MONITOREO ELECTRÓNICO EN LA EVALUACIÓN DEL TIEMPO MÁXIMO DE MANTENIMIENTO DE POSTURA ESTÁTICA

Autor

Diana Karina López Carreño

Tutor

Ing. Elvis Eduardo Gaona García PhD

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Maestría en Ingeniería Industrial

Énfasis en Gestión de organizaciones y proyectos

Bogotá D. C, Colombia

Junio de 2022

MONITOREO ELECTRÓNICO EN LA EVALUACIÓN DEL TIEMPO MÁXIMO DE MANTENIMIENTO DE POSTURA ESTÁTICA

Autor
Diana Karina López Carreño

Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de:
Magister en Ingeniería Industrial

Tutor
Ing. Elvis Eduardo Gaona PhD

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Maestría en Ingeniería Industrial
Énfasis en Gestión de organizaciones y proyectos
Bogotá D. C, Colombia
Junio de 2022

Contenido

Tabla de Figuras.....5

Índice de Tablas.....7

RESUMEN.....8

PALABRAS CLAVE.....9

1. INTRODUCCIÓN.....10

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....13

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....13

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....14

2.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....14

3. OBJETIVOS.....16

3.1 Objetivo General.....16

3.2 Objetivos Específicos.....16

4. MARCO DE REFERENCIA.....17

4.1 ANTECEDENTES.....17

4.2 MARCO TEÓRICO.....26

5. HIPÓTESIS.....30

DESARROLLO.....31

5.1 Documentación Requerimientos Operacionales.....31

5.2 Configuración Prototipado.....37

Registro datos sistema electrónico.....39

Evaluación de los sujetos de prueba.....42

5.3 VALORACIÓN CONDICIONES.....46

6. CONCLUSIONES.....53

7. RECOMENDACIONES.....56

8. Referencias 57

Tabla de Figuras

Fig. 1. Clasificación IMC muestra 33

Fig. 2. Relación porcentual de prevalencia de las molestias por región corporal y género. 33

Fig. 3. Relación porcentual por género de los sujetos a excluir. 35

Fig. 4. Una placa de circuito impreso (Printed Circuit Board – PCB) programa fritzing .38

Fig. 5. Montaje prototipo. 38

Fig. 6. Representación del montaje sensor–goniómetro digital para medición directa de ángulos. 39

Fig. 7. Representación de la posición del brazo con respecto al eje Y de acuerdo con el nivel de exposición expresada en la puntuación por colores para las pruebas. 40

Fig. 8. Representa la posición del brazo con respecto al eje X con referencia a la posición del brazo vertical, puntuación y colores. 41

Fig. 9 Representa el esfuerzo físico en comparación a la escala de Borg, conforme el registro de datos del flexor, bíceps, tríceps y deltoides. 42

Fig. 10 Representación del nivel de exposición de riesgo expresado en el porcentaje de tiempo que registró la posición (ángulo de extensión) el brazo con respecto al eje Y. 43

Fig. 11 Medición esfuerzo mediante el uso de una herramienta de golpe Martillo 44

Fig. 12 Medición de esfuerzo mediante el uso de una herramienta de golpe Mazeta. ...45

Fig. 13 División del espacio en función de SH (ordenadas) y AR (abscisas). Tomado de: (Álvarez Valdivia, 2008) 47

Fig. 14 Tiempo máximo sostenido por postura. Tomado de: (Álvarez Valdivia, 2008) ...47

Fig. 15 Flexión de brazo con las posiciones de mano 50/50 y 25/100. 47

Fig. 16 Flexión de brazo con corrección postural.....48

Fig. 17 Colocación para el reconocimiento del dispositivo voluntario género femenino. 48

Fig. 18 Colocación para el reconocimiento del dispositivo voluntario género masculino. 49

Fig. 19 Referenciación flexión de 90º del antebrazo. 49

Fig. 20 Referencia de la posición para el accionar del dinamómetro de mano.....50

Fig. 21 Referencia del registro de posición del IMU.....50

Fig. 22 Visualización registro de información al accionar del dinamómetro de mano.....51

Fig. 23 Visualización cambio postural sin percepción consciente del trabajador.....52

Índice de Tablas

Tabla 1. Relación molestias reportadas, respecto al número de sujetos que las padecen. 35
Tabla 2. Frecuencia valoración Quick Dash conforme las dos secciones (General-Ocupacional). 36

RESUMEN

Comprendiendo las necesidades de una población laboralmente activa, generadora de bienes y servicios como fuente de ingresos para su sostenimiento y el de su núcleo familiar. Por una parte empleados dependientes que dentro de sus obligaciones deben mantener niveles de productividad de acuerdo con los estándares impuestos por el contratista y empleados por cuenta propia que deben garantizar niveles de producción conforme las condiciones de una demanda variable buscando contar con ingresos suficientes, son aspectos a considerar cuando se trata de evaluar las condiciones laborales y sus repercusiones a nivel de efectos negativos para el bienestar y la salud de los trabajadores. Aun cuando a nivel nacional se cuenta con un Sistema General de Riesgos Laborales e iniciativas que propenden por ampliar la cobertura de este vinculando a trabajadores por cuenta propia, es posible encontrar en diferentes informes de entidades oficiales el reporte de un porcentaje considerable de no afiliados lo cual es desfavorable por cuanto un número significativo de trabajadores no cuentan con una asesoría técnica para la identificación y control de riesgos ocupacionales; atención y/o asistencia especializada en caso de presentar alguna condiciones de salud desfavorable como resultado de la práctica laboral.

De manera que, ante la necesidad de desarrollar procesos para la evaluación de riesgos laborales como primer paso ante la programación y promoción de actividades para la mitigación y/o eliminación en el ambiente laboral; comprendiendo las limitaciones administrativas, económicas, operativas, funcionales y personales presentes; tanto como que las lesiones musculoesqueléticas son las situaciones desfavorables de mayor incidencia para el trabajador, con ocasiones de adopción de posturas forzadas y la realización de movimientos repetitivos. Se propuso registrar electrónicamente las desviaciones posturales y la actividad muscular al mantener una postura estática sostenida. Así, al realizar una evaluación diagnóstica de los participantes voluntarios se logró determinar la prevalencia de síntomas músculo tendinosos previos a la investigación, en su gran mayoría atribuibles a la actividad laboral por los mismos participantes. Posteriormente se realizó la incorporación de los dispositivos electrónicos

de medición inercial y registro electromiográfico contando con la transmisión de la información para visualización del trabajador. El sistema electrónico fue sometido a pruebas funcionales en contraste con los parámetros límite de métodos de evaluación ergonómica de posturas y repetitividad de movimientos, logrando obtener mediciones acordes con los determinantes del nivel de actuación.

Finalmente, conforme la participación de voluntarios sanos quienes en el auto reporte no declararon padecer sintomatología de lesiones músculo tendinosas, fueron capacitados para responder a varias prácticas posturales y posteriormente ser objeto de evaluación para la estimación del tiempo máximo de sostenimiento de cada una de las posturas estáticas. Se encontró que los tiempos umbral determinados en la literatura era posible lograrlos únicamente ante el estímulo visual de retroalimentación durante la evaluación, al mismo tiempo se observó que registros de cambios posturales reportados por los sensores electrónicos evidenciaban un tiempo de sostenimiento significativamente bajo, que, en contraste con el auto reporte, para el individuo resulta ser imperceptible la respuesta corporal. En consecuencia, los hallazgos de la investigación sugieren realizar programas institucionales de evaluación con intervención en organizaciones formalmente constituidas como de autoempleo con el objetivo de que los trabajadores identifiquen y reconozcan los riesgos ocupacionales a los que se encuentran expuestos con ocasión de mantener posturas forzadas o realizar movimientos repetitivos. De manera que, los trabajadores se conviertan en actores de la prevención, ajustando sus prácticas para evitar o impedir la aparición de lesiones, enfermedades o incapacidades con la promoción de estrategias de autocuidado.

PALABRAS CLAVE

Tiempo máximo de mantenimiento (MHT Maximum Holding Times), sensor EMG, Carga laboral estática.

1. INTRODUCCIÓN

Con la formalización de las responsabilidades bipartitas a nivel legal (Congreso de Colombia, 1915), y consecuentes procesos reglamentarios para la protección del trabajador con estrategias como el fortalecimiento institucional, definición de directrices para la consolidación de los programas integrales de seguridad ocupacional, medicina preventiva y del trabajo, higiene y seguridad industrial (Díaz Bambula & Rentería Pérez, 2017) en el marco del Sistema General de Riesgo Laborales (SGRL), se resalta el planteamiento de la ampliación de cobertura para beneficiarios de protección frente a enfermedades y accidentes laborales con la afiliación de trabajadores informales, con contrato de prestación de servicios, independientes y madres comunitarias entre otros (Torres Matiz, 2015), esto en contraste con el objetivo de "Promover acciones preventivas encaminadas a la disminución de la siniestralidad laboral" (Ministerio del Trabajo & Organización Iberoamericana de Seguridad Social -OISS-, 2014) sugiere el diseño de nuevas estrategias para que esta población reconozca los factores de riesgo ocupacional a los que se enfrenta en desarrollo de sus actividades.

La evaluación realizada a nivel nacional en torno a los posibles riesgos para los trabajadores del sector informal, describen entre los factores de riesgo prioritarios, el ergonómico por cargas estática y dinámica (Ministerio de la Protección Social, 2008), en centros de trabajo de empresas constituidas, activas y afiliadas al SGRL los factores de riesgo con mayor frecuencia fueron las condiciones no ergonómicas del puesto de trabajo (Ministerio de la Protección Social, 2007), y en actualización de la encuesta nacional de condiciones de seguridad y salud en el trabajo integrando a población informal, formal y Administradoras de Riesgos Laborales (ARL) se destaca que el 69.92% de los trabajadores consideraron que durante toda la jornada o mayor parte de esta, se les demandaba mantener la misma postura, así mismo reporte de las ARL destaca que entre los años 2009 y 2012 la enfermedad laboral de lesiones músculo esqueléticas prevalece con un promedio de 66.25% (Ministerio del Trabajo, 2013) ante otras reconocidas.

Así considerando la formalización del empleo ante los ciclos económicos y el incremento de la ocupación por cuenta propia en Colombia (Organización Internacional del Trabajo,

2019), se buscará el desarrollo de un sistemas de valoración de los tiempos de mantenimiento máximo de cargas estáticas eficiente y accesible para el estudio del trabajo, considerando las necesidades de recolección de datos relevantes de las tareas, de manera que, el conocimiento acorde con los diferentes sistemas productivos se haga explícito y se constituya en un referente en el contexto organizacional para realizar análisis situacionales que aporten a nivel interno destacando los requerimientos de esfuerzo físico demandado por la ocupación como punto de partida para que se opte por la promoción del autocuidado y a nivel externo responder a los compromisos de identificación de peligros aportando a nivel nacional con información relevante para la vigilancia de los aspectos ocupacionales de las poblaciones laboralmente activa.

Así mismo, considerando las múltiples investigaciones en donde se ha logrado adaptar sistemas tecnológicos para la captura información asociada con las flexiones articulares con dispositivos comerciales como Kinect (Moya et al., 2022)(Jara et al., 2022)(Rodrigues et al., 2022a), sistemas optoelectrónicos (Humadi et al., 2021)(Jacquier-Bret et al., 2021), unidades de medición inercial (Manivasagam & Yang, 2022a)(Villalobos & mac Cawley, 2022)(Carbonaro et al., 2021) y la relevancia de incorporar la percepción de los trabajadores (Lind et al., 2019) se planteó integrar dos sensores electrónicos para la cuantificación de aspectos posturales y respuestas físicas para la retroalimentación cuantitativa del trabajador, en pro del reconocimiento de los límites propios en términos de las respuestas físicas y percepción de condiciones incomodas.

Es así como, tendiente al reconocimiento de las incidencias de las actividades laborales en la salud del trabajador se logra observar cómo trabajadores del sector formal presentan situaciones desfavorables en términos de aparición temprana de lesiones del sistema músculo tendinoso que inciden sobre el desempeño laboral, por cuanto requirieron incapacidades y la necesidad cambio en la asignación de las actividades ocupacionales. A nivel del personal, se observó que aun cuando las exigencias de actividad física del proceso son significativas, parte de la población se caracterizó por encontrarse en sobrepeso y no referir sintomatologías que signifiquen la reducción de capacidades físicas.

Con el desarrollo del sistema tecnológico para la captura de datos (ángulos de flexión miembro superior y electromiografía) tendiente a ser empleado en el lugar de trabajo, se obtuvo información clave en términos cuantitativos, que en contraste con el reporte auto informado suministró información individual que permitió validar la brecha entre la reconstrucción de la percepción de riesgo laboral y la identificación de los límites físicos, por cuanto, el trabajador al recibir la retroalimentación se automotiva por el ampliar su capacidad de sostener la postura estática. Así mismo, se observaron cambios involuntarios a nivel postural imperceptibles para los trabajadores y la adopción de posturas para reducir la carga en tren superior forzando la intervención del tren inferior.

Finalmente, fue posible contrastar los valores umbral referidos por múltiples métodos de evaluación ergonómica y el análisis situacional, encontrando valores inferiores a los establecidos a nivel documental. Así mismo, se observó que la retroalimentación influyo sobre los objetivos autoimpuestos de manera que se prolongó del tiempo de mantenimiento inicial ubicándose cercano al valor umbral.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las lesiones musculoesqueléticas de origen laboral han sido estudiadas, encontrando revisiones documentadas de evidencia epidemiológica que resaltan la existencia de relaciones causales lesiones – trabajo (Bernard et al., 1997) (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2015)(Gutiérrez Strauss, 2011) de manera que solo considerando para Colombia las vinculaciones laborales tipificadas en la categoría de "ocupacionales de no asalariados" se encuentra para el año 2018 cerca del 30% de la población, esto marca una brecha de acceso en marco al registro del Sistema General de Riesgos Laborales (Oficina Regional para América Latina y el Caribe/OIT, 2020) lo que en principio denota una mínima oportunidad de contar con información de las evaluaciones de condiciones inseguras de trabajo en marco de la implementación de un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SGSST), así aun cuando existen múltiples métodos de valoración de riesgo ergonómico: de carácter global para puestos de trabajo fijo con la participación del personal implicado (Obregón Sánchez & Islas Reyes, 2016); evaluación clínica (Cilveti Gubia & Idoate García, 2000) que debe ser financiada por el empleador y desarrolladas por profesionales de la salud; con la incorporación de sistemas tecnológicos de punta (Boné Pina, 2016; Kuta et al., 2020; Peruzzini et al., 2018) que requieren de la intervención de uno o varios expertos; y el uso de sistemas computarizados especiales, hace que considerar estas alternativas en organizaciones, actividades como independientes o servicio doméstico sea difícil, por cuanto significa la inversión de sumas de dinero importantes en la vinculación de equipos de trabajo y recursos tecnológicos con los que no se dispone.

De manera que ante la inminente necesidad de evaluar las condiciones de trabajo para hacer evidentes las implicaciones a nivel de las prácticas laborales y hacer de conocimiento del trabajador los riesgos ergonómicos a los cuales se encuentra expuesto, como su responsabilidad por la adopción de posturas inadecuadas de forma voluntaria (Oramas Salcedo, 2018), existen documentos con orientaciones para realizar

evaluaciones que contemplan valoraciones subjetivas del individuo (Instituto Colombiano de Normas Técnicas -ICONTEC-, 2018), por lo cual se requiere más investigación con respecto a la cuestión de los indicadores que representan un cuello de botella real para tipos específicos de actividades laborales físicas (Johnen et al., 2022), que aun cuando se cuente con la disposición para la evaluación, la documentación sugiere adopción de valoraciones subjetivas que en función de los objetivos de los estudios que marcan umbrales de acción sin considerar aspectos demográficos y comportamentales como el caso referenciado por Castellanos y Pulido (2009) en donde las personas extrovertidas, con respecto a las introvertidas, mostraban una menor percepción de esfuerzo ante una misma intensidad de ejercicio, y la necesidad de desarrollar escalas diferenciadas conforme el desarrollo cognitivo (Rodríguez N. & Gatica S. , 2016) (caso de aplicación con menores).

Por cuanto previendo el reconocimiento del tiempo de sostenimiento de posturas estáticas conforme contracciones isométricas de los músculos para el desarrollo de medidas de actuación propendiendo por reducir la predisposición a desarrollar traumas musculoesqueléticos, se buscará desarrollar un sistema de apoyo para el reconocimiento de fatiga en función del monitoreo de respuestas fisiológicas basadas en la electromiografía de superficie y las acciones involuntarias representadas en movimientos repentinos, como marcadores de los limites personales de operación categorizado en la evaluación de los tiempos de mantenimiento de posiciones estáticas en población sana que refiera actividades laborales, denotando el reconocimiento de sus condiciones para el desempeño en contexto con operaciones de exigencias equiparables.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿En qué medida la instrumentación de la cuantificación del esfuerzo responde a la evaluación del tiempo máximo de mantenimiento de posturas estáticas de trabajo?

2.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los factores humanos relevantes en la valoración cuantitativa del tiempo máximo de mantenimiento de posturas estáticas de trabajo?

¿De qué manera valorar los factores humanos relevantes en la valoración cuantitativa del tiempo máximo de mantenimiento de posturas estáticas de trabajo conforme sistemas de monitoreo electrónico?

¿Cuáles son los valores capturados por el sistema electrónico del tiempo máximo de mantenimiento de posturas estáticas por individuo?

¿De qué manera la valoración cuantitativa y el reporte auto informado convergen en la determinación del tiempo máximo de mantenimiento de posturas estáticas?

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Incorporar un sistema de monitoreo electrónico para la cuantificación del esfuerzo en la evaluación de tiempo máximo de mantenimiento de posturas de trabajo estáticas.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar parámetros y variables operacionales del sistema electrónico de monitoreo de posturas estáticas.
- Configurar un sistema de registro de información de salida conforme a los rangos de operación de la información de entrada.
- Establecer tiempo máximo de mantenimiento de posturas de trabajo estáticas considerando los registros del sistema electrónico.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 ANTECEDENTES

Partiendo de la necesidad de evaluar las condiciones laborales que destaquen el compromiso del trabajador con los objetivos de producción y la gestión propia del riesgo, más que en términos de la adaptación dimensional de los medios de trabajo (Castillo M., 2019) se buscará relacionar los diferentes métodos de evaluación ergonómica basados en las posturas de trabajo con el uso de recursos tecnológicos en la recolección de información, resaltado los resultados obtenidos conforme la ocupación evaluada como base para la representación de las limitaciones funcionales propias del trabajador.

El acoger sistemas tecnológicos como apoyo en la recolección de información de entrada marca la premisa de reducir la subjetividad del evaluador, de manera que revisión de literatura para la identificación de antecedentes comprendió varias fases para la definición de un corpus, refinación de los documentos corpus con la revisión y sintetización de la información así:

Búsqueda exhaustiva: Se realizó a través de los buscadores Google Scholar y Semantic Scholar, a la vez, en bases de datos como: Web of Science, Science Direct, IEEE Xplore, SpringerLink, entre otras. Los criterios de búsqueda inicial incluyeron artículos a partir de 2015, cuyo resumen informara sobre el uso de sensores para la evaluación de riegos ergonómicos en extremidades superiores. Una revisión detallada a los documentos más representativos permitió adicionar palabras claves y criterios de búsqueda para la ejecución de nuevas consultas cada vez más ajustadas al tema de investigación. Para complementar la búsqueda, se utilizó la estrategia de seguimiento bibliográfico hacia adelante y hacia atrás (citación del documento y referencias bibliográficas).

Obtención de ecuación de búsqueda refinada en Scopus: a partir de la revisión sistemática se establecieron palabras claves, operadores lógicos, filtros y demás criterios de selección para consolidar una ecuación de búsqueda en Scopus, una de las bases de datos más grandes y reconocidas por la comunidad científica a nivel mundial. Con base

en los resultados preliminares se llevaron a cabo algunos ajustes de forma iterativa hasta mejorar la calidad de los artículos seleccionados y refinar la búsqueda. la sintaxis de la ecuación definitiva se presenta a continuación:

TITLE-ABS-KEY (((ergonomic) W/2 (assessment OR evaluation OR risk)) AND (EMG OR IMU OR wimu OR wist OR sensor OR "real time" OR acelerometer OR werable OR goniometer OR inercial OR magnetometer) AND ((upper W/1 (limb OR extremity)) OR RULA OR REBA OR "check list OCRA" OR Borg OR JSI OR REM OR "repetitive efforts and movements" OR WMSD OR "musculoskeletal disorder")) AND PUBYEAR > 2014

Conceptualización: Conforme la literatura colectada se hace una síntesis de cada documento, destacando como categorías conceptuales el tipo de sistema tecnológico empleado para la captura de datos, medios de contraste para la validación de la información recolectada, métodos de evaluación ergonómica, contexto de la actividad productiva real o simulada presentada y los resultados obtenidos conforme el objeto de la evaluación para la población contemplada para la experimentación.

Marca los errores de evaluación humano en comparación con el registro Kinect

Considerando la precisión de un sensor RGB-D Microsoft Kinect a partir de estudios previamente realizados, se propuso realizar un análisis de la información de entrada en la estimación de las postura del cuerpo y su impacto en los resultados finales de la evaluación ergonómica mediante un enfoque estocástico, considerando como información de entrada los resultados obtenidos de la valoración del riesgo ergonómico con el método RULA lograda con la participación 50 estudiantes previamente capacitadas para la evaluación, obteniendo que las estimaciones presentan desviaciones estándar significativas en las mediciones de las flexiones articulares de modelos 3D previamente definidas de manera que solo entre el 46% y el 76% de las evaluaciones finales lograron corresponder correctamente con el valor esperado.

Valorando los errores en las mediciones producto de los instrumentos tecnológicos empleados para la detección en donde se asume la reducción del error humano en las estimaciones. Así, los autores involucran el método FuzzyRULA y RULA considerando

los enfoques de valoraciones del riesgo con puntuaciones continuas y discretas respectivamente, experimentando con la generación de 10000 posturas aleatorias por caso y considerando tres niveles de error diferentes para la observación humana y el sistema de detección humana de manera independiente. Concluyendo que la imprecisión de la información de entrada impacta significativamente los resultados del análisis ergonómico, destacando para el caso, tener que correr el riesgo de ignorar casos que requieren implementar acciones de mitigación inmediata (Golabchi et al., 2017).

Instrumento validado basado en entrevistas y observación

Así mismo, autores como Lind et al. (2019) proponen el desarrollo de herramientas para la detección de factores de riesgo de desórdenes musculoesqueléticos de origen laboral como el RAMP I considerando reemplazar el uso de sistemas tecnológicos costosos, integrando la recolección de información mediante la observación y entrevistas, destacando resultados satisfactorios por su usabilidad, confiabilidad y fiabilidad.

Sistemas de captura de datos con el procesamiento de imágenes.

A partir de 30 de videos que incluían actividades operativas de manipulación manual, mantenimiento de máquinas, manejo de computadoras montaje, limpieza y conducción, se valida el reconocimiento de posturas dinámicas de un sistema OpenPose (imágenes GoPro HERO 6 Black) comparando los resultados con un cámara óptica VICON (Oxford, Reino Unido), destacando que a partir de la revisión de información de entrada el sistema computacional identifica entre los métodos REBA, RULA y OWAS el que mejor se ajusta a las condiciones de trabajo para entregar el cálculo del nivel de riesgo según el método seleccionado, destacando la oportunidad de vinculación de expertos en la evaluación exhaustiva de actividades puntuales con puntaje elevado (Lin et al., 2022)

Combinación sensores corporales y Videograbación

Manejo de materiales con el análisis de video (grabaciones de tiempos de operación con dos cámaras), sistema de captura de movimiento que combina sensores inerciales (siete unidades) IMU CAPTIV inalámbricas (TEA, Nancy, Francia) con su respectivo software y electrogoniómetros biaxiales (Biometrics Ltda., Newport, Reino Unido) para la detección

de desviaciones de la muñeca. Participación de un técnico con más de 20 años de experiencia en el análisis ergonómico.

A partir de las grabaciones de 5 trabajadores durante 30 ciclos (20 minutos de trabajo) de la tarea de limpieza, ensamble, verificación calidad, empaque y sellado de filtros (material médico), quienes realizaron empleando la observación de 10 ciclos se evalúa el método RULA, y se concluye frente al nivel de actuación por la exposición a carga postural la importancia de integrar la variable tiempo, por cuanto la evaluación independiente por subtareas comprendido valores diferenciados de exposición que requerían el rediseño y cambios urgentes de la tarea (puntuaciones de 6 y 7) de manera que considerando el porcentaje de tiempo requerido para la ejecución de las subtareas en el proceso se logró identificar que el 50% del tiempo de ciclo fue valorado con nivel 7.

Así mismo se logra evidencia la oportunidad de determinar la región anatómica expuesta a mayor riesgo y las desviaciones estándar de la valoración del riesgo por segmento (izquierdo y derecho cuando aplicó), pudieron ser atribuidas a aspectos antropométricos diferenciados como la altura de los trabajadores (Vignais et al., 2017)

Dispositivo comercial IMU y MATLAB en odontología

La evaluación ergonómica se realiza tomando como referencia el método RULA para dos conceptos de tratamiento maxilofacial, tarea quirúrgica en donde los odontólogos realizan una incisión palatina y marginal en la región 16 a 11 en el primer cuadrante con duración 60s, teniendo como referencia las posturas de 15 cirujanos y maxilofaciales (13 hombres y 2 mujeres) registrando sus movimientos a través del sistema: Xsens MVN Link (Traje con 17 sensores inerciales, paquete de transmisión y batería), el software MVN Analyze XSens y como respaldo grabaciones en video (IPad Air, Apple Inc., a una resolución de 1080p HD, 120 fps), para posteriormente hacer el tratamiento de datos Mapeo estadístico paramétrico y emplear MATLAB para la evaluación RULA ajustado. De manera que se concluye una gran contribución en la evaluación cuando se emplean una mayor resolución en el sistema de captura de datos teniendo como ejemplo la medición de los ángulos de flexión y extensión del hombro, así mismo se realizan parametrizan aspectos como el de levantamiento de carga y la posición sentado, no se consideraron aspectos antropométricos que pueden influenciar el procesos de captura de datos, destacan la

importancia de la evaluación ergonómica para incluir cambios pequeños en el puesto de trabajo que pueden aportar significativamente (Maurer-Grubinger et al., 2021)

Ante la incorporación de sistemas tecnológicos como apoyo para la recolección de información es relevante mencionar:

Plataforma evaluación con varios métodos de evaluación

La Workforce Ergonomics and Management Platform (WEM-Platform) plantea en tiempo real de: evaluación de los índices RULA, REBA, OWAS y PERA, retroalimentación puntuando la postura del trabajador según NIOSH, estado físico (frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria y temperatura de la piel) e indicadores de productividad (eficiencia, tasa de producción y trayectoria). Se destaca de la plataforma basada en el Sistema Operativo del Robot (ROS), que emplea para el reconocimiento de ángulos de flexión con entre 17 y 29 Unidades de medición inercial (permitiendo la interoperabilidad dos sistemas comerciales como son el MTw Awinda [Xsens] y el G4 MOCAPSUIT [Synertial] respectivamente) y un rastreador de actividad Aidlab (integra ECG, frecuencia cardíaca, temperatura de la piel, respiración y un micrófono). La validación del sistema comprende el monitoreo de un voluntario hombre en una operación de ensamble, con el procesamiento de información en tiempo real, para posteriormente hacer un contraste de la información de salida en bruto empleando el Siemens Jack Task Analysis Toolkit para cálculo de los índices OWAS y PERA, como la valoración de expertos en RULA y REBA obteniendo resultados satisfactorios en donde las diferencias significativas se atribuyen al sesgo del observador (Battini et al., 2022)

Con el objetivo de realizar una evaluación del riesgo ergonómico al que se encuentra expuestos los trabajadores de albañilería se realiza una recolección de información cinemática empleando los dispositivos MVN Awinda (Xsens 2016, MVN Studio), Perception Neuron (Noitm 2017, Axis Neuron) y videograbación (como respaldo)

El sistema 3E-AJA emplea una cámara Microsoft Kinect (para Windows V1) ubicada frente al evaluador e integra un sistema OpenPose para detectar y generar coordenadas 2D de las articulaciones corporales con un algoritmo para segmentar las partes del cuerpo (WSHP) generando puntos en píxeles que se identifican como diferentes las partes del

cuerpo. La experimentación contó con la participación de 20 usuarios de computadoras, monitoreados durante 2 horas en 6 posiciones diferentes. El ambiente de trabajo se equipó con un sensor Kinect y una cámara RGB para el registro de la actividad y brindar información adicional para los ajustes del sistema. El procesamiento de la información estuvo orientado a la evaluación del método RULA y validación del 3D-AJA comparando los ángulos de las articulaciones detectados con el SDK de Kinect y la goniometría manual. Finalmente, los resultados conducen a describir un buen ajuste del 3D-AJA con respecto a la goniometría manual, superando el SDK Kinect al mismo tiempo que se logró identificar las zonas del cuerpo que son susceptibles de mayor atención para la correcta identificación de los ángulos de movimiento y lograr mejor ajuste en la evaluación ergonómica (Rodrigues et al., 2022b)

Empleando Kinect V2 como sistema de captura de datos y el BTS SMART D (6 cámaras optoelectrónicas, unidad de procesamiento y software BTS Bioengineering, BioFoot, Quito – Ecuador) para respaldar los datos de salida del Kinect V2 se encuentra una correspondencia positiva. Como aplicación del sistema de captura de datos se propone la evaluación del proceso de alimentación de una cizalla hidráulica y evaluación del índice RULA. De manera que el sistema logró representar las puntuaciones individuales en tiempo real del índice RULA, siendo estos sometidos a evaluación con la evaluación de un experto variando en 1 la puntuación, así, el sistema evaluó un nivel por debajo del experto, atribuyendo la diferencia a que el sensor se encuentra limitado para la captura de movimiento de la cabeza y desviaciones de la posición de la mano. (Jara et al., 2022)

Como parte de la integración de la evaluación del riesgo ergonómico en actividades de prestación de servicios se encuentran los casos en donde mediante el uso Kinect V2 se busca medir el riesgo al que se encuentran expuestas las enfermeras que atienden neonatos en el proceso de alimentación con biberón en posición de pie, validando los resultados de la captura de datos con el sistema Kinescan/IBV (Empleado para el análisis de movimientos de forma automática y en tiempo real, Universidad Politécnica de Valencia, España). Con una muestra de 5 enfermeras se trabaja un ciclo de 10 minutos con dos de descanso, de manera que al comparar los dos sistemas de captura de datos se encuentran desviaciones estándar inferiores a los 3º y la comparación de los datos un error estándar de no más de 5º, finalmente se concluye que los ángulos de error no

interfieren en la valoración del nivel de riesgo previsto por el método REBA ya que a partir de la información de los dos sistemas el puntaje es de 4 y correspondiente a un riesgo medio (Moya et al., 2022).

Como soporte para la evaluación del método REBA y el cálculo de una puntuación K para la incorporación de la detección de fatiga, se empleó un sistema EMG inalámbrico (Trigno, Delsys, EE. UU.) y el registro de los ángulos de flexión con nueve sensores IMU (MTws, Xsens Technologies, Países Bajos) y cámara (Vicon, EE. UU.) de referencia. Se trabajó con 10 hombres, quienes previamente instruidos realizaron una tarea de levantamiento de carga. El sistema destaca la valoración de la puntuación K como referente para incluir pequeños cambios en las posturas y la métrica de detección de fatiga muscular para reducir el sesgo de los evaluados (Beltran Martínez et al., 2022)

Con el objetivo de estimar la relación entre el levantamiento de cargas (variando la masa) y el nivel de elevación (alta, media y baja), se evaluó el trabajo muscular de 67 empleados de supermercados con mediciones de actividad mioeléctrica con sEMG (TeleMyo DTS Telemetry, Noraxon, AZ, EE. UU. y electrodos Blue Sensor N-00-S, Ambu A/S, Ballerup, Dinamarca) y grabaciones de video simultáneas de las actividades de almacenamiento en los supermercados, encontrando asociaciones entre la masa de carga y la altura de elevación con el trabajo muscular de la zona lumbar y del cuello/hombros.(Skovlund et al., 2022a)

Integración de realidad virtual (Oculus Quest 2) y 17 IMU (Perception Neuron Studio de Noitom con el software Axis Studio (Noitom)) para representar un puesto de trabajo de ensamble de puertas de manera que la interacción en un entorno virtual permitiera el cambio de las condiciones de trabajo, para posteriormente implementar los cambios en el ambiente de trabajo real (Kačerová et al., 2022)

El experimento tuvo como objetivo validar la integración de los sensores IMU como alternativa para la determinación de la velocidad de flexión/extensión, desviación cubital/radial y pronación/supinación de la muñeca con el desarrollo de tres tareas simuladas. Se comparó la información de un goniómetro eléctrico de doble eje (Biometrics Ltd., Newport, Reino Unido) y dos sensores IMU (Movesense, Suunto, Helsinki), con soporte de una aplicación de código abierto Movesense showcase v.1.0.5 (Amer Sports

Digital Services Oy, Helsinki). A partir de la valoración de 12 voluntarios (6 hombres y 6 mujeres) los autores concluyen sobre el potencial del método basado en IMU para la evaluación de riesgos del movimiento de la muñeca en el trabajo. (Manivasagam & Yang, 2022b)

Integración de percepción, seguimiento movimiento y electromiografía servicios

Con el objeto de determinar las tensiones experimentadas por los cirujano y asistentes, se empleó un cuestionario para evaluar la incomodidad percibida antes y después del procedimiento robótico (29) y laparoscopia (48). Se experimentó con 20 cirujanos realizando el seguimiento de movimiento y electromiografía evidenciando una carga física significativa en miembros superiores posterior a la laparoscopia y en el procedimiento robótico destacó la incidencia en espalda y posición estática del cuello (Monfared et al., 2022)

Contando con la participación de 20 cortadores de carne de cerdo experimentados se planteó la incorporación de un IMU de 9 ejes (Wit Motion BWT901CL Bluetooth 2.0 tiempo de estabilización de 10 s), como sistema para el registro de movimiento de muñeca y valorar con ayuda de un experto las puntuaciones del método RULA (Sección A) y suministrar la información para modelar un algoritmo en donde se asignan las mediciones de IMU asociadas con un corte a un parámetro que representa el factor de riesgo como un problema de clasificación, obteniendo la predicción de los factores de riesgo de WRMSD. De manera que determinaron que los algoritmos de aprendizaje automático lograron detectar con éxito los factores de riesgo (Villalobos & mac Cawley, 2022).

Recreando tareas de manejo manual de materiales, se calcula la puntuación RULA experimentando con un modelo cinemático a partir de 17 IMU (MTws, Xsens, software MVN Analyze Technologies, Países Bajos) manteniendo un patrón de comparación con el sistema de cámaras (VICON, Oxford Metrics Group, Reino Unido) y 15 marcadores retrorreflectantes. Los dos sistemas actuaron sincrónicamente. Para la obtención de la puntuación RULA fue necesario parametrizan las desviaciones no definidas por el método (ej, aducción/abducción de la parte superior del brazo con ángulos entre -20 y 20, asignando puntuación de 0 en el rango 1y para valores registras fuera del mismo). Así, se destaca que las valoraciones RULA resultantes de los dos sistemas de recolección de

información son concordantes y aún después de valorar las desviaciones del sistema IMU y las mediciones logradas con el sistema de captura de imágenes. (Humadi et al., 2021)

Uso Xsens y puntuación parcial de rula Grupo B con gráficos de tiempo de la valoración

El estudio comprendido la valoración de la puntuación RULA de grupo B, para lo cual fueron usados 3 IMU (MTw producidas por Xsens) en un médico cirujano durante una intervención quirúrgica, de manera que, la información recolectada por el sensor fue analizada para mostrar las puntuaciones asociadas del método por sección del cuerpo, en función del tiempo de permanencia en la postura adoptadas como elemento importante (Carbonaro et al., 2021)

Para la valoración del tiempo efectivo del proceso de perforación en pared (placa de acero de 3mm) con variaciones de altura (empleando un taladro inalámbrico de mano), se experimentó capturando los datos cinemáticos y cinéticos empleando 8 cámaras optoelectrónicas con 50 marcadores (Oqus 400-Qualisys AB, Gotemburgo, Suecia.) y una plataforma de fuerza (AMTI, Watertown, MA, EE. UU) variando la altura de perforación. Las observaciones se realizaron con 14 voluntarios diestros, encontrando una relación directa entre el aumento de la altura de perforación y el incremento del tiempo de operación, así mismo, requirió cambio significativo de la postura de trabajo en la parte superior. Valorando el nivel de riesgo apoyados del puntaje RULA se concluye que la operación presentó riesgo significativo de desarrollar TME y por lo que debe prestarse mayor atención al proceso conforme la altura de perforación requerida. (Jacquier-Bret et al., 2021)

Sistema que evalúa varios Métodos manipulación de cargas (NIOSH), evaluación postural (RULA, REBA y OWAS) sobrecarga mecánica (EAWS)

Empleando cámaras de profundidad sin marcadores se desarrolló el Sistema de Análisis de movimiento -MAS- con el objetivo realizar una valoración cuantitativa y en tiempo real del nivel de riesgo ergonómico con los índices de NIOSH, OWAS, RULA, REBA y como soporte para los 3 primeros apartes de la Hoja de Trabajo de Ensamblaje Europea (EAWS). El sistema fue validado satisfactoriamente en una población muestra de una

línea de producción de vehículos (que reportó EAWS), de manera que se proyecta el uso del sistema como apoyo en el diseño de estaciones de trabajo para actuar sobre las acciones correctivas que permitan garantizar la salud de los operadores. (Bortolini et al., 2018)

4.2 MARCO TEÓRICO

Unas condiciones de trabajo deficientes pueden conducir a la generación de enfermedades laborales, por ello la Organización Internacional del Trabajo (2017) refiere la importancia de contar con un puesto de trabajo bien diseñado para evitar enfermedades relacionadas con condiciones laborales, así como para asegurar que el trabajo sea productivo, de manera que es de vital importancia evaluar y controlar los múltiples factores que intervienen en los diseños de locaciones y prácticas laborales saludables. Reconociendo como factor fundamental los agentes ergonómicos, ya que, a través de movimientos repetitivos, posturas forzadas, combinación de fuerza y movimientos, se genera estrés tipificado por: levantar, sostener y transportar cargas manualmente; tirar y empujar cargas manualmente; procesos de trabajo manual; fuerzas de todo el cuerpo; locomoción física y postura forzada (Maltry et al., 2020), que propician la aparición de enfermedades como tenosinovitis, lumbagos, síndrome del túnel carpiano, bursitis de manos o codos, entre otras (Ministerio del Trabajo, 2014) considerando solo los miembros superiores por ser los más comunes (Gómez-Galán et al., 2020).

Ante la necesidad de establecer estereotipos funcionales que den cuenta de disposiciones corporales favorables para el desarrollo de actividades que exigen respuestas físicas y mecánicas considerables del individuo, es posible considerar la relación entre valoraciones antropométricas y el desarrollo físico, conforme la constitución de estructuras corporales se evidencian diferencias significativas para el desarrollo físico (Tambovtseva & Demidova, 2020). Un ejemplo es la correlación encontrada entre el Índice de Masa Corporal calculado a partir de la relación estatura y peso del sujeto (Puche, 2005); con el desarrollo de capacidades físicas como la fuerza y resistencia de presión manual que se encuentran significativamente correlacionados para hombres tanto como para mujeres, de manera que el sobrepeso marcó diferencias en los dos géneros (Dhananjaya et al., 2017).

Así mismo, al hacer referencia a los métodos de evaluación ergonómica tradicionales basados en reglas, como instrumento para el direccionamiento de las observaciones necesarias en la identificación del nivel de exposición al riesgo por carga postural y nivel de actuación, estos resultados se constituyen en base para las acciones requeridas a fin de encaminar la prevención de trastornos músculo esqueléticos de carácter ocupacional. Concretamente, entre los métodos relacionados con la evaluación postural más utilizados se encuentran: Rapid Upper Limb Assessment -RULA-(Valoración Rápida de los Miembros Superiores), Rapid Entire Body Assessment -REBA- (Evaluación Rápida del cuerpo) y Ovako Working Analysis System -OWAS- (Sistema de análisis del trabajo Ovako) (Diego-Mas et al., 2015)(Kee et al., 2020) y para la evaluación por el desarrollo de tareas repetitivas: Job Strain Index -JSI- (Índice de Esfuerzo de la Tarea) y Check List OCRA (Roodbandi et al., 2021). Métodos que a partir de la calificación cuantitativa y cualitativa de ciertas variables operacionales como: el tipo de actividad, posturas adoptadas, tiempo de ciclo, frecuencia, fuerza, entre otras, son relacionados para determinar una ponderación final, que resulta depender de la objetividad del observador y la fiabilidad de los métodos de recolección de información.

Como elemento fundamental para la identificación de la población muestra de trabajo se tendrá en cuenta la versión reducida de la Escala de Discapacidades de Brazo, Hombro y Mano, denominada QuickDASH (The Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand) en su versión en español validada (García González et al., 2018) de manera que la puntuación de discapacidad/síntoma se convierte en métrica para la exclusión de candidatos de la población base, considerando que la actividad laboral requiere de actividades repetitivas, esfuerzos manuales y posturas forzadas de manera similar a lo expresado en (Ramdan & Candra, 2021) para operaciones de tejeduría así con el corte y empaque de flores.

Los tiempos de mantenimiento máximos como agente ergonómico describen la duración máxima que se puede mantener una postura estática continuamente desde un estado de reposo (Miedema & Jan Dul, 1997), el estudio de los tiempos y su considerablemente contribución en la aparición de traumas músculo esqueléticos han sido estudiadas, de manera que considerando aspectos físicos como la influencia de carga externa en función del centro de gravedad y la altura de la carga se ha logrado validar actividad en los músculos braquiorradial, bíceps braquial, deltoides medio y erector (Lee, 2016). Aun

cuando estudios como el de El ahrache (2006) que contribuye al valorar el tiempo de trabajo muscular estático centrado en el tiempo máximo de resistencia (MET) y el porcentaje de contracción muscular distingue los niveles de la fatiga muscular ante la contracción voluntaria del músculo o estos mismos indicadores ante la sujeción de carga (Lee, 2016). Ante esto, la evaluación de casos particulares ha de contribuir con información relevante a considerar en el diseño de tareas, así como las configuraciones locativas conforme las relaciones del sujeto.

Contemplando la necesidad de establecer los límites personales frente a los esfuerzos realizados con ocasión de la actividad ocupacional, se ha de considerar la realización de pruebas en diferentes sujetos para lograr estimar la relación entre las condiciones físicas del trabajador, sus repuestas como es la fatiga muscular (Beltran Martinez et al., 2022) ante diferentes estímulos externos. La observación del trabajo muscular con la integración de la electromiografía cinesiológica para el registro de la actividad eléctrica generada por el paso del impulso nervioso con el patrón de la actividad muscular (Villarroya Aparicio, 2005); en casos como el levantamiento de cargas (variando la masa), el nivel de elevación de miembros superiores (Daniel et al., 2022; Skovlund et al., 2022b), la asociación del levantamiento de cargas con la masa y la altura de elevación; como el uso de herramientas por sobre el nivel de la cabeza (Hefferle et al., 2020) ha evidenciado entre otros la zona activación muscular de la zona lumbar, cuello/hombros, brazos y muñeca.

La fatiga muscular es un fenómeno fisiológico generado por el movimiento muscular masivo, su potencial efecto se concentra en la reducción de la capacidad articular afectando el movimiento normal e incluso dañando los músculos. Dentro de los sistemas de percepción sensorial del comportamiento motor (acumulados a lo largo del tiempo) se encuentran los métodos no invasivos: en donde se emplean las señales electromiográficas (EMG) antes y durante las actividades musculares (Liu et al., 2021), ya manera que siendo el resultado del EMG una señal eléctrica generada con la contracción espontánea del músculo (Wang et al., 2021) se logra una cuantificación del esfuerzo en el tiempo; de manera análoga se encuentra la cuantificación de los niveles de incomodidad de las posturas y movimientos industriales estresantes por las similitudes con los gestos incómodos (Son et al., 2017).

De ahí, que destaquen estudios en donde mediante la obtención de datos electrográficos se evalué el uso del martillo de demolición en donde predomina el trabajo de hombres, y se obtuviesen información relevante para el relacionamiento de las características de las herramientas manuales (martillo) influye sobre los niveles de esfuerzo. Así mismo, el uso de dispositivos para la medición de las variaciones de la amplitud del EMG y disminución de la frecuencia de potencia media (MPF). Para comprobar la importancia de la altura del mango y de la fuerza aplicada al accionar el martillo, como la posibilidad de encontrar los músculos que presentan fatiga debido a empuje sostenido hacia abajo en actividades de demolición hacia el suelo (Camino Li et al., 2022).

Frente a la decodificación y visualización de los resultados se dio uso a la aplicación de código abierto ThingSpeak, que permitió el análisis de datos emitidos por 2 de las dimensiones X y Y, aplicando el Módulo Wifi Esp8266 ESP-01 Arduino basado en SoC (System on Chip), chip integrado que ofrece una solución completa e independiente en conexiones wifi, permitiendo alojar sensores (MPU 650) unidad de medición inercial (IMU) que combina un acelerómetro de 3 ejes, un giroscopio de 3 ejes y dispositivos específicos que se utilizaron como puente entre microcontrolador MyoWare Pololu Arduino Raspberry sensor electromiográfico (EMG), el cual midió la señal eléctrica, ya filtrada y rectificada, del músculo, datos que pueden ser exportados o importados en un dispositivo USB, dentro de los canales que son campos de resguardo de información de plataforma IoT (Garrido, 2015).

5. HIPÓTESIS

- La incorporación de dispositivos tecnológicos para el monitoreo electrónico de la variable esfuerzo permitirá realizar un comparativo entre el reporte auto informado y el registro tecnológico en la identificación del tiempo máximo de mantenimiento de posturas para el trabajo.

DESARROLLO

5.1 Documentación Requerimientos Operacionales

Ante la proposición de valorar el tiempo máximo de posturas sostenidas, para que los diferentes actores laborales reconozcan sus propios límites temporales conforme los esfuerzos requeridos para mantener una postura estática, por el déficit de protección laboral del país, considerando que dadas las condiciones de trabajo por cuenta propia la cobertura de programas de higiene laboral y promoción de seguridad no es accesible para esta población. Inicialmente se plantea la observación de una población que se desempeña en una actividad laboral formal como es el proceso de postcosecha, de manera que se pueda realizar una valoración inicial de la población objeto de estudio considerando la parametrización de aspectos ocupacionales como que: las actividades laborales son desarrolladas en una jornada de ocho horas, la posibilidad de realizar jornadas de trabajo extra, los tiempos de experiencia ocupacional son medible y es posible realizar una asociación de patologías/desórdenes de tipo osteomuscular con la actividad laboral. Esto considerando, que los trabajadores por cuenta propia pueden no estar restringidos en términos del tiempo de desarrollo de actividades laborales o la necesidad de realizar múltiples actividades con origen de la generación de beneficios económicos diarios, entre otros.

Atendiendo lo mencionado anteriormente, en principio se realizará el reconocimiento los aspectos demográficos y antropométricos con respecto a la ocurrencia del riesgo ergonómico. La relevancia de contar con la evaluación de percepción frente a dolencias y otras sintomatologías que pudiesen ser atribuidas al ejercicio laboral, se plantea a partir de una población de 52 voluntarios (16 hombres y 36 mujeres) con edades entre los 22 y 57 años, empleados en los procesos operativos de mantenimiento locativo y postcosecha para organizaciones productoras y comercializadoras de flores ubicadas en el Municipio de Facatativá.

El proceso operativo de postcosecha contempla actividades de recepción de flor para corte, encapuchado, tratamiento químico (para su preservación) y el posterior embalaje.

Durante desarrollo de las actividades los operarios se encuentran de pie durante la jornada laboral, durante la cual reproducen sincrónicamente movimientos de flexión y extensión de miembros superiores, desviaciones de tronco de manera que se encuentran representadas por posturas forzadas o mantenidas a nivel de miembros superiores (Hernandez D & Orjuela R., 2016). Así, mismo el trabajo se encuentran asociados riesgos físico (Condiciones de temperatura, humedad ambiental, ruido, iluminación), químico (manipulación de sustancias líquidas para hidratación de la flor, vapores y flor que ha pasado previamente por un proceso de aspersión de productos fungicidas, herbicidas, entre otros), mecánico (manipulación de herramientas), biológicos (al entrar en contacto con el material vegetal), higiénicas (superficies de trabajo) y psicosociales (por el desarrollo propio del contenido de las tareas conforme medición de productividad) (Paez et al., 2015)

A partir de la información recolectada, se encuentra una participación del 31% de hombres y 69% de mujeres denotando la relación por género de los empleados del sector floricultor, al indagar sobre las condiciones de salud general todos los participantes expresaron estar en muy buenas condiciones, sin embargo al evaluar antropométricamente el índice de Quelet, se encontró que la relación peso y la altura del trabajador indican que el 61% de la población objeto de estudio se encuentra en una categoría de peso saludable, un 33% en sobrepeso y cerca de un 8% en obesidad, destacando que el porcentaje de personas con obesidad responde al género femenino (ver Fig. 1), resultado que es consistente dado que se ha demostrado que la cantidad de grasa en mujeres es mayor que en los hombres.

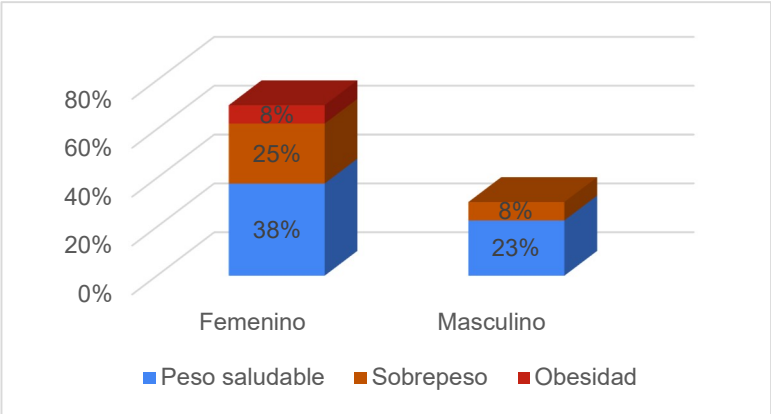


Fig. 1. Clasificación IMC muestra

Valorando la presencia de algún tipo de molestia a nivel del sistema musculoesquelético (con resultados informados) se encontró que prevalece el número de personas que han percibido algún tipo de molestia en el cuello (58%), seguido del número de personas que evidencian haber presentado una molestia en la zona lumbar (48%), así mismo, se destaca la relación de hombres y mujeres que hacen explícito el haber tenido algún tipo de molestia en las zonas indicadas, se resalta que de manera significativa prevalecen las molestias en las mujeres (ver fig. 2).

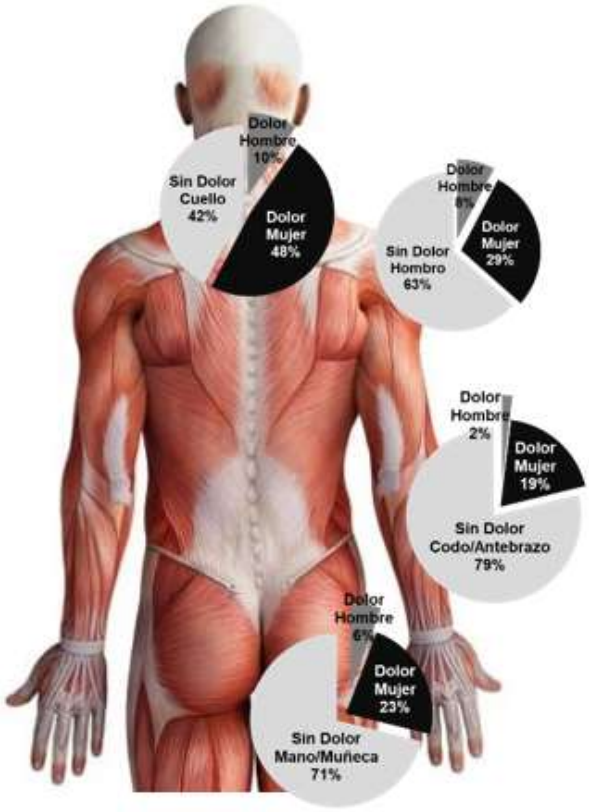


Fig. 2. Relación porcentual de prevalencia de las molestias por región corporal y género.

Ahora bien, a partir de la información suministrada conforme la percepción de ocurrencia de molestia físicas en miembros superiores y región dorsolumbar, se evalúa el Odds Ratio (OR) (Cerda et al., 2013) de manera que al considerar que la actividad realizada involucra actividades de trabajo repetitivo en la población muestra, se obtiene un riesgo significativo por cuanto es 8.174 veces más riesgoso presentar lesiones de tipo musculoesqueléticas

para esta población (OR=8.174, IC=95%: 2.121-31.296) coherente con la caracterización de Magnitud del Efecto (ME) grande (Mateos-Nozal & Martínez Velilla, 2018).

Para lograr relacionar, dentro de los factores determinantes de la aparición de lesiones con origen laboral, se observó el hecho de que los participantes presentaron una patología física previa, descrita por la medición antropométrica para cálculo del IMC como determinante de la relación peso – altura como marcador de una condición saludable o no saludable. Esto determinado por la ubicación del cociente en los rangos que constituyen condiciones de peso normal a obesidad. Así, para el caso de estudio se obtuvo que el IMC de la población se concentró en el rango de normal a alto coincidente con las generalidades de Castellucci et al. (2019) en Chile. Finalmente, al ser este un indicador entre otros relacionado con el riesgo cardiovascular (Massaroli et al., 2018) se validó estadísticamente la razón de prevalencias (RP) (Espelt et al., 2019) encontrando que el porcentaje de personas con sobrepeso u obesas con trastornos musculoesqueléticos guarda una relación porcentual significativamente alta con los de peso normal o saludable (76.2% y 83.9) así el valor del RP (0.98) resultó ser menor que 1 y la evidencia estadística validada con respecto al intervalo de confianza no resulta ser significativa o efecto nulo (IC=95%: 0.683 – 1.208), de manera que la valoración del índice de Quetelet no precisa una variable de exclusión de los participantes (OR=0.615, IC=95%: 0.154-2.464).

Ahora bien, partiendo de los resultados obtenidos por Chen et al. (2021) en donde con la información recolectada de 7065 trabajadores empleando el Cuestionario Nórdico Ocupacional y un análisis de regresión logística múltiple, logra encontrar porcentajes 20.1% y 43.9% de detección de los factores que propician el desarrollo de traumas/lesiones de tipo musculoesqueléticas, de donde se destacaron como factores de riesgo tener una experiencia laboral de más de 3 años, ser mayor de 30 años, emplearse en actividades repetitivas a diario, frecuencia de repeticiones, adoptar posturas incómodas, trabajar horas extras frecuentemente y la necesidad de cubrir el déficit de personal. De manera que, reconociendo este tipo de prácticas en la población objeto de estudio y ante la oportunidad de que los trabajadores reconozcan sus tiempos límites de permanencia en una posición estática y guardando coherencia con el hallazgo de Chen

et al. (2021) frente a la adopción de tiempos de descanso adecuado con destacar este como un factor protector.

Ante la presencia de molestias en mano o muñeca 4 personas han necesitado cambiar de puesto de trabajo, 4 personas por molestia en el codo o antebrazo, 8 por presentar dolor en hombros, 4 por molestias en zona dorso/lumbar y finalmente por molestias en cuello 7 personas requirieron cambiar de puesto de trabajo (ver tabla 1), con prevalencia en lateral derecho que es consistente con la declaración de ser diestros. Al validar las respuestas suministradas, se logra evidenciar de 5 mujeres y 2 hombres registraron padecer molestias en más de dos áreas corporales, por lo cual ante esta situación se hace necesario excluir un total de 15 personas (9 mujeres y 6 hombres) (ver fig. 3) de la siguiente etapa de estudio por cuanto el mantener una postura estática pudiere generar carga osteomuscular adicional, agravar la sintomatología preexistente o suministrar información de interpretación errónea siendo posible que se desarrollaran capacidades musculares superiores y el tiempo de mantenimiento puede verse afectado sin ser necesariamente una condición ideal.

Zona Molestia	Hombres	Mujeres	Sub Total Molestias
Cuello	1	6	**7**
Dorso/Lumbar	1	3	**4**
Hombro	2	6	**8**
Codo/Antebrazo	1	3	**4**
Mano/Muñeca	1	3	**4**
Sub Total sujetos reportan molestia	**6**	**9**	**15\27**

Tabla 1. Relación molestias reportadas, respecto al número de sujetos que las padecen.

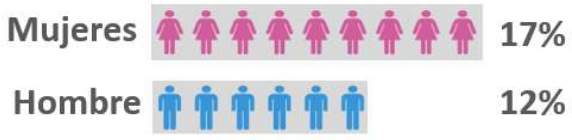


Fig. 3. Relación porcentual por género de los sujetos a excluir.

Los entrevistados que presentaron molestia en algún área de su cuerpo, definieron su experiencia individual y subjetiva análogamente con una escala numérica (Vicente Herrero et al., 2018), para el caso valorada de 0 a 5 con respecto a la Escala Analógica Visual (EVA) con 0= Sin Dolor, 1= Dolor leve, 2= Dolor Moderado, 3=Dolor Severo, 4= Dolor muy severo y 5= Máximo Dolor. Se encontró evaluación de dolor por área del cuerpo: en Cuello con calificación media de 2.80 (DE=1.08), Dorso/Lumbar 2.86 (DE=1.87), hombro 3.58 (DE=1.07), Codo/Antebrazo 3.36 (DE= 1.03) y Mano/Muñeca 3.57 (DE=1.22) de donde se puede observar que se percibe un dolor severo el miembro superior, de manera que en contraste con la posibilidad de que los sujetos evaluaran una situación aislada y con ocasión del cansancio normal de la actividad laboral se descarta y respalda la necesidad de realizar la exclusión de los participantes.

Empleando el Quick Dash (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand) se busca establecer un parámetro de calificación del nivel de discapacidad, a partir de la auto declaración de sintomatologías, así comprendiendo el cálculo con valores inferiores a 10 no refieren trascendencia clínica (López Prats, n.d.) y tomando como los distintos puntos de corte para reflejar la gravedad (Angst et al., 2011a) ≤15: “Sin problema”; entre 16 y 40: “con problema, pero funcional”; >40: “incapaz de trabajar”.

Para el caso de estudio se logra determinar que 37 de los encuestados no refieren problemas asociados con sintomatología de discapacidad en miembros superiores, lo cual es coincidente con los resultados obtenidos con la información reportada frente a la necesidad de cambiar de puesto de trabajo por sintomatología en alguna región del cuerpo (ver tabla 2).

Clase	**Quick Dash General Frecuencia**		**Quick Dash Ocupacional Frecuencia**	
	Absoluta	**Relativa**	**Absoluta**	**Relativa**
Sin Problema	35	67%	37	71%
Con problema, pero funcional	7	13%	11	21%
Incapaz de trabajar	10	19%	4	8%

Tabla 2. Frecuencia valoración Quick Dash conforme las dos secciones (General-Ocupacional).

5.2 Configuración Prototipado

Siendo el EPS8266 la placa como punto de acceso y servidor se incluyeron las librerías Wire, I2C, ESP8266 Wifi (Ochoa, 2017). En la que la librería MPU 6050 interactuó con Arduino para la conexión con el servidor; dentro del proceso de programación las variables de los sensores MPU 6050 como 0x68 y 0x69, declaran la conversión de radianes a grados 180/PI con diferenciación del sensor en la captura de datos, empleando el led RGB (Filiberto et al., 2020); para evitar la acumulación de datos y generación de ciclos de repetición de la toma de datos de cualquiera de los sensores que permitieron leer y registrar los valores del acelerómetro, se empleó a través de la variable de *request from* que demanda la lectura de 6 registros de los ejes X, Y y Z, que partir de los valores del acelerómetro se calcularon los ángulos con respecto a los ejes cartesianos X y Y, respectivamente de manera que posteriormente se emplea la fórmula de la tangente para completar el cálculo Z.

Para el sensor muscular Myoware (Andreevich Artemyev & Ildarovna Bikmullina, 2020) se utilizó el protocolo de comunicación de I2C y el ESP8266 por medio de la conexión wifi. Empleando para la interpretación de la información la declaración de las variables y funciones float, int y print. El esquema eléctrico se diseñó con fritzing (software de código abierto, formatos PBC, protoboard y esquemático) (ver fig. 4) y se desarrolló en el entorno de Arduino. La vista de protoboard permitió visualizar de manera física de la forma de comunicación el nodeMcu (Ochoa, 2017), los dos sensores MPU 6050 y el MyoWare, la manera en que se realizaron las conexiones del circuito, necesarias para el funcionamiento y captura de datos. El esquema PCB fue el medio de impresión de la váquela de forma física que facilitó la exportación de archivos en formato PDF, SVG o Gerber (Ayala & Rodríguez, 2018).

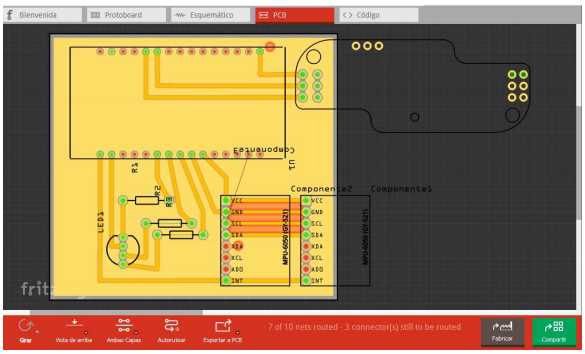


Fig. 4. Una placa de circuito impreso (Printed Circuit Board – PCB) programa fritzing

Para lograr un sistema de captura de información amigable con el usuario se hace el montaje incorporando la placa base a una caja de plástico ABS y se dispone de los cables extensores de los electrodos para la captura de la señal electromiográfica el cual requiere de manera independiente un suministro de energía (ver fig. 5)

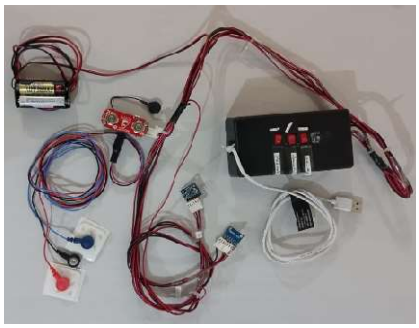


Fig. 5. Montaje prototipo.

De manera que, considerando los referentes de evaluación ergonómica para carga postural, centrado en extremidades superiores se trabajó con: el método RULA (Diego-Mas, Evaluación postural mediante el método RULA, 2015) para el Grupo A “medición del ángulo del brazo” de flexión con los registros de la Unidad de Medición Inercial (-IMU- del inglés Inertial Measurement Unit), empleando un electro goniómetro digital como patrón de comparación en la medición, y el Check List OCRA (Diego-Mas, Evaluación del riesgo por movimientos repetitivos mediante el Check List OCRA, 2015) para la evaluación de la repetitividad de movimientos, destacando la interpretación de la valoración de la fuerza

de manera que la intensidad del esfuerzo se detecte conforme el registro de la actividad electromiográfica como equivalente en la escala de percepción CR-10 de Borg.

Así, en principio la relación de pruebas prácticas se orientó para verificar los tiempos de estabilización, captura, análisis y registro de datos del modelo tecnológico para el registro de las variables de estudio, en donde a partir de 53 repeticiones se representó el posicionamiento con respecto al eje X y Y, posteriormente se agruparon los datos conforme los niveles de actuación de acuerdo con los métodos de evaluación ergonómica de referencia. Para las pruebas de actividad muscular se valoró el registro de la electromiografía con los electrodos posicionados en cuatro músculos diferentes del brazo, para seguir con la valoración de la activación muscular accionando una herramienta de golpe en donde se contó con la colaboración de tres adultos que respondían a tres somatotipos diferentes quienes replicaron los movimientos descritos por los evaluadores y empleando tres instrumentos de masa diferente. Finalmente, se registran y analizan los valores de las variables obtenidos a nivel observacional y operativo como resultado de las pruebas realizadas socializando la información con los colaboradores.

Registro datos sistema electrónico.

Inicialmente para establecer el monitoreo de las flexiones del brazo con el sensor MPU6050, se realizan pruebas de comparación directa posicionando el sensor sobre un medidor de inclinación digital (goniómetro digital) estabilizado (ver figura 5) y debidamente calibrado (U= ± 0.064 con factor de cobertura k=2) obteniendo el valor del error de medición con su respectiva incertidumbre como (-1.37 ± 0.19)º para los ángulos medidos respecto al eje Y (vertical) y (-0.46 ± 0.34)º respecto al eje X (horizontal).



Fig. 6. Representación del montaje sensor–goniómetro digital para medición directa de ángulos.

De acuerdo con los resultados de la prueba realizada en el proceso anterior, se procedió de forma manual con el uso del goniómetro electrónico digital para la medición del ángulo de ubicación del brazo, considerando inicialmente mediciones con referencia al eje Y (ver fig. 7) contemplando una desviación estándar positiva de 3º y una negativa de 13º en la que dispositivo tenía un alcance de 87° en el cuadrante I y II y 77° en el cuadrante III y IV; sin embargo, es de resaltar que durante el proceso de captura de datos se observó que 0 a 10º el registro de datos se ajustaba al patrón de comparación; otro aspecto a tener en cuenta es el tiempo de estabilización del sensor por lo que se tomó en promedio de 15 s antes de iniciar la captura de datos.

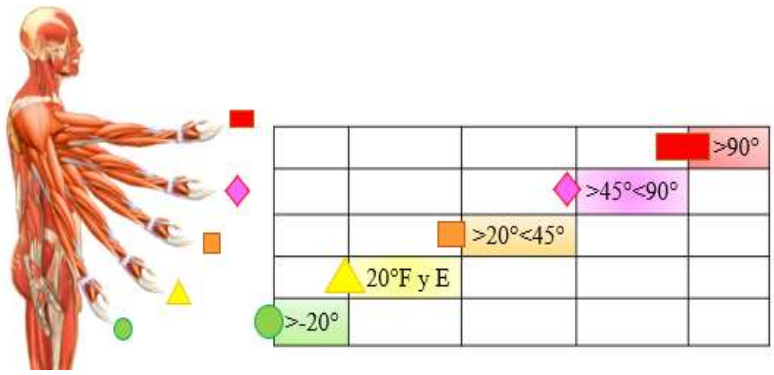


Fig. 7. Representación de la posición del brazo con respecto al eje Y de acuerdo con el nivel de exposición expresada en la puntuación por colores para las pruebas.

La lectura del eje X (Figura 7) con una desviación estándar positiva de 2° y una desviación estándar negativa de 3° grados en la que dispositivo tenía un alcance de 88° en el cuadrante I y III y 87° en el cuadrante II y IV; con promedio de estabilización igual al eje Y de 14,16 s, sin embargo, en el proceso de captura y en comparación con el goniómetro hasta los 20° se capturan datos sin desviación evidente con respecto al patrón.

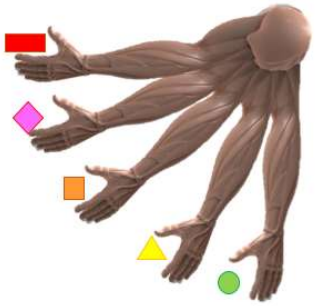


Fig. 8. Representa la posición del brazo con respecto al eje X con referencia a la posición del brazo vertical, puntuación y colores.

Para considerar el registro de la actividad muscular como referente del esfuerzo, entre los aspectos observados y cuantificados se encontró la incidencia de la posición y referencia de los electrodos (ver fig. 9), inicialmente se tomó la referencia electrodo comercial Coviden y se experimentó con la ubicación del dispositivo Myoware sobre el flexor radial del carpo registró una señal considerada como puntuación de esfuerzo con valores entre 8 - 10 y luego instalo el dispositivo sobre el flexor ulnar del carpo, de manera que se obtuvo un registro en promedio de 4,3 equiparable con una puntuación de esfuerzo, con lo cual se evidenció la diferencia de intensidad de señal por las colocación del sensor en diferentes formas anatómicas de músculo relacionados con la actividad de flexión, extensión del antebrazo. Finalmente, se emplearon electrodos 3M (2228 monitoring electrode with foam tape), determinando el bíceps como músculo de ubicación para la medición, ya que no se presentó interferencia y se mantuvo el registro de marcadores actividad.

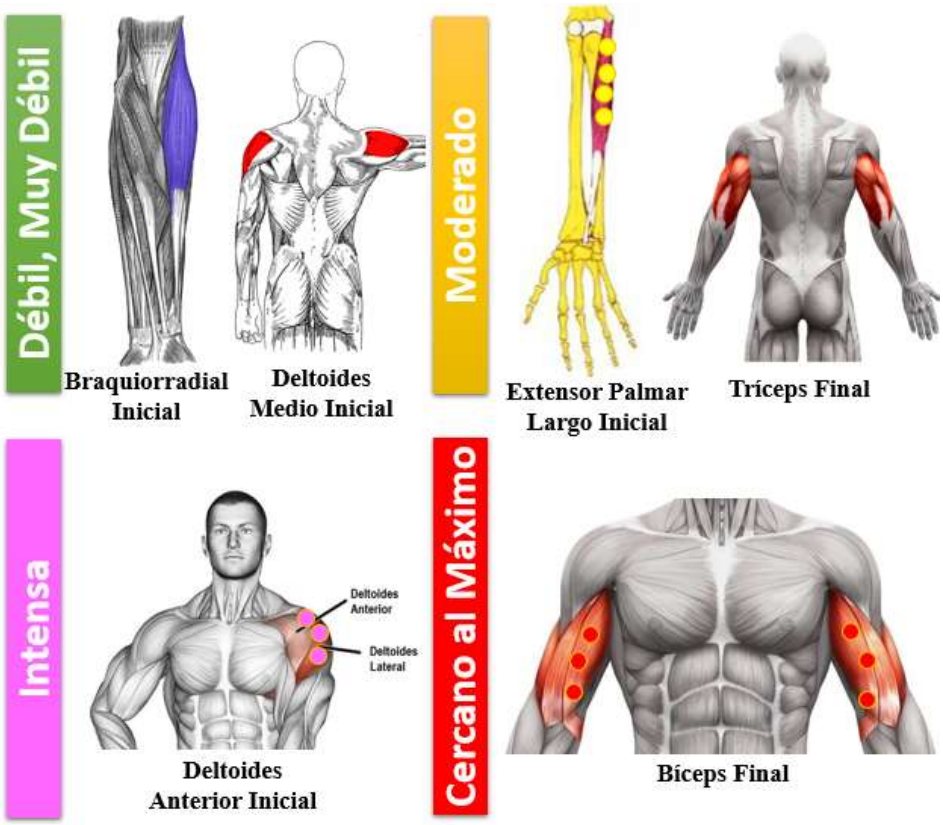


Fig. 9 Representa el esfuerzo físico en comparación a la escala de Borg, conforme el registro de datos del flexor, bíceps, tríceps y deltoides.

Según el análisis de resultados, el músculo extensor palmar largo inicial (amarillo) representa el 25% de incidencia con un esfuerzo moderado tanto en la escala de Borg (Diego Mas, 2015a) empleada para determinar el factor de fuerza según la Check List OCRA, con un esfuerzo percibido obvio pero sin cambio en la expresión facial de acuerdo con análisis comparativo de estimación del esfuerzo descrito en el Job Strain Index (JSI) (Diego Mas, 2015b); así mismo, el músculo deltoides anterior (rosado) represento un 19% del esfuerzo fuerte con un factor de fuerza intensa, de igual forma, el bíceps (rojo) con un 19% evidenció un esfuerzo cercano al máximo.

Evaluación de los sujetos de prueba.

De acuerdo con el proceso de captura de datos, para las desviaciones del brazo respecto a la posición neutral, se consideró un tiempo de ciclo de 5 min en donde el sujeto de

prueba realizó actividades repetitivas de levantamiento de la extremidad superior derecha hasta un ángulo de 90º, con pausas iguales en extensiones intermedias, manteniendo al mínimo las variaciones angulares del antebrazo y muñeca (giros, desviaciones cubito-radial, flexión-extensión). De manera que, teniendo como referencia la evaluación del método RULA en términos de los marcadores como límites de flexión del brazo y los marcadores de acciones técnicas dinámicas de la Check List OCRA en donde los movimientos del brazo no son demasiado rápidos, se obtuvo que: el 46% del tiempo de actividad representó una posición de extensión del brazo entre 20° y 45°, con lo que puede requerirse cambios en la tarea (ver fig. 10); seguido por un 31% del tiempo en donde se encontró una posición de flexión entre 45° y 90°; lo que en conjunto describe que el 77% del tiempo se mantuvo una extensión del brazo con lo es posible contar con la información recolectada como evidencia ante la necesidad plantear el rediseño de la tarea y tendiente a reducir el potencial riesgo de padecer desórdenes músculo esqueléticos; el nivel de actuación “sin riesgo” representa el 23%, en la que se considera como un riesgo aceptable, aun así se debió recordar que la realización de cualquier tarea repetitiva con el tiempo puede convertirse en un factor de riesgo ante la posible aparición de lesiones musculares.

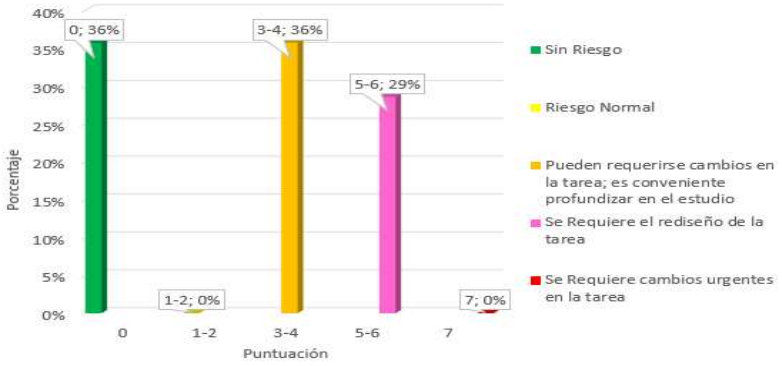


Fig. 10 Representación del nivel de exposición de riesgo expresado en el porcentaje de tiempo que registró la posición (ángulo de extensión) el brazo con respecto al eje Y.

Se tomaron 3 voluntarios como sujetos de prueba, auto denominados sanos y responsables de desarrollar actividades ocupacionales a nivel administrativo en donde no se les demandaban esfuerzos físicos mayores, posturas mantenidas, forzadas o

repetitivas, en términos generales se indago sobre condiciones físicas generales: el sujeto 1 con un peso de 68 kg, edad 26 años y 1,70 m altura (IMC=23.5 “normal”), el sujeto 2 con un peso de 75 kg, edad 21 años y 1,70 m de altura (IMC=26 “Sobre peso”), el 3 sujeto con un peso de 90 kg, edad 51 años y 1,68 m de altura (IMC=31.9 “Obeso”).

Inicialmente, se realizó la prueba de esfuerzo con una herramienta de golpe martillo en posición sentado y un tiempo de 30 s en la que se ubicó un punto de referencia del golpe (puntilla de acero), evidenciando que la intensidad de esfuerzo del primer sujeto con un promedio de 7 (ver fig. 11) sugirió un esfuerzo casi máximo presentando cambios en la expresión facial. El aumento de la intensidad del esfuerzo se observó según la captura de datos del sujeto 2 y 3 que obtuvieron una puntuación de 9 con un esfuerzo casi máximo en donde usaron el tronco y hombros para generar la fuerza.

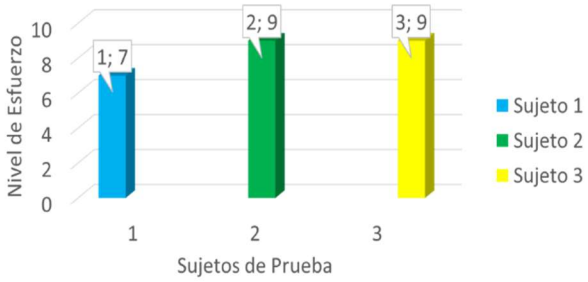


Fig. 11 Medición esfuerzo mediante el uso de una herramienta de golpe Martillo

En la medición con el accionar de la mazeta como segundo elemento de prueba, se evidenció que el peso del elemento incidió en la cantidad de esfuerzo generado a la hora de realizar el golpe debido a que la mazeta tiene un peso de 1.700 g que en comparación con el martillo de 850 g, es un punto de referencia en los cambios generados por las extremidades superiores, teniendo en cuenta que el MyoWare fue colocado de manera que el dispositivo no tuviera interferencia alguna y limitar el margen de error. El sujeto 1 presentó 9,5 de puntuación y sujeto el 2 y 3 con 9 representado un esfuerzo casi máximo (ver fig. 12) y nuevamente utilizando tronco y hombros.

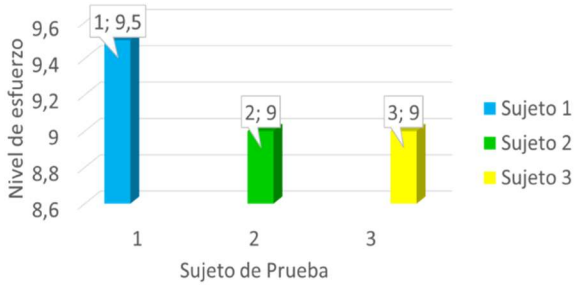


Fig. 12 Medición de esfuerzo mediante el uso de una herramienta de golpe Mazeta.

Por último, se realizó la prueba con una pelota antiestrés con un peso de 0.5 g, en donde reconociendo que los sujetos se describen como diestros por el uso del brazo derecho a la hora de realizar sus tareas diarias. Se les solicitó realizar un esfuerzo para la compresión de la pelota con mano derecha al mantener el antebrazo en flexión de 90º respecto al tronco, con lo que el primer sujeto en las tres tomas sucesivas obtuvo puntajes de esfuerzo valorados en 9, 8 y 9, el segundo de 9, 6 y 7 y el último con 7, 8 y 9, de donde es posible destacar que los sujetos en etapa de juventud (por su rango etario) registraron su máximo esfuerzo en la primera compresión a diferencia del sujeto en etapa de adultez quien en primer registro obtuvo el valor mínimo y posteriormente estos fueron incrementales.

Considerando lo expresado por Ranavolo (2018) en términos de la relación de los tiempos de activación muscular prolongada con la fatigabilidad mioeléctrica, en la clasificación de riesgo medio, se les pidió a los sujetos tomar recesos diferenciados así: el primer sujeto tuvo un receso de una hora y media, el segundo sujeto un tiempo de 20 min y el tercero 15 min de descanso. Con esto, al comparar el valor de los registros del esfuerzo y el tiempo de descanso llama la atención del sujeto tres que contrario a lo esperado en términos de la fatiga muscular este presenta un incremento en los valores del esfuerzo realizado. Por tanto, se denota la importancia de validar la correlación entre los tiempos de presión, cantidad de esfuerzo y otros factores demográficos importantes como el peso, edad, condiciones físicas y tiempo de pausas o descansos.

Cabe mencionar que la interacción con la pelota se distingue del proceso anterior al accionar el martillo y mazeta para el cálculo del esfuerzo, debido a que, los sujetos de prueba manifestaron que las acciones ejercidas sobre esta no se encontraban bajo las mismas condiciones que la herramienta de golpe, por cuanto la fuerza no comprendió la relación del centro de masa de la pieza para completar el movimiento de flexión.

5.3 VALORACIÓN CONDICIONES

Para la recolección de información, teniendo en cuenta los antecedentes personales y que en el reporte auto informado no informaron sobre antecedentes que describieron riesgo de lesiones músculo tendinosas o predisposición conforme valoración de discapacidad en miembros superiores. De manera que se seleccionan de los voluntarios, diez sujetos de prueba (género masculino y femenino, cuatro y seis respectivamente) manteniendo en mayor proporción la participación del género femenino.

Para la recolección de información los sujetos de prueba debían estar vestidos con ropa cómoda de manera que no sintieran molestias al adoptar las posturas de referencia, por lo cual se opta por evitar el uso del uniforme de dotación.

Como primera fase se realizó un acompañamiento a los voluntarios para el reconocimiento del entorno de trabajo, el cual se ubica frente a una superficie planta y lisa conforme a lo referenciado en la NTP 819 de la clasificación de las posturas de mano (ver fig. 13). Se les brinda una pequeña charla para la identificación de las zonas articulares (hombro y codo) a someter a un estímulo por el posicionamiento y sostenimiento de la mano. Así mismo se les da a conocer que se espera la activación muscular y que se va a realizar el monitoreo del músculo “Bíceps Braquial”.

En el reconocimiento del área de trabajo se les presenta el cuadro esquemático general de las posturas sostenidas (ver fig. 14) considerando el posicionamiento de la mano, mediante una práctica sencilla y repetitiva se realizó un entrenamiento inicial de manera que se lograron reconocer el hombro como eje de rotación anatómico, la elevación de miembro superior y desviación de la posición neutral, para la adopción de medidas higiénicas ante la necesidad de adopción de las posiciones de referencia (ver fig. 15).

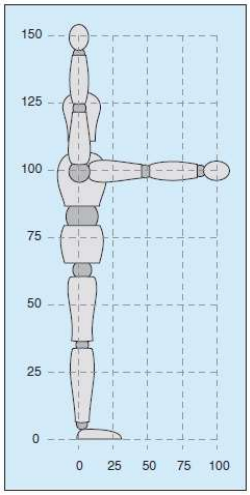


Fig. 13 División del espacio en función de SH (ordenadas) y AR (abscisas). Tomado de: (Álvarez Valdivia, 2008)

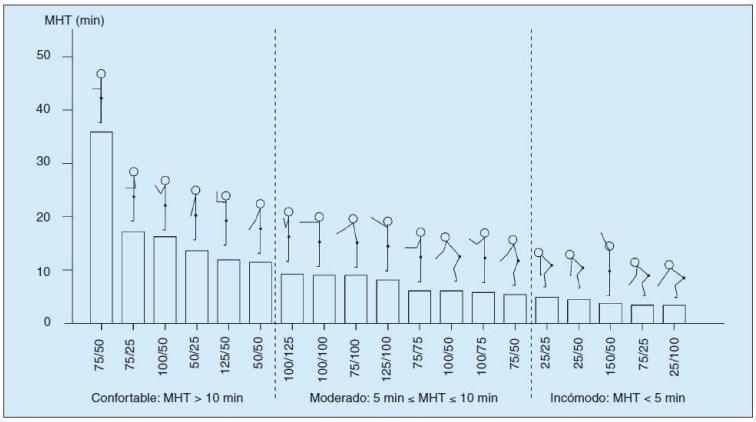


Fig. 14 Tiempo máximo sostenido por postura. Tomado de: (Álvarez Valdivia, 2008)



Fig. 15 Flexión de brazo con las posiciones de mano 50/50 y 25/100.

Finalmente, se dan indicaciones asociadas con la necesidad del auto reporte en caso de presentarse condiciones de molesta a nivel de miembros superiores, inferiores o espalda. Con intención de que los voluntarios logren reconocer sus posturas corporales se les

notificó respecto a las desviaciones de la posición neutra del cuerpo considerando su influencia en la carga muscular de la zona lumbar (ver fig. 16).



Fig. 16 Flexión de brazo con corrección postural.

Continuando con el proceso de reconocimiento de la práctica, se realizó la ubicación de sensores en miembros superiores asegurando los sensores IMU por medio de correas de velcro y a la cintura el dispositivo de transmisión de datos. Se ubicaron los electrodos de monitoreo 3M 2228 sobre el inicio y final del bíceps, para la transmisión de la señal electromiográfica. Posteriormente se realiza la revisión de las instalaciones para garantizar una correcta sujeción e identificar los posibles problemas de incomodidad. Se les pidió a los voluntarios adoptar una posición del cuerpo neutral y posteriormente una flexión de brazo a 90° (ver fig. 17-18) de manera que se pudiesen realizar ajustes de sujeción y extensión del cableado necesario.



Fig. 17 Colocación para el reconocimiento del dispositivo voluntario género femenino.



Fig. 18 Colocación para el reconocimiento del dispositivo voluntario género masculino.

Con el objeto de lograr una respuesta positiva ante los cambios de postura para el mantenimiento, se les instruye con respecto a las flexiones requeridas empleando un goniómetro digital como patrón de referencia (ver fig. 19)



Fig. 19 Referenciación flexión de 90º del antebrazo.

Para finalizar el proceso de preparación de los sujetos de prueba se les presenta el dinámetro de mano (Dinamómetro digital Camry, fuerza de agarre de hasta 200 lb/90 kg, división de 0.2 lb/100 g), para validar las necesidades de supinación media al accionar el

dispositivo para lograr registrar la fuerza de agarre (prensil), esto como referente del registro electromiográfico en condiciones de esfuerzo (Ver fig. 20).



Fig. 20 Referencia de la posición para el accionar del dinamómetro de mano.

Como parte del proceso de incorporación, de los sensores al proceso de recolección de información es importante precisar que el IMU fue ubicado sobre la muñeca de los evaluados, de manera, conforme su registro se interpretaron: los cambio de posición del sensor respecto al eje *X* fueron considerados como cambios de pronación y supinación; las desviaciones con respecto al eje *Y* representaron la desviación de brazo (flexión por tratarse de una propuesta de posiciones frontales del brazo), de manera que las desviaciones laterales del brazo o la muñeca representaron cambios con respecto al eje de giro Z (ver fig. 21).

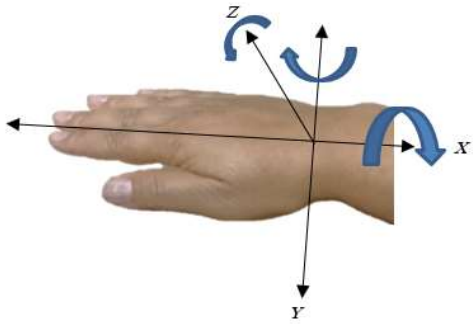


Fig. 21 Referencia del registro de posición del IMU.

Con objeto de clarificar la visualización de los datos como referente de confrontación ante el monitoreo del posicionamiento del brazo y las señales musculares (ver fig. 22), se les explicó sobre las variaciones de las mediciones ante el mantenimiento de una posición estática, con lo cual deberían considerar esas fluctuaciones como reacción corporal aun cuando ellos consideraron no sentir mayor condición de fatiga o molestia para mantener la posición en determinado rango de tiempo.

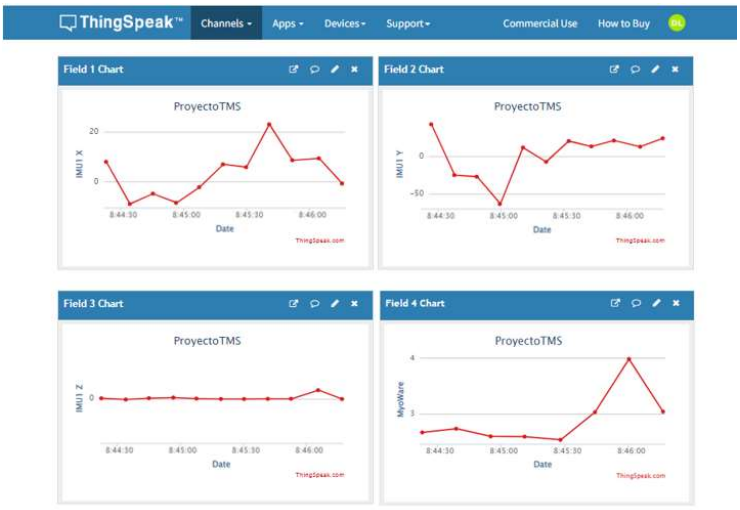


Fig. 22 Visualización registro de información al accionar del dinamómetro de mano.

Como preámbulo para la medición de los tiempos de sostenimiento se realiza el registro de la información asociada con la fuerza prensil de los participantes, empleando tres mediciones por participante considerando intervalos de tiempo de tres minutos para el descanso entre mediciones. considerando la participación de los sujetos de prueba del género masculino con rango de edades entre los 35 y 39 años, se encontró el valor de la fuerza de agarre promedio de 37,6 kg (DE= 2.2); para el grupo de voluntarias del género femenino se valoró un rango etario entre 39 y 45 años, con una fuerza de agarre promedio de 32.1 (DE=1.4)

Los resultados obtenidos guardan relación con los valores rango establecidos a nivel internacional como referencia de las mediciones del instrumento y son comparables con los valores consolidados en “Valores de fuerza prensil de mano en sujetos aparentemente sanos de la ciudad de Cúcuta, Colombia” (Bustos-Viviescas et al., 2019) valorando únicamente la mano dominante.

Dentro de lo observado durante este primer escenario de recolección de información, se logra percibir que el presentarle al evaluado el registro de su actividad en tiempo real puede generar resultados no deseados, por cuanto durante el tiempo de interacción con el dinamómetro de mano, lo expresado por los sujetos se asocia con una motivación de auto superar su registro inicial, ya sea por mantener durante un rango de tiempo superior la fuerza de agarre o lograr niveles superiores o registros pico de la fuerza de agarre. Esto difiere de lo expuesto por Arvanitidis et al. (2019) quienes, en dos eventos distintos, retroalimentan a los sujetos evaluados de manera directa con la representación gráfica y sonora el registro de la actividad muscular del trapecio, de manera que al realizar el tratamiento estadístico de la información no encuentran desviaciones significativas de la actividad muscular cuando se suministra información del proceso y no.

De acuerdo con la propuesta de estimación de tiempo máximo de permanencia en posición estática de Alfredo Álvarez (2008), se seleccionaron las posiciones 100/100 en donde la altura de la mano mantiene la misma altura al piso que el hombro, y un alcance horizontal máximo, con lo cual se puede visualizar una posición de flexión del miembro superior a 90°.

El tiempo máximo de permanencia de la postura fue de 2’ 31’’, representados en una condición confortable sin desviaciones de la postura significativas (ver fig. 23).

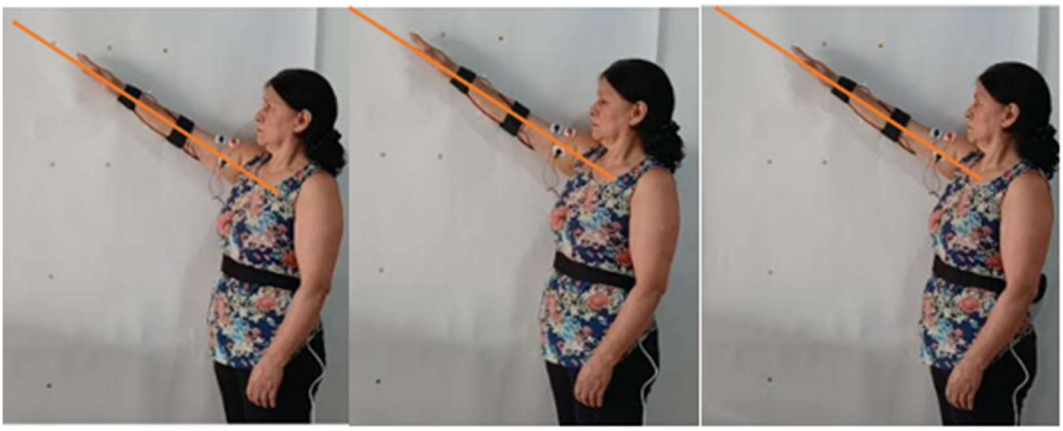


Fig. 23 Visualización cambio postural sin percepción consciente del trabajador.

6. CONCLUSIONES

Con respecto a la población objeto de estudio, se definió un grupo ocupacionalmente estable (vinculación laboral en procesos de postcosecha superior a seis meses) de manera que, al valorar aspectos demográficos y antropométricos en contraste con la percepción de padecimiento de desórdenes osteomusculares de origen laboral, se establece evidencia estadística para descartar el IMC como marcador de predisposición al desarrollo de lesiones o enfermedades. De manera similar se encontró que, el desarrollo de actividades percibidas como repetitivas se ubica como factor de riesgo ergonómico, por cuanto predispone al trabajador ante la presencia de lesiones de tipo musculoesquelético. Así, considerando la concordancia entre dos instrumentos de detección temprana de factores de riesgo y la valoración subjetiva de la discapacidad de miembros superiores (Cuestionario Nórdico Ocupacional - Quick Dash) en principio se opta por excluir del siguiente proceso de valoración a un total cuarenta y dos participantes ante la valoración de molestias en regiones del cuerpo mayor a tres por significar dolor severo y consideración del índice Dash igual o superior a dieciséis por cuanto el corte superior implica la existencia de desórdenes osteomusculares de origen laborales.

El diseño de la interfaz del MPU 6050, minimizó los niveles de ruido o interrupción del entorno como medio de filtro complementario que disminuyó el margen de error permitiendo la calibración del movimiento del sensor con respecto a los ejes X y Y. Así mismo, esta asociación técnica antes de involucrar sujetos de prueba, en donde con el empleo del electrogoniómetro digital y la marcación de referencia en un eje estático se logró estabilizar el sensor, para posteriormente capturar la información en donde se cuantificó una desviación estándar de 2º para X y 3º para Y, categorizadas como aceptables considerando que las valoraciones pretenden a futuro representar intervalos de referencia para el reconocimiento de limitantes personales y propender por el desarrollo de estrategias de autocuidado.

Durante la validación de la captura de datos mediante el sensor MyoWare se determinó que el bíceps representó mayor receptividad y capacidad de captura de impulsos eléctricos para el sensor, de manera que se logró relacionar la información registrada con

los rangos de la escala de Borg durante la simulación, destacando de manera similar que esta ubicación permite la maniobrabilidad del brazo, así la medición de los ángulos de flexión o las desviaciones de los miembros superiores con respecto a una posición neutral no se vieron comprometidas por incomodidad ante la ubicación de los sensores, de manera que el tamaño y ubicación del dispositivo facilitó el desarrollo de la actividad en condiciones normales de movilidad, garantizando un correcto funcionamiento ante las situaciones presentadas, al mismo tiempo que se dio la oportunidad de considerar los aspectos cualitativos evidenciados conforme la percepción de los sujetos de prueba en interacción con los dispositivos.

De esta manera, al considerar la participación de los voluntarios, se evidenció una significativa discrepancia entre su percepción sobre su condición de salud y el marcador determinado por el cálculo del Índice de Masa Corporal (IMC) según el cual dos de los participantes estaban fuera de un peso saludable (World Health Organization, 2021). Durante el desarrollo de los movimientos previamente definidos para el registro de datos (con el soporte electrónico) se destaca que la actividad de extensión del brazo sugería una trayectoria constante de manera que se pudiera observar una valoración del tiempo de permanencia en los cinco intervalos de flexión equiparable, cuando esto fue entendido por los evaluados se procedió con la prueba, aun así, el resultado de la data mostró predominio de la permanencia del brazo en una posición que lo ubicaba con un ángulo entre 20º y 45º, ratificando que la valoración cuantitativa permite validar aspectos de percepción, validando la oportunidad de presentar a la población trabajadora los registros digitales de acción para su comprensión proyectados a una jornada laboral, siendo el punto de partida para la concienciación del actuar y propiciar la adopción de medidas para el autocuidado a nivel operacional en un ambiente laboral.

El registro de las variaciones de posición y señales de activación del bíceps ante la necesidad de mantener una postura estática, permiten evidenciar condiciones de desviación de flexión del miembro superior como cambio de posición inconsciente con lo expresado por los voluntarios en términos de confort. Al mismo tiempo, cuando se realizó la retroalimentación visual se encontró que se motivó al sujeto a realizar modificaciones posturales para restablecer el patrón postural sugerido. Así, el monitoreo dispuesto para el registro de la actividad permitió evidenciar una discrepancia entre el reporte de las

condiciones de permanencia y las señales corporales que podrían estar relacionadas con el agotamiento físico lo cual es consistente con lo por Castillo M. (2019) en su libro “Arquitectura de la prevención” en donde los trabajadores eje central de la gestión para la preservación de sus condiciones de salud, antepone su productividad con prácticas operacionales que no necesariamente se desarrollan garantizando su confort.

7. RECOMENDACIONES

Conforme la población objeto de estudio, es de considerar el desarrollo de programas de vigilancia epidemiológica alimentaria y nutricional, considerando que cerca del 40% de los participantes de la primera fase de estudio presentaban un IMC superior a 25. De manera que considerando que el tiempo de permanencia en las instalaciones de la organización constituye en ocasiones más del 33% del tiempo de ocupación diario (ocho horas de trabajo o más) se propicie el desarrollo de prácticas saludables con oportunidad de reducir el desequilibrio energético entre calorías consumidas y gastadas.

El sistema de captura de datos, al generar el reporte en tiempo real permitió concienciar a los trabajadores respecto a las desviaciones corporales con ocasión del mantenimiento de la postura y que fueron imperceptibles, pero pueden constituirse en factor de riesgo. De manera que, con el objeto de integrar al trabajador en la promoción de actividades de autocuidado se hace necesario validar la incorporación de estrategias de contraste, en donde se expongan las situaciones de riesgo en los contextos organizacionales.

8. REFERENCIAS

Álvarez Valdivia, A. (2008). *Nota técnica de prevención - NTP 819 Evaluación de posturas de trabajo estáticas: el método de la posición de la mano* (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Ed.). https://www.insst.es/documents/94886/327401/819+web.pdf/19fff900-3cab-4ab3-a6c8-7727a0a7d8b1

Andreevich Artemyev, D., & Ildarovna Bikmullina, I. (2020). Combination of Myoware Muscle Sensor, Bluetooth Module and Analog Receiver. *International Journal of Engineering Research and Technology*, *13*(11), 3519–3523. http://www.ripublication.com/irph/ijert20/ijertv13n11_55.pdf

Angst, F., Schwyzer, H. K., Aeschlimann, A., Simmen, B. R., & Goldhahn, J. (2011a). Measures of adult shoulder function: Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand Questionnaire (DASH) and Its Short Version (QuickDASH), Shoulder Pain and Disability Index (SPADI), American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES) Society Standardized Shoulder Assessment Form, Constant (Murley) Score (CS), Simple Shoulder Test (SST), Oxford Shoulder Score (OSS), Shoulder Disability Questionnaire. *Arthritis Care and Research*, *63*(SUPPL. 11). https://doi.org/10.1002/ACR.20630

Angst, F., Schwyzer, H. K., Aeschlimann, A., Simmen, B. R., & Goldhahn, J. (2011b). Measures of adult shoulder function: Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand Questionnaire (DASH) and its short version (QuickDASH), Shoulder Pain and Disability Index (SPADI), American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES) Society standardized shoulder assessment form, Constant (Murley) Score (CS), Simple Shoulder Test (SST), Oxford Shoulder Score (OSS), Shoulder Disability Questionnaire (SDQ), and Western Ontario Shoulder Instability Index (WOSI). *Arthritis Care & Research*, *63 Suppl 11*(SUPPL. 11). https://doi.org/10.1002/ACR.20630

Arvanitidis, M., Falla, D., & Martinez, E. (2019). *Can visual feedback on upper trapezius high-density surface electromyography increase time to task failure of an endurance task?* | *Signed in*. Journal of Electromyography and Kinesiology. https://www-scopus-com.ucundinamarca.basesdedatosezproxy.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85072932530&origin=resultslist&sort=plfdt-f&listId=57622111&listTypeValue=Docs&src=s&imp=t&sid=d2e2e4f19484b8851ebd187bf008d6c1&sot=sl&sdt=sl&sl=0&relpos=16&citeCnt=1&searchTerm=&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1

Ayala, C., & Rodríguez, E. (2018). *Protocolo para el diseño de tarjetas de circuitos en máquina ruteadora.* Universidad de San Buenaventura Colombia. http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/6149/1/Tarjetas_Circuitos_Ruteadora_Ayala_2018.pdf

Battini, D., Berti, N., Finco, S., Guidolin, M., Reggiani, M., & Tagliapietra, L. (2022). WEM-Platform: A real-time platform for full-body ergonomic assessment and feedback in manufacturing and logistics systems. *Computers & Industrial Engineering*, *164*, 107881. https://doi.org/10.1016/J.CIE.2021.107881

Beltran Martinez, K., Nazarahari, M., & Rouhani, H. (2022). K-score: A novel scoring system to quantify fatigue-related ergonomic risk based on joint angle measurements via wearable inertial measurement units. *Applied Ergonomics*, *102*, 103757. https://doi.org/10.1016/J.APERGO.2022.103757

Bernard, B. P., Putz-Anderson, V., Susan Burt Libby L Cole, M. E., Fairfield-Estill Lawrence Fine, C. J., Katharyn Grant, D. A., Gjessing Lynn Jenkins Joseph Hurrell Jr, C. J., Nelson, N., Pfirman Robert Roberts Diana Stetson, D., Haring-Sweeney, M., & Tanaka, S. (1997). *Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back*. http://www.cdc.gov/niosh

Boné Pina, M. J. (2016). *Método de evaluación ergonómica de tareas repetitivas, basado en simulación dinámica de esfuerzos con modelos humanos*. Universidad Zaragoza.

Bortolini, M., Gamberi, M., Pilati, F., & Regattieri, A. (2018). Automatic assessment of the ergonomic risk for manual manufacturing and assembly activities through optical motion capture technology. *Procedia CIRP*, *72*, 81–86. https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.198

Bustos-Viviescas, B. J., Acevedo-Mindiola, A. A., & Lozano-Zapata, R. E. (2019). Valores de fuerza prensil de mano en sujetos aparentemente sanos de la ciudad de Cúcuta, Colombia. *MedUNAB*, *21*(3), 363–377. https://doi.org/10.29375/01237047.2791

Camino Li, K., Bao Li, W., & Cannan, Y. (2022). *Muscular fatigue measurements for push-down tasks in ground demolitions | Signed in*. Wiley. https://www-scopus-com.ucundinamarca.basesdedatosezproxy.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85091005402&origin=resultslist&sort=plfdt-f&listId=57622111&listTypeValue=Docs&src=s&imp=t&sid=d2e2e4f19484b8851ebd187bf008d6c1&sot=sl&sdt=sl&sl=0&relpos=10&citeCnt=3&searchTerm=&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1

Carbonaro, N., Mascherini, G., Bartolini, I., Ringressi, M. N., Taddei, A., Tognetti, A., & Vanello, N. (2021). A wearable sensor-based platform for surgeon posture monitoring: A tool to prevent musculoskeletal disorders. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(7). https://doi.org/10.3390/ijerph18073734

Castellanos Fajardo, R., & Pulido Rull, M. A. (2009). Validez y confiabilidad de la escala de esfuerzo percibido de Borg. *Enseñanza e Investigación En Psicología*, 169–177. https://www.researchgate.net/publication/40646662_Validez_y_confiabilidad_de_la_escala_de_esfuerzo_percibido_de_Borg

Castellucci, H. I., Viviani, C. A., Molenbroek, J. F. M., Arezes, P. M., Martínez, M., Aparici, V., & Bragança, S. (2019). Anthropometric characteristics of Chilean workers for ergonomic and design purposes. *Ergonomics*, *62*(3), 459–474. https://doi.org/10.1080/00140139.2018.1540725

Castillo M., J. A. (2019). La arquitectura de la prevención. La ergonomía prospectiva y el análisis de los riesgos en el trabajo. In *La arquitectura de la prevención. La ergonomía prospectiva y el análisis de los riesgos en el trabajo*. Universidad del Rosario. https://doi.org/10.12804/TM9789587842685

Cerda, J., Vera, C., & Rada, G. (2013). Odds ratio: aspectos teóricos y prácticos. *Revista Médica de Chile*, *141*(10), 1329–1335. https://doi.org/10.4067/S0034-98872013001000014

Chen, P. X., Tan, D. L., Liu, Y. M., & Wang, Z. X. (2021). Analysis on prevalence status and the influencing factors of work-related musculoskeletal disorders among workers in an automobile manufacturing enterprise in Guangzhou City. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi = Zhonghua Laodong Weisheng Zhiyebing Zazhi = Chinese Journal of Industrial Hygiene and Occupational Diseases*, *39*(10), 757–762. https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121094-20200624-00363

Cilveti Gubia, S., & Idoate García, V. (2000). *Protocolos de vigilancia sanitaria específica. Posturas forzadas* (Secretaría General Técnica & Ministerio de Sanidad y Consumo, Eds.).

Congreso de Colombia. (1915). *Ley 57 de 1915*. https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/1609446

Daniel, A., Ryan, F., Fahima, W., Graham, J., & Nicholas, L. D. (2022, March). *Exploring Localized Muscle Fatigue Responses at Current Upper-Extremity Ergonomics Threshold Limit Values | Signed in*. Exploring Localized Muscle Fatigue Responses at Current Upper-Extremity Ergonomics Threshold Limit Values. https://www-scopus-com.ucundinamarca.basesdedatosezproxy.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85089174163&origin=resultslist&sort=plfdt-f&listId=57622111&listTypeValue=Docs&src=s&imp=t&sid=2f45740fd392295c5753fc8b161584b5&sot=sl&sdt=sl&sl=0&relpos=0&citeCnt=2&searchTerm=&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1

Dhananjaya, J. R., Veena, H. C., Mamatha, B. S., & Sudarshan, C. R. (2017). Comparative study of body mass index, hand grip strength, and handgrip endurance in healthy individuals. *National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology*, *7*(6), 594–598. https://doi.org/10.5455/njppp.2017.7.1030007022017

Díaz Bambula, F., & Rentería Pérez, E. (2017). De la seguridad al riesgo psicosocial en el trabajo en la legislación Colombiana de Salud Ocupacional. *Estudios Socio-Jurídicos*, *19*(2), 129. https://doi.org/10.12804/REVISTAS.UROSARIO.EDU.CO/SOCIOJURIDICOS/A.4981

Diego Mas, J. A. (2015a). *Método JSI - Job Strain Index*. Universidad Politécnica de Valencia. https://www.ergonautas.upv.es/metodos/jsi/jsi-ayuda.php

Diego Mas, J. A. (2015b). *OCRA Check-List - Evaluación rápida del riesgo por movimientos repetitivos de los miembros superiores*. https://www.ergonautas.upv.es/metodos/ocra/ocra-ayuda.php

Diego-Mas, J. A., Poveda-Bautista, R., & Garzon-Leal, D. C. (2015). Influences on the use of observational methods by practitioners when identifying risk factors in physical work. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/00140139.2015.1023851*, *58*(10), 1660–1670. https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1023851

el ahrache, K., Imbeau, D., & Farbos, B. (2006). Percentile values for determining maximum endurance times for static muscular work. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *36*(2), 99–108. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ergon.2005.08.003

Espelt, A., Bosque-Prous, M., & Marí-Dell'olmo, M. (2019). Considerations on the use of odds ratio versus prevalence or proportion ratio. *Adicciones*, *31*(4), 257–259. https://doi.org/10.20882/ADICCIONES.1416

Filiberto, C. G., Mora, R., Vivaldo De La Cruz, I., Méndez Javier, F., Lázaro, A., & Carlos, R. (2020). *"Interfaz Arduino-Simulink para la medición en paralelo de dos sensores MPU6050."* 1–7.

Frey Law, L. A., Lee, J. E., McMullen, T. R., & Xia, T. (2010). Relationships between maximum holding time and ratings of pain and exertion differ for static and dynamic tasks. *Applied Ergonomics*, *42*(1), 9–15. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apergo.2010.03.007

García González, G. L. A., Aguilar Sierra, S. F., & Rodríguez Ricardo, R. M. C. (2018). Validación de la versión en español de la escala de función del miembro superior abreviada: Quick Dash. *Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología*, *32*(4), 215–219. https://doi.org/10.1016/J.RCCOT.2017.06.012

Garrido, R. L. (2015). *Estudio Plataformas IoT*.

Golabchi, A., Han, S., Fayek, A. R., & Abourizk, S. (2017). Stochastic Modeling for Assessment of Human Perception and Motion Sensing Errors in Ergonomic Analysis. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *31*(4). https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000655

Gómez C. Camilo Eusebio. (2015). Principales hitos de la evolución normativa frente a los riesgos laborales en Colombia. In Organización Iberoamericana de Seguridad Social (Ed.), *Historia, Avances y Protección de la Seguridad Social en Colombia* (1st ed.).

Gómez-Galán, M., Callejón-Ferre, Á.-J., Pérez-Alonso, J., Díaz-Pérez, M., & Carrillo-Castrillo, J.-A. (2020). Musculoskeletal risks: RULA bibliometric review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(12), 1–52. https://doi.org/10.3390/ijerph17124354

González Correa, C. H., Sepúlveda Gallego, L. E., & Santafé Sánchez, L. R. (2017). Different reference values for hand dynamometry: a conflicting issue. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, *37*(3), 104–110. https://doi.org/10.12873/373gonzalezcorrea

Gutiérrez Strauss, A. M. (2011). *Guía técnica para el análisis de exposición a factores de riesgo ocupacional* (Ministerio de la Protección Social, Ed.).

https://comunicandosalud.com/wp-content/uploads/2019/06/guia_exposicion_factores_riesgo_ocupacional.pdf

Hefferle, M., Lechner, M., Kluth, K., & Christian, M. (2020). Development of a Standardized Ergonomic Assessment Methodology for Exoskeletons Using Both Subjective and Objective Measurement Techniques. In *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 962). https://doi.org/10.1007/978-3-030-20467-9_5

Hernandez D, W. A., & Orjuela R., M. E. (2016). Factores laborales y extralaborales de floricultores con Síndrome del Túnel del Carpo: Cundinamarca-Colombia 2013. *Medicina y Seguridad Del Trabajo*. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465-546X2016000300004

Huang, G., Xian, Z., Tang, F., Li, L., & Zhang, Z. (2020). Low-density surface electromyographic patterns under electrode shift: Characterization and NMF-based classification. *Biomedical Signal Processing and Control*, *59*, 101890. https://doi.org/10.1016/j.bspc.2020.101890

Humadi, A., Nazarahari, M., Ahmad, R., & Rouhani, H. (2021). Instrumented Ergonomic Risk Assessment Using Wearable Inertial Measurement Units: Impact of Joint Angle Convention. *IEEE Access*, *9*, 7293–7305. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3048645

Ibacache Araya, J. (n.d.). *Cuestionario Nórdico estandarizado de percepción de síntomas músculo esqueléticos*. Retrieved April 30, 2022, from https://www.ispch.cl/sites/default/files/NTPercepcionSintomasME01-03062020A.pdf

Instituto Colombiano de Normas Técnicas -ICONTEC-. (2018). Ergonomía. documento de aplicación de normas nacionales sobre manipulación manual (NTC 5693-1, NTC 5693-2 Y NTC 5693-3) y evaluación de posturas de trabajo estáticas (NTC 5723). In *Instituto Colombiano de Normas Técnicas -ICONTEC-* .

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2015). *POSTURAS DE TRABAJO EVALUACIÓN DEL RIESGO*. http://publicacionesoficiales.boe.es

Jacquier-Bret, J., Gorce, P., Lestage, T., & Merbah, J. (2021). Identification of generic drilling task phases and height effect: Coupling of kinematic and kinetic data. *Gait and Posture*, *86*(February), 51–57. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.02.021

Jara, H. V., Orejuela, I. Z., & Baydal-Bertomeu, J. M. (2022). Study of the ergonomic risk in operators of an assembly line using the RULA method in real working conditions through the application of a commercial sensor. *Materials Today: Proceedings*, *49*, 122–128. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.482

Johnen, L., Mertens, A., Nitsch, V., & Brandl, C. (2022). Why cumulative loading calculated using non-weighted integration may not be suitable for assessing physical stress of the lower back: an empirical investigation of strain during lifting and lowering tasks. *Ergonomics*, *65*(1), 134–146. https://doi.org/10.1080/00140139.2021.1962547

Kačerová, I., Kubr, J., Hořejší, P., & Kleinová, J. (2022). Ergonomic Design of a Workplace Using Virtual Reality and a Motion Capture Suit. *Applied Sciences (Switzerland)*, *12*(4). https://doi.org/10.3390/app12042150

Kee, D., Na, S., & Chung, M. K. (2020). Comparison of the Ovako Working Posture Analysis System, Rapid Upper Limb Assessment, and Rapid Entire Body Assessment based on the maximum holding times. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *77*. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.102943

Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G., & Jørgensen, K. (1987). Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied Ergonomics*, *18*(3), 233–237. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0003-6870(87)90010-X

Kuta, Ł., Li, Z., Stopa, R., Komarnicki, P., & Słupska, M. (2020). The influence of manual harvesting on the quality of picked apples and the Picker's muscle load. *Computers and Electronics in Agriculture*, *175*, 105511. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105511

Lee, T.-H. (2016). Endurance time, muscular activity and the hand/arm tremor for different exertion forces of holding. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, *22*(1), 71–76. https://doi.org/10.1080/10803548.2015.1117781

Li, Y., Ho, B. Q., Hara, T., & Ota, J. (2020). Automatic assessment system of operators' risk in order picking process for task analysis. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, *1131 AISC*, 294–300. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39512-4_47

Lin, P. C., Chen, Y. J., Chen, W. S., & Lee, Y. J. (2022). Automatic real-time occupational posture evaluation and select corresponding ergonomic assessments. *Scientific Reports 2022 12:1*, *12*(1), 1–9. https://doi.org/10.1038/s41598-022-05812-9

Lind, C. M., Forsman, M., & Rose, L. M. (2019). Development and evaluation of RAMP I–a practitioner's tool for screening of musculoskeletal disorder risk factors in manual handling. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, *25*(2), 165–180. https://doi.org/10.1080/10803548.2017.1364458

Liu, Q., Liu, Y., Zhang, C., Ruan, Z., Meng, W., Cai, Y., & Ai, Q. (2021). sEMG-Based Dynamic Muscle Fatigue Classification Using SVM with Improved Whale Optimization Algorithm. *IEEE Internet of Things Journal*, *8*(23), 16835–16844. https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3056126

López Prats, F. (n.d.). *Valoración de resultados en ortopedia*. http://www.cebm.utoronto.ca/practise/

Maltry, L., Holzgreve, F., Maurer, C., Wanke, E. M., & Ohlendorf, D. (2020). Improved ergonomic risk assessment through the combination of inertial sensors and observational methods exemplified by RULA | Präzisere ergonomische Risikobeurteilung durch die Kombination von Inertialsensoren mit observatorischen Methoden am Beispiel vo. *Zentralblatt Fur Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz Und Ergonomie*, *70*(5), 236–239. https://doi.org/10.1007/s40664-020-00386-7

Manivasagam, K., & Yang, L. (2022a). Evaluation of a New Simplified Inertial Sensor Method against Electrogoniometer for Measuring Wrist Motion in Occupational Studies. *Sensors*, *22*(4). https://doi.org/10.3390/s22041690

Manivasagam, K., & Yang, L. (2022b). Evaluation of a New Simplified Inertial Sensor Method against Electrogoniometer for Measuring Wrist Motion in Occupational Studies. *Sensors*, *22*(4). https://doi.org/10.3390/s22041690

Massaroli, L. C., Santos, L. C., Carvalho, G. G., Carneiro, S. A. J. F., & Rezende, L. F. de. (2018). Qualidade de vida e o IMC alto como fator de risco para doenças cardiovasculares: revisão sistemática. *Revista Da Universidade Vale Do Rio Verde*, *16*(1). https://doi.org/10.5892/RUVRD.V16I1.3733

Mateos-Nozal, J., & Martínez Velilla, N. (2018). Talleres integrados de medicina clínica: un enfoque innovador para fomentar la adquisición de competencias clínicas transversales en el grado de medicina. *Educación Médica*, *19*(1), 64–65. https://doi.org/10.1016/J.EDUMED.2017.01.007

Maurer-Grubinger, C., Holzgreve, F., Fraeulin, L., Betz, W., Erbe, C., Brueggmann, D., Wanke, E. M., Nienhaus, A., Groneberg, D. A., & Ohlendorf, D. (2021). Combining ergonomic risk assessment (Rula) with inertial motion capture technology in dentistry—using the benefits from two worlds. *Sensors*, *21*(12), 1–17. https://doi.org/10.3390/s21124077

Ministerio de la Protección Social. (2007). *Primera Encuesta Nacional de Condiciones de Salud y Trabajo en el Sistema General de Riesgos Profesionales (I ENCST)* (Ministerio de la Protección Social, Ed.).

Ministerio de la Protección Social. (2008). *Diagnostico nacional de condiciones de salud y trabajo de las personas ocupadas en el sector informal de la economía 20 departamentos de Colombia y propuesta de monitoreo de éstas condiciones* (Fondo de Riesgos Profesionales, Ed.; Vol. 1).

Ministerio del Trabajo. (2013). *II Encuesta Nacional de condiciones de seguridad y salud en el trabajo en el Sistema General de Riesgos: Vol. II* (Ministerio del Trabajo, Ed.).

Ministerio del Trabajo. (2014). *Decreto 1477 de 2014*.

Ministerio del Trabajo, & Organización Iberoamericana de Seguridad Social -OISS-. (2014). *Plan Nacional de condiciones de seguridad y salud en el trabajo 2013-2021*.

Monfared, S., Athanasiadis, D. I., Umana, L., Hernandez, E., Asadi, H., Colgate, C. L., Yu, D., & Stefanidis, D. (2022). A comparison of laparoscopic and robotic ergonomic risk. *Surgical Endoscopy*. https://doi.org/10.1007/s00464-022-09105-0

Moya, L. Z., Baydal-Bertomeú, J. M., Baño Morales, D., Rosero, P. F., Orejuela, I. Z., & Arteaga, M. C. (2022). Ergonomic study on nurses that attend the feeding task to neonates through data Acquisition, Validation, and processing obtained from depth sensors. *Materials Today: Proceedings*, *49*, 23–27. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.436

Obregón Sánchez, M. G., & Islas Reyes, D. (2016). El Método LEST, su aplicación y evaluación en las prácticas ergonómicas. *European Scientific Journal, ESJ*, *12*(35), 34. https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n35p34

Ochoa, R. (2017). Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas. *Artículo Revista de Ingeniería Eléctrica Septiembre*, *1*(2), 24–36. www.ecorfan.org/republicofperu

Oficina Regional para América Latina y el Caribe/OIT. (2020). *Panorama Laboral 2020* (Organización Internacional del Trabajo, Ed.; 1st ed.).

Oramas Salcedo, C. A. (2018). *Plan de mitigación de riesgo ergonómico del área de bodega de la empresa Anestalva S. A.* Universidad de Guayaquil .

Oteo, J. A., Benavente, P., & Garzón, M. (2015). Valores normativos de la fuerza de puño en la población española en edad laboral. Influencia de las variables antropométricas de la mano y el antebrazo. *Revista Iberoamericana de Cirugía de La Mano*, *43*(02), 104–110. https://doi.org/10.1016/j.ricma.2015.09.005

Paez, H., Parra, D. P., Diana, S., Socha, C., Liliana, V., Carlos, I., Beltrán, A., Universidad, R., Francisco, D., de Caldas, J., Higiene, E., Seguridad, Y., Salud En, Y., Trabajo, E. L., & Septiembre, B. (2015). *ESTUDIO DE RIESGOS LABORALES EN LA*

POSCOSECHA FLEXPORT DE COLOMBIA Y CIA SA. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Peruzzini, M., Grandi, F., & Pellicciari, M. (2018). How to analyse the workers' experience in integrated product-process design. *Journal of Industrial Information Integration*, *12*. https://doi.org/10.1016/j.jii.2018.06.002

Puche, R. C. (2005). El Índice de Masa Corporal y los razonamientos de un Astrónomo. *MEDICINA*. www.cdc.gov/nccdphp/

Ramdan, I., & Candra, K. (2021). Evaluation and analysis of new design traditional handloom performance in reducing work musculoskeletal disorders among Sarong Samarinda female weavers: A quasi-experimental study. *International Journal of Critical Illness and Injury Science*, *11*(4), 215–222. https://doi.org/10.4103/ijciis.ijciis_22_21

Ranavolo, A., Chini, G., Silvetti, A., Mari, S., Serrao, M., & Draicchio, F. (2018). Myoelectric manifestation of muscle fatigue in repetitive work detected by means of miniaturized sEMG sensors. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, *24*(3), 464–474. https://doi.org/10.1080/10803548.2017.1357867

Rodrigues, P. B., Xiao, Y., Fukumura, Y. E., Awada, M., Aryal, A., Becerik-Gerber, B., Lucas, G., & Roll, S. C. (2022a). Ergonomic assessment of office worker postures using 3D automated joint angle assessment. *Advanced Engineering Informatics*, *52*. https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101596

Rodrigues, P. B., Xiao, Y., Fukumura, Y. E., Awada, M., Aryal, A., Becerik-Gerber, B., Lucas, G., & Roll, S. C. (2022b). Ergonomic assessment of office worker postures using 3D automated joint angle assessment. *Advanced Engineering Informatics*, *52*, 101596. https://doi.org/10.1016/J.AEI.2022.101596

Roodbandi, A. S. J., Feyzi, V., Foroozanfar, Z., & Rahimimoghadam, S. (2021). The correlation between art and ocra methods used for posture assessment of repetitive tasks. *Medicina Del Lavoro*, *112*(5), 370–376. https://doi.org/10.23749/mdl.v112i5.11117

Skovlund, S. V., Bláfoss, R., Skals, S., Jakobsen, M. D., & Andersen, L. L. (2022a). The Importance of Lifting Height and Load Mass for Muscular Workload during Supermarket Stocking: Cross-Sectional Field Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(5). https://doi.org/10.3390/ijerph19053030

Skovlund, S. V., Bláfoss, R., Skals, S., Jakobsen, M. D., & Andersen, L. L. (2022b). The Importance of Lifting Height and Load Mass for Muscular Workload during Supermarket Stocking: Cross-Sectional Field Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(5). https://doi.org/10.3390/ijerph19053030

Son, M., Jung, J., & Park, W. (2017). Evaluating the utility of two gestural discomfort evaluation methods. *PLoS ONE*, *12*(4). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176123

Tambovtseva, R. V., & Demidova, A. N. (2020). Factorial functional state structure and predisposition to display of physical qualities in women engaged in fitness. *Teoriya i Praktika Fizicheskoy Kultury*, *2020*(11), 52–54.

Torres Matiz, A. (2015). Avances en la reglamentación de la Ley 1562 de 2012. In *Historia, avances y proyección de la seguridad social en Colombia: salud, pensiones, riesgos laborales, envejecimiento, cajas de compensación. Inspección, vigilancia y control* (pp. 200–207).

Vicente Herrero, M. T., Delgado Bueno, S., Bandrés Moyá, F., Ramírez Iñiguez de la Torre, M. v, Capdevila García, L., & Teófila Vicente Herrero, M. (2018). Valoración del dolor. Revisión comparativa de escalas y cuestionarios. *Rev Soc Esp Dolor*, *25*(4), 228–236. https://doi.org/10.20986/resed.2018.3632/2017

Vignais, N., Bernard, F., Touvenot, G., & Sagot, J. C. (2017). Physical risk factors identification based on body sensor network combined to videotaping. *Applied Ergonomics*, *65*, 410–417. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.05.003

Villalobos, A., & mac Cawley, A. (2022). Prediction of slaughterhouse workers' RULA scores and knife edge using low-cost inertial measurement sensor units and machine

learning algorithms. *Applied Ergonomics*, *98*. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103556

Villarroya Aparicio, M. A. (2005). Electromiografía cinesiológica. *Rehabilitacion*, *39*(6), 255–264. https://doi.org/10.1016/S0048-7120(05)74359-0

Wang, J., Sun, S., & Sun, Y. (2021). A muscle fatigue classification model based on lstm and improved wavelet packet threshold. *Sensors*, *21*(19). https://doi.org/10.3390/s21196369

Wang, J., Sun, Y., & Sun, S. (2020). Recognition of Muscle Fatigue Status Based on Improved Wavelet Threshold and CNN-SVM. *IEEE Access*, *8*, 207914–207922. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3038422

World Health Organization. (2021, June 9). *Obesity and overweight*. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight

Zea, C. R., Caro, M. P., & Quintana, L. A. (2016). Hand Grip Strength Analysis Due to Glove Use in Cleaning and Cafeteria Activities Análise da diminuição de forças de aderência na mão por se uso de luva em atividades de limpeza e cafetaria. *Rev Cienc Salud*, *14*, 27–43. https://doi.org/10.12804/revsalud14.especial.2016.02