experimento y la salida que producen estas variables a partir del experimento.

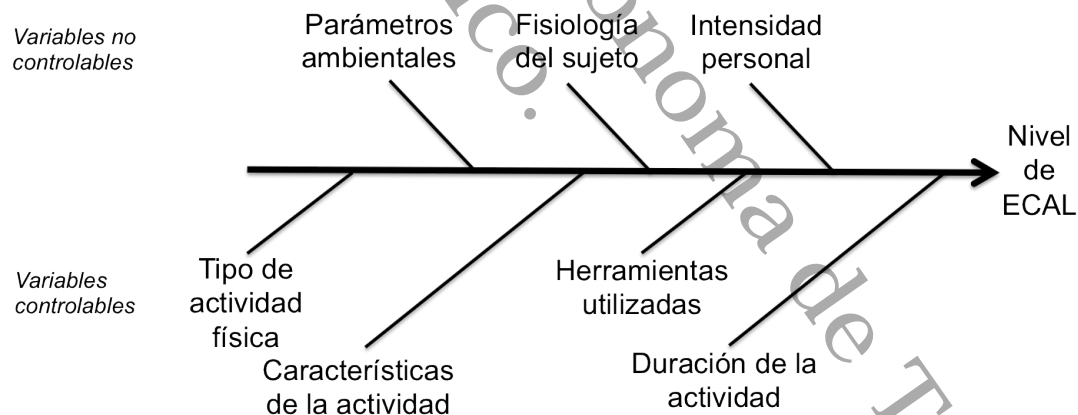


Figura 4.1: Variables controlables y no controlables del proceso de monitoreo continuo.

Las variables controlables son las que se listan a continuación:

1. Tipo de actividad física a realizar. Se definieron tres actividades que de modo habitual realiza el personal del área de intendencia.
2. Características de la actividad. La caracterización del área geográfica a barrer, ventanas a limpiar y tipo de sillas a apilar. Escenarios (pasillo, ventanas de aulas, laboratorio de cómputo).

4.1. PROTOCOLO DE EXPERIMENTACIÓN

3. Herramientas utilizadas. Se definió el tipo de herramientas a utilizar (escoba de mijo y trapo húmedo).
4. Duración de la actividad. Al menos un minuto de actividad. Rangos en múltiplos de un minuto.

Las variables no controlables fueron las siguientes:

1. Parámetros ambientales. Esto comprende la temperatura y humedad, el nivel de radiación solar, la velocidad del viento, etc.
2. Los parámetros fisiológicos de los usuarios. En los que se incluyen sexo, peso, edad y estatura.
3. Intensidad personal. Se refiere a la eficiencia o toque personal que el sujeto aplica a la actividad, y que puede derivarse de estados de ánimo o la misma personalidad del individuo.

El resultado de salida que ofrece el proceso de monitoreo continuo del estrés por calor es el nivel de ECAL.

El protocolo de experimentación se detalla a continuación:

- Se les explicó a los usuarios participantes en que consistía el estudio y los objetivos que se buscaban. Se les garantizó la preservación de los datos personales conforme a la legislación mexicana en la materia, los cuales además estarían almacenados en un sitio seguro privado con mecanismos de contraseña. Adicionalmente, al exponer los resultados del estudio, las personas serían identificadas mediante una clave (por ejemplo, Trbjdr1, Tbjdr2, etc.), de tal manera que quienes tuvieran acceso a los resultados no conocerían la identidad del participante. Se les aclaró que en ningún momento su integridad física debía estar en peligro alguno y que ante cualquier duda podían preguntar de inmediato. Asimismo, que si alguno de ellos no deseaba continuar en la ejecución de los experimentos podía detenerse y abandonar el proceso.
- Cada uno de los participantes fue conducido al área de servicios médicos del lugar para que fuesen tomados sus signos vitales (frecuencia cardiaca en reposo, presión arterial) y el médico hiciera una revisión de estado de salud en general. El médico tomó los generales de cada participante (sexo, peso, talla, estatura). Lo anterior sirvió para capturar los datos de cada participante en el sistema. La revisión del estado de salud tenía como finalidad que sólo participaran aquellas que no contaran con alguna afección de salud durante la ejecución de los experimentos.
- Fueron definidas tres actividades físicas laborales que los participantes realizarían. Dichas actividades son las que se describen en la Tabla 4.1.
- El smartphone fue colocado tanto en la cadera como en la muñeca del participante, ya que dependiendo de la actividad a ser medida, un sitio u otro resulta más idóneo. Aunque la medición simultánea en ambas ubicaciones (dos sensores de movimientos, uno en la cadera y otro en la muñeca) puede mejorar los resultados, lo cual no necesariamente justifica el incremento en los costos.
- El monitor de frecuencia cardiaca fue colocado en el pecho de los participantes.
- Las actividades laborales fueron ejecutadas en el orden que se muestran en la Tabla 4.1. Se dejaba un tiempo de descanso y reposo por parte de los participantes de al menos 15 minutos para garantizar que la frecuencia cardiaca no se encontrara elevada debido a una actividad física reciente.

CAPÍTULO 4. EXPERIMENTACIÓN

Actividad	Descripción
Barrer el piso	Utilizando una escoba de mijo convencional con un peso aproximado de un kilogramo. El espacio a barrer fue un pasillo con una longitud de 42 metros y una amplitud de 50 centímetros. En el espacio a limpiar no había objetos que obstruyeran y la basura consistía en polvo propio de los espacios exteriores. Esta actividad fue realizada en pasillos externos a las aulas de clases, el área se encuentra techada, por lo que fue a la sombra.
Limpiar ventanas	Limpiar ventanas de vidrio con dimensiones de 110 x 90 centímetros. La limpieza se hizo con movimientos de arriba hacia abajo y viceversa, empleando un trapo húmedo para la limpieza de las mismas. Si los participantes eran derechos portaban el trapo en la mano diestra y en la mano izquierda el atomizador con líquido para limpiar ventanas de vidrio. Si eran zurdos se invertían los objetos. Esta actividad se realizó en pasillos techados.
Apilar sillas	El apilamiento se hizo con sillas de oficina sin reposa brazos con estructura de fierro con un peso de siete kilogramos aproximadamente. Durante la actividad formaban varias pilas, cada pila consistió de 8 sillas. La actividad fue realizada en pasillos a la sombra.

Tabla 4.1: Actividades de los experimentos.

- La aplicación de monitoreo residente en el smartphone era ejecutada al momento que el participante iniciaba la actividad.
- El participante debía realizar la actividad por un periodo mínimo de 3 a 4 minutos para garantizar que se reflejara de manera adecuada tanto en el acelerómetro como en el sensor de frecuencia cardiaca los esfuerzos propios de la actividad.

El periodo de ejecución de las pruebas fue de marzo a mayo de 2015, y como se ha dicho, las actividades laborales evaluadas fueron barrer pisos, limpiar ventanas de vidrio y apilar sillas. Las mediciones fueron tomadas en espacios exteriores a la sombra del sitio de trabajo y a distintas horas del día para considerar la temperatura y humedad ambientales, en diferentes momentos de la jornada laboral. Los experimentos se efectuaron en la mañana (con temperaturas cercanas a los 26°C) y al mediodía (con temperaturas cercanas a los 36°C); esto es porque en el sitio de trabajo (clima tropical), hay un incremento en la temperatura de hasta 10 grados durante la jornada de trabajo. Los valores de la humedad relativa estuvieron cercanos al 70 %. Así, se tuvieron diferentes situaciones de estrés por calor.

En las Figuras 4.2, 4.3, 4.4 se ilustran los escenarios de trabajo correspondientes a las actividades desarrolladas por los trabajadores.



Figura 4.2: Actividad de barrer



Figura 4.3: Actividad de limpiar ventanas de vidrio



Figura 4.4: Actividad de apilar sillas

4.2. Usuarios participantes

El reclutamiento de los participantes fue iniciado en diciembre de 2014 con la finalidad de tener una muestra conveniente de al menos 20 voluntarios (hombres y mujeres). El método de reclutamiento fue el siguiente: Se envió una carta a la autoridad de la División Académica de Informática y Sistemas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco en donde se mencionaba el objetivo del estudio y se invitaba a que participaran los trabajadores con actividades de intendencia. Se garantizaba la protección de datos personales conforme a la legislación mexicana.

Los datos de las características de los participantes fueron tomados de enero a mayo de 2015. Todos los participantes eran saludables, en el sentido de que no estaban diagnosticados con daños musculoesqueléticos ni enfermedad que los limitara a realizar actividades físicas del tipo a ser evaluadas.

La fase de experimentación fue realizada con 20 trabajadores (once hombres y nueve mujeres). El rango de edad de los trabajadores fue entre 22 y 51 años. Estuvieron portando ropa ligera, lo cual significa que la ropa no fue un factor que debiera ser incluido en los cálculos, en caso contrario, las implicaciones del tipo de ropa debería ser considerado en las fórmulas. Las características descriptivas de los trabajadores participantes se muestran en la Tabla 4.2.

4.3. Materiales

4.3.1. Equipos y dispositivos

En esta sección se muestran los equipos y dispositivos empleados en los experimentos realizados.

Participante	Sexo	Edad	Altura	Peso	IMC
Trbjdr1	Hombre	23	1.63	78.70	29.62
Trbjdr2	Mujer	23	1.55	52.80	21.98
Trbjdr3	Mujer	23	1.61	54.30	20.95
Trbjdr4	Hombre	22	1.69	70.60	24.72
Trbjdr5	Hombre	23	1.73	84.60	28.27
Trbjdr6	Hombre	23	1.69	57.20	20.03
Trbjdr7	Mujer	24	1.68	54.40	19.27
Trbjdr8	Mujer	33	1.63	83.00	31.24
Trbjdr9	Mujer	34	1.62	56.90	21.68
Trbjdr10	Hombre	25	1.70	82.20	28.44
Trbjdr11	Hombre	28	1.72	83.80	28.33
Trbjdr12	Hombre	27	1.74	73.80	24.38
Trbjdr13	Hombre	24	1.80	109.00	33.64
Trbjdr14	Mujer	28	1.58	73.30	29.36
Trbjdr15	Hombre	34	1.79	75.70	23.63
Trbjdr16	Mujer	36	1.62	63.90	24.35
Trbjdr17	Hombre	33	1.69	70.50	24.68
Trbjdr18	Mujer	22	1.62	69.00	26.29
Trbjdr19	Mujer	36	1.61	78.90	30.44
Trbjdr20	Hombre	51	1.72	68.40	23.12

Tabla 4.2: Características descriptivas de los participantes.

Los usuarios portaban un smartphone Samsung Galaxy S4 como el que se muestra en la Figura 4.5 y ajustándolo a la cadera con el cinturón elástico de la Figura 4.6, así como el monitor de frecuencia cardíaca de la Figura 4.7.



1

Figura 4.5: Smartphone Samsung Galaxy S4 octa-core chipset, 1.6-GHz Quad + 1.2 GHz Quad CPU.



Figura 4.6: Cinturón elástico con bolsa para smartphone.



Figura 4.7: Monitor de frecuencia cardiaca marca Zephyr con Bluetooth para Android y WindowsPhone 8.

Un ejemplo de usuario portando smartphone en brazo y monitor de frecuencia cardiaca en el pecho se puede apreciar en la Figura 4.8.



Figura 4.8: Usuario con smartphone en brazo y monitor cardiaco en pecho.

CAPÍTULO 4. EXPERIMENTACIÓN

Los equipos utilizados para verificar la precisión de los dispositivos que comprenden la propuesta son los que se muestran a continuación:

Se hizo uso de un baumanómetro para verificar que los valores de frecuencia cardiaca ofrecido por el monitor de ritmo cardiaco Zephyr fuesen precisos. El baumanómetro se muestra en la Figura 4.9. Adicionalmente fue empleado el reloj inteligente que se ilustra en la Figura 4.10 y el estetoscopio convencional que se ve en la Figura 4.11.



Figura 4.9: Baumanómetro marca Omron Modelo HEM-742INT.



Figura 4.10: Smartwatch marca Basis modelo B1.



Figura 4.11: Estetoscopio convencional.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Para confirmar la correctitud de las lecturas del sensor de temperatura y humedad ambientales marca Sensirion modelo SHTC1 en el smartphone Samsung S4 se empleó el termómetro que se muestra en la Figura 4.12.



Figura 4.12: Termómetro digital multifunción de temperatura ambiental y humedad relativa marca OBI modelo 292312.

Para validar las lecturas hechas por el acelerómetro de tres ejes marca STMicroelectronics modelo LSM 330 contenido en el smartphone Samsung Galaxy S4 se empleó el dispositivo GeneActiv con sensor de movimientos que se muestra en la Figura 4.13.



Figura 4.13: Smartwatch con sensor de movimientos marca GeneActiv.

Para que los usuarios realizaran su esfuerzo máximo y tomar la lectura de frecuencia cardiaca máxima teórica personalizada se empleo la caminadora eléctrica que se aprecia en la Figura 4.14.



Figura 4.14: Caminadora eléctrica ProForm 6.0 ZT Treadmill.

4.3.2. Prototipo

El prototipo desarrollado para la captura de perfiles de usuario, actividades y valores del contexto se encuentra basado en la arquitectura software específica que se muestra en la Figura 4.15. El propósito del prototipo es ilustrar la forma de monitorear el ECAL y generar la información y alarmas necesarias para la toma de decisiones de trabajadores y supervisores.

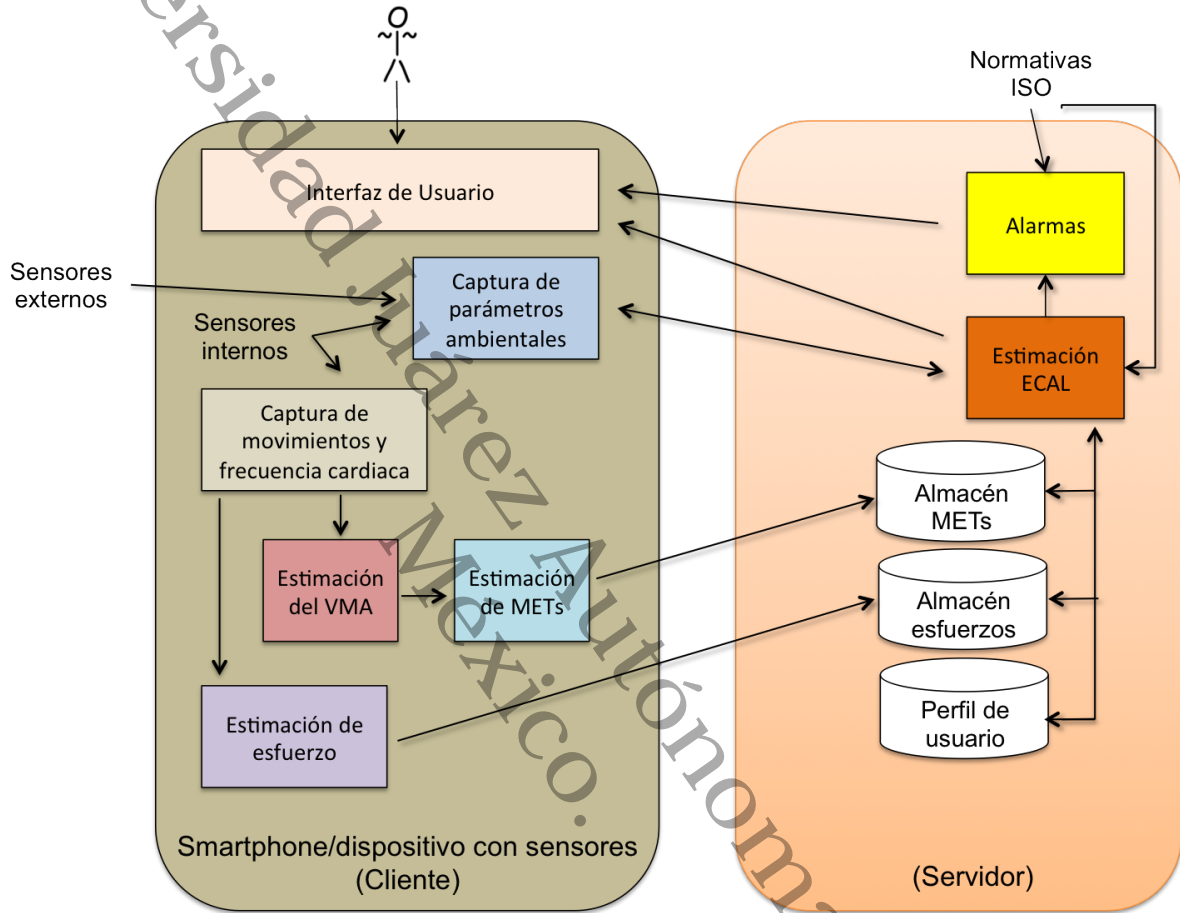


Figura 4.15: Arquitectura específica para el ECAL.

El sistema operativo del Samsung Galaxy S4 fue Android versión 4.2.2 (Jelly Bean), la aplicación en el smartphone para estimación y control fue desarrollada con el lenguaje Java 6.0 usando el Android Developer Tool (ADT) versión v22.3.0-887826. La API para la lectura de los valores de los sensores fue obtenida del código libre disponible en [53].

A continuación se muestran los diagramas de flujo de información para las principales funcionalidad del prototipo. El diagrama de flujo del registro, modificación y eliminación de datos particulares de los trabajadores se muestra en la Figura 4.16.

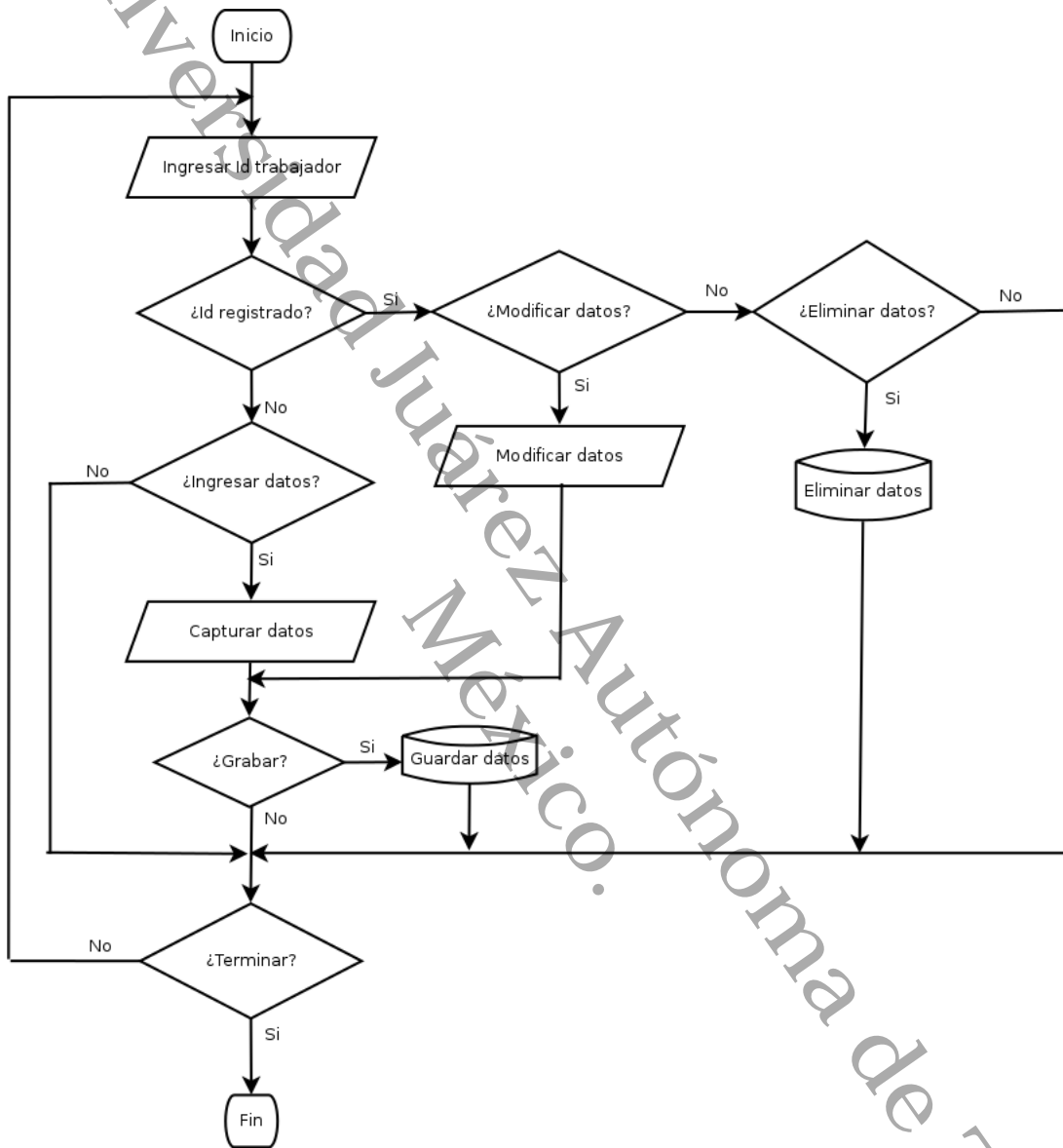
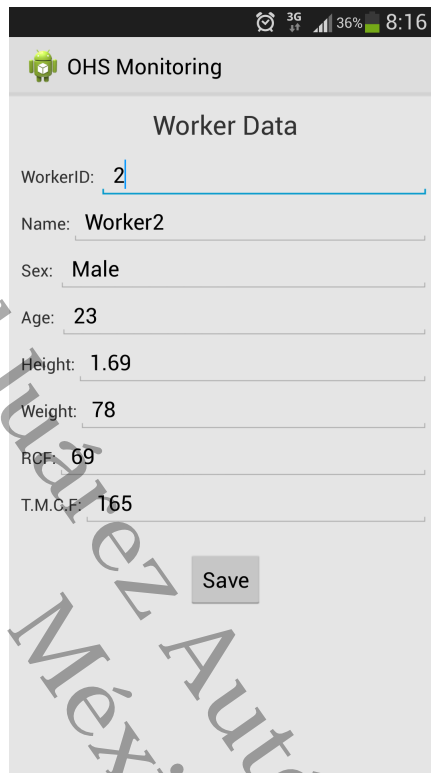


Figura 4.16: Registro, modificación y eliminación de datos del trabajador.

El software cuenta con un modulo de captura de identidad y datos personales del usuario. En la Figura 4.17 se aprecia la interfaz para la captura de datos personales del trabajador y en general aquellos datos específicos que son empleados para personalizar las estimaciones del ECAL para dicho usuario.



The screenshot shows a mobile application interface titled "OHS Monitoring" with a sub-header "Worker Data". The form contains the following fields and values:

Field	Value
WorkerID:	2
Name:	Worker2
Sex:	Male
Age:	23
Height:	1.69
Weight:	78
RCF:	69
T.M.C.F:	165

A "Save" button is located at the bottom of the form.

Figura 4.17: Captura de los datos del trabajador.

El diagrama de flujo de la información cuando la carga de trabajo estimada es ligera se muestra en la Figura 4.18.

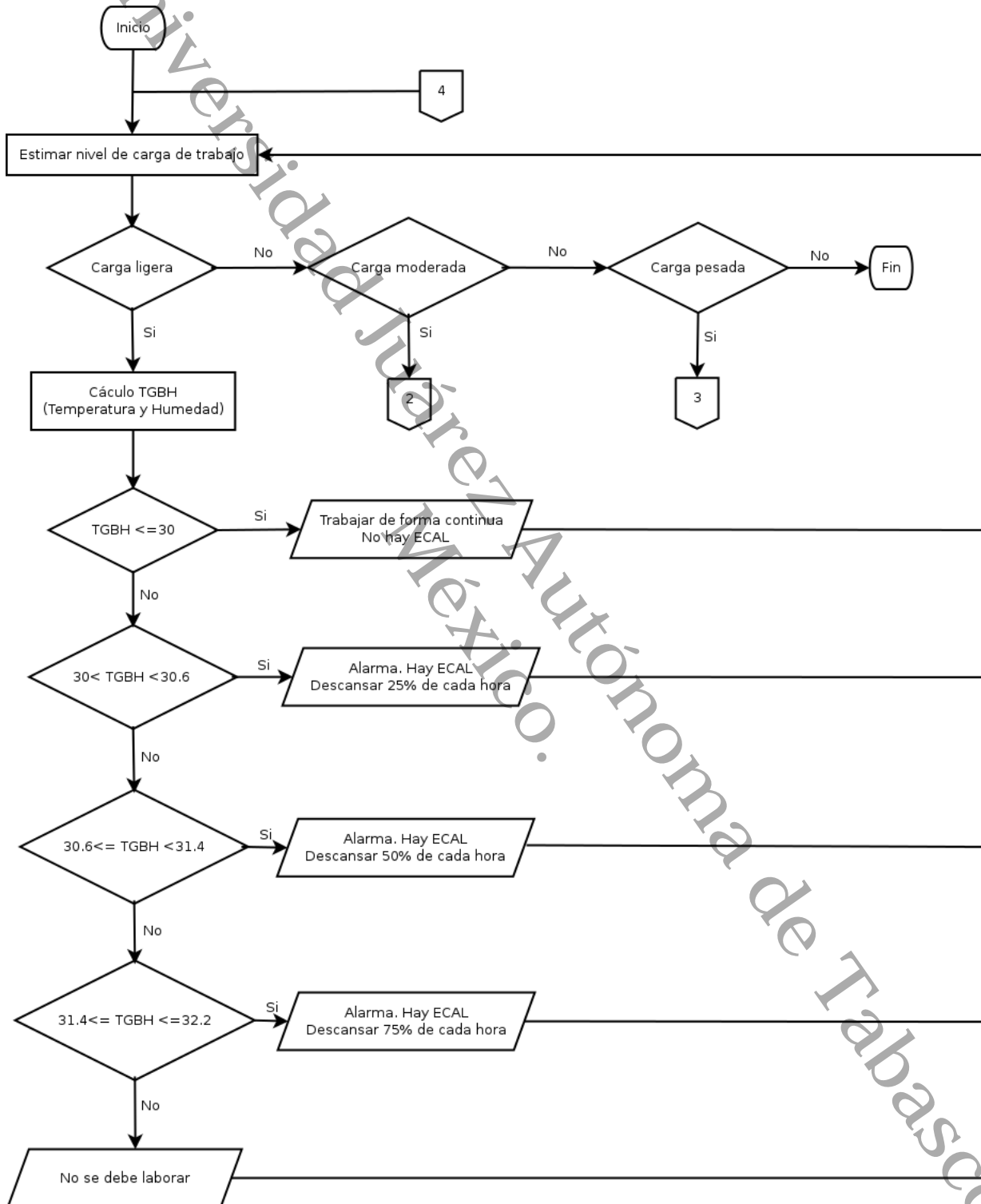


Figura 4.18: Flujo de la información cuando la carga de trabajo es estimada como ligera.

CAPÍTULO 4. EXPERIMENTACIÓN

El diagrama de flujo de la información cuando la carga de trabajo estimada es moderada se muestra en la Figura 4.19.

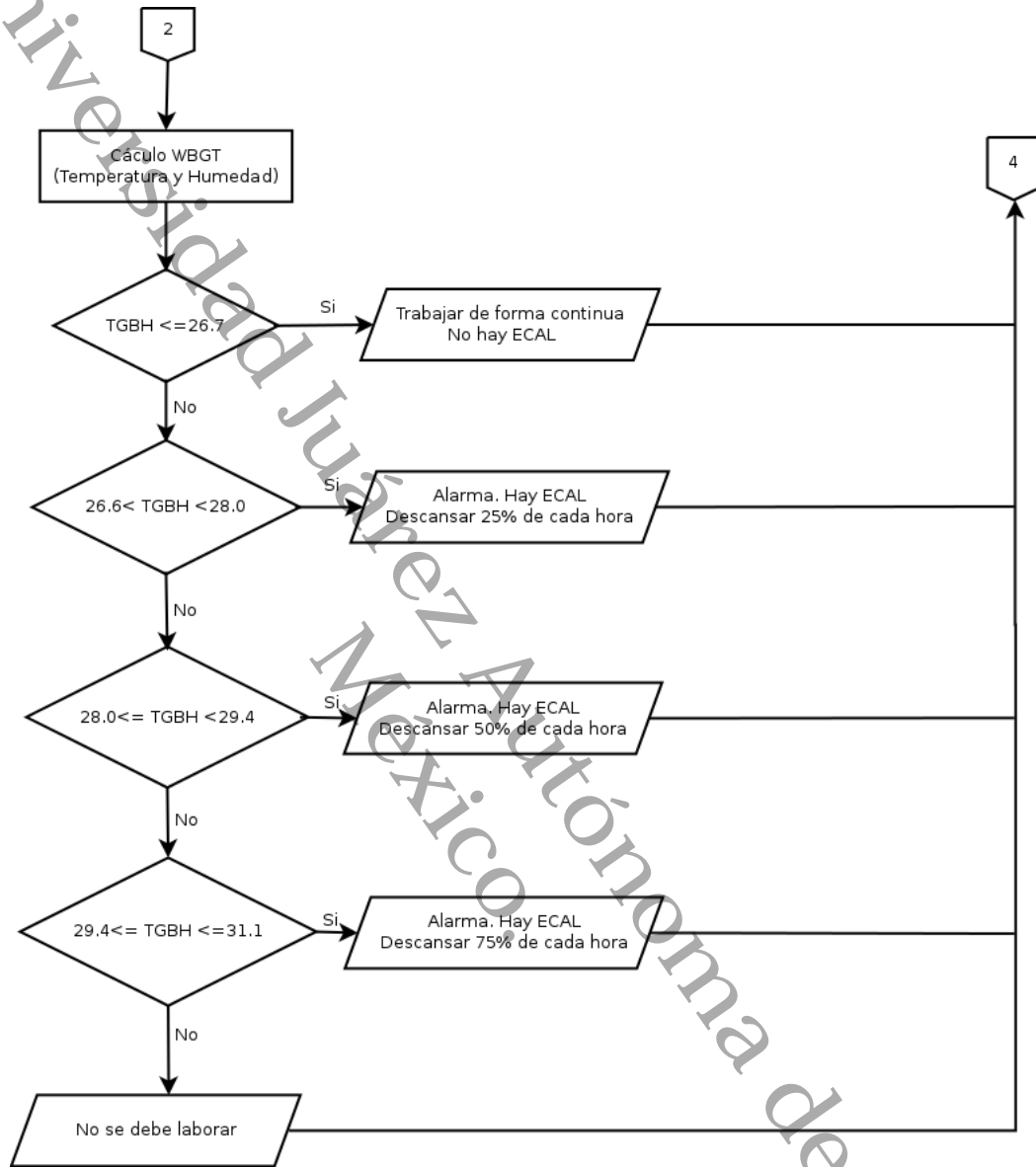


Figura 4.19: Flujo de la información cuando la carga de trabajo es estimada como moderada.

El diagrama de flujo de la información cuando la carga de trabajo estimada es vigorosa se muestra en la Figura 4.20.

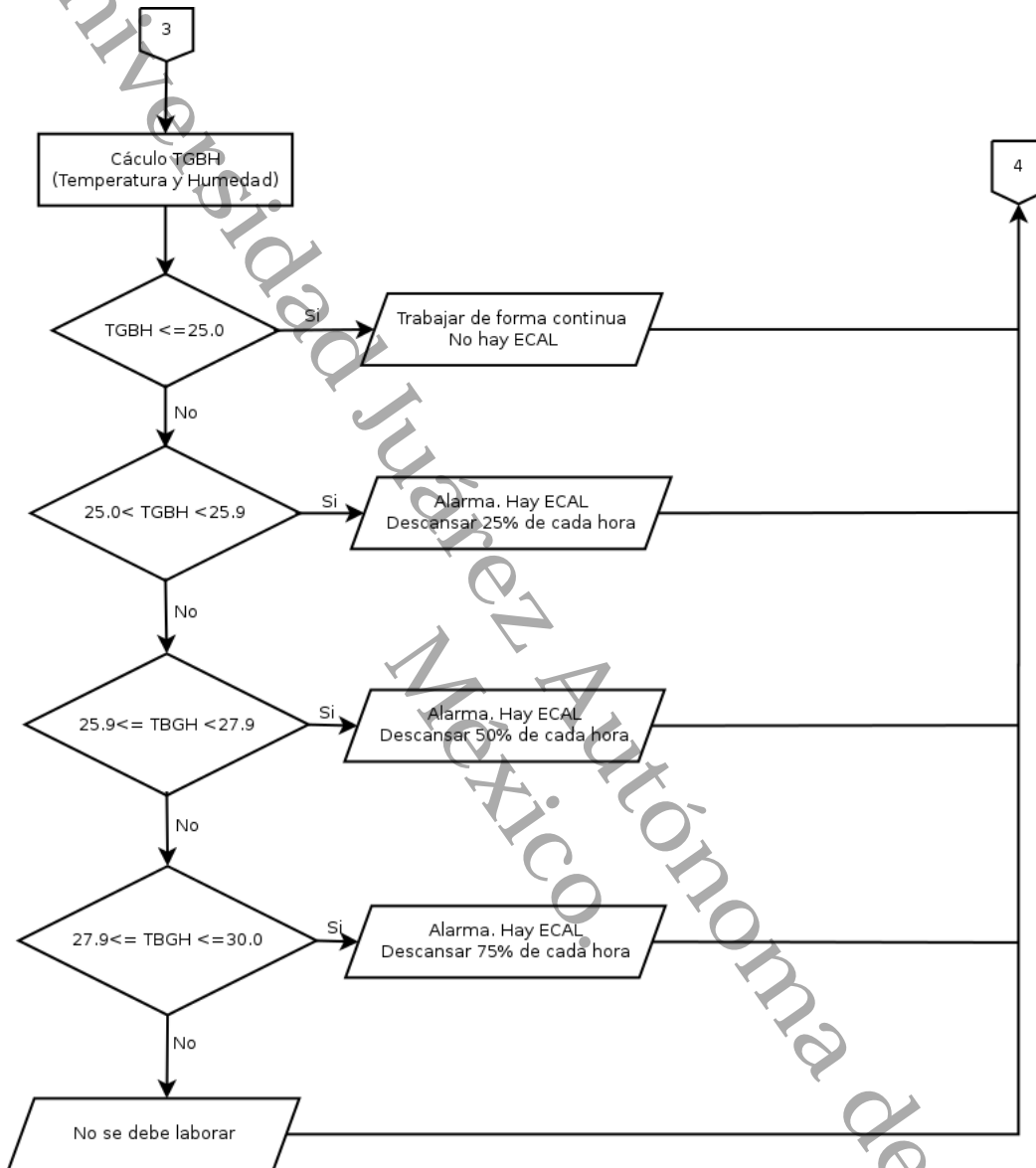


Figura 4.20: Flujo de la información cuando la carga de trabajo es estimada como vigorosa.

4.4. Calibración de equipos y dispositivos

En la etapa de calibración se comprobó la precisión del acelerómetro, sensores de temperatura ambiental y humedad relativa del smartphone Samsung S4; así como el monitor de frecuencia cardiaca marca Zephyr.

La fase de calibración tiene entre sus propósitos asegurar que los resultados de las mediciones realizadas con el sensor de movimientos del Samsung S4 sean iguales o muy similares a los resultados que se obtienen con un sensor de movimientos validado científicamente, llamado GeneActiv.

Por tanto, se desarrolla un proceso para conocer si existe alguna diferencia en los resultados de medición de los movimientos cuando se emplea el sensor de movimientos contenido en el Samsung S4 respecto a los resultados publicados en la literatura especializada utilizando el sensor de movimientos GeneActiv. Si existe diferencia entre lo obtenido y lo publicado, se procede a obtener la fórmula que permita un ajuste en los resultados ofrecidos por el Samsung S4 y por tanto una equivalencia respecto al sensor validado (GeneActiv).

Las características de los cuatro participantes en la fase de calibración se detallan en la Tabla 4.3.

Participantes	Sexo	Edad	Peso	Estatura	IMC
Participante1	Hombre	45	81.0	1.70	28.0
Participante2	Hombre	24	77.7	1.68	27.5
Participante3	Mujer	41	63.0	1.58	25.2
Participante4	Mujer	24	44.0	1.43	21.5

Tabla 4.3: Características de los participantes.

Como se puede apreciar en la Tabla 4.3, se tuvo un rango de edades de 24 a 45 años, un intervalo de pesos de 44 a 81 kilogramos y un intervalo de estaturas de 1.44 a 1.70 metros.

Para que el participante portara el smartphone Samsung S4 durante la actividad física, el dispositivo fue insertado en una bolsa adherida a un cinturón elástico (tipo deportivo para levantamiento de pesas) y colocado en forma ajustada a la cadera de los participantes. Algunos trabajos previos [31] han demostrado que la cadera es una posición ideal para medir la actividad física debido a su cercanía al centro de masa del cuerpo.

Las actividades físicas predefinidas para la calibración fueron caminar (3 km/h, 4 km/h y 5 km/h) y correr (6 km/h, 7 km/h y 8 km/h). Cada usuario tuvo un tiempo de descanso de al menos 6 minutos entre cada actividad física. Los usuarios habían tenido un desayuno ligero.

En la Figura 4.21 se puede apreciar a una participante durante la calibración.



Figura 4.21: Participante en el proceso de calibración.

Usamos MATLAB versión R2014a para analizar los valores obtenidos del acelerómetro durante la fase de calibración. Procesamos los datos con dos filtros digitales de respuesta infinita al impulso (emphInfinite Impulse Return): Butterworth y Chebyshev de tipo II. Obtuvimos mejores resultados con el filtro Chebyshev de tipo II. El filtro Chebyshev tipo II es de los llamados pasa bajo. Los datos obtenidos con este filtro fueron comparados contra aquellos mostrados en [29], resultando muy similares. Los sensores GeneActiv (antes llamados Genea) son ampliamente usados en investigaciones científicas.

En la Tabla 4.4, podemos apreciar los valores obtenidos durante la fase de calibración.

Dispositivo		Samsung S4 ($g \cdot \text{min}^{-1}$)		GeneActiv ($g \cdot \text{min}^{-1}$)	
Actividades	METs	Media	DesvEst	Media	DesvEst
Caminar 3 km/h	3.51	340.62	35.91	395	48
Caminar 4 km/h	3.88	559.77	13.52	586	10
Caminar 5 km/h	4.59	896.17	26.56	926	7.2
Correr 6 km/h	5.88	1,409.99	85.05	1,529	294
Correr 7 km/h	7.98	1,677.71	74.23	1,890	185
Correr 8 km/h	11.13	1,788.42	98.50	2,139	148

Tabla 4.4: Resultados de la calibración.

Se observó una relación lineal cuando se comparan los valores de aceleración obtenidos a partir del smartphone con respecto a resultados publicados [29]. Así, estimamos la relación entre GeneActiv y el Samsung S4 por medio de un método matemático de regresión lineal.

La relación que se tuvo entre GeneActiv y el Samsung Galaxy S4 se puede apreciar en la Figura 4.22.

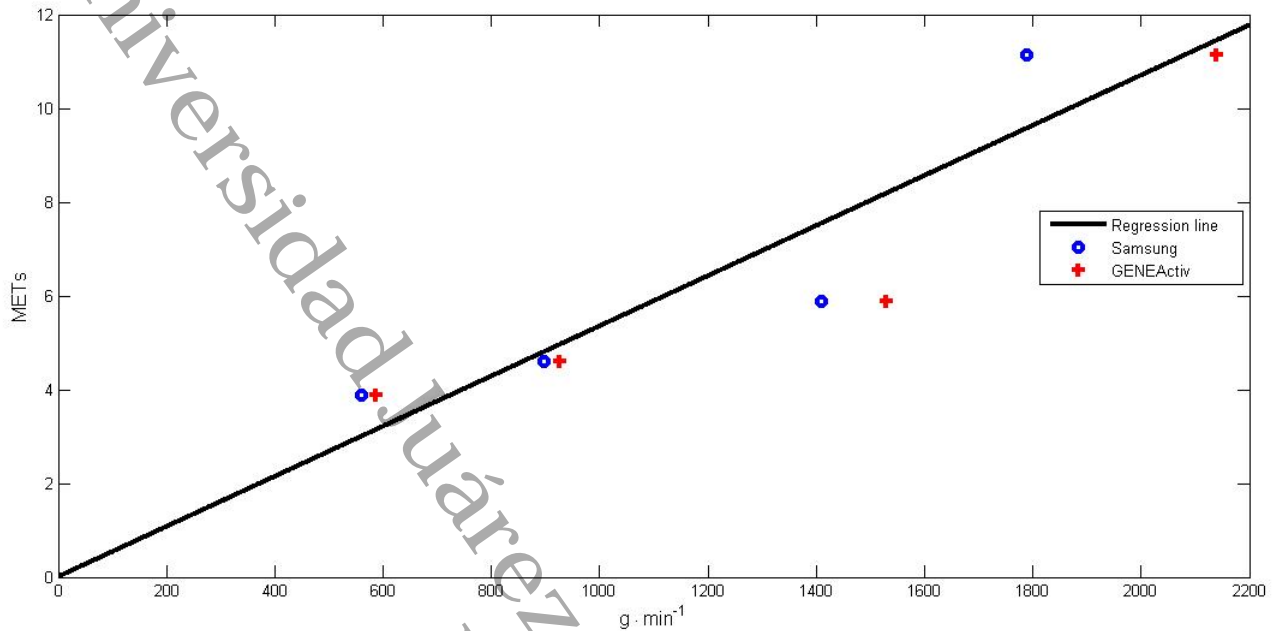


Figura 4.22: Relación entre GeneActiv y Samsung S4.

La ecuación (4.1) para estimar el valor en METs a partir de los datos del acelerómetro contenido en el Samsung S4 es:

$$MET = 0.005348 * VMA + 0.01402 \quad (4.1)$$

donde VMA = Vector de Magnitudes de Aceleración.

Al observar la Tabla 4.4 se tiene que, por ejemplo, cuando se monitoreó la actividad de caminar a 5 km/h, el promedio de aceleración obtenida fue de 896.17 g.min⁻¹; entonces, aplicamos una función de regresión y obtenemos un valor de 4.80 METs, el cual es similar al reportado en [29], en donde se usó un equipo especializado de calorimetría indirecta (consumo de oxígeno) para medir el consumo energético. Por tanto, corroboramos la correspondencia correcta en aceleración en (g.min⁻¹), entre el acelerómetro contenido en el equipo Samsung y el acelerómetro del GeneActiv.

El monitor de frecuencia cardiaca con comunicación inalámbrica Bluetooth marca Zephyr fue calibrado contra dos dispositivos, la banda Fitness B1 marca Basis y el baumanómetro, con función de medición de frecuencia cardiaca incluida, marca Omron. Adicionalmente, en algunos casos a modo de verificación se empleó un estetoscopio convencional.

La temperatura ambiental y la humedad relativa fueron tomadas empleando los sensores que, para tal propósito, incluye el smartphone Samsung, y los valores fueron comparados contra los ofrecidos por sensores externos (termómetro OBI). Lo anterior para conocer la sensibilidad del Samsung respecto al calor corporal y la humedad. En ninguno de los casos medidos la diferencia entre el valor de temperatura del sensor del Samsung y el termómetro OBI fue superior a 0.5 grados centígrados, por

tanto, se valida la precisión de los sensores de temperatura y humedad contenidos en el smartphone.

4.5. Resumen del capítulo

Se detalla cada uno de los pasos que integra el protocolo de experimentación, las características físicas (edad, sexo, peso, estatura) de los participantes. Los materiales utilizados para efectuar los experimentos y el proceso de calibración para verificar que los resultados ofrecidos por los dispositivos *wearables* fueran equivalentes a los obtenidos por equipos convencionales ya calibrados.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Capítulo 5

Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos al efectuar un grupo de experimentos que implementan la propuesta.

5.1. Resultados de los experimentos

Los resultados obtenidos con el acelerómetro del Samsung S4 para las tres actividades monitoreadas se muestran en la Tabla 5.1.

Trabajador Id	Barriendo		Limpiando ventanas		Apilando sillas	
	Cadera $g \cdot \text{min}^{-1}$	Muñeca $g \cdot \text{min}^{-1}$	Cadera $g \cdot \text{min}^{-1}$	Muñeca $g \cdot \text{min}^{-1}$	Cadera $g \cdot \text{min}^{-1}$	Muñeca $g \cdot \text{min}^{-1}$
Trbjdr1	100.72	752.89	87.52	966.85	344.31	378.15
Trbjdr2	185.61	772.69	67.14	1378.65	398.24	326.60
Trbjdr3	143.17	1018.01	87.52	1429.30	318.38	505.00
Trbjdr4	137.52	846.95	86.55	1179.88	355.01	440.49
Trbjdr5	143.68	667.08	109.41	1425.93	320.27	399.75
Trbjdr6	100.20	1226.44	88.94	1660.77	287.44	383.25
Trbjdr7	144.90	680.28	63.21	1414.77	343.95	432.67
Trbjdr8	136.20	1097.07	114.00	593.18	378.5	475.02
Trbjdr9	131.20	1103.00	97.30	1349.16	408.70	468.77
Trbjdr10	142.20	1089.27	110.90	1082.41	374.90	427.42
Trbjdr11	153.30	1390.34	127.90	1276.72	325.50	427.38
Trbjdr12	171.20	1139.57	150.30	1171.09	443.60	699.49
Trbjdr13	125.40	644.48	118.60	637.19	386.40	481.55
Trbjdr14	157.10	1152.40	111.60	917.22	343.00	322.44
Trbjdr15	149.20	754.28	127.00	840.23	373.80	618.88
Trbjdr16	126.50	857.95	94.40	1478.76	228.8	296.81
Trbjdr17	123.50	363.90	106.10	1084.99	248.00	425.73
Trbjdr18	127.80	455.33	111.60	661.99	253.30	305.07
Trbjdr19	140.40	1395.46	91.60	1262.46	309.10	435.08
Trbjdr20	160.80	1290.22	115.90	907.79	353.80	425.48

Tabla 5.1: Resultados obtenidos usando el acelerómetro contenido en el Samsung S4.

La Tabla 5.1 muestra los valores de la intensidad de los movimientos de los trabajadores para cada actividad, tanto para cuando se coloca el smartphone en la cadera como en la muñeca; los valores de aceleración para barrer y limpiar ventanas de vidrio reflejan una intensidad de movimientos más alta que la de apilar sillas; esto es porque apilar objetos pesados implica menor intensidad de movimientos, pero no necesariamente un menor esfuerzo.

La representación gráfica de los valores de aceleración registrados para la actividad de barrer un piso utilizando una escoba se puede ver en la Figura 5.1.

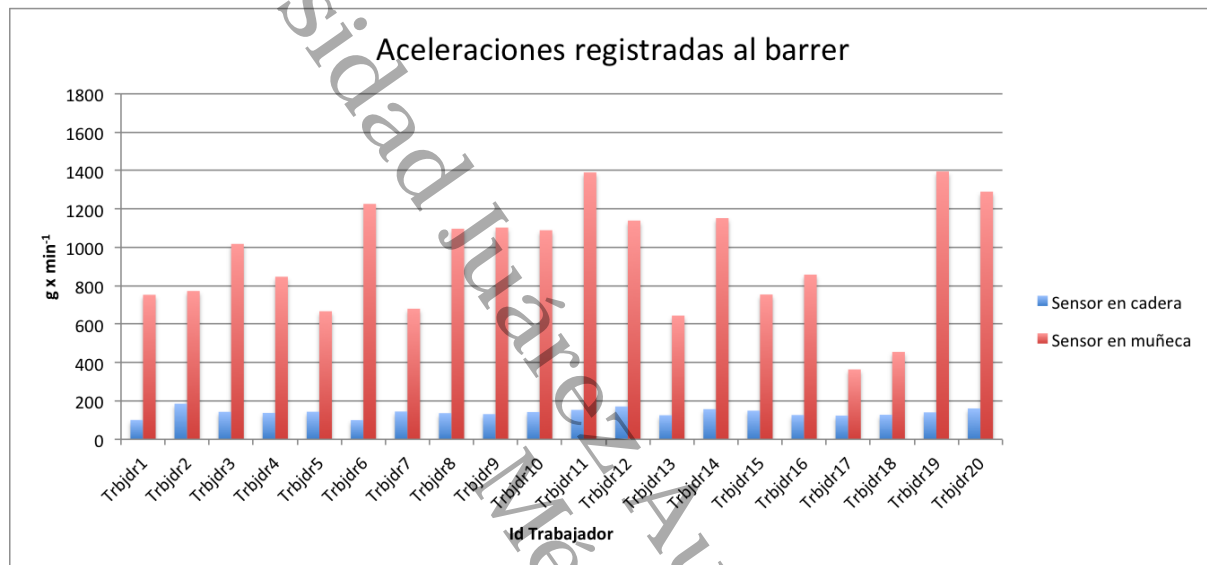


Figura 5.1: Gráfico de los niveles de aceleración registrados para cada participante para la actividad de barrer.

La gráfica de la aceleración obtenida durante la actividad de limpiar ventanas de vidrio con un trapo se puede apreciar en la Figura 5.2.

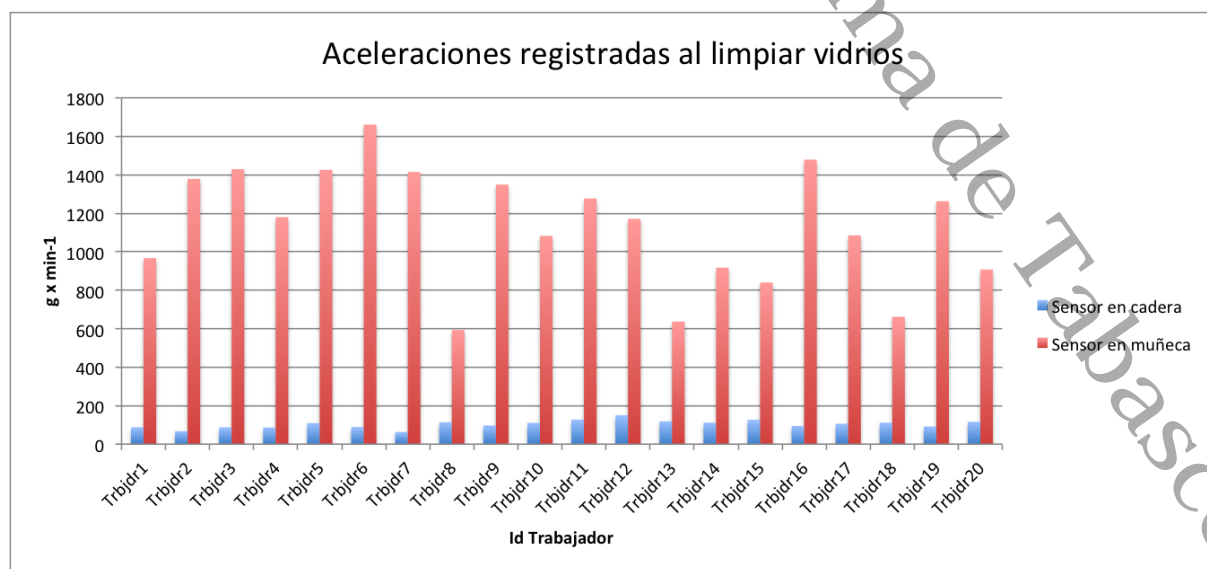


Figura 5.2: Gráfico de la aceleración obtenida de cada participante para la actividad de limpiar ventanas.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

La aceleración obtenida durante la actividad de apilar sillas pesadas se puede apreciar en la Figura 5.3.

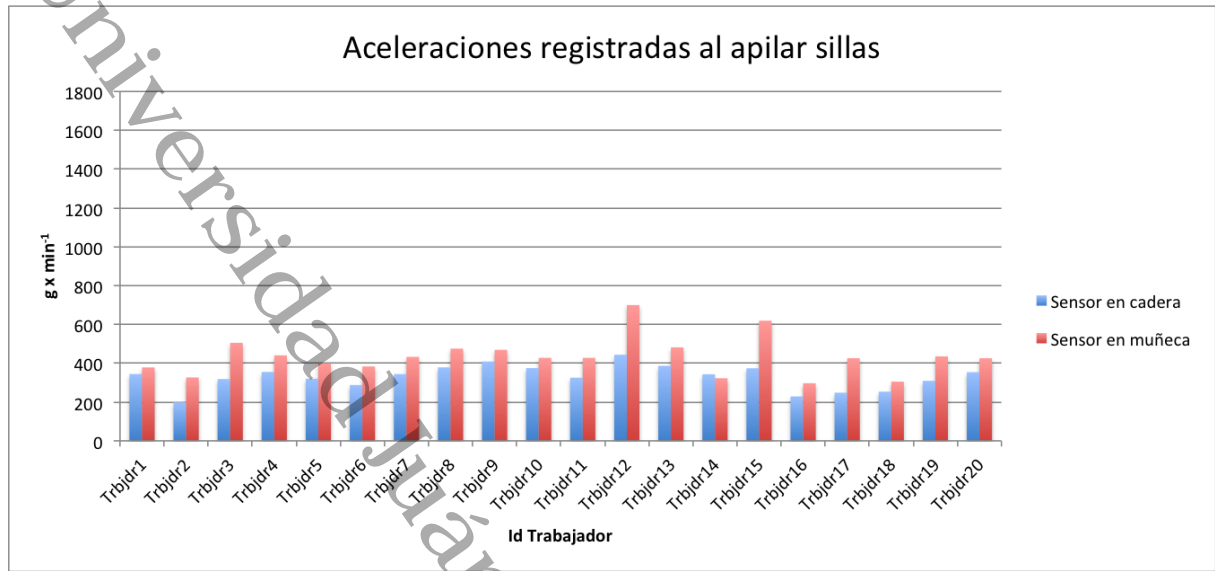


Figura 5.3: Gráfico de la aceleración obtenida de cada participante para la actividad de apilar sillas pesadas.

Los valores de movimientos listados en la Tabla 5.1 son utilizados para calcular la cantidad de METs y la carga de trabajo para cada participante. Para cada registro del par de columnas (cadera y muñeca) se selecciona el valor más grande en intensidad y se hace la conversión a METs y su correspondiente nivel de carga de trabajo. Los resultados los podemos ver en la Tabla 5.2.

Trabajador Id	Barriendo		Limpiando ventanas		Apilando sillas	
	METs	CrgTrbj	METs	CrgTrbj	METs	CrgTrbj
Trbjdr1	4.04	Moderado	5.18	Moderado	2.04	Ligero
Trbjdr2	4.15	Moderado	7.39	Vigoroso	2.14	Ligero
Trbjdr3	5.46	Moderado	7.66	Vigoroso	2.71	Ligero
Trbjdr4	4.54	Moderado	6.32	Moderado	2.37	Ligero
Trbjdr5	3.58	Ligero	7.64	Vigoroso	2.15	Ligero
Trbjdr6	6.57	Moderado	8.89	Vigoroso	2.06	Ligero
Trbjdr7	3.65	Ligero	7.58	Vigoroso	2.33	Ligero
Trbjdr8	5.88	Moderado	3.19	Ligero	2.55	Ligero
Trbjdr9	5.91	Moderado	7.23	Vigoroso	2.52	Ligero
Trbjdr10	5.84	Moderado	5.80	Moderado	2.30	Ligero
Trbjdr11	7.45	Vigoroso	6.84	Moderado	2.30	Ligero
Trbjdr12	6.11	Moderado	6.28	Moderado	3.75	Ligero
Trbjdr13	3.46	Ligero	3.42	Ligero	2.59	Ligero
Trbjdr14	6.18	Moderado	4.92	Moderado	1.74	Ligero
Trbjdr15	4.05	Moderado	4.51	Moderado	3.32	Ligero
Trbjdr16	4.60	Moderado	7.92	Vigoroso	1.60	Ligero
Trbjdr17	1.96	Ligero	5.82	Moderado	2.29	Ligero
Trbjdr18	2.45	Ligero	3.55	Ligero	1.65	Ligero
Trbjdr19	7.48	Vigoroso	6.77	Moderado	2.34	Ligero
Trbjdr20	6.91	Moderado	4.87	Moderado	2.29	Ligero

Tabla 5.2: Resultados en METs y su correspondiente carga de trabajo a partir de los valores más grandes seleccionados (Samsung S4)

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

La gráfica de los valores en cuanto a consumo en METs de los trabajadores para la actividad de barrer un piso utilizando una escoba se puede ver en la Figura 5.4.

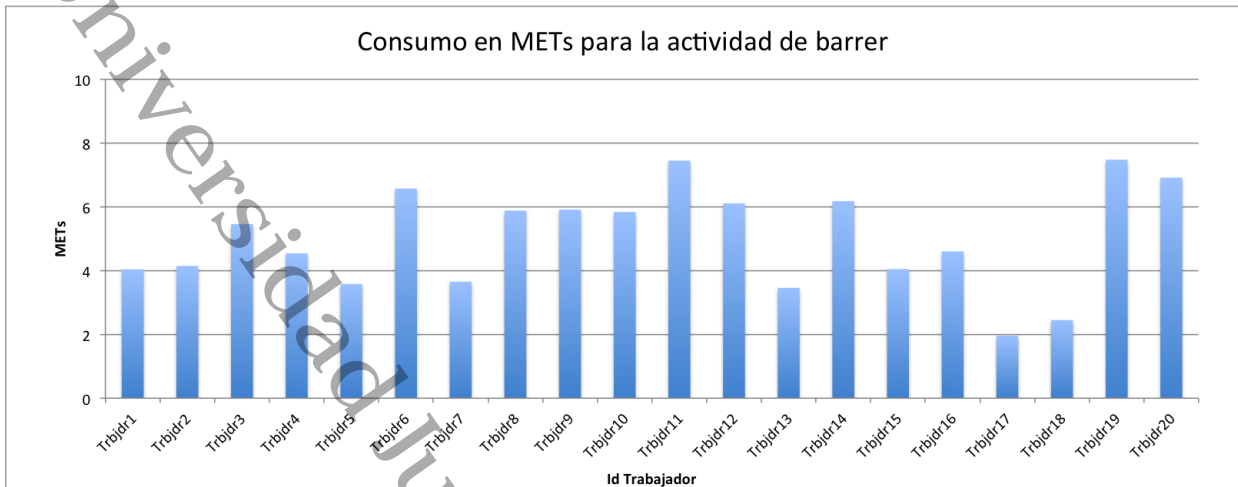


Figura 5.4: Gráfico del consumo en METs de cada participante para la actividad de barrer.

En la Figura 5.5 se encuentran graficados los valores en METs de los trabajadores para la actividad del limpiar vidrios empleando un trapo húmedo.

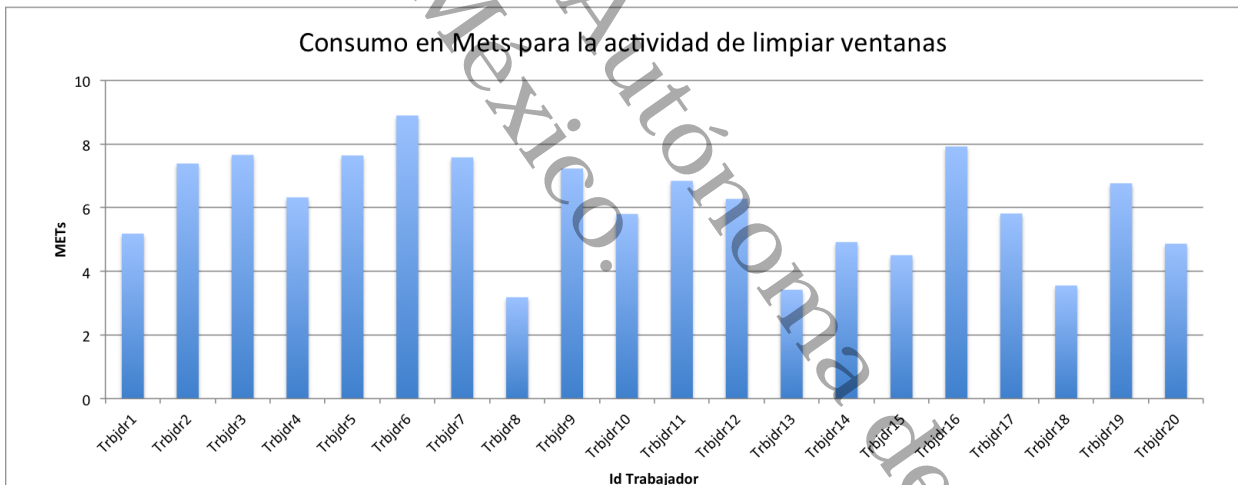


Figura 5.5: Gráfico del consumo en METs de cada participante para la actividad de limpiar vidrios.

Los valores en cuanto a consumo de METs de los trabajadores para la actividad de apilar sillas pesadas se puede ver en la Figura 5.6.

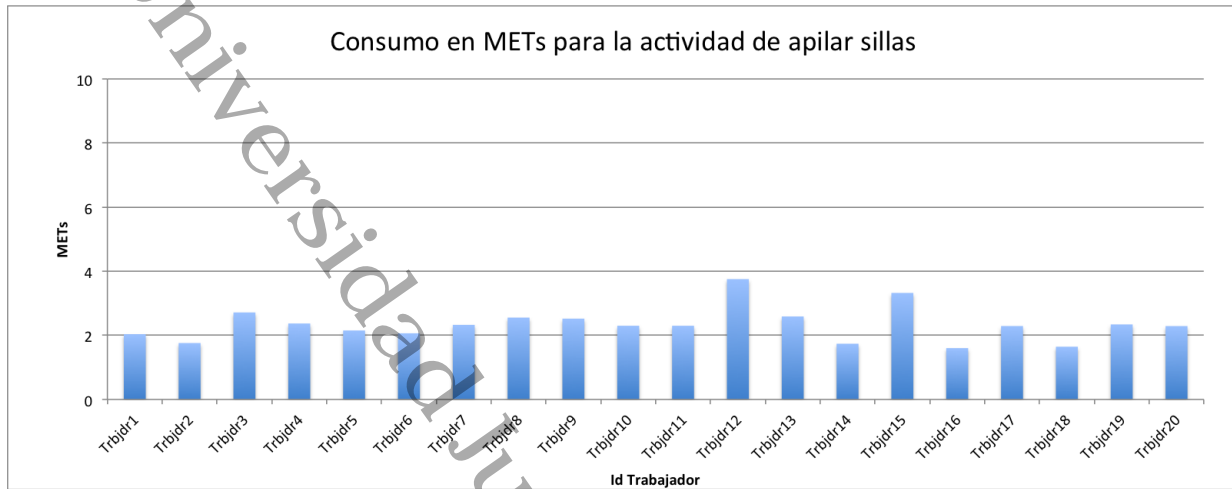


Figura 5.6: Gráfico del consumo en METs de cada participante para la actividad de apilar sillas.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

Como se muestra en la Tabla 5.3, la frecuencia cardiaca es un buen indicador del esfuerzo que involucra una actividad de trabajo. Y como se explicó en el Capítulo 3, los valores de frecuencia cardiaca sirven para estimar el Costo Cardiaco Relativo (CCR), que a su vez determinan el nivel de esfuerzo para cada trabajador. Podemos notar que los valores correspondientes a las actividades de barrer y limpiar ventanas son menores que aquellos que corresponden a apilar sillas. Asumimos que este comportamiento en la frecuencia cardiaca es debido al peso de los objetos que se apilan. Esta es la razón por la que, para definir el valor de la carga de trabajo final y su nivel de estrés por calor correspondiente (Tabla 5.4), hemos escogido de la Tabla 5.1, los valores para las actividades de barrer y limpiar ventanas, y de la Tabla 5.3, los valores para la actividad de apilado de sillas.

Trabajador Id	Barriendo		Limpiando ventanas		Apilando sillas	
	CCR	Nivel de esfuerzo	CCR	Nivel de esfuerzo	CCR	Nivel de esfuerzo
Trbjdr1	13	Ligero	12	Ligero	25	Moderado
Trbjdr2	16	Ligero	26	Moderado	41	Vigoroso
Trbjdr3	19	Ligero	9	Ligero	27	Moderado
Trbjdr4	10	Ligero	8	Ligero	18	Ligero
Trbjdr5	16	Ligero	6	Ligero	12	Ligero
Trbjdr6	9	Ligero	16	Ligero	18	Ligero
Trbjdr7	14	Ligero	10	Ligero	30	Moderado
Trbjdr8	18	Ligero	9	Ligero	16	Ligero
Trbjdr9	2	Ligero	8	Ligero	26	Moderado
Trbjdr10	29	Moderado	6	Ligero	14	Ligero
Trbjdr11	6	Ligero	16	Ligero	31	Moderado
Trbjdr12	8	Ligero	9	Ligero	13	Ligero
Trbjdr13	7	Ligero	14	Ligero	27	Moderado
Trbjdr14	12	Ligero	11	Ligero	19	Ligero
Trbjdr15	2	Ligero	17	Ligero	31	Moderado
Trbjdr16	29	Moderado	25	Moderado	43	Vigoroso
Trbjdr17	9	Ligero	9	Ligero	16	Ligero
Trbjdr18	4	Ligero	8	Ligero	21	Moderado
Trbjdr19	7	Ligero	11	Ligero	37	Moderado
Trbjdr20	8	Ligero	11	Ligero	21	Moderado

Tabla 5.3: Resultados obtenidos con el monitor de frecuencia cardiaca Zephyr.

Los valores del costo cardiaco relativo para cada trabajador en la actividad de barrer con una escoba se puede ver en la Figura 5.7.

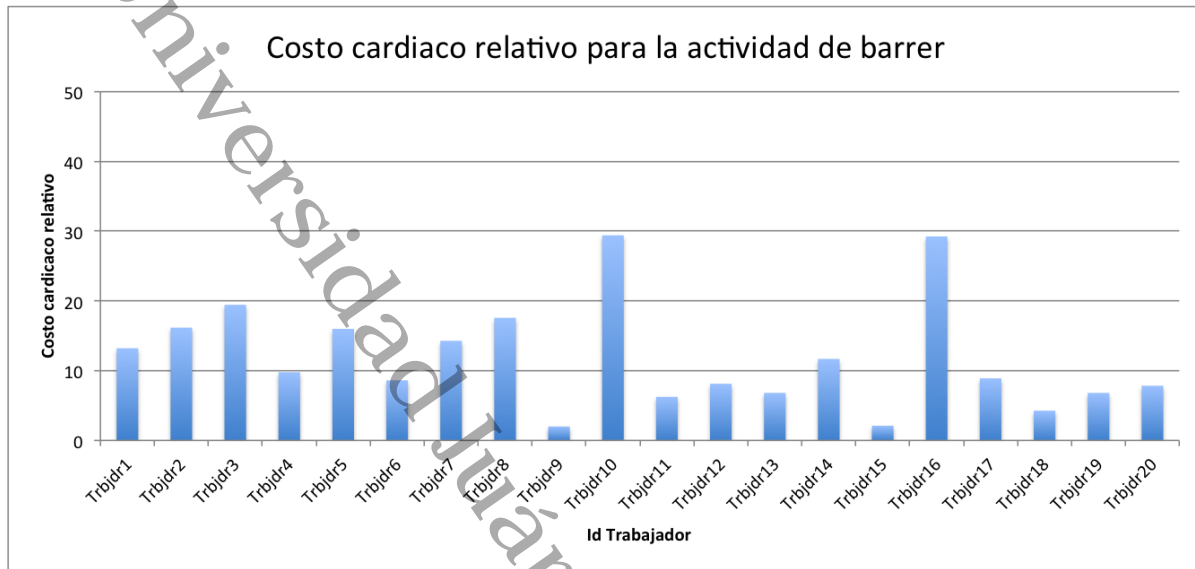


Figura 5.7: Gráfico del costo cardiaco relativo para cada participante en la actividad de barrer

Los valores del costo cardiaco relativo para cada trabajador en la actividad de limpiar ventanas de vidrio se muestra en la Figura 5.8.

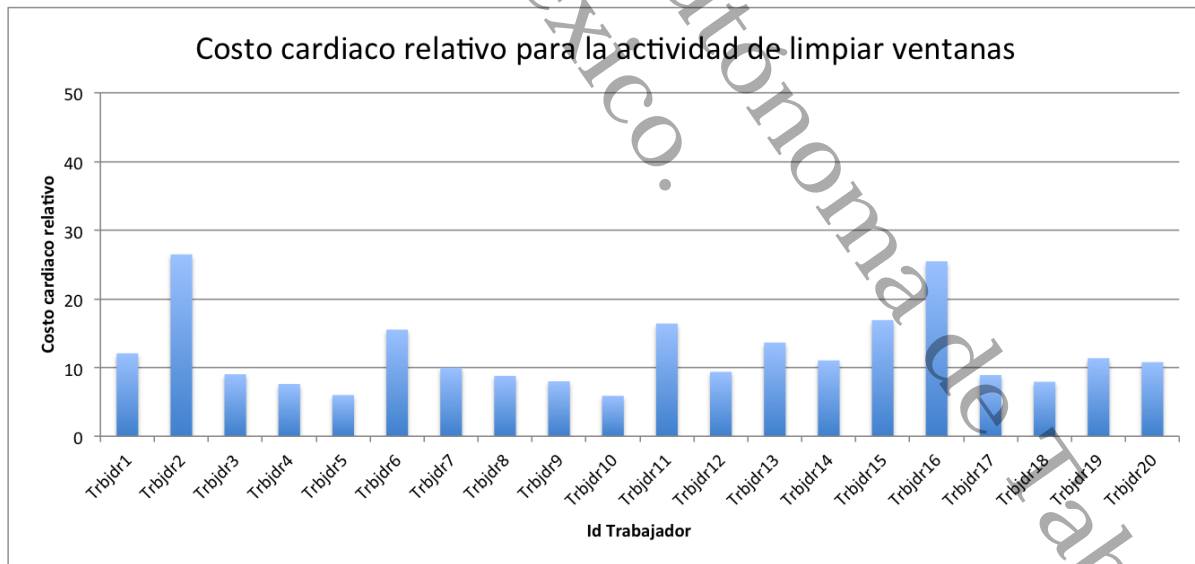


Figura 5.8: Gráfico del costo cardiaco relativo para cada participante en la actividad de limpiar ventanas

Los costos cardiacos relativos para cada trabajador en la actividad de apilar sillas con estructura de metal se muestra en la Figura 5.9.

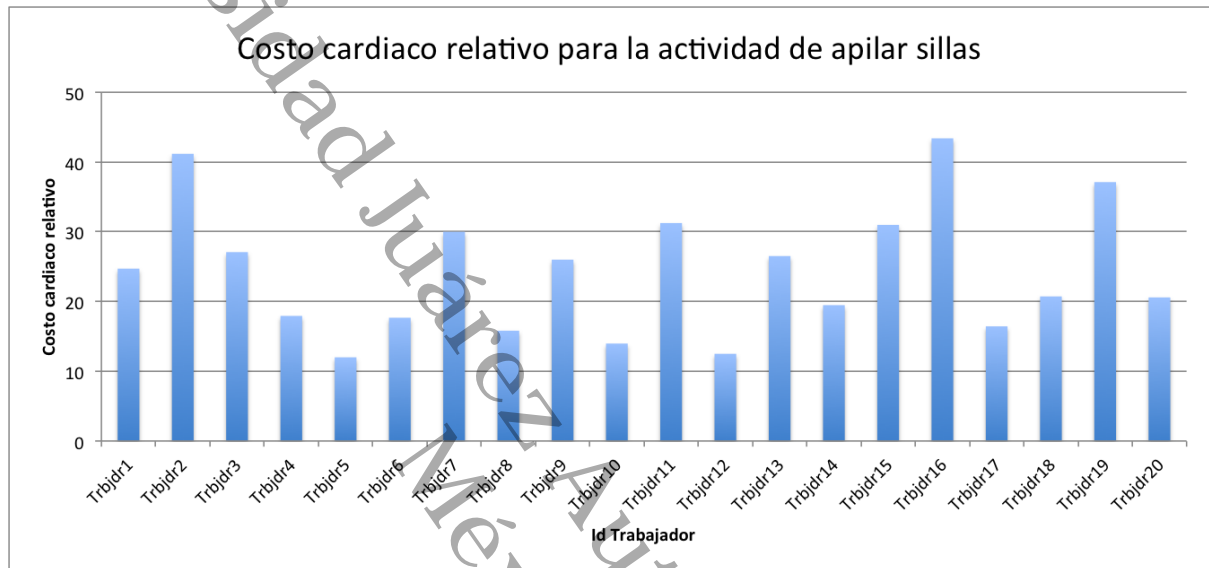


Figura 5.9: Gráfico del costo cardíaco relativo para cada participante en la actividad de apilar sillas

Como podemos apreciar en la Tabla 5.4, los trabajadores que se encuentran bajo estrés por calor están fuera de su zona de confort. Podemos notar que el Trbjdr1 estaba dentro de su zona de confort cuando apilaba sillas, y estaba a punto de estar en estrés por calor cuando limpiaba ventanas de vidrio, esto es, que estaba por abandonar su zona de confort. El Trbjdr2 estaba en la misma situación para la actividad de barrer.

Los niveles de carga de trabajo de los trabajadores para la actividad de barrer con una escoba se puede ver en la Figura 5.10.

1

Trabajador Id	Barriendo			Limpiando ventanas			Apilando sillas		
	CrgTrbj	WBGT _A	OHS	CargTrbj	WBGT _A	OHS	CrgTrbj	WBGT _A	OHS
Trbjdr1	Moderado	28.01	Sí	Moderado	26.84	No	Moderado	25.81	No
Trbjdr2	Moderado	26.90	No	Vigoroso	27.22	Sí	Vigoroso	27.76	Sí
Trbjdr3	Moderado	28.23	Sí	Vigoroso	28.34	Sí	Moderado	28.07	Sí
Trbjdr4	Moderado	31.08	Sí	Moderado	32.24	Sí	Ligero	31.72	Sí
Trbjdr5	Ligero	35.29	Sí	Vigoroso	36.13	Sí	Ligero	34.86	Sí
Trbjdr6	Moderado	38.09	Sí	Vigoroso	36.47	Sí	Ligero	37.55	Sí
Trbjdr7	Ligero	36.26	Sí	Vigoroso	35.50	Sí	Moderado	36.33	Sí
Trbjdr8	Moderado	35.68	Sí	Ligero	35.68	Sí	Ligero	35.77	Sí
Trbjdr9	Moderado	31.52	Sí	Vigoroso	34.32	Sí	Moderado	35.30	Sí
Trbjdr10	Moderado	35.06	Sí	Moderado	36.44	Sí	Ligero	35.45	Sí
Trbjdr11	Vigoroso	36.95	Sí	Moderado	35.07	Sí	Moderado	35.65	Sí
Trbjdr12	Moderado	26.49	No	Moderado	28.76	Sí	Ligero	27.29	No
Trbjdr13	Ligero	33.13	Sí	Ligero	33.84	Sí	Moderado	34.75	Sí
Trbjdr14	Moderado	30.73	Sí	Moderado	30.34	Sí	Ligero	30.41	No
Trbjdr15	Moderado	32.54	Sí	Moderado	33.50	Sí	Moderado	33.56	Sí
Trbjdr16	Moderado	30.56	Sí	Vigoroso	31.32	Sí	Vigoroso	31.51	Sí
Trbjdr17	Ligero	32.37	Sí	Moderado	32.96	Sí	Ligero	33.63	Sí
Trbjdr18	Ligero	30.79	Sí	Ligero	30.30	No	Moderado	29.43	Sí
Trbjdr19	Vigoroso	31.87	Sí	Moderado	31.92	Sí	Moderado	31.94	Sí
Trbjdr20	Moderado	33.75	Sí	Moderado	34.25	Sí	Moderado	33.39	Sí

Tabla 5.4: Estrés por calor estimado.

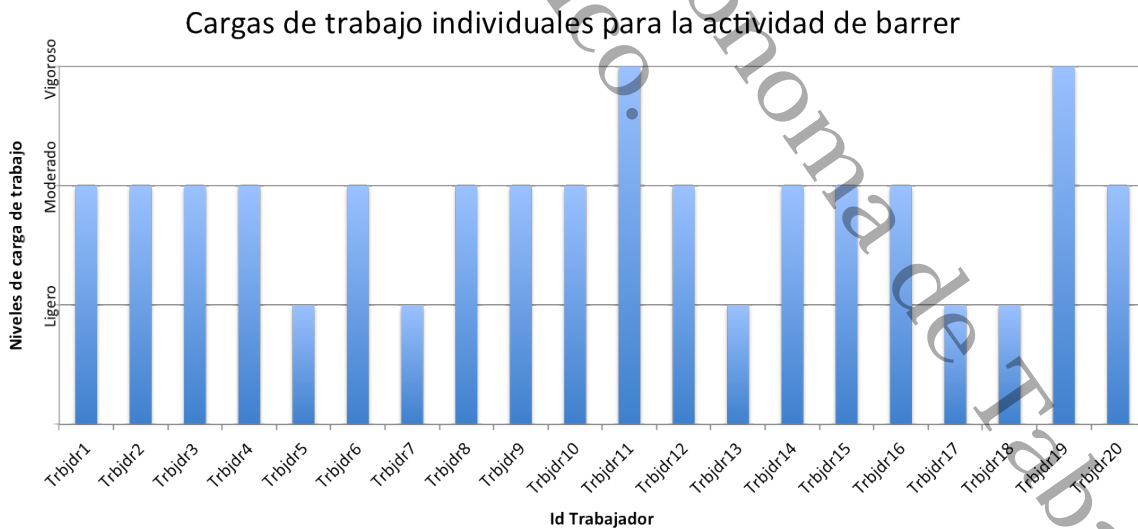


Figura 5.10: Gráfico de los niveles de carga de trabajo de cada participante para la actividad de barrer.

Los niveles de carga de trabajo de los trabajadores para la actividad de limpiar ventanas de vidrio se puede ver en la Figura 5.11.

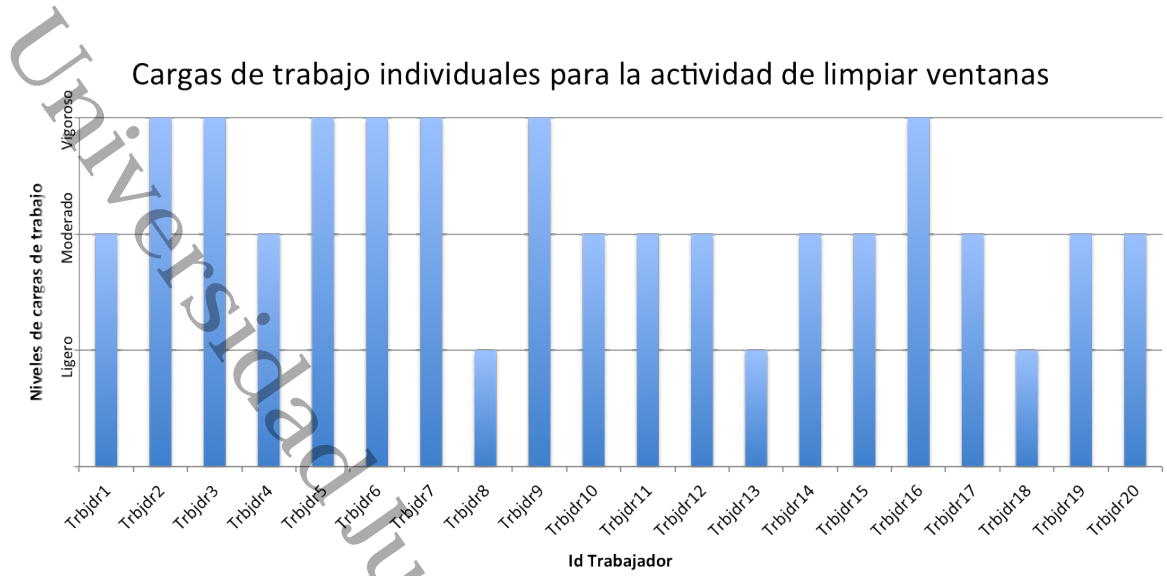


Figura 5.11: Gráfico de los niveles de carga de trabajo de cada participante para la actividad de limpiar ventanas.

Los niveles de carga de trabajo de los trabajadores para la actividad de apilar sillas con estructura de metal se puede ver en la Figura 5.12.

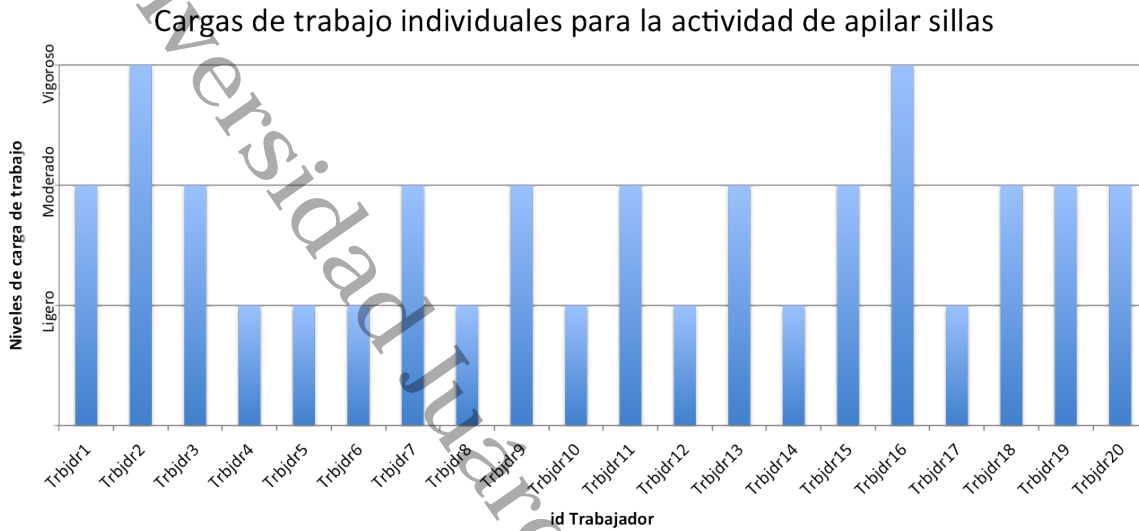


Figura 5.12: Gráfico de los niveles de carga de trabajo de cada participante para la actividad de apilar sillas.

5.2. Resultados del prototipo

A continuación se muestran algunas interfaces gráficas del prototipo. En la Figura 5.13 se muestra una interfaz de los datos que son desplegados en el smartphone del trabajador mientras realiza sus actividades laborales. Estos datos son tanto valores ambientales (temperatura y humedad), como frecuencia cardíaca, estimación de esfuerzo, METs y carga de trabajo, todo ello en tiempo real. Así como un mensaje de recomendación al trabajador acerca del régimen de trabajo (activo/descanso). En el caso de la Figura 5.13 el usuario puede estar trabajando de manera continua ya que se encuentra dentro de su zona de confort. También se muestra un gráfico de pastel de la cantidad y porcentaje del tiempo que ha permanecido en cada uno de los niveles de carga de trabajo.

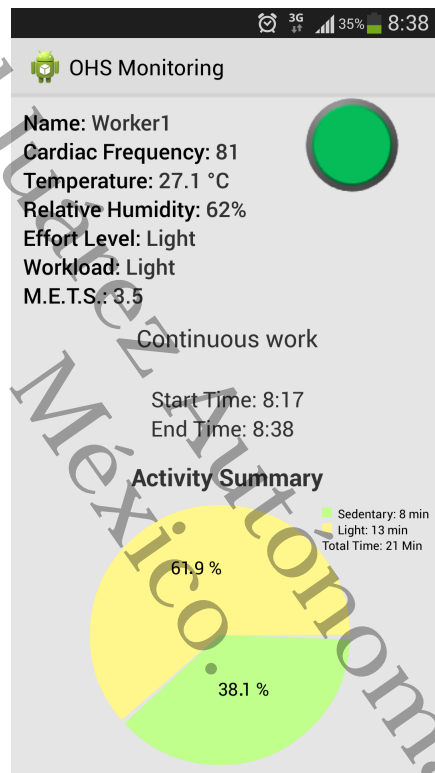
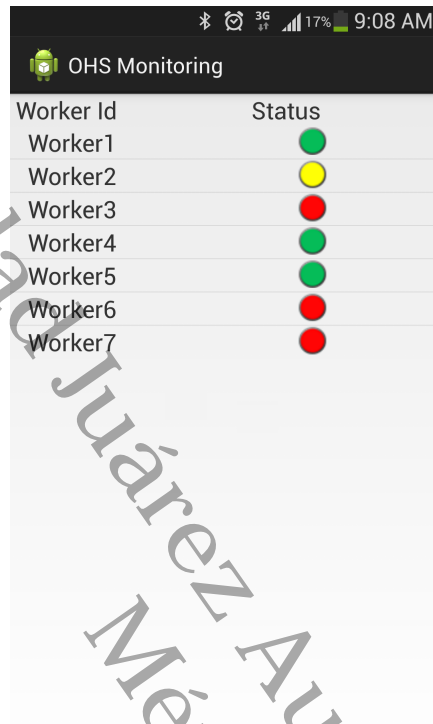


Figura 5.13: Información de la actividad del trabajador.

La información en la Figura 5.14 está orientada hacia el supervisor del área de trabajo, ofreciendo una visión general de los estados de ECAL de los trabajadores, ayudándolo a tomar las decisiones necesarias cuando se necesite alguna atención especial.



Worker Id	Status
Worker1	Green
Worker2	Yellow
Worker3	Red
Worker4	Green
Worker5	Green
Worker6	Red
Worker7	Red

Figura 5.14: Checklist del supervisor.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

En la Figura 5.15 se muestra el caso de un trabajador que se encuentra en el umbral de su zona de confort de acuerdo a la normativa ISO 7243. Por tanto, hay una alarma representada con un semáforo amarillo indicando que se encuentra a punto de sufrir ECAL.

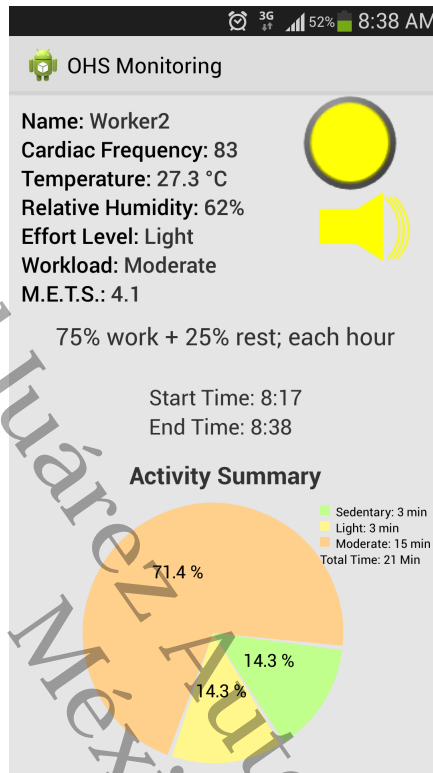


Figura 5.15: Alarma de advertencia de posible ECAL.

La Figura 5.16, muestra a un usuario que se encuentra laborando bajo ECAL. El mensaje correspondiente dado su nivel de ECAL es conforme a ISO 7243 y a partir de la Tabla 5.4. El semáforo en color rojo y la alarma sonora le indican que se deben tomar medidas precautorias.

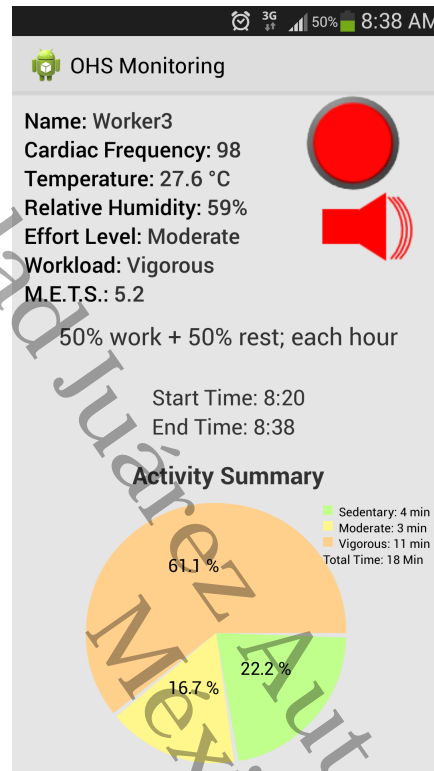


Figura 5.16: Pantalla indicando que el trabajador esta sometido a ECAL.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

Las Figuras 5.17, 5.18 y 5.19 son para trabajadores laborando cerca del mediodía y por tanto, dadas las altas temperaturas del escenario tropical, todos los trabajadores se encuentran bajo estrés de acuerdo a la normativa ISO 7243. En estas pantallas se ilustra el impacto de la temperatura y humedad ambientales en el cálculo del ECAL.

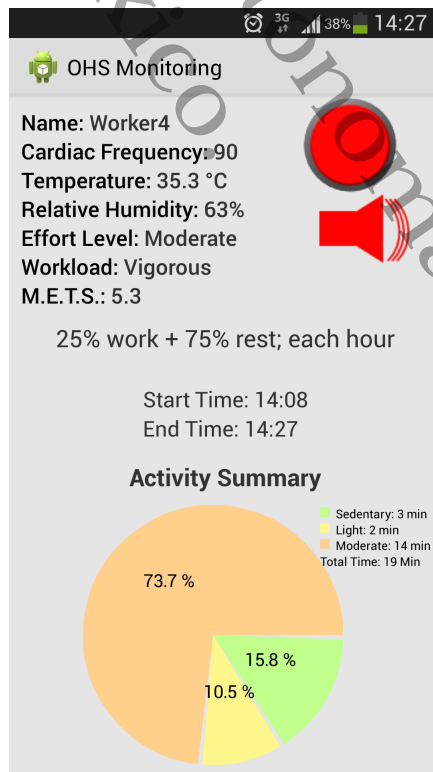


Figura 5.17: ECAL para el Trabajador 4.

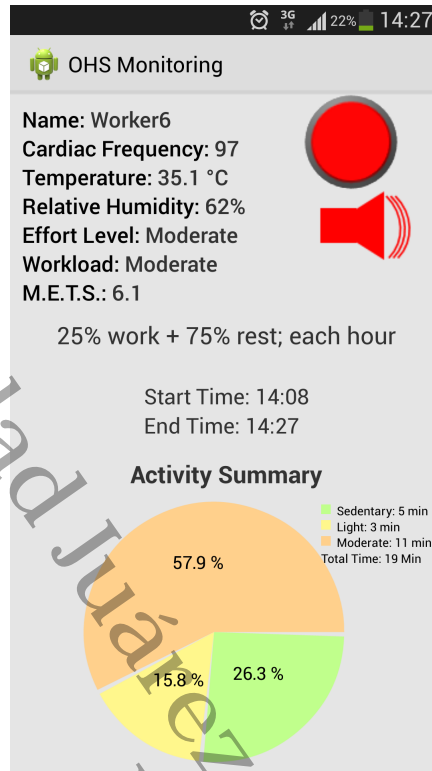
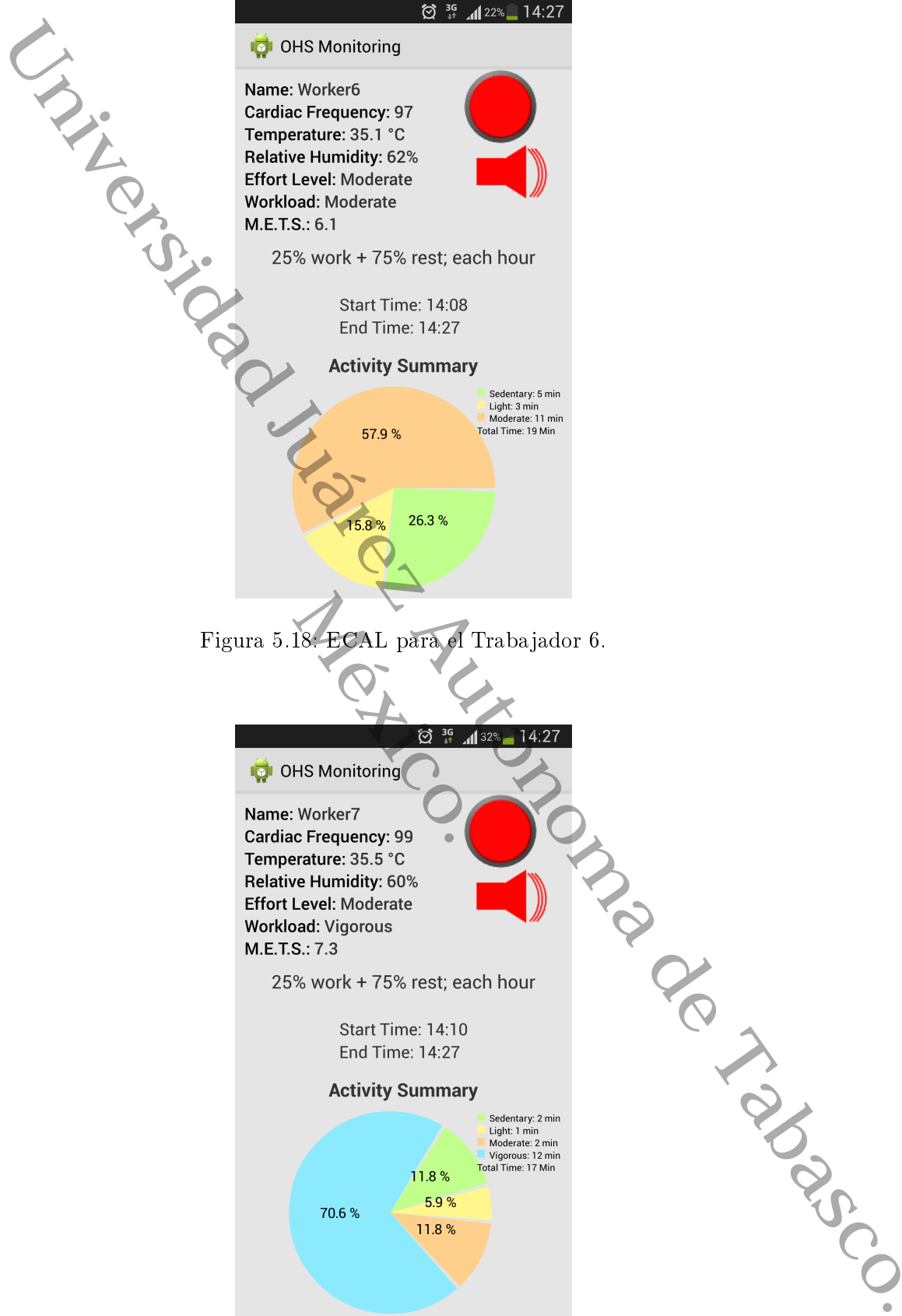


Figura 5.18: ECAL para el Trabajador 6.

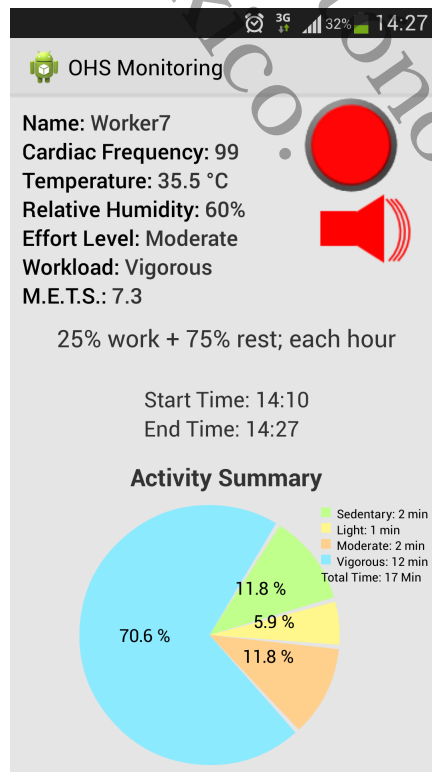


Figura 5.19: ECAL para el Trabajador 7.

5.2.1. Usabilidad del prototipo

La usabilidad del prototipo en cuanto a efectividad, eficiencia y satisfacción para el usuario fue evaluada aplicando el cuestionario correspondiente a la Escala de Usabilidad del Software (SUS del inglés *Software Usability Scale*) [13], la cual fue creada en 1986 por Digital Equipment Co. Ltd. como una prueba simple y rápida para medir la usabilidad. La escala se obtiene a partir de un cuestionario de solamente 10 preguntas con cinco posibles respuestas para cada una. Las preguntas pares evalúan aspectos positivos del sistema y las preguntas impares los aspectos negativos. Todos los puntos han de ser comprobados. Si el usuario no se siente capaz de responder a alguna cuestión en particular, habrá de señalar el valor central de la escala. La escala SUS es de estilo Likert y genera un único número, representando una medida compuesta de la usabilidad del sistema sometido a estudio.

Las preguntas se presentan a los participantes con respuestas en una escala de cinco puntos, que va de uno (en total desacuerdo) a cinco (completamente de acuerdo). Si un participante no responde una pregunta, se le asigna a la respuesta un valor de tres (el centro de la escala). Después de completado el cuestionario se determina la contribución de cada respuesta al puntaje total. La contribución de cada pregunta va de cero a cuatro, esto es, para las preguntas que miden aspectos positivos (1, 3, 5, 7 y 9), la contribución al puntaje total es el valor seleccionado por el usuario (1-5) menos uno; para las que miden aspectos negativos (2, 4, 6, 8 y 10), se le resta a 5 el valor seleccionado por el usuario. Para obtener el puntaje total del cuestionario se suman los puntajes ajustados y la suma se multiplica por 2.5. Así el puntaje total será entre cero y 100 [46].

El cuestionario aplicado a los usuarios de los experimentos se muestra en la sección de Anexos y los resultados del nivel de usabilidad del prototipo derivado de la aplicación de los cuestionarios se muestra en la Figura 5.20.

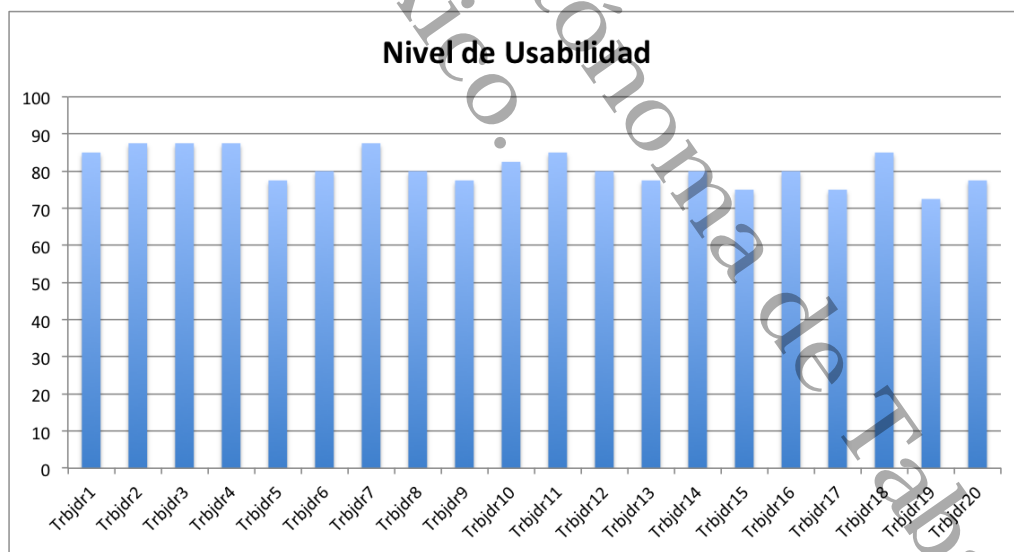


Figura 5.20: Niveles de usabilidad percibidos por cada uno de los trabajadores

La evaluación de la usabilidad del prototipo refleja que en todos los casos se tiene un puntaje superior a 70 y considerando que conforme a [55], un puntaje superior a 68 es bueno, se concluye que se cumplen los objetivos utilidad y eficiencia definidos para la usabilidad de sistemas conforme a los principios del diseño centrado en el usuario en la interacción humano-computadora [54].

5.3. Análisis de los resultados

El objetivo de esta tesis fue lograr un monitoreo para la estimación individualizada del ECAL. No tratamos de alcanzar una propuesta basada en valores promedios de estudios previos y perfiles de personas estándar, como se propone en las normativas, sino en la introducción de valores al método y que los valores resultantes sean válidos para una persona específica trabajando *in situ* en condiciones climáticas usuales.

Éste trabajo es del dominio que llamamos Trabajo Asistido por el Ambiente debido a la interacción que se da entre trabajadores y supervisores con la solución propuesta. La solución informa al trabajador y al supervisor, quienes no necesariamente están en el mismo sitio, acerca del estado del ECAL, tomando valores de temperatura y humedad relativa del ambiente. La solución tiene sensores distribuidos, los cuales son colocados en cada trabajador; la solución es ubicua porque está presente en cada smartphone del trabajador y se comunican con el smartphone del supervisor para reportar las actividades de los trabajadores, por tanto la solución ofrece el estado de los trabajadores y las condiciones ambientales.

El cálculo para determinar cuánto esfuerzo es hecho está basado en la intensidad de la actividad, no en su reconocimiento; estudios futuros pueden incluir el reconocimiento de la actividad para determinar cómo impactaría la identificación de la actividad en el cálculo del ECAL. La intensidad de los movimientos es calculada a partir de los cambios en la velocidad que son registrados por el acelerómetro. Esto significa que en una actividad de trabajo, como las vistas en este estudio, el uso del acelerómetro es apropiado. Sin embargo, para situaciones laborales donde la actividad es rítmica y consistente (pocos cambios en velocidad), la precisión de las mediciones de esfuerzo puede estar limitada.

En esta tesis se usaron sensores de movimiento colocados en la cadera o en la muñeca de la mano derecha (todos los usuarios eran diestros). Dependiendo de la actividad a ser medida, el smartphone fue colocado donde se fuese a obtener las magnitudes más altas de aceleración, porque obviamente dichas magnitudes tendrían una mejor caracterización de las actividades. Sin embargo, para una mejor caracterización de cualquier tipo de actividad física, es necesario determinar las técnicas de fusión de datos más apropiadas para una representación más precisa y formal de los esfuerzos involucrados. Esto incluye la fusión de datos obtenidos de sensores del mismo tipo, y es imperativo cuando se trabaja con diferentes tipos de sensores (movimiento, temperatura, frecuencia cardíaca, etcétera).

En nuestro estudio se tuvo el cuidado de que el smartphone estuviera firmemente ajustado al cuerpo del usuario para eliminar movimientos que no fueran propios de la actividad, sino de los movimientos erráticos resultado de la holgura entre el smartphone y el cuerpo, por ejemplo cuando se coloca en bolsillos amplios; aunque una fusión apropiada podría evitar la necesidad de colocar el smartphone en forma ajustada, debido al filtrado de movimientos ajenos a la representación propia de la actividad que se está reconociendo o esfuerzo que se está estimando.

El enfoque de bajo costo de la solución propuesta no justifica el gasto en equipo de calorimetría indirecta; en vez de ello, los valores de los METs fueron obtenidos a partir de una ecuación de regresión lineal, la cual fue obtenida a partir de la calibración del smartphone Samsung S4 con respecto al acelerómetro GeneActiv (el cual se encuentra científicamente aceptado). Así, la cantidad de METs está validada.

Una limitación de la normativa ISO 7243 puede apreciarse al aplicarla en condiciones tropicales reales, con temperaturas superiores a 31°C, ya que incluso en condiciones de trabajo ligero, los resultados alcanzan valores altos de ECAL; que no corresponden con la realidad de agobio de los trabajadores aclimatados (lo cual afecta la productividad). Se deben efectuar nuevos estudios para adaptar los valores de la tabla ISO a las condiciones calurosas del trópico. De hecho, estudios previos han probado que la ISO 7243 ofrece recomendaciones de descanso muy precavidas cuando se implementa en estos climas [77]. Otra limitación de ISO es que no considera cómo capturar las consideraciones especiales (enfermos, aclimatación al trabajo, condiciones físicas, trabajadoras embarazadas, etcétera).

Un objetivo de esta propuestas fue proporcionar una solución económica básicamente soportada por un smartphone, el cual comúnmente posee un trabajador. Sin embargo, en ocupaciones en donde primordialmente el trabajo es manual, es deseable tener un dispositivo de pulsera que pueda medir los movimientos y transmitir los resultados. Esto incrementaría la exactitud de las mediciones, aunque incrementaría sustancialmente el costo de la solución. En estos casos, debe analizarse la conveniencia entre economía y precisión.

Las lecturas de temperatura y humedad por medio del smartphone es una ventaja, porque los valores pueden ser obtenidos del área inmediata donde se encuentra cada trabajador, puesto que podemos tener diferentes valores de temperatura y humedad (microclimas), incluso en la misma área de trabajo. En el entendido que cuando el smartphone se encuentra tocando el cuerpo de trabajador, los valores de temperatura y humedad pueden ser alterados. Por lo anterior, nosotros pensamos que la mejor solución es la medición de estas variables desde sensores ambientales que no puedan ser alterados por la cercanía al cuerpo. La normativa ISO basada en el termómetro de globo y bulbo húmedo no considera su uso en áreas de trabajo con microclimas. Cuando no estén disponibles sensores ambientales (temperatura y humedad), podemos usar valores ofrecidos por servicios meteorológicos del cómputo en la nube.

Con base en los resultados experimentales, observamos que no siempre hay relación directa entre los movimientos y la frecuencia cardiaca. Por ejemplo, cuando se hicieron mediciones con las actividades de barrer un piso y limpiar ventanas de vidrio, las magnitudes de los movimientos aumentaron de manera similar; sin embargo, la frecuencia cardiaca no incrementó en la misma proporción. Por el lado contrario, cuando se apilaron las sillas, hubieron pocas magnitudes de movimientos, menores que con barrer y limpiar ventanas, pero a diferencia de éstas dos últimas actividades, la frecuencia cardiaca se incrementó significativamente. Esto justifica la conveniencia de utilizar la frecuencia cardiaca como indicador de esfuerzo físico.

Los resultados obtenidos con el smartphone son confiables y competitivos comparados con aquellos reportados en la literatura. Más aún, es una solución de bajo costo, *in situ* y no-invasiva que puede ser desplegada en ambientes de trabajo reales. De hecho, los resultados obtenidos de los sensores reflejan la intensidad y frecuencia de las actividades físicas de los trabajadores. También verificamos que el costo cardiaco relativo (CCR) para el usuario es un buen indicador del nivel de esfuerzo. El monitor de frecuencia cardiaca es adecuado para actividades con poco movimiento, pero que demandan esfuerzo que involucra consumo de oxígeno.

La seguridad y privacidad de los datos es uno de los aspectos sensibles de los sistemas de información en el dominio de la inteligencia ambiental [49], lo cual es debido al intercambio de información entre componentes. Adicionalmente, cuando se trata de datos personales relativos a la salud y desempeño en el trabajo, la situación puede ser incluso más crítica. En nuestra propuesta, requerimos consen-

timiento escrito de los trabajadores para manejar sus datos y les aseguramos conformidad con leyes locales en materia de protección de datos.

En nuestra opinión, la propuesta de monitoreo representa un balance conveniente entre los intereses sociales, económicos y productivos de las empresas para asegurar la calidad de vida en el trabajo y el bienestar de sus trabajadores.

5.4. Resumen del capítulo

Este capítulo resume lo obtenido con la aplicación de la arquitectura funcional y métodos en el caso de estudio. Se describen los valores obtenidos con los sensores y de que manera los dispositivos con el software del prototipo permiten estimar en tiempo real y en el lugar de trabajo los niveles de estrés por calor, dados los esfuerzos realizados, el perfil del usuario y las condiciones ambientales. Las interfaces del prototipo muestran la información que se ofrece tanto a los trabajadores como al supervisor del área de trabajo, de modo que si se presenta una situación de estrés se puedan tomar los tiempos de descanso sugeridos por la normativa o en general la decisión que se requiera. El análisis de los resultados permite establecer que se trata de una propuesta que cumple los objetivos de personalizar los resultados y conocer que las particularidades de cada individuo hacen que para una misma actividad efectuada de muy similar manera, implique consecuencias distintas para cada persona.

Capítulo 6

Conclusiones

6.1. Soluciones

A continuación se describen las conclusiones obtenidas a partir del cumplimiento de cada uno de los objetivos particulares de este proyecto.

- *Proponer una arquitectura para los sistemas de trabajo asistido por el ambiente que permita ofrecer resultados personalizados, considerando al usuario y su contexto.* Derivado del estudio de trabajos relacionados y con base en un análisis acerca del contexto que debe considerarse para sistemas AAW, se propuso una arquitectura que refleja los elementos y las interacciones que pueden existir entre éstos cuando se trata de una propuesta que considera al usuario y su perfil, la situación en la que se encuentra inmerso el usuario y las actividades que se están desarrollando en el escenario.
- *Proponer un método de captura, procesamiento y ofrecimiento de resultados para los sistemas de trabajo asistido por el ambiente que produzca resultados personalizados al perfil del usuario y su contexto.* El método comprende etapas convencionales de aquellos correspondientes a la adquisición de datos, su procesamiento y el ofrecimiento de información resultante, sin embargo, dado que el método debe aplicarse en el dominio del AAW, debe considerarse al usuario, el contexto y las actividades que se realizan.
- *Desarrollar un proceso de monitoreo personalizado y en tiempo real, basado en tecnología no invasiva de sensores portátiles, que represente una opción técnicamente avanzada para estimar el ECAL in situ conforme a las normas ISO y que sea útil para los usuarios advirtiéndoles cuando se presente una situación de riesgo.* Se creó un proceso de monitoreo que haciendo uso de sensores portables no invasivos permite la estimación objetiva personalizada y en tiempo real del ECAL. La estimación del ECAL tuvo como objetivo advertir a los usuarios cuando se encontraran en una situación de riesgo para su salud e informarles de la recomendación de porcentaje de tiempo de descanso por cada hora de trabajo, conforme a la normativa ISO 7243.
- *Elaborar un prototipo de sistema de trabajo basado en el proceso de monitoreo y alerta que permita validar la propuesta mediante la ejecución de un protocolo de experimentación.* El prototipo fue construido considerando el contexto de uso y los requerimientos del usuario; asimismo evaluado en cuanto a efectividad, eficiencia y usabilidad. Conforme a los resultados y los cuestionarios respondidos por los participantes en los experimentos, los dos primeros requerimientos fueron cumplidos satisfactoriamente, respecto a la usabilidad del prototipo los

valores de las métricas aplicadas dicen que se alcanza un nivel alto de aceptación por parte de los usuarios.

- *Diseñar un protocolo de experimentación para validar las propuestas, que incluya pruebas con usuarios de perfiles diversos (sexo, edad, peso, etc.), con valores ambientales diferentes (temperatura y humedad ambientales) y distintas actividades físicas (esfuerzos variados).* Los experimentos definidos permitieron apreciar las individualidades que existen en el grupo de participantes, en cuanto a esfuerzo para una misma actividad. Se definieron actividades que reflejaran la actividad manual y aquella que implica un aumento considerable de la frecuencia cardiaca, aunque no mucho movimiento corporal. Los distintos valores ambientales suscitados en diversos momentos de los experimentos permitieron apreciar los distintos niveles de ECAL que pueden presentarse durante un día de jornada laboral.

Como establecimos en nuestra hipótesis, el monitoreo personalizado para estimar el estrés por calor es más efectivo y menos invasivo que los métodos ISO, ya que usa tecnología de sensores no invasivos para capturar en tiempo real los parámetros ambientales y la carga de trabajo.

Encontramos que nuestra propuesta de monitoreo puede ofrecer a los usuarios una visión clara para interpretar el consumo energético y el índice de penosidad de las actividades para estimar el estrés por calor en el trabajo y establecer acciones de prevención. Algunos autores han validado las ventajas de la tecnología de sensores para el reconocimiento de la actividad y estimar el gasto energético en los lugares de trabajo [19, 11].

Nuestra propuesta tiene ventajas importantes. Por ejemplo, es fácil de implementar, es de bajo costo y emplea personalización, las mediciones son en tiempo real en vez de valores de tablas creadas a partir del perfil de una persona estándar. Más aún, ésta es universal y desplegable ubicuamente; su infraestructura básica es un teléfono móvil y posibilita el autocuidado y el alertado oportuno de los trabajadores para la toma de decisiones acerca del control del ECAL basado en información objetiva. Por último, pero no menos importante, puede ser utilizada *in situ* para el monitoreo continuo de los trabajadores.

Portar un smartphone en la cadera es conveniente para el monitoreo de las actividades que involucran un uso balanceado del cuerpo y las extremidades. Para actividades que mayormente hacen uso de las manos, se debe usar un sensor contenido en un brazalete o pulsera para incrementar la precisión.

Los experimentos *in situ* han mostrado que nuestra propuesta de monitoreo es efectiva para dar a los usuarios datos suficientes para tomar decisiones y establecer un programa de tiempos de trabajo-descanso, conforme con la estimación de estrés por calor o la intensidad laboral.

Los resultados obtenidos permiten comprobar que la estimación del estrés por calor en ambientes laborales que se encuentra apoyada por sensores portables y considerando el perfil del usuario, las condiciones ambientales y la actividades laborales que se desempeñan, logra resultados personalizados, en tiempo real y más precisos. Lo cual se confirma en una publicación reciente de Venugopal *et al.* [81], donde se hace referencia a nuestro trabajo como una opción tecnológica no invasiva para estimar el esfuerzo físico de los trabajadores en ambientes calurosos y la influencia de dicho calor en el esfuerzo físico, pudiendo ser utilizado para aspectos tan importantes como estimar la pérdida de productividad laboral.

Nuestra solución es un buen ejemplo de cómo los dispositivos móviles de monitoreo deportivo y salud personal comerciales, convenientemente combinados, pueden dar lugar a una nueva generación de mecanismos efectivos no invasivos para monitorear variables de salud, en este caso el estrés por calor. Esto también demuestra cómo la conciencia del contexto, el sensado personal y el cómputo móvil pueden habilitar el Trabajo Asistido por el Ambiente.

6.2. Líneas futuras de investigación

La personalización requiere que el sistema sea adaptativo al perfil de usuario que se defina, esto es debido a que pueden adicionarse o eliminarse elementos que constituyan el perfil, o cambiar los valores de los elementos en tiempo real. Aún mas, puede que el modelo de usuario se modifique. Incluso, si hablamos de contexto, cada uno de los elementos que lo forman pueden tener variaciones en tiempo real. Por tanto, es necesario tener mecanismos que logren la adaptabilidad en tiempo real del sistema en cuanto a modelo de usuario y el contexto en general.

Otra línea de investigación derivada de esta tesis es el desarrollo de una solución de monitoreo de la salud y su control, por tanto se trata de un enfoque mucho más amplio en cuanto a posibilidades de reconocimiento de distintos parámetros fisiológicos y del comportamiento que pudieran afectar la salud. El objetivo es lograr un sistema recomendador personalizado para el cuidado de la salud.

También nos parece interesante registrar datos a través del tiempo para analizar las correlaciones con enfermedades o padecimientos futuros, incluso para alimentar un sistema de prevención para el monitoreo de la salud.

Una evolución futura de este trabajo sería la integración del mismo hacia la Internet de las cosas, esto es, un escenario con objetos sensados y controlados remotamente usando la infraestructura de red existente, creando oportunidades para una integración e intercambio de información entre el mundo físico y los sistemas de cómputo. Esperando mayor eficiencia, exactitud y beneficios económicos.

En cuanto al caso de estudio, un trabajo futuro es considerar pulseras conteniendo sensores, tales como medidores de temperatura de la piel o tasa de sudoración, que ofrecería nuevas oportunidades. Por tanto, la gran variedad de sensores que se están desarrollando pueden medir la influencia de otros factores (químicos, ruido, etc.) en el bienestar de las personas en el trabajo.

Adicionalmente, el monitoreo personalizado puede ayudar a conocer el efecto de la adaptación al trabajo por parte de los individuos en las estimaciones que se obtienen. También visualizamos que se deben desarrollar nuevas tecnologías y soluciones para tomar acciones preventivas de cuidado. Este estudio resalta la necesidad de que las normativas ISO consideren incluir dispositivos tecnológicos para construir métodos personalizados.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

7

Referencias

- [1] Emile HL Aarts and Boris ER de Ruyter. New research perspectives on ambient intelligence. *JAISE*, 1(1):5–14, 2009.
- [2] Bessam Abdulrazak and Yasir Malik. Review of challenges, requirements, and approaches of pervasive computing system evaluation. *IETE Technical Review*, 29(6):506–522, 2012.
- [3] Giovanni Acampora, Diane J Cook, Parisa Rashidi, and Athanasios V Vasilakos. A survey on ambient intelligence in healthcare. *Proceedings of the IEEE*, 101(12):2470–2494, 2013.
- [4] Barbara E Ainsworth, William L Haskell, Melicia C Whitt, Melinda L Irwin, Ann M Swartz, Scott J Strath, William L O'Brien, David R Bassett, Kathryn H Schmitz, Patricia O Emplainscourt, et al. Compendium of physical activities: an update of activity codes and met intensities. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(9; SUPP/1):S498–S504, 2000.
- [5] Fahd Albinali, Stephen Intille, William Haskell, and Mary Rosenberger. Using wearable activity type detection to improve physical activity energy expenditure estimation. In *Proceedings of the 12th ACM international conference on Ubiquitous computing*, pages 311–320. ACM, 2010.
- [6] Sarabjot Singh Anand and Bamshad Mobasher. Introduction to intelligent techniques for web personalization. *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT)*, 7(4):18, 2007.
- [7] Ferhat Attal, Samer Mohammed, Mariam Dedabrishvili, Faicel Chamroukhi, Latifa Oukhellou, and Yacine Amirat. Physical human activity recognition using wearable sensors. *Sensors*, 15(12):31314–31338, 2015.
- [8] Beatriz Barros, Javier Vélez, and Felisa Verdejo. Aplicaciones de la teoría de la actividad en el desarrollo de sistemas colaborativos de enseñanza y aprendizaje. experiencias y resultados. *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 24:67–76, 2004.
- [9] Michael Beigl, Albert Krohn, Tobias Zimmer, and Christian Decker. Typical sensors needed in ubiquitous and pervasive computing. *Proceedings of INSS*, pages 22–23, 2004.
- [10] Damian Bethea and Ken Parsons. *The development of a practical heat stress assessment methodology for use in UK industry*. 2002.
- [11] Carlijn V Bouten, Klaas R Westerterp, Maarten Verduin, and Jan D Janssen. Assessment of energy expenditure for physical activity using a triaxial accelerometer. *Age (yr)*, 23(1.8):21–27, 1994.
- [12] Carlijn VC Bouten, Karel Koekkoek, Maarten Verduin, Rens Kodde, and Jan D Janssen. A triaxial accelerometer and portable data processing unit for the assessment of daily physical activity. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, 44(3):136–147, 1997.
- [13] John Brooke. System usability scale. *Reading, England: Digital Equipment Corporation*, 1986.

- [14] John R Brotherhood. Heat stress and strain in exercise and sport. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(1):6–19, 2008.
- [15] Christian Bühler. Ambient intelligence in working environments. In *Universal Access in Human-Computer Interaction. Intelligent and Ubiquitous Interaction Environments*, pages 143–149. Springer, 2009.
- [16] D Cacciagrano and F Corradini. Healthcare tomorrow: Toward self-adaptive, ubiquitous and personalized services. In *UBICOMM 2011 Fifth Int. Conf. Mob. Ubiquitous Comput. Syst. Serv. Technol.*, pages 245–250, 2011.
- [17] Angel Jesus Callejon-Ferre, Francisco Manzano-Agugliaro, Manuel Diaz-Perez, and Juan Carreno-Sanchez. Improving the climate safety of workers in almeria-type greenhouses in spain by predicting the periods when they are most likely to suffer thermal stress. *Applied ergonomics*, 42(2):391–396, 2011.
- [18] Roberto Casas, Rubén Blasco Marín, Alexia Robinet, Armando Roy Delgado, Armando Roy Yarza, John Mcginn, Richard Picking, and Vic Grout. *User modelling in ambient intelligence for elderly and disabled people*. Springer, 2008.
- [19] J Cho, J Kim, and T Kim. Smart phone-based human activity classification and energy expenditure generation in building environments. In *Proceedings of the 7th international symposium on sustainable healthy buildings*, volume 2012, pages 97–105, 2012.
- [20] Gastone Ciuti, Leonardo Ricotti, Arianna Mencias, and Paolo Dario. Mems sensor technologies for human centred applications in healthcare, physical activities, safety and environmental sensing: A review on research activities in italy. *Sensors*, 15(3):6441–6468, 2015.
- [21] Nico Claassen, R Kok, et al. The accuracy of the wbgt heat stress index at low and high humidity levels. 2007.
- [22] D Curone, E L Secco, A Tognetti, and G Magenes. An activity classifier based on heart rate and accelerometer data fusion. *International Journal of Bioelectromagnetism*, 15(1):7–12, 2013.
- [23] Alberto Inácio da Silva, Luiz Cláudio Fernandes, and Ricardo Fernandez. Energy expenditure and intensity of physical activity in soccer referees during match-play. *Journal of sports science & medicine*, 7(3):327, 2008.
- [24] Ciprian Dobre and Fatos Khafa. Intelligent services for big data science. *Future Generation Computer Systems*, 37:267–281, 2014.
- [25] Ringo Doe. International labour standards on occupational safety and health. url:<http://www.ilo.org/>, 2013.
- [26] Ken Ducatel, Marc Bogdanowicz, Fabiana Scapolo, Jos Leijten, and Jean-Claude Burgelman. *Scenarios for ambient intelligence in 2010*. Office for official publications of the European Communities, 2001.
- [27] Ken Ducatel, Marc Bogdanowicz, Fabiana Scapolo, Jos Leijten, and Jean-Claude Burgelman. Ambient intelligence: From vision to reality. *IST Advisory Group Draft Report, European Commission*, 2003.
- [28] Yrjo Engestrom. Activity theory as a framework for analyzing and redesigning work. *Ergonomics*, 43(7):960–974, 2000.

REFERENCIAS

- [29] Dale W Esliger, Ann V Rowlands, Tina L Hurst, Michael Catt, Peter Murray, and Roger G Eston. Validation of the genea accelerometer. 2011.
- [30] P Frimat, M Amphoux, and A Chamoux. Interprétation et mesure de la fréquence cardiaque. *Revue de Médecine du Travail XV (4)*, 147:165, 1988.
- [31] Yuichi Fujiki, Panagiotis Tsiamyrtzis, and Ioannis Pavlidis. Making sense of accelerometer measurements in pervasive physical activity applications. In *CHI'09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pages 3425–3430. ACM, 2009.
- [32] Enrique Garcia-Ceja, Ramon F Brena, Jose C Carrasco-Jimenez, and Leonardo Garrido. Long-term activity recognition from wristwatch accelerometer data. *Sensors*, 14(12):22500–22524, 2014.
- [33] U Gatti, G Migliaccio, S Bogus, and S Schneider. Using wearable physiological status monitors for analyzing the physical strain-productivity relationship for construction tasks. *Bridges*, 10, 2014.
- [34] Sabine Graf et al. *Adaptivity and Personalization in Ubiquitous Learning Systems*. Springer, 2008.
- [35] Andrew Philip Hunt. Heat strain, hydration status, and symptoms of heat illness in surface mine workers. 2011.
- [36] BSEN ISO. 8996: 2004 ergonomics of the thermal environment–determination of metabolic rate. *BSI, London*, 2004.
- [37] BSEN ISO. 9886. 2004. *Ergonomics–Evaluation of thermal strain by physiological*, 2004.
- [38] EN ISO. 7726. *Ergonomics of the thermal environment–Instruments for measuring physical quantities (ISO 7726: 1998)*, 1998.
- [39] EN ISO. 7933, 2004. *Ergonomics of the thermal environment–Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate (ISO, 7933, 2004)*.
- [40] ISO ISO. 7243, 1989, hot environments-estimation of heat stress on working man, based on the wbgt-index (wet bulb globe temperature). *Geneva: International Standards Organization*, 1989.
- [41] Manasawee Kaenampornpan, Eamonn O'Neill, and B Ba Ay. An integrated context model: Bringing activity to context. In *Proc. Workshop on Advanced Context Modelling, Reasoning and Management*, 2004.
- [42] Heli Koskimäki, Ville Huikari, Pekka Siirtola, Perttu Laurinen, and Juha Röning. Activity recognition using a wrist-worn inertial measurement unit: A case study for industrial assembly lines. In *Control and Automation, 2009. MED'09. 17th Mediterranean Conference on*, pages 401–405. IEEE, 2009.
- [43] Tsvi Kuflik, Judy Kay, and Bob Kummerfeld. Challenges and solutions of ubiquitous user modeling. In *Ubiquitous Display Environments*, pages 7–30. Springer, 2012.
- [44] Bill LP Lee and Stephen Mak. A wireless climatic information system for construction sites. In *Computing in Civil and Building Engineering, Proceedings of the International Conference*, volume 30, page 229, 2010.

- [45] James A Levine. Measurement of energy expenditure. *Public health nutrition*, 8(7a):1123–1132, 2005.
- [46] James R Lewis and Jeff Sauro. The factor structure of the system usability scale. In *Human Centered Design*, pages 94–103. Springer, 2009.
- [47] Yi-Fan Lu, David B Goldstein, Misha Angrist, and Gianpiero Cavalleri. Personalized medicine and human genetic diversity. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 4(9):a008581, 2014.
- [48] A Marucci, B Pagniello, D Monarca, A Colantoni, P Biondi, M Cecchini, et al. The heat stress for workers during vegetable grafting in greenhouses. In *International Conference RAGUSA SHWA*, pages 321–328, 2008.
- [49] Mukhtiar Memon, Stefan Rahr Wagner, Christian Fischer Pedersen, Femina Hassan Aysha Beevi, and Finn Overgaard Hansen. Ambient assisted living healthcare frameworks, platforms, standards, and quality attributes. *Sensors*, 14(3):4312–4341, 2014.
- [50] MEMS and Nanotechnologies Exchange. What is mems? url:<http://www.mems-exchange.org/MEMS/what-is.html>, 2015.
- [51] G Migliaccio, Jochen Teizer, Tao Cheng, and U Gatti. Automatic identification of unsafe bending behavior of construction workers using real-time location sensing and physiological status monitoring. In *Proceedings of Construction Research Congress*, pages 633–642, 2012.
- [52] M Milczarek, Emmanuelle Brun, I Houtman, A Goudswaard, M Evers, M Bovenkamp, N Roskams, R Op de Beeck, K Pahkin, M Berthet, et al. Expert forecast on emerging psychosocial risks related to occupational safety and health. 2007.
- [53] Greg Milette and Adam Stroud. *Professional Android sensor programming*. John Wiley & Sons, 2012.
- [54] Jaime Munoz and Otros. *Temas de Diseño en Interacción Humano Computadora*. Iniciativa Latinoamericana de Libros de Texto Abiertos (LATIn), 2014.
- [55] U.S. Department of Health Human Services. System usability scale (sus). url:<https://www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/system-usability-scale.html>, 2015.
- [56] National Disaster Management Authority. Government of India. India heat wave eases after nearly 1,700 deaths. url:<http://www.ndma.gov.in/en/media-public-awareness/disaster/natural-disaster/heat-wave.html>, 2015.
- [57] Australian Bureau of Metheorology. Weather and climate risk. url:<http://www.bom.gov.au>, 2015.
- [58] American College of Sports Medicine et al. Prevention of thermal injuries during distance running. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 16:iv–xiv, 1984.
- [59] BS OHSAS. 18001: 2007 occupational health and safety management systems. *Requirements. Q-as*, 2014.
- [60] K OMahony, J Liang, and K Delaney. User-centric personalization and autonomous reconfiguration across ubiquitous computing environments. In *UBICOMM 2012 Sixth Int. Conf. Mob. Ubiquitous Comput. Syst. Serv. Techno*, pages 48–53, 2012.
- [61] International Labour Organization. Safety and health at work. url:<http://www.ilo.org>, 2015.

REFERENCIAS

- [62] World Health Organization. Occupational health. url:http://www.who.int/occupational_health/topics/stressatwp/en/, 2015.
- [63] World Health Organization et al. Occupational health: a manual for primary health care workers. 2002.
- [64] Pablo Pancardo and Juan Carlos Dueñas López. Senhod: scarce-resources wireless sensor network for healthcare in oil derricks. 2008.
- [65] Pablo Pancardo, Francisco D Acosta Escalante, José Adán Hernández-Nolasco, Miguel A Wister, and Diego López-de Ipiña. A sensor-based method for occupational heat stress estimation. In *Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence. Personalisation and User Adapted Services*, pages 251–258. Springer, 2014.
- [66] Pablo Pancardo, Jorge Pardo, and Juan C Dueñas. Automatic monitoring for workers healthcare in tropical climates. In *Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2009. WAINA '09. International Conference on*, pages 793–797. IEEE, 2009.
- [67] KC Parsons. Assessment of heat stress and heat stress indices. *Encyclopaedia of occupational health and safety. 4th ed. Geneva: IOL*, 2:42–15, 1998.
- [68] Ken Parsons. Heat stress standard iso 7243 and its global application. *Industrial health*, 44(3):368–379, 2006.
- [69] Ken Parsons. Occupational health impacts of climate change: current and future iso standards for the assessment of heat stress. *Industrial health*, 51(1):86–100, 2013.
- [70] Murray C Peel, Brian L Finlayson, and Thomas A McMahon. Updated world map of the köppen-geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions Discussions*, 4(2):439–473, 2007.
- [71] Ramona Rednic, John Kemp, Elena Gaura, and James Brusey. Networked body sensing: Enabling real-time decisions in health and defence applications. In *Advanced Computer Science and Information System (ICACISIS), 2011 International Conference on*, pages 17–24. IEEE, 2011.
- [72] D Reinert, E Flaspöler, A Hauke, and E Brun. Identification of emerging occupational safety and health risks. *Safety Science Monitor*, 11(3):3, 2007.
- [73] Luis Ruiz-Garcia, Loredana Lunadei, Pilar Barreiro, and Ignacio Robla. A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: state of the art and current trends. *Sensors*, 9(6):4728–4750, 2009.
- [74] Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado, Pilar Baptista Lucio, and Ma de la Luz Casas Pérez. *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill, 1998.
- [75] A Santos-Lozano, F Santín-Medeiros, G Cardon, G Torres-Luque, R Bailón, C Bergmeir, JR Ruiz, A Lucia, and N Garatachea. Actigraph gt3x: Validation and determination of physical activity intensity cut points. *Int J Sports Med*, 34(11):975–982, 2013.
- [76] Levent Senyurek, Koksal Hocaoglu, Burak Sezer, and Oguzhan Urhan. Monitoring workers through wearable transceivers for improving work safety. In *Intelligent Signal Processing (WISP), 2011 IEEE 7th International Symposium on*, pages 1–3. IEEE, 2011.

- [77] Ruggiere Suárez-Cabrera. Experiencias y aplicabilidad de las normas iso 7243 (en 27243) e iso 7933 (en 12515) en cuba y países del área del mar caribe. *Mapfre seguridad*, 24(96):15–28, 2004.
- [78] Alistair Sutcliffe and Pete Sawyer. Modeling personalized adaptive systems. In *Advanced Information Systems Engineering*, pages 178–192. Springer, 2013.
- [79] Guillermo Talavera, Renat Martin, Aitor Rodríguez-Alsina, Joan Garcia, Francesc Fernández, and Jordi Carrabina. Protecting firefighters with wearable devices. In *Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence*, pages 470–477. Springer, 2012.
- [80] Ger van den Broek, Filippo Cavallo, and Christian Wehrmann. *AALIANCE ambient assisted living roadmap*, volume 6. IOS press, 2010.
- [81] Vidhya Venugopal, Jeremiah S Chinnadurai, Rebekah AI Lucas, and Tord Kjellstrom. Occupational heat stress profiles in selected workplaces in india. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(1):89, 2015.
- [82] Jan DS Wischweh and Dirk Bade. Activity-oriented context adaptation in mobile applications. In *Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking, and Services*, pages 298–313. Springer, 2012.
- [83] Carolina Zato, Alejandro Sánchez, Gabriel Villarrubia, Javier Bajo, Sara Rodríguez, and Juan F De Paz. Personalization of the workplace through a proximity detection system using user's profiles. In *7th International Conference on Knowledge Management in Organizations: Service and Cloud Computing*, pages 505–513. Springer, 2013.

Anexos

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

System Usability Scale

© Digital Equipment Corporation, 1986.

	En total desacuerdo			Totalmente de acuerdo	
1. Pienso que me gustaría utilizar este sistema con frecuencia					
	1	2	3	4	5
2. Encuentro el sistema muy complejo de entender					
	1	2	3	4	5
3. Pienso que el sistema fue fácil de utilizar					
	1	2	3	4	5
4. Pienso que necesitaría el apoyo de personal técnico para poder utilizar este sistema					
	1	2	3	4	5
5. Encontré que varias funciones de este sistema están bien integradas					
	1	2	3	4	5
6. Pienso que hay muchas inconsistencia en este sistema					
	1	2	3	4	5
7. Me imagino que la mayoría de las personas aprenderían a utilizar este sistema rápidamente					
	1	2	3	4	5
8. Encuentro al sistema muy complejo de utilizar					
	1	2	3	4	5
9. Me sentí muy confiado utilizando el sistema					
	1	2	3	4	5
10. Tuve que aprender muchos procedimientos antes de poder usar el sistema					
	1	2	3	4	5

Pablo Pancardo García

Personalización basada en sensores para la estimación del estrés por calor en ambientes laborales

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::21:202706937

Fecha de entrega

26 mar 2025, 6:35 p.m. GMT-6

Fecha de descarga

18 may 2026, 4:56 p.m. GMT-6

Nombre del archivo

Pablo Pancardo García.pdf

Tamaño del archivo

24.8 MB

120 páginas

24.824 palabras

167.579 caracteres




5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad




N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	www.mdpi.com	<1%
2	Internet	www.redalyc.org	<1%
3	Internet	www.coursehero.com	<1%
4	Internet	prezi.com	<1%
5	Internet	link.springer.com	<1%
6	Internet	www.researchgate.net	<1%
7	Internet	dblp.dagstuhl.de	<1%
8	Internet	hdl.handle.net	<1%
9	Internet	digitalcommons.wayne.edu	<1%
10	Internet	core.ac.uk	<1%
11	Internet	www.uco.es	<1%

12	Publicación	Pablo Pancardo, Miguel Wister, Francisco Acosta, José Adán Hernández. "Ambient...	<1%
13	Publicación	Yu-Hung Yeh, Davy P. Y. Wong, Cheng-Ting Lee, Pai H. Chou. "Deep Learning-Base...	<1%
14	Internet	hal.sorbonne-universite.fr	<1%
15	Internet	ro.ecu.edu.au	<1%
16	Internet	jssm.org	<1%
17	Internet	dl.dropboxusercontent.com	<1%
18	Publicación	Charles Cousyn, Kévin Bouchard, Sébastien Gaboury. "Web-based human activity ...	<1%
19	Publicación	Kawsar, Ferdaus Ahmed. "Computational approaches for remote monitoring of s...	<1%
20	Internet	repositorium.sdum.uminho.pt	<1%
21	Publicación	Vukadinović, Ana V.. "Kauzalna eksplanacija toplotnog komfora stambenog objek...	<1%
22	Internet	archivos.ujat.mx	<1%
23	Internet	austria-forum.org	<1%
24	Internet	Inu.diva-portal.org	<1%
25	Internet	www.ecorfan.org	<1%

26	Internet	www.hi.lt	<1%
27	Internet	datospdf.com	<1%
28	Internet	dialnet.unirioja.es	<1%
29	Internet	oa.upm.es	<1%
30	Internet	dis.ijs.si	<1%
31	Internet	descubre-uev.bibliocrai.universidadeuropea.com	<1%
32	Internet	academia.jguadarrama.link	<1%
33	Internet	www.elconfidencial.com	<1%
34	Internet	bibliotecadigital.exactas.uba.ar	<1%
35	Internet	cbattc.uccaribe.edu	<1%
36	Internet	delta.cs.cinvestav.mx	<1%
37	Internet	www.archivos.ujat.mx	<1%
38	Publicación	Reyes, Jose Tranquilino Bermeo. "Análisis De Sensación Termica En Ambiente Ter..."	<1%
39	Internet	aaltodoc.aalto.fi	<1%

40	Internet	amsdottorato.unibo.it	<1%
41	Internet	www.clubensayos.com	<1%
42	Internet	www.theibfr.com	<1%
43	Internet	www.thinkwithgoogle.com	<1%
44	Publicación	Coreno, Maria Guadalupe. "Las actitudes lingüísticas de las madres bilingües y bi...	<1%
45	Publicación	Vicente Eduardo Capa Guachón. "Estudio experimental y numérico del comporta...	<1%
46	Internet	coek.info	<1%
47	Internet	eprints.ucm.es	<1%
48	Internet	es.scribd.com	<1%
49	Internet	www.cps.unizar.es	<1%
50	Internet	www.politesi.polimi.it	<1%
51	Internet	www.slideshare.net	<1%
52	Internet	www.steelcase.com	<1%