HERRAMIENTA DIAGNOSTICA PARA EVALUACIÓN ERGONOMICA DE PUESTOS DE TRABAJO APLICADO A LOS TRABAJADORES DEL CIDC DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS.

Autor:

Andrea Estefanía Bernal Salamanca.

Cesar Augusto Coronel Segrera.

Valeria Rincón Arango.

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERIA
Especialización en Higiene, Seguridad y Salud en el Trabajo
Bogotá D.C., Colombia
2018

HERRAMIENTA DIAGNOSTICA PARA EVALUACIÓN ERGONOMICA DE PUESTOS DE TRABAJO APLICADO A LOS TRABAJADORES DEL CIDC DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS.

Autor:

Andrea Estefanía Bernal Salamanca Código: 20152118007

Cesar Augusto Coronel Segrera Código: 20152118015

Valeria Rincón Arango Código: 20152118052

Monografía para optar por el título de:

Especialista en Higiene, Seguridad y Salud en el Trabajo.

Directora:

Ing. Esperanza Camargo Casallas PhD.

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE INGENIERIA

Especialización en Higiene, Seguridad y Salud en el Trabajo

Bogotá D.C., Colombia

2018

HERRAMIENTA DIAGNOSTICA PARA EVALUACIÓN ERGONOMICA DE PUESTOS DE APLICADO A LOS TRABAJADORES DEL CIDC DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS.

PAGINA DE APROBACIÓN

Observaciones

_____

_____

_____

_____

Ing. Esp. ESPERANZA CAMARGO PhD

Director del Proyecto

_____

Jurado 1

Fecha de Presentación:

Agradecimientos

A mis padres que son mis pilares fundamentales, a mi hermana que además de ser un apoyo es una gran amiga y a todos los que conforman la Universidad Distrital, a Bogotá por abrirme las puertas del conocimiento y llenarme de posibilidades. A Norma Morales, esa magnífica mujer que me apoya en cada uno de mis proyectos.

Cesar Augusto Coronel Segrera.

Agradezco a Dios, a mis padres, a mi hermana y mis sobrinas por ser la pieza fundamental en mi vida, que me impulsa a salir adelante y seguir estudiando y así mismo seguir siendo una mejor persona y ser una excelente profesional, también agradezco a Diego Aya por ser el hombre maravilloso que me apoya y que me impulsa a dar lo mejor de mi cada día, finalmente gracias a mis compañeros de la especialización por acompañarme y hacer mejor este camino para formarme de una manera más integral.

Andrea Estefanía Bernal Salamanca

Agradezco a Dios, a mis padres y a mis abuelitas, por apoyarme en todo momento, por ser mi fortaleza en los momentos debilidad, por guiarme para seguir siendo una mejor persona y profesional.

Valeria Rincón Arango

Resumen

Actualmente en Colombia la evaluación de puestos de trabajo se desarrolla de una manera subjetiva, pues es realizada a través de observación, sujeta entonces a la experticia del inspector del puesto de trabajo, siendo poco confiable el análisis ergonómico establecido a partir de la posición y los movimientos de los segmentos articulares mientras se desarrolla un trabajo.

El objetivo general propone generar un análisis de riesgo biomecánico presente en los trabajadores del CIDC para crear recomendaciones que guíen al empleador para elaborar un protocolo de intervención a partir de la implementación del sistema de gestión de salud y seguridad en el trabajo.

Esta tesis es un estudio de tipo transversal, conto con un tamaño de muestra de 14 trabajadores del CIDC de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas, donde se obtuvo como resultado que la diferencia entre los resultados tomados subjetivamente y las tomadas con el equipo electrónico TechNaid corresponde a que la articulación de cuello de pie presenta la mayor discrepancia con un 2%, en segundo lugar las articulaciones de hombro y codo representan una divergencia de 1,47% y 1,22% respectivamente, en la articulación de la cadera corresponde al 1,09% y en rodilla y tronco el porcentaje es de 0.79% y 0.5%. Finalmente en las articulaciones de muñeca y en los dedos no se obtuvo un resultado objetivo dado que el equipo electrónico TechNaid no logra determinar la medida de estas dado que son de palanca corta.

Podemos concluir que el TechNaid es eficiente en tiempo, pero debe desarrollar una metodología que pueda medir con exactitud articulaciones distales como muñeca y dedos y de esta manera poder realizar evaluaciones de puestos de trabajo para personas con enfermedades musculo esqueléticas de miembro superior. De acuerdo a la anterior información y hallando la media de las desviaciones se determina que la desviación subjetiva tiene una media de 15,7% mientras que la desviación objetiva por medio del TechNaid tiene una media de 9,08%, lo que permite indicar que existe menor variabilidad de los datos con la medición del equipo electrónico que por medio de la observación.

Abstract

Currently in Colombia job evaluation is developed in a subjective way, because it is carried out through observation, subject then to the expertise of the inspector's job, being unreliable established ergonomic analysis to starting from the position and movements of segments joint while work takes place.

The general objective aims to generate a risk analysis biomechanical present in workers of the ICSD to create recommendations that guide the employer to develop a protocol for intervention from the implementation of the system of health management and safety at work.

This thesis is a study of transverse type, told with a sample size of 14 workers of the ICSD of the Universidad Distrital Francisco José De Caldas, where was obtained as a result that the difference between the results taken subjectively and the taken with the TechNaid electronic equipment corresponds to stand collar joint presents the greatest discrepancy with a 2%, second joints of shoulder and elbow represent a divergence of 1.47% and 1.22%, respectively, in the hip joint corresponds to 1.09% and in knee and trunk percentage is 0.79% and 0.5%. Finally in the joints of the wrist and fingers there was an objective result given that electronic equipment TechNaid fails to determine the extent of these since they are short lever.

We can conclude that the technaid is efficient in time, but should develop a methodology that can measure accurately distal wrist and fingers joints and thus perform evaluations of jobs for workers with upper limb musculoskeletal diseases. According to the above, the determination of the mean of the deviations is due to the fact that the subjective deviation has an average of 15.7% while the objective deviation by means of the TechNaid has an average of 9.08%, which allows indicate that there is less variability in the data with the measurement of the electronic equipment than through observation.

Tabla de Contenido

Agradecimientos **4**

Resumen **5**

Abstract **6**

Índice de Tablas **9**

Índice de Figuras **9**

Lista de Términos **11**

Glosario **12**

Introducción **13**

1. Planteamiento del problema **14**

1.2 Objetivos 15

1.2.1 Objetivo general. 15

1.2.2 Objetivos específicos 15

3. Marco Teórico **16**

3.1 Biomecánica 19

3.1.1 Enfermedades Osteomusculares. 20

3.1.2 Métodos de evaluación ergonómica. 27

3.1.2.1 Consideraciones generales de los métodos de evaluación ergonómica 27

3.2 NTC 5831 Requisitos ergonómicos para trabajos de oficina con videoterminales (VDT) (monitores) 29

3.3 Acelerómetro 31

3.4 Ángulos de Euler 34

3.5 Planimetría. 37

3.5.1 Plano Sagital 38

3.5.2 Plano Frontal o Coronal 39

3.5.3 Plano Transversal u Horizontal 40

4. Marco Legal **42**

4.1 ISO13485 (2003) 42

4.3 ISO 9241-3(1992) 42

4.4. ISO 9241-61 42

4.5. Directiva 90/385/CEE 42
4.6. IEC 60601-1-8 (2004) 42
4.7. ISO/IEEE 11073 42
4.8. STDPD94706 43
4.9. Ley 31 de 1995 43
4.10. Ley 1562 de 2012 43
4.11. Decreto 1477 de 2014 43
5 Metodología 43
5.1 Modelo de recolección de datos y análisis de movimientos 44
5.2 Fases del proyecto 46
5.3 Mediciones 47
6. Análisis de Resultados ..... ¡Error! Marcador no definido.
7. Conclusiones 64
8. Discusión 67
Bibliografía 68

Índice de Tablas

TABLA 1 *MOVIMIENTOS EN EL PLANO SAGITAL – FLEXIÓN / EXTENSIÓN.* 39
TABLA 2 *MOVIMIENTOS EN EL PLANO FRONTAL – ABDUCCIÓN / ABDUCCIÓN* 40
TABLA 3 *MOVIMIENTOS EN EL PLANO FRONTAL – ROTACIÓN INTERNA / ROTACIÓN EXTERNA* 41
TABLA 4 *DESCRIPCIÓN – FASES DEL PROYECTO* 46
TABLA 5. MEDICIONES SUBJETIVAS TRABAJADORA 3 55
TABLA 6. EVALUACION TECHNAID TRABAJADORA 3 56
TABLA 7. RESULTADOS A PARTIR DE LA NORMA TECNICA COLOMBIANA 5831 62

Índice de Figuras

FIGURA 1. ACELERÓMETRO. FUENTE: ÁTOMOS Y BITS (2004) 31
FIGURA 2. ACELERÓMETRO CON 3 EJES. FUENTE: ÁTOMOS Y BITS (2004) 33
FIGURA 3. ESQUEMA ACELERÓMETRO CAPACITIVO. FUENTE: ÁTOMOS Y BITS (2004) 34
FIGURA 4. ÁNGULOS ROLL, PITCH Y YAW. FUENTE: SANCHEZ (2012) 36
FIGURA 5. PLANOS Y EJES DEL CUERPO. FUENTE: TABOADELA (2007) 38
FIGURA 6. MOVIMIENTOS DE FLEXIÓN EXTENSIÓN ALREDEDOR DEL EJE MEDIOLATERAL DEL HOMBRO DERECHO EN EL PLANO SAGITAL. FUENTE: TABOADELA (2007) 39
FIGURA 7. MOVIMIENTOS DE ABDUCCIÓN SOBRE EL EJE ANTEROPOSTERIOR DEL HOMBRO DERECHO EN EL PLANO FRONTAL. FUENTE: TABOADELA (2007) 40
FIGURA 8. MOVIMIENTOS DE ROTACIÓN DEL HOMBRO DERECHO SOBRE EL EJE VERTICAL EN EL PLANO TRANSVERSAL. FUENTE: TABOADELA (2007) 41
FIGURA 9. MÉTODO DEL CERO NEUTRO. FUENTE: TABOADELA (2007) 41
FIGURA 10. MODELO DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS DE MOVIMIENTOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 45
FIGURA 11. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL SEGÚN SEXO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 47
FIGURA 12. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL SEGÚN EDAD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 48
FIGURA 13. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL SEGÚN TALLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 48
FIGURA 14. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL SEGÚN DOMINANCIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 49
FIGURA 15. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL SEGÚN PROFESIÓN. 49
FIGURA 16. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL SEGÚN DIAGNÓSTICOS MÉDICOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 50

FIGURA 17. DIAGNÓSTICO PORCENTUAL SEGÚN HORAS DE JORNADA LABORAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 50
FIGURA 18. DIAGNÓSTICO PORCENTUAL SEGÚN MOLESTIAS CORPORALES AL FINAL DE LA JORNADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 51
FIGURA 19. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE MEDIDAS DE LA ALTURA DEL ASIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 51
FIGURA 20. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE MEDIDAS DE LA PROFUNDIDAD DEL ASIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 52
FIGURA 21. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE MEDIDAS DEL ANCHO DEL ASIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 52
FIGURA 22. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE APOYA BRAZOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 53
FIGURA 23. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL MEDIDAS DE ALTURA DEL ESPALDAR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 53
FIGURA 24. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE MEDIDAS DE LA ALTURA DE LA MESA DE TRABAJO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 54
FIGURA 25. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LOS ANGULOS DE VISION. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 55
FIGURA 26. COMPARACION TECHNAID Y OBERVACION ARTICULACION DE HOMBRO 57
FIGURA 27 COMPARACION TECHNAID Y OBSERVACION ARTICULACION DEL CODO 57
FIGURA 28 COMPARACION TECHNAID Y OBSERVACION ARTICULACION DE MUÑECA 58
FIGURA 29 COMPARACION TECHNAID Y OBSERVACION ARTICULACION DE DEDOS 58
FIGURA 30 COMPARACION TECHNAID Y OBSERVACION ARTICULACION DEL TRONCO....59
FIGURA 31 COMPARACION TECHNAID Y OBSERVACION ARTICULACION DE LA CADERA....59
FIGURA 32 COMPARACION TECHNAID Y OBSERVACION ARTICULACION DE LAS RODILLAS 60
FIGURA 33 COMPARACION TECHNAID Y OBSERVACION ARTICULACION DE CUELLO DE PIE...60
FIGURA 34 DESVIACION ESTANDAR TECHNAID Y OBSERVACION....61
FIGURA 35 DIFERENCIA ENTRE MEDIDAS DE TECHNAID Y POR OBSERVACION 62

Lista de Términos

CIE 10	Clasificación internacional de enfermedades, décima versión.
NTC	Norma Técnica Colombiana
TIC	Tecnología de la Información y la Comunicación
VIDAR	Swedish ergonomic regulations (Regulaciones ergonómicas suecas)

Glosario

Acelerómetro Dispositivo capaz de medir aceleraciones.

Ángulos de Euler Conjunto de tres coordenadas angulares, definidos en un espacio tridimensional Euclídeo que determinan la orientación de un sistema de coordenadas (por lo general móvil) con respecto a otro que se mantiene fijo.

Goniómetro Instrumento para medir ángulos entre dos puntos.

Planimetría Rama de la Topografía que se ocupa de la representación de la superficie terrestre sobre un plano.

Technaid Sistema de análisis de movimiento inalámbrico completo basado en los sensores inerciales

Kinovea Reproductor de vídeo para todos los amantes del deporte. Reduce la velocidad para estudiar y comentar la técnica de sus atletas es 100% libre y de código abierto y aplicable al tema ergonómico.

Introducción

La ergonomía es la disciplina encargada del diseño de herramientas y lugares de trabajo implementada en diferentes áreas. En Colombia debido a la antrometria, muchas de las herramientas y maquinaria traídas del exterior no se adaptan a los trabajadores. Además, la evaluación ergonómica de los puestos de trabajo se realiza de una manera subjetiva, ya que está dada por la experticia del inspector de trabajo y realizando revisión bibliográfica se destaca el estudio "Modelo y procedimientos para la intervención ergonómica en camareras del piso hotelero" donde concluyen que se encuentran que la evaluación con las diferentes herramientas ergonómicas logran arrojar información sin embargo todas presentan limitaciones lo que imposibilita dar un diagnóstico certero y los llevo a la creación de un nuevo índice de evaluación ergonómica. (Real, 2011, pág. 99).

En Colombia en el año 2016 de los 10.037.875 afiliados a la ARL´S, 702.932 correspondiente al 7% de los trabajadores tuvieron un accidente de trabajo, 10.563 corresponde al 0,1% de trabajadores afiliados presentaron enfermedad laboral calificada. (Fondo de Riesgos Laborales 2018).

Uno de los objetivos de este proyecto es resaltar el alcance y el acceso de las TIC para generar soluciones que involucren tanto a los trabajadores como empleadores en una medición objetiva de los puestos de trabajo, obteniendo resultados a costos relativamente bajos y un gran avance para la Salud, la Higiene y la Seguridad industrial, debido a que la estandarización y la medición de un trabajador en su lugar de trabajo se realizará de una manera precisa. Uno de los instrumentos mecánicos más usado en este tipo de labores es el goniómetro, el cual ayuda a medir las diferentes variaciones de los ángulos generados por los huesos y articulaciones del cuerpo humano. Gran cantidad de estos instrumentos son mecánicos y por ende son poco precisos, ya que son instrumentos invasivos e intervienen en el movimiento natural de las articulaciones.

De acuerdo a la información anterior consideramos aplicar una alternativa de solución ante estos referentes de la subjetividad que presenta la actual toma de medidas biomecánicas y ergonómicas implementando en el presente estudio un equipo electrónico adquirido por la Universidad Distrital Facultad Tecnológica para el análisis de marcha llamado Technaid y evaluar a los 14 trabajadores en cargos administrativos del CIDC de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas debido a su alta complejidad y su bajo nivel de error en los sensores IMU (unidad de medición inercial) se convierte en la perfecta herramienta a implementar en este trabajo de investigación.

1. Planteamiento del problema

Teniendo en cuenta los datos consolidados por el fondo de riesgos laborales del ministerio de trabajo de Colombia del año 2016 donde las ARL (axa Colpatria, Colmena, Equidad, Liberty, Mapfre, Positiva, Seguros Bolívar, Vida Alfa, Suratep) reportan la totalidad de empresas afiliadas, trabajadores dependientes e independientes, accidentes de trabajo, enfermedad laboral, invalidez temporal y permanente y muerte laboral de la población trabajadora de Colombia. Según la consolidación de datos en el año 2016 hubo 10.037.875 afiliados a la ARL´S, de los cuales 702.932 correspondiente al 7% de los trabajadores tuvieron un accidente de trabajo, 10.563 corresponde al 0,1% de trabajadores afiliados presentaron enfermedad laboral calificada. Además se debe resaltar que durante el 2016 los meses de abril, agosto y septiembre fue donde se reportaron el mayor caso de los accidentes de trabajo, los meses de febrero, junio y julio se calificaron el mayor número de enfermedades laboral. (Fondo de Riesgos Laborales 2018).

Se consultó la base de datos de Fasecolda, que nos muestra datos 2008-2015, se pudo observar que en el año 2010-2011 aumentaron los accidentes de trabajo un 23,3% con respecto al año 2009, en el 2008 disminuyeron los accidentes de trabajo un 70% en el año

2008,2009 aumentaron las enfermedades laborales un 30,5%, 2010 aumentaron un 48,1%, cabe resaltar que en el año 2011 disminuyeron las enfermedades laborales un 7%, en el 2015 disminuyeron en un 1,3% esto con respecto al año anterior. (FASECOLDA 2018).

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, este proyecto pretende implementar una herramienta electrónica para realizar inspecciones de puesto de trabajo y evaluarlo objetivamente, previniendo enfermedades musculoesqueléticas y mejorando la calidad de vida de los trabajadores.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general.

Generar un análisis de riesgo biomecánico presente en los trabajadores del CIDC para crear recomendaciones que guíen al empleador para elaborar un protocolo de intervención a partir de la implementación del sistema de gestión de salud y seguridad en el trabajo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Medir objetivamente a partir de un equipo electrónico y de la NTC 5831 los ángulos adoptados por los trabajadores del Centro de investigación y desarrollo científico (CIDC) de la Universidad Francisco José de Caldas en un periodo de tiempo prolongado.
- Identificar y analizar las posturas inadecuadas que afecten y atenten contra la salud de los trabajadores del CIDC por malos hábitos laborales o por las bajas condiciones gen los puestos de trabajo apoyados del dispositivo electrónico y de la NTC 5831.
- Determinar la diferencia en precisión de las medidas tomadas de manera subjetiva vs las recopiladas de manera electrónica con la herramienta TechNaid.

3. Marco Teórico

A través de los tiempos se han desarrollado diferentes instrumentos para la medición de ángulos y longitudes uno de los más comunes y usado en el tema de ergonomía es el goniómetro, Un goniómetro es un semicírculo o círculo graduado en 180º o 360º, utilizado para medir o construir ángulos. Este instrumento permite medir ángulos entre dos objetos, tales como dos puntos. Algunos de los problemas presentados con los Goniómetros son sus medidas subjetivas dependiendo del grado de experticia de la persona que realiza la medición ya que dada la estrecha separación entre las líneas de medición, la lectura del goniómetro puede estar sujeta al error por una incorrecta visualización del ángulo.

Conforme la tecnología va avanzando los instrumentos y las herramientas también lo van haciendo, es curioso que en Colombia al parecer en tema ergonómico aún está en el siglo XIX utilizando Goniómetros y cintas métricas para la evaluación de puestos de trabajo.

Uno de los trabajos más reconocidos a nivel local es la tesis de Jorge Orlando Barrera Álvarez “Evaluación experimental de una herramienta de corte de rosas”, desarrollada en la Universidad Javeriana en el 2009, en la cual hacen un análisis al tema ergonómico en el corte de las rosas en los cultivos de flores en la sabana de Bogotá. Uno de los aspectos innovadores de esta tesis es la implementación de tecnología de vanguardia tal como el uso de equipos BIOMETRICS para la medición exacta de las variables de manera electrónica. BIOMETRICS es un producto de la empresa Metrón Medical Supliese es el resultado de más de 30 años en el sector de la electro medicina. Empresa especializada en la importación y distribución de equipos para Biomecánica, Medicina Deportiva, Rehabilitación, Valoración del daño corporal, Ergonomía e Investigación y fungibles. (Barrera, 2009).

Conforme la tecnología avanza surgen herramientas mucho más interesantes este es el caso de KINOVEA, siendo este un reproductor de vídeo para todos los amantes del deporte. Reduce la velocidad para estudiar y comentar la técnica de sus atletas es 100% libre y de código abierto y aplicable al tema ergonómico. (Kinovea, 2015).

En nuestro caso de investigación optamos por el uso de la herramienta TECH NAID ya que esta reposaba en los laboratorios de la Universidad y su funcionalidad se adecua perfectamente a la implementación de nuestro proyecto, el sistema de captura de TECH NAID es un sistema de análisis de movimiento inalámbrico completo basado en los sensores inerciales más pequeños utilizados para la rehabilitación y la investigación biomédica. Precisión, comunicación inalámbrica, portabilidad, versatilidad y sencillez son la esencia de la Motilón Capture Sistema Techo MCS; este registra la información en las tarjetas de memoria Micro-SD, por lo que no requiere de una PC para tomar medidas al aire libre. El Techo-MCS se puede configurar como las necesidades de los clientes necesitan, todos los paquetes de Techo-MCS, para 2, 4, 8, 12 o 16 Techo-IMU. (Tech Naid, 2015).

Uno de los puntos que pretende evaluar esta investigación es la eterna discusión planteada en el artículo “Evaluación de los desórdenes musculo esqueléticos en una línea de producción de alimentos. Análisis comparado de la postura y de la actividad de trabajo usando 4 métodos” cuyo objetivo fue comparar cuatro metodologías de evaluación de los desórdenes musculo esqueléticos con el fin de determinar cómo se debe llevar a cabo el proceso de evaluación de puesto de trabajo: en este trabajo se muestra como las metodologías OWAS y OCRA logran cuantificar el riesgo al que está expuesto el trabajador, mientras que VIDAR presenta resultados cualitativos pero tiene en cuenta la percepción del trabajador. (Medina & Castillo, 2013).

Uno de los estudios más destacados a nivel Latinoamérica es “Análisis ergonómico del puesto de trabajo de una persona con discapacidad física” (Farías, Gomes, Ferreira, Fernández, Moreno y Villaverde, 2006) cuyo objetivo ha sido verificar mediante análisis ergonómico, si el puesto de trabajo de un cajero con deficiencia física y grave compromiso de la función motora de miembros inferiores estaba adaptado a sus características. En este trabajo se elaboró un protocolo de análisis ergonómico personalizado, con observación y mediciones del proceso, ambiente de trabajo y entrevistas semiestructuradas.

El estudio del caso se realizó en una empresa de transportes del sector minorista de Joao Pessoa, del estado de Paraíba en Brasil, constatándose que el puesto de trabajo reseñado, no estaba adecuado a las características del trabajador objeto de estudio. Los mayores problemas se encontraron en la accesibilidad dentro del lugar de trabajo, mobiliario del puesto y disposición de los equipamientos, que se encontraron inadecuados, favoreciendo posturas y movimientos de riesgo, que contribuyen a agravar la deficiencia física existente y la aparición de nuevas incapacidades.(Farías de Oliveira et al., 2006).

Al realizar la implementación de estos equipos que se encuentran a la vanguardia de la tecnología disminuiremos notablemente la brecha tecnológica que existe en estos momentos en nuestro país en el tema ergonómico, y con esto llenar el vacío que encontramos entre la falta de acople e integración que hay entre la electrónica y la ergonomía en nuestro país. Este tipo de proyecto aún no se ha realizado en nuestro territorio y con esto pretendemos contribuir de manera activa y tangible al avance de la ciencia y la investigación en el área de ergonomía y salud, mejorando y dando a los empresarios, trabajadores y ARL una herramienta confiable más allá de la experticia del inspector y basada en ese gran motor que nos mueve el cual es la ciencia.

3.1 Biomecánica

El objetivo principal de la biomecánica es estudiar la forma en que el organismo ejerce fuerza y genera movimiento, a través de diferentes estructuras y tejidos como lo son las articulaciones , quienes son las encargadas de la unión entre hueso y hueso; los tendones quienes tienen la función de insertar el músculo en el hueso o en la fascia y transmitirles la fuerza de la contracción muscular para producir un movimiento y los ligamentos, cuya función es la unión y estabilización de estructuras anatómicas. Los movimientos repetitivos y malas posturas durante la ejecución de un trabajo generan que estas estructuras se fatiguen, causando un deterioro en la salud física del trabajador.

La aplicación biomecánica de los principios de la estática, la cinética, la dinámica y la bioquímica, explican en buena medida los desequilibrios, movimientos y deformaciones de la estructura musculo esquelética del cuerpo humano, y predicen en muchos casos el proceso que lleva desde el confort hasta la lesión corporal, pasando por el des confort y el dolor muscular.

En el diseño de puestos de trabajo debemos tener en cuenta la capacidad física del trabajador, la cual es una característica individual que se relaciona directamente con las exigencias del puesto de trabajo, mientras mayor esfuerzo demande las actividades, el organismo responde acelerando el sistema respiratorio y cardiaco, una capacidad física alta permite que este proceso se realice con total normalidad sin causar daños a la salud del individuo. (Broome, 2005).

Es por esta razón que el trabajo se *divide en dinámico o estático*. En el trabajo dinámico, los músculos esqueléticos implicados se contraen y relajan rítmicamente. El flujo

sanguíneo que llega a los músculos aumenta para satisfacer las necesidades metabólicas. Este aumento del flujo sanguíneo se logra incrementando el bombeo del corazón (gasto cardíaco), reduciendo el flujo que llega a las áreas inactivas, como los riñones y el hígado, y aumentando el número de vasos sanguíneos abiertos en la musculatura que está interviniendo en el trabajo. La frecuencia cardíaca, la presión sanguínea y el consumo de oxígeno en los músculos, aumentan en relación directa a la intensidad del trabajo. También aumenta la ventilación pulmonar, debido a la mayor profundidad de las respiraciones y al aumento de la frecuencia respiratoria.

La finalidad de la activación de todo el sistema cardiorrespiratorio es mejorar la llegada de oxígeno a los músculos implicados. El nivel de consumo de oxígeno, medido durante un trabajo muscular dinámico pesado, indica la intensidad del trabajo. El consumo máximo de oxígeno (VO2max) indica la capacidad máxima de la persona para el trabajo aeróbico. En el trabajo estático, la contracción muscular no produce movimientos visibles. El trabajo estático aumenta la presión en el interior del músculo lo que, junto con la compresión mecánica, ocluye la circulación total o parcial de la sangre. El aporte de nutrientes y de oxígeno al músculo y la eliminación de productos metabólicos finales del mismo quedan obstaculizados. De esta forma, en los trabajos estáticos, los músculos se fatigan con más facilidad que en los trabajos dinámicos.

La característica circulatoria más destacada del trabajo está-tico es el aumento de la presión sanguínea. La frecuencia cardíaca y el gasto cardíaco no varían mucho. Por encima de una determinada intensidad de esfuerzo, la presión de la sangre aumenta en relación directa con la intensidad y la duración del esfuerzo. (Lauring & Vedder, 1998).

3.1.1 Enfermedades Osteomusculares.

La enfermedad del sistema musculo esquelético varía desde lesiones súbitas, agudas y fatales hasta cambios graduales en la función por el deterioro de las articulaciones, los nervios y el tejido conectivo. Pueden presentarse efectos secundarios como contracturas y atrofia muscular, limitaciones de la movilidad muscular, deformidad en la alineación, debilidad, disfunción sensitiva y dolor crónico.

Clasificación de enfermedades laborales generadas a partir de agentes ergonómicos según cie 10.

Las lesiones de miembro superior pueden ser clasificadas según tipo de patología y nivel de la lesión. Para efectos de esta investigación, se toman en cuenta dos documentos base (Castro, 2011) ya que permite el registro sistemático, el análisis, la interpretación de los resultados o hallazgos más específicos.

A continuación, se definen las encontradas en la tabla de enfermedades específicamente generadas a partir de agentes ergonómicos:

G540.0 Trastornos del plexo braquial.

Las lesiones de plexo braquial afectan movimientos y sensibilidades cutáneas del miembro superior. Los signos y síntomas dependen de la parte del plexo que esté involucrada. Las lesiones de plexo braquial producen parálisis y anestesia. (Oficina Internacional del Trabajo - OIT, 2010).

G56 Mono neuropatías del miembro superior

G56.0 Síndrome del túnel carpiano

El túnel carpiano es un espacio cerrado y cualquier lesión que ocupa espacio puede causar compresión del nervio mediano y un síndrome del túnel del carpo. Comúnmente los pacientes presentan parestesias o dolor en al menos dos de los dedos, primeros, segundo y tercero el cual puede estar también presente en las noches. (OIT. (2010).

G56.1 Otras lesiones del pronador redondo (o del nervio mediano)

La lesión del nervio mediano puede ser causada por heridas perforantes, si esta se da en la región del codo se ocasiona la perdida de flexión de las articulaciones interfalangica proximales y distales del 2do y 3or dedos (mano de predicador). La capacidad para flexionar las articulaciones metacarpo falángico de estos dedos también se ve afectada dado que ramas digitales del nervio mediano inervan el primero y el segundo lumbricales. (OIT, 2010).

G56.2 Lesión del canal de Guion (o del nervio cubital)

Se puede presentar el síndrome del túnel cubital que presenta parestesias intermitentes en el cuarto y/o quinto dedo o sobre el borde cubital del antebrazo, muñeca o mano y además existe presencia de dolor en la cara interna del codo, acorchamiento y hormigueos en los dedos meñique y anular y debilidad o torpeza de la mano. Estas sensaciones pueden aparecer con la actividad o con el reposo. (OIT, 2010).

Las posiciones de flexión del codo tenderán a empeorar los síntomas. En casos severos, los pequeños músculos de la mano se pueden atrofiar o perder potencia.

G56.3 Lesión del nervio radial

El nervio radial suele lesionarse en el brazo por una fractura del cuerpo del húmero. Esta lesión es proximal a los ramos de los extensores de la muñeca, por lo tanto la primera manifestación es la mano caída en una lesión a este nivel. La lesión del ramo profundo del nervio radial puede suceder cuando se producen heridas profundas (penetrantes) en el antebrazo. La sección del ramo profundo del nervio radial resulta en incapacidad para extender el pulgar y las articulaciones metacarpo falángicas del resto de los dedos. (OIT, 2010).

G56.8 Compresión del nervio Supra escapular

El nervio supra escapular se puede ver afectado bien por una compresión, por estiramiento o por ambas. Las causas de compresión son varias, entre las que destacan gangliones, ligamentos transversos hipertrofiados, configuración anómala de la escotadura supraclavicular, fracturas y neoplasias principalmente. Los fenómenos de estiramiento, por micro traumatismos repetidos, se dan por la gran sujeción del nervio supra escapular en las escotaduras coracoides y espino glenoideo por los ligamentos transversos de la escápula superior e inferior frente a la gran movilidad del hombro.

M65.4 Teno sinovitis de estiloides radial (de Quervain)

Este trastorno constituye el uso excesivo más común que afecta a la muñeca y se produce con frecuencia en individuos que emplean regularmente una fuerza de agarre unida al desvío cubital de la muñeca.

La lesión se produce a causa de una lesión alrededor de la vaina del tendón del abductor largo del pulgar y el extensor corto del pulgar en el primer compartimiento dorsal. Los síntomas típicos que se observan es dolor intermitente o edema localizado sobre el lado radial de la muñeca, el cual puede irradiarse proximalmente al antebrazo o distalmente al dedo pulgar, además hay dolor en la muñeca debajo del pulgar que empeora con el uso. Este dolor ocurre generalmente al mover la muñeca hacia arriba y abajo, al agarrar un objeto o empuñar la mano. Con el tiempo, el dolor puede llegar a empeorar y estar presente aún sin actividad. (OIT, 2010).

El siguiente es el Capítulo XIII de Enfermedades del sistema osteomuscular y del tejido conjuntivo, se encuentra en el subcapítulo de enfermedades de los tejidos blandos las siguientes clasificaciones:

M19 Otras artrosis

La artrosis es común en gente mayor y suele afectar articulaciones que soportan el peso del cuerpo. Las investigaciones realizadas hasta la fecha sugieren que existen determinados factores que aumentan el riesgo de padecer esta enfermedad; la obesidad, determinadas ocupaciones y actividades laborales, la herencia y la raza, y el excesivo ejercicio físico se cuentan entre ellas.

El exceso de peso corporal incrementa el riesgo de artrosis en la rodilla. También hay personas que desarrollan artrosis en otros lugares por un uso excesivo o inadecuado de las articulaciones correspondientes. Es conocido, efectivamente, el riesgo incrementado de padecer artrosis de rodilla que presentan los futbolistas por haber recibido golpes y lesiones repetidas en la misma. (OIT, 2010).

M70 Trastornos de los tejidos blandos relacionados con el uso, el uso excesivo y la presión

M70.2 Bursitis del olecranon

La bursitis del olecranon, es una inflamación (o infección) de la Bursa subcutánea situada sobre la apófisis del olecranon, puede ser aguda (traumática) o crónica, aséptica o séptica. El mecanismo de la lesión puede ser un golpe directo o un traumatismo repetido crónico con acumulación gradual del fluido. En la bursitis del olecranon se presenta aumento del líquido sinovial e irritación mecánica dentro de las zonas de apoyo o roce entre los músculos y huesos, puede ser olecraneana localizada en la parte posterior del codo, ocasionado principalmente por traumatismos o por sobreuso por traumatismos menores repetitivos. El movimiento de abducción de hombro es muy limitado por la presencia de dolor. En la exploración existe una limitación de la abducción activa muy superior a la limitación de la abducción pasiva, con arco doloroso entre 60 y 120 grados. (OIT, 2010).

M75 Lesiones del hombro

M75.1 Síndrome del manguito rotatorio

El síndrome de manguito rotador es un trastorno doloroso debido a la compresión de los tendones bajo el arco coracoacromial. Se caracteriza por dolor intermitente en la región del hombro sin parestesias el cual se empeora con el movimiento activo del brazo. La Elevación, abducción, rotación externa e interna se ve limitada y con presencia de dolor comprometiendo la funcionalidad del hombro. A menudo provoca dolor con acciones como peinarse, ponerse una chaqueta, meterse la camisa o dormir sobre el hombro o con el brazo sobre la cabeza.

Este Síndrome se constituye en una de las principales patologías de hombro originadas por el uso inadecuado o excesivo de la articulación, siendo uno de los factores biomecánicos desencadenantes de esta alteración, los movimientos repetitivos de abducción y rotación externa o aquellas personas que manipulan objetos con pesos considerables sobre el hombro.

Adicionalmente, la presencia de esta entidad se ha incrementado a partir de cambios demográficos relacionados con la mayor concentración de la población en grupos de adultos mayores, en los cuales se presentan imbalances musculares, debidos a un proceso artrósico en la articulación acromio clavicular, facilitando la inestabilidad de la cintura escapular y la compresión del tendón del manguito rotador en el espacio subacromial. (OIT, 2010).

M75.5 Bursitis del hombro

La bursitis del hombro en un 90% de los casos se asocia a roturas del maguito rotador. En estos casos existe comunicación entre la bolsa y la rotura o entre la bolsa y la articulación glenohumeral, si la rotura es total. Se da el aumento del líquido sinovial e irritación mecánica dentro de las zonas de apoyo o roce entre los músculos y huesos, puede ser Subacromial, localizada en el hombro. Se encuentran complicaciones en el movimiento de abducción de hombro es muy limitado por la presencia de dolor. En la exploración existe una

limitación de la abducción activa muy superior a la limitación de la abducción pasiva, con arco doloroso entre 60 y 120 grados. (OIT, 2010).

M77.0 Epicondilitis media

Más comúnmente conocida como codo de jugador de golf, baloncesto o portador de maletas. La flexión y pronación forzada de la muñeca puede lesionar los tendones que se insertan en el epicóndilo medial. Este tipo de fuerza produce durante el servicio de tenis con mucho efecto. Si la paciente continua forzando los flexores de la muñeca, el tendón se puede separar del hueso, produciendo una hemorragia subperiostica, formación de osteofitos y desgarro del ligamento colateral.

El paciente refiere dolor en los tendones flexores y pronadores "que se originan en el epicóndilo medial" y en el epicóndilo medial cuando se flexiona o prona la muñeca contra resistencia o al comprimir algo, además presentan complicaciones en el movimiento de abducción de hombro es muy limitado por la presencia de dolor. En la exploración existe una limitación de la abducción activa muy superior a la limitación de la abducción pasiva, con arco doloroso entre 60º y 120º grados. (OIT, 2010).

M77.1 Epicondilítis lateral

Más comúnmente conocida como codo de tenista. Presenta inflamación de los músculos del antebrazo o de sus tendones cerca de su nacimiento en el humero "hueso de la parte superior del brazo", en la cara lateral externa del codo, que se produce por esfuerzos repetitivos a ese nivel. La contracción repetida de las fibras musculares del antebrazo genera una tensión localizada en los puntos de inserción de los tendones en el hueso del codo. Adicionalmente se encuentra muy limitado el movimiento de abducción de hombro por la presencia de dolor. En la exploración existe una limitación de la abducción activa muy superior a la limitación de la abducción pasiva, con arco doloroso entre 60º y 120º grados. (OIT, 2010).

3.1.2 Métodos de evaluación ergonómica.

Diversos autores han realizado distintas clasificaciones de los métodos de valoración postural existentes. Atendiendo a la forma de obtener los datos para la evaluación del riesgo, se pueden dividir en dos grandes grupos: métodos indirectos y directos. Los métodos indirectos evalúan la exposición del riesgo mediante valoraciones subjetivas del individuo, técnicas de observación, o sistemas capaces de predecir la valoración que un experto daría. Por otro lado, los métodos directos evalúan el riesgo mediante la medida directa de los factores de riesgo.

Los métodos de observación permiten obtener conclusiones sobre la presencia y/o el nivel del riesgo, son más adecuados para posturas mantenidas y trabajos repetitivos. Este método se puede hacer por medio de sistema de grabación mediante cámara de vídeo y los sistemas de capturas de movimiento o fotografía. Los métodos de observación más utilizados son el método RULA ,REBA y OWAS, los cuales están basados en la identificación de posturas de trabajo inadecuadas, y las estandariza en función de las posturas del tronco, de los brazos y de las piernas, el método RULA también analiza muñeca y cuello. Estos tres métodos también consideran el nivel de carga o esfuerzo muscular.

3.1.2.1 Consideraciones generales de los métodos de evaluación ergonómica

3.1.2.1.1 Método RULA

- Evalúa posturas concretas en las que tienen carga postural elevada.
- Divide el cuerpo en dos grandes grupos: Grupo A (brazos, antebrazos y muñecas) y el grupo B (piernas, tronco y cuello).
- Las mediciones u observaciones que se realizan se centran en los ángulos que forman los diferentes segmentos del cuerpo.
- El método debe aplicarse al lado derecho y al lado izquierdo del cuerpo por separado.

- Se puede elegir el lado con mayor carga postural, pero en caso de duda se deben analizar los dos lados.
- Mediante tablas se asigna, una puntuación a cada zona corporal. Las puntuaciones se modifican de acuerdo a la actividad muscular desarrollada y fuerza aplicada durante la tarea.
- De acuerdo a los valores definidos para el grupo A y B, se asigna una puntuación global.
- El valor final del método, es proporcional al riesgo.

3.1.2.1.2 Método REBA

- Divide el cuerpo en dos grupos A: Tronco, Cuello y Piernas. B: Brazo, Antebrazo y Muñeca.
- Modificar la puntuación del grupo A en función de la carga.
- Modificar la puntuación del grupo B en función del tipo de Agarre.
- De acuerdo a ambas puntuaciones finales se busca en la tabla C la nueva puntuación global.
- Modificar la puntuación C de acuerdo a la actividad muscular.
- Evaluar el nivel de acción y riesgo correspondiente al valor final.
- Se tiene en cuenta las combinaciones de la posición de la espalda (4 posiciones), brazos (3 posiciones), piernas (7 posiciones) y carga levantada (3 intervalos).
- Establecer el tiempo total de observación de la tarea (entre 20 y 40 minutos).
- Codificar las posturas observadas, asignando a cada posición y carga los valores de los dígitos que configuran su "código de postura".
- Calcular para código de postura la categoría de riesgo a la que pertenece, con el fin de identificar aquellas posturas críticas o de mayor nivel de riesgo para el trabajador.

- Calcular el porcentaje de repeticiones o frecuencia relativa de cada posición de la espalda, brazos y piernas.
- Determinar en función de los riesgos calculados, las acciones correctivas y de rediseño necesarias. (Lauring & Vedder, 1998).

3.2 NTC 5831 Requisitos ergonómicos para trabajos de oficina con videoterminales (VDT) (monitores)

Esta norma técnica colombiana específica los principios ergonómicos fundamentales de aplicación a los requisitos del usuario, el diseño y dotación de los equipos para los puestos de trabajo previstos para tareas de oficina que emplean video-terminales.

Los principios y requisitos establecidos en esta norma son aplicables en el diseño técnico del mobiliario y equipo que conforman el puesto de trabajo. (Norma Técnica Colombiana 5831, pág. 1, 2010).

Junto a esta se encuentran las siguientes normativas que sirven de complemento, buscando así calidad en los puestos de trabajo.

- **ISO 9241-2:1992**. Requisitos ergonómicos para trabajos de oficina con pantallas de visualización de datos. Parte 2: Guía para los requisitos de la tarea.

    1. Posibilitar la aplicación de una variedad apropiada de actividades y habilidades.
    2. Asegurar que la tarea sea identificable como una unidad completa y significativa de trabajo y no como algo fragmentado y sin contenido.
    3. Proporcionar al usuario un grado de autonomía suficiente para que pueda decidir procedimientos, establecer prioridades y seguir su propio ritmo de trabajo.
    4. Proporcionar al usuario una retroacción (feed-back) adecuada.

5. Darle oportunidades para que pueda desarrollar su capacidad y habilidades, así como adquirir otras nuevas en relación con las tareas que le conciernen.

- **ISO 9241-3:1992.** Requisitos ergonómicos para trabajos de oficina con pantallas de visualización de datos. Parte 3: Requisitos para las pantallas de visualización de datos.

  1. La matriz de representación de los caracteres debe estar constituida por un mínimo de 5 x 7 «píxeles». No obstante, cuando se requiera una lectura frecuente de la pantalla, o sea importante garantizar la legibilidad del texto, la matriz de representación de los caracteres debe tener, al menos, 7 x 9 «píxeles».

  2. El tamaño requerido para los caracteres alfanuméricos representados en pantalla depende de la distancia de visión. Para la mayoría de las tareas se recomienda que la altura de los caracteres subtienda al menos un ángulo de 22 minutos de arco, mientras que la distancia de visión no debe ser inferior a 400 mm.

  3. El espacio entre caracteres debe ser, al menos, igual a la anchura del trazo; la distancia entre palabras debe ser, como mínimo, igual a la anchura de un carácter, y, por último, la distancia entre las líneas del texto debe ser, al menos, igual al espacio correspondiente a un «píxel».

- **ISO 9241-61: 1992.** Requisitos ergonómicos para trabajos de oficina con pantallas de visualización de datos. Parte 6: Requisitos ambientales:

  1. El nivel sonoro en los puestos de trabajo sea lo más bajo posible, para lo cual es preciso utilizar equipos con una mínima emisión sonora junto a un acondicionamiento de la acústica del local de trabajo, entre otras cosas, establece que, para tareas difíciles y complejas (que requieren concentración) el nivel sonoro continuo equivalente no debe exceder los 55 dB.

2. la temperatura operativa de confort sea mantenida dentro del siguiente rango:

En época de verano: 23 a 26 ºC

En época de invierno: 20 a 24 °C

La sequedad de los ojos y mucosas se puede prevenir manteniendo la humedad relativa entre el 45% y el 65%, para cualquiera de las temperaturas comprendidas dentro de dicho rango (Hernández, 1998).

3.3 Acelerómetro

Como su propio nombre indica, un acelerómetro es un dispositivo capaz de medir aceleraciones, es decir, la variación en la velocidad por unidad de tiempo. Existen diferentes tipos de acelerómetros en función del tipo de tecnología que utilicen para medir esa magnitud: mecánicos, piezoeléctricos, de condensador, etc.

Como no podemos medir las aceleraciones por observación directa, se deben calcular a partir de otras variables que sí se pueden medir y el conocimiento de las leyes que rigen sus efectos. Para comprenderlo más claramente vamos a ver el caso del acelerómetro mecánico. En él obtenemos la aceleración del sistema a partir de la masa y la observación de su desplazamiento. (Átomos y Bits, 2014).

Figura 1. Acelerómetro. **Fuente**: Átomos y Bits (2004)

En un acelerómetro mecánico se sitúa una masa (denominada masa sísmica) dentro de un armazón. Esta masa se encuentra suspendida mediante un mecanismo elástico, por ejemplo un muelle, de manera que aún pueda desplazarse desde su posición de equilibrio. Aquí entran en juego la Ley de la Elasticidad de Hooke y la Segunda Ley de Newton.

Ley de Hooke: El alargamiento unitario que experimenta un material elástico es directamente proporcional a la fuerza aplicada. Esto es $F = k \cdot x$. (donde F es la fuerza aplicada, k la constante de elasticidad del muelle yx el desplazamiento de la masa sísmica).

Segunda ley de Newton: El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se imprime. Esta es representada mediante la famosa ecuación $F = m \cdot a$. (F: fuerza; m: masa, a: aceleración).

Lo que ocurre al aplicar una fuerza para desplazar el armazón, es que la masa sísmica, conectada a él mediante un material elástico (el muelle), se desplaza una distancia proporcional a la fuerza aplicada (ley de Hooke), que, a su vez, es proporcional a la aceleración aplicada al armazón (Segunda ley de Newton).

Como sabemos que el sistema debe obedecer las dos leyes y la fuerza en ambos casos es la misma, a partir de las ecuaciones podemos establecer que: $m \cdot a = k \cdot x$, con lo que, finalmente, $a = (k/m) \cdot x$. Por lo tanto, se puede obtener el valor de la aceleración, ya que k es la constante de elasticidad del muelle (y que conocemos, ya que lo hemos puesto nosotros), m es la masa desplazada (la masa sísmica) y x la distancia desplazada, que podemos medir. Observa, además, que se cumple que la aceleración es proporcional al desplazamiento, siéndolo en un factor k/m.

Es importante destacar que este dispositivo tan sólo mide la aceleración en su eje longitudinal, es decir, en el que puede comprimirse y expandirse el muelle. Dado que vivimos en un mundo tridimensional, necesitaremos replicar este sistema en tres ejes ortogonales, es

decir, perpendiculares entre sí (x, y, z). Con el valor esas tres componentes se pueden calcular el valor de la aceleración en cualquier dirección espacial.

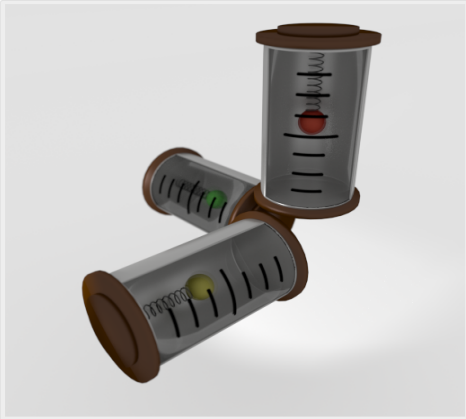


Figura 2. Acelerómetro con 3 ejes. **Fuente**: Átomos y Bits (2004)

Los acelerómetros son ampliamente utilizados en ingeniería. Se utilizan generalmente para detectar las vibraciones en los sistemas y para aplicaciones de orientación.

Seguro que has pensado que parece muy difícil poder hacer este sistema mecánico tan pequeño que forme parte de nuestros modernos y miniaturizados teléfonos. Existen diferentes tipos de acelerómetros, que utilizan la misma idea pero diferentes fenómenos físicos, que hacen que cada uno de ellos resulte más idóneo para determinados usos.

El acelerómetro piezoeléctrico hace uso del efecto con el mismo nombre. Este efecto ocurre en determinados materiales, que, al ser sometidos a una presión y ser deformados (en una dirección) muestran una diferencia de potencial (o voltaje) en su superficie. De esta forma se obtiene una señal eléctrica proporcional a la presión aplicada.

En el caso de los acelerómetros capacitivos se crean “pequeños condensadores basculantes”. Un condensador es un componente electrónico que permite almacenar energía eléctrica entre dos placas conductoras separadas por un elemento no conductor (dieléctrico). La Capacitancia de un condensador viene dada, entre otros, por la distancia que separa las placas. Los acelerómetros capacitivos se construyen de manera que una de las dos placas de

los condensadores pueda moverse de forma proporcional a la fuerza externa. De esta forma se obtienen variaciones en la señal eléctrica proporcionales a la fuerza aplicada y, por lo tanto, a la aceleración.

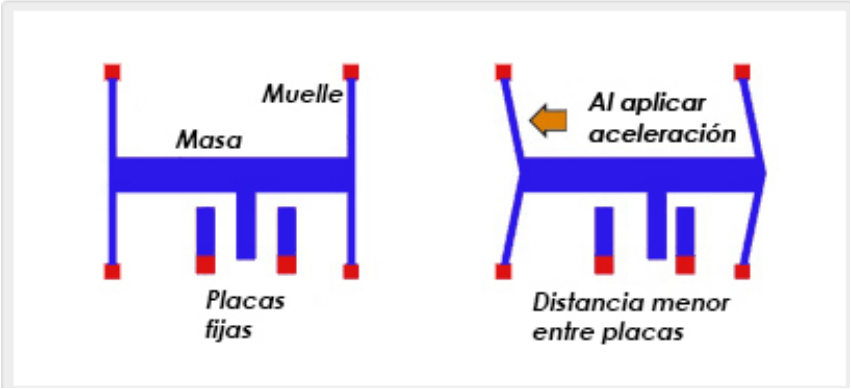


Figura 3. Esquema Acelerómetro Capacitivo**. Fuente**: Átomos y Bits (2004)

Los acelerómetros capacitivos, al ser electrónicos, pueden ser extremadamente pequeños y se pueden fabricar integrados en chips para soldar en placas de silicio, por ejemplo en tu Smartphone. Adicionalmente es necesario disponer de un software que sea capaz de interpretar las señales generadas por el acelerómetro. De esto se encarga Android, por ejemplo.

Como la fuerza de la gravedad actúa en todo momento y conocemos su valor (9,8 m/s2), es fácil utilizar los valores de cada eje del acelerómetro para determinar el ángulo de inclinación y, por tanto, la posición del dispositivo. De esta forma se puede mostrar el contenido con la orientación correcta y rotarla cuando ésta cambie. De la misma forma, las variaciones en sus valores pueden ser utilizadas como señal de entrada para aplicaciones, por ejemplo para simular un volante en los juegos de conducción.

3.4 Ángulos de Euler

Un cuerpo tridimensional puede rotarse de diversas maneras. Para determinar correctamente una rotación necesitamos designar un eje de rotación alrededor del cual se

realiza el giro. Los ejes más sencillos alrededor de los cuales se puede definir unívocamente una rotación son los ejes de coordenadas los cuales cumplen el requisito de ser ortogonales entre sí.

Los Ángulos de Euler son un conjunto de tres coordenadas angulares, definidos en un espacio tridimensional Euclídeo que, mediante una aplicación ordenada de los giros que definen, determinan la orientación de un sistema de coordenadas (por lo general móvil) con respecto a otro que se mantiene fijo. Los ángulos de Euler, según estén definidos, pueden corresponderse con tres ángulos muy utilizados en navegación aérea para determinar la actitud de las aeronaves, como son Roll (φ), Pitch (θ) y Yaw (Ψ).

Hay que resaltar que los ángulos de Euler no están unívocamente definidos, existiendo ambigüedades y encontrándose varias maneras de definirlos, por lo que no tienen que coincidir con los ángulos antes mencionados (Roll, Pitch y Yaw). Hay que tener claro cómo se definen los ángulos con los que trabajan los dispositivos de navegación que componen un sistema de navegación inercial. En el caso particular de este proyecto, el dispositivo en el que hay que detenerse para entender la definición de ángulos es el MTi-G.

En el MTi-G la definición de ángulos de Euler que se utiliza es equivalente a los ángulos Roll (φ), Pitch (θ) y Yaw (Ψ). Estos ángulos se definen con respecto a los ejes coordenados del vehículo. Si se considera el plano del horizonte como el definido por las alas de un avión cuando éste realiza un vuelo horizontal, podemos definir los signos de estos ángulos de la siguiente manera: el ángulo Roll (φ) es positivo cuando el ala derecha se mueve por debajo del plano del horizonte, el ángulo de Pitch (θ) es positivo cuando el morro del avión cae por debajo de la línea del horizonte y el ángulo de Yaw (Ψ) se define positivo cuando el morro está rotando desde el norte hacia el oeste.

De forma gráfica se muestran estos ángulos en la Figura. Ésta es la definición de ángulos que se utiliza en este proyecto, debido a los dispositivos de navegación utilizados y la

configuración del montaje del sistema completo en la aeronave, (Sanchez, 2012). La cual se verá más adelante:

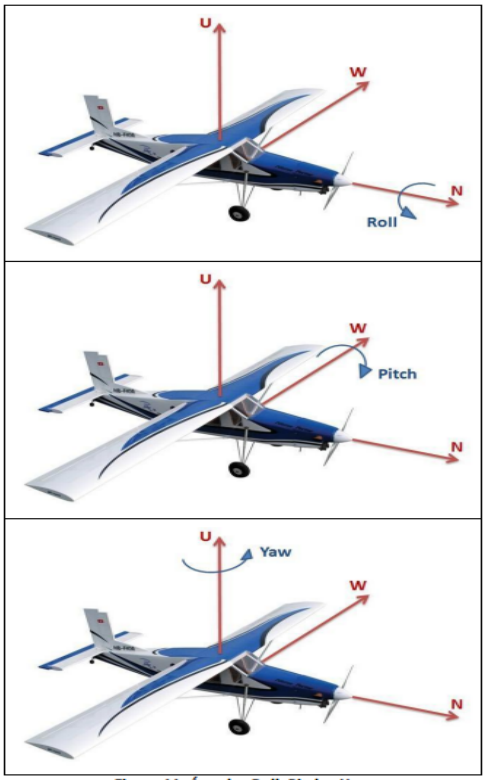


Figura 4. Ángulos Roll, Pitch y Yaw. **Fuente:** Sanchez (2012)

Las transformaciones de estos ángulos se aplican matricialmente. A cada ángulo de Euler le corresponde una matriz 3x3, que determina el giro que se aplica con respecto al sistema de coordenadas que está fijo y actúa de referencia.

El giro correspondiente al ángulo Yaw (también se le denota como α) es una rotación alrededor del eje de coordenadas vertical (eje z en un sistema genérico), siguiendo el sentido contrario a las agujas del reloj, y queda definido por la matriz de rotación (Méndez, 2015), la cual se encuentra definida en:

$$R_z(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) & 0 \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Nótese que las entradas superiores de la matriz $R_z(\alpha)$forman una matriz de rotación bidimensional aplicada a las coordenadas X e Y, mientras que la coordenada Z permanece

constante. Ocurre lo mismo para las dos matrices correspondientes a los otros dos ángulos, con sus respectivos ejes fijos cada una.

El ángulo Pitch (también se le denota como β) se corresponde con una rotación en sentido anti-horario alrededor del eje de coordenadas que apunta al oeste (eje Y en un sistema de coordenadas genérico). Según Henao y Hoyos (2013), la matriz de rotación correspondiente a éste ángulo se conoce como $R_y(\beta)$ y se encuentra definida en:

$$R_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) \end{bmatrix}$$

El ángulo Roll (también se le denota como γ) se corresponde con una rotación en sentido anti-horario, alrededor del eje de coordenadas norte (eje X en un sistema de coordenadas genérico). La matriz de rotación de este ángulo, que se conoce como $R_x(\gamma)$, viene definida por (Goniómetro Pro, 2016):

$$R_x(\gamma) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\gamma) & -\sin(\gamma) \\ 0 & \sin(\gamma) & \cos(\gamma) \end{bmatrix}$$

Se pueden multiplicar las tres matrices de manera que obtengamos una sola matriz 3x3 que defina el conjunto de las tres rotaciones en una sola matriz, como la que muestran Cuevas, De Amirola, Romero y Rostro (2014), como aparece definida en:

$$R(\alpha, \beta, \gamma) = R_z(\alpha) R_y(\beta) R_x(\gamma)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos(\alpha)\cos(\beta) & \cos(\alpha)\sin(\beta)\sin(\gamma) - \sin(\alpha)\cos(\gamma) & \cos(\alpha)\sin(\beta)\cos(\gamma) + \sin(\alpha)\sin(\gamma) \\ \sin(\alpha)\cos(\beta) & \sin(\alpha)\sin(\beta)\sin(\gamma) + \cos(\alpha)\cos(\gamma) & \sin(\alpha)\sin(\beta)\cos(\gamma) - \cos(\alpha)\sin(\gamma) \\ -\sin(\beta) & \cos(\beta)\sin(\gamma) & \cos(\beta)\cos(\gamma) \end{bmatrix}$$

3.5 Planimetría. Es la descripción de los planos imaginarios que sirven de referencia para dividir el cuerpo humano en diferentes zonas y facilitar su estudio. En el cuerpo humano, se reconocen tres planos perpendiculares entre sí: plano sagital, plano frontal o coronal y plano transversal o axial. Cada uno de estos planos son cruzados perpendicularmente por un eje:

eje mediolateral, eje anteroposterior y eje vertical respectivamente. Sobre estos tres ejes, se producen los movimientos articulares.

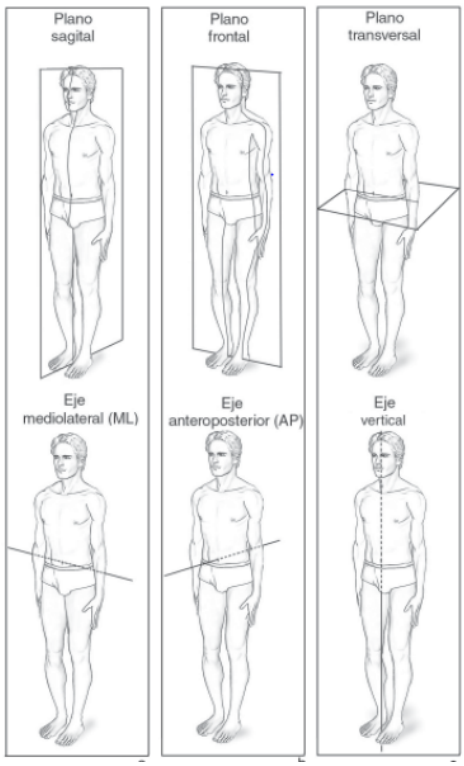


Figura 5. Planos Y Ejes del Cuerpo. **Fuente:** Taboadela (2007)

3.5.1 Plano Sagital

El plano sagital medio divide al cuerpo en dos mitades: una derecha, y la otra, izquierda. Todos los planos paralelos al plano sagital medio se denominan planos sagitales o parasagitales. Todos los planos sagitales son cruzados perpendicularmente por el eje mediolateral sobre el que se producen los movimientos de flexión y extensión, visibles en la persona de perfil.

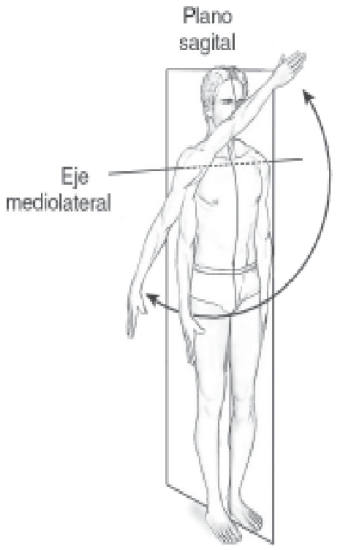


Figura 6. Movimientos de flexión extensión alrededor del eje mediolateral del hombro derecho en el plano sagital. **Fuente:** Taboadela (2007)

Tabla 1 *Movimientos en el Plano Sagital – Flexión / Extensión.*

Movimiento	**Descripción**
Flexión	Es todo movimiento en el plano sagital que desplaza una parte del cuerpo hacia delante de la posición anatómica.
Extensión	Es todo movimiento en el plano sagital que desplaza una parte del cuerpo hacia atrás de la posición anatómica.

Fuente: Taboadela (2007)

3.5.2 Plano Frontal o Coronal

El plano frontal o coronal es cualquiera de los planos perpendiculares a los planos sagital y vertical que dividen al cuerpo en dos partes, una anterior y otra posterior. Lo cruza perpendicularmente el eje anteroposterior sobre el cual se producen los movimientos de abducción y aducción, visibles en la persona de frente.

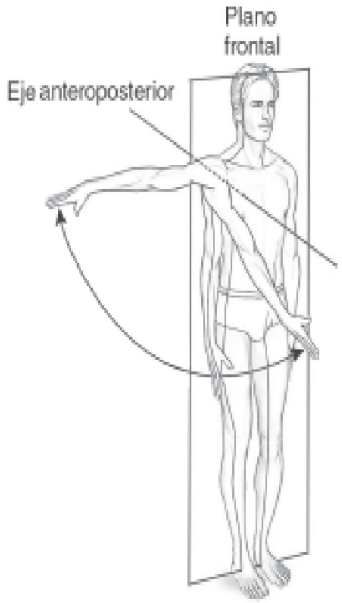


Figura 7. Movimientos de abducción sobre el eje anteroposterior del hombro derecho en el plano frontal. **Fuente:** Taboadela (2007)

Tabla 2 *Movimientos en el Plano Frontal – Abducción / Abducción*

Movimiento	**Descripción**
Abducción	Es todo movimiento en el plano frontal que aleja una parte del cuerpo de la línea media.
Aducción	Es todo movimiento que en el plano frontal acerca una parte del cuerpo a la línea media.

Fuente: Taboadela (2007)

3.5.3 Plano Transversal u Horizontal

El plano transversal u horizontal es cualquiera de los planos perpendiculares a los planos medio y coronal que dividen al cuerpo en dos partes: una craneal o superior y otra caudal o inferior. Lo cruza perpendicularmente el eje vertical, sobre el cual se producen los movimientos de rotación que son vistos desde arriba o desde abajo.

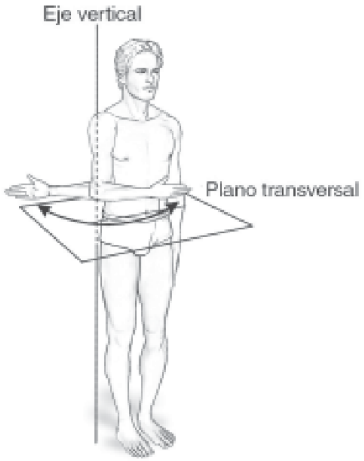


Figura 8. Movimientos de rotación del hombro derecho sobre el eje vertical en el plano transversal. **Fuente:** Taboadela (2007)

Tabla 3 *Movimientos en el Plano Frontal – Rotación Interna / Rotación Externa*

Movimiento	**Descripción**
Rotación Interna	El movimiento en el plano transversal que desplaza una parte del cuerpo hacia dentro, se denomina rotación interna.
Rotación Externa	El movimiento en el plano transversal que desplaza una parte del cuerpo hacia fuera se llama rotación externa.

Fuente: Taboadela (2007)

Método del cero neutro: utilizado para la evaluación de la flexión - extensión del codo derecho. La medición comienza en 0º.

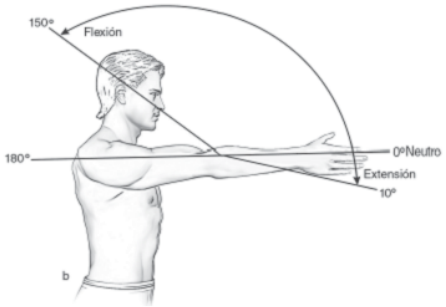


Figura 9. Método del cero neutro. **Fuente:** Taboadela (2007)

4. Marco Legal

4.1 ISO13485 (2003)

La normatividad colombiana respecto a equipos biomédicos.

4.2 ISO 9241-2 (1992)

Requisitos ergonómicos para trabajos de oficina con pantallas de visualización de datos. Parte 2: Guía para los requisitos de la tarea

4.3 ISO 9241-3(1992)

Requisitos ergonómicos para trabajos de oficina con pantallas de visualización de datos. Parte 3: Requisitos para las pantallas de visualización de datos.

4.4. ISO 9241-61

Requisitos ergonómicos para trabajos de oficina con pantallas de visualización de datos. Parte 6: Requisitos ambientales.

4.5. Directiva 90/385/CEE

Se refiere a que cualquier instrumento, dispositivo, equipo, programa informático u otro artículo debe ser utilizado en seres humanos con fines de: diagnostico, control, prevención o alivio de una enfermedad.

4.6. IEC 60601-1-8 (2004)

Equipamiento médico eléctrico. Esta norma se encarga de proporcionar los estándares básicos de seguridad como la compatibilidad electromagnética, también requerimientos y pruebas. (Tecno Med Ingenieros, 2010).

4.7. ISO/IEEE 11073

Es un conjunto único de normas desarrolladas y adoptadas por todos los países para conectividad completa de dispositivos médicos. Se basa en la comunicación entre los equipos

médicos y sistemas informativos externos, en donde se capturan y se visualizan los datos tomados del paciente.

4.8. STDPD94706

Es una metodología para establecer exigencias de calidad e identificación, realización, análisis, y define la calidad del software en instrumentos de medición.

4.9. Ley 31 de 1995

Con el fin de dar cumplimiento a la ley 31 de 1995 relacionada con la prevención de riesgos laborales.

4.10. Ley 1562 de 2012

Por la cual se modifica el sistema de riesgos laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional, donde en el artículo 11 se enuncia y contempla la importancia de ejecutar los servicios de promoción y prevención, dentro del cual se encuentra la evaluación de puestos de trabajo, decidimos diseñar una herramienta para poder mitigar y detectar posibles síntomas que puedan llegar a resultar en una enfermedad osteomuscular laboral.

4.11. Decreto 1477 de 2014

Por el cual se expide la Tabla de Enfermedades Laborales y el cual nos permite visibilizar la relación de estas con la ocupación que desempeña la persona. (Decreto Nº 1477, 2014a).

5 Metodología

Esta tesis es un estudio de tipo transversal, conto con un tamaño de muestra de 14 trabajadores del CIDC de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas, los criterios de inclusión fue que los participantes trabajaran en el CIDC, cabe resaltar que antes de iniciar la evaluación de puestos de trabajo, los participantes firmaron consentimiento informado, además debieron responder una encuestas; la cual recolecto datos sociodemográficos. Luego

que los trabajadores respondieron los formatos de encuesta se colocaron los sensores en la articulación de hombro, codo, muñeca, cadera, rodilla y cuello de pie del hemicuerpo dominante, seguido se pidió a los trabajadores continuaran con la tarea que estaban realizando, mientras el trabajador realizaba su labor fue grabado durante 5 minutos, los datos fueron almacenados en HubTechnaid, además los expertos tomaron fotos para el análisis subjetivo y posteriormente ser analizados, finalmente se consolidaron los datos en una base en Excel versión 2010, donde se cruzó la información y se tabularon de tal manera que finalmente lo plasmáramos en graficas que nos permitieron dar a conocer la información obtenida en la presente investigación.

5.1 Modelo de recolección de datos y análisis de movimientos

El modelo de recolección de datos planteado en este proyecto se realiza a través de una encuesta para determinar datos sociodemográficos tales como sexo, edad, dominancia, antecedentes médicos, cargo, profesión. Y por otra parte la instalación de sensores inerciales los cuales miden de manera efectiva y precisa los ángulos de las articulaciones en los trabajadores, a continuación se describe en un diagrama de bloques de la figura 10.

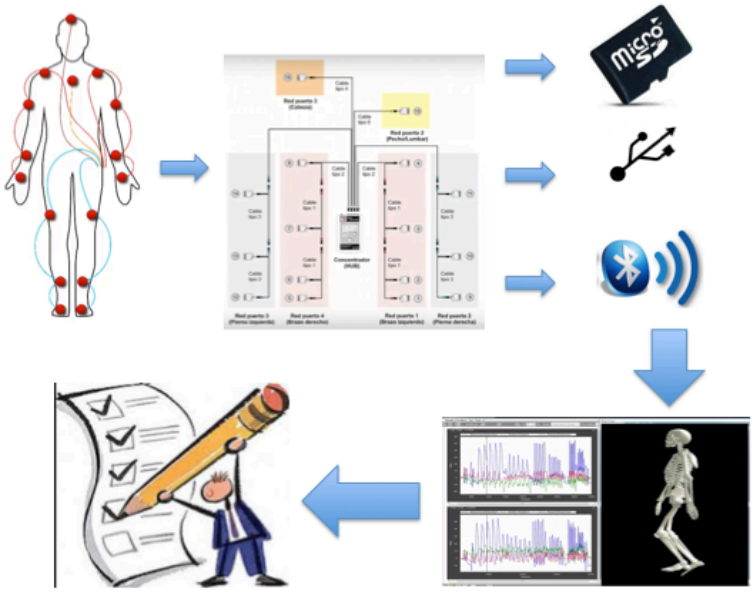


Figura 10. Modelo de recolección de datos y análisis de movimientos. **Fuente:** Elaboración propia.

En el primer bloque de la figura 10, se observa la conexión que se realizaría al empleado identificando cada una de las articulaciones involucradas en el movimiento. Estas articulaciones estarían claramente identificadas con un IMU la cual dará una fiabilidad en los datos del individuo. El segundo bloque muestra el Hub TechNaid, este es el encargado de la recolección de todos los datos. Estos datos pueden ser almacenados en una tarjeta SD o transmitidos vía Bluetooth o USB, lo que brinda al usuario una amplia gama de posibilidades para la adquisición de datos. El siguiente bloque muestra una unidad de procesamiento de datos digital en la que se evaluaran los movimientos repetitivos mediante gráficas y los ángulos adoptados por el trabajador, la ventaja de la herramienta CAD es el análisis de los movimientos a detalle y de manera matemática evaluando su máxima afectación sobre el individuo.

Por último se generan unas recomendaciones para la realización un protocolo donde especialistas de la salud analizarán los datos planteara una discusion donde se evidencien las ventajas y desventajas de cada uno de los metodos de medición según la estandarización de los análisis de los datos obtenidos.

5.2 Fases del proyecto

En el desarrollo del proyecto se definió una cantidad específica de actividades que permitieron alcanzar los objetivos propuestos.

A continuación se describe las actividades usadas, las cuales se dividen de la siguiente forma:

Tabla 4 *Descripción – Fases del proyecto*

Fases	Descripción
Análisis	Elección de herramientas de evaluación ergonómica pertinentes para el desarrollo del proyecto.
	Alternativas de solución para la ejecución del proyecto, según los parámetros establecidos.
	Impacto generado en el área laboral y en la comunidad investigativa.
Diseño	Modificación y adaptación del Hub Technaid para valorar características biomecánicas de trabajadores del CIDC.
	Creación de encuesta, recomendaciones para el protocolo y consentimiento informado
	Creación de la Base de datos de recolección de informacion y sus respectivas tablas.
Evaluación	Aplicación de encuesta. Norma Técnica para evaluación de videoterminales. (NTC 5831)
	Uso de Hub Technaid y toma de video de los trabajadores del CIDC
Recolección y análisis de datos	Recolección de datos y creación de graficas
	Organización de resultados y análisis de resultados Comparación y análisis de resultados entre NTC 5831 y evaluación con technaid
Conclusiones y recomendaciones	Conclusiones y recomendaciones individuales a partir de los hallazgos durante la evaluación de riesgo biomecánico en los trabajadores del CIDC.
	Divulgación al empleador y a los trabajadores sobre las recomendaciones generadas.
	Consolidación de trabajo final. Discusión.

Fuente: Elaboración Propia

Antes de iniciar el proceso de medición se diligencian los respectivos consentimientos informados para el estudio y se aplica un cuestionario donde se evalúan los factores sociodemográficos que pueden afectar nuestra investigación, además de la selección de nuestra población a medir en sexo y dominancia. Los resultados de este cuestionario pueden encontrarse en el capítulo 5 y el cuestionario como tal en el Anexo 1.

5.3 Mediciones

Luego de realizadas las respectivas encuestas cada uno de los integrantes de esta investigación toma un área de análisis. Por lo tanto se designa a uno de los integrantes para realizar las mediciones subjetiva y otro para las mediciones de Technaid y al final comparar resultados. A continuación veremos las tablas de las respectivas mediciones:

Resultados

La evaluación se aplica a los trabajadores y puestos de trabajo del CIDC (centro de investigación de la universidad distrital), en total los trabajadores son en total 14 y a continuación se presentan los resultados iniciando por los datos sociodemográficos y posteriormente todo lo relacionado con los puestos de trabajo y la jornada laboral.

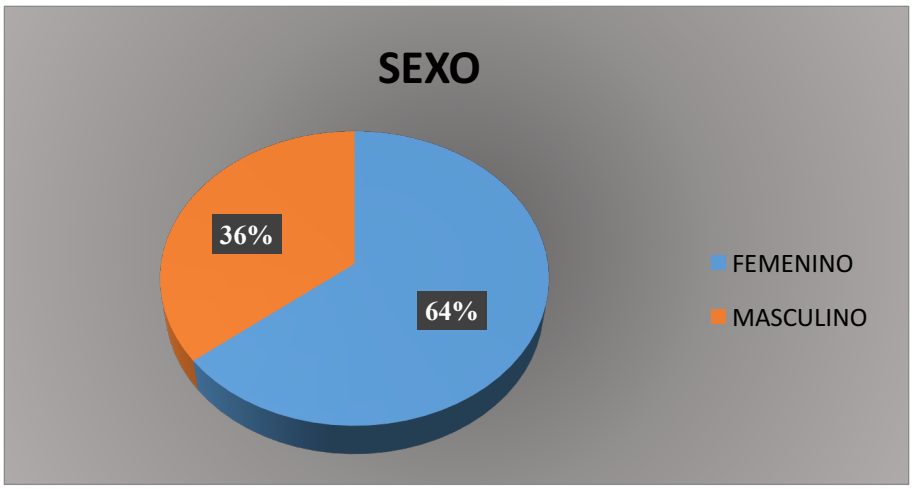


Figura 11. Distribución Porcentual según Sexo. **Fuente:** Elaboración Propia.

En el anterior grafico (Figura 11) podemos observar que de la población total el 36% corresponde al género masculino mientras que el 64% corresponde al género femenino.

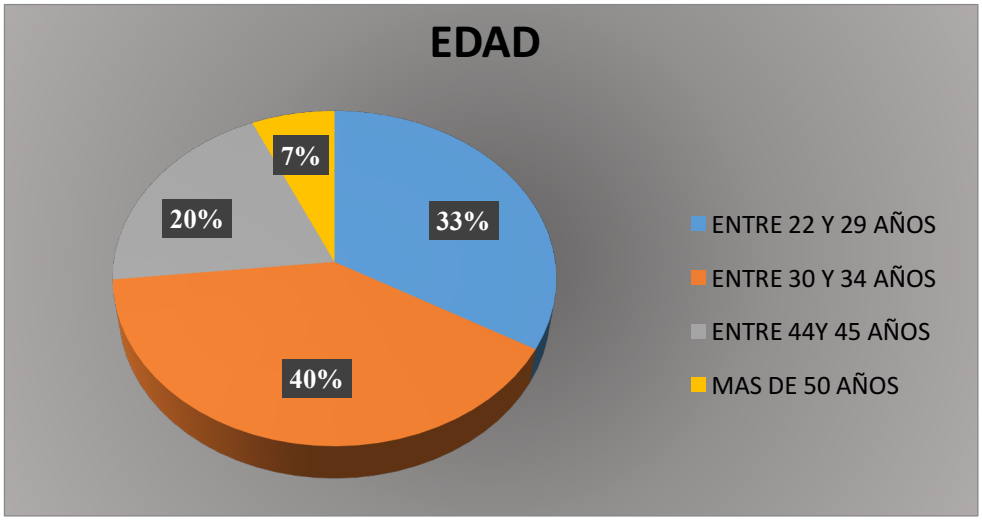


Figura 12. Distribución Porcentual según Edad. **Fuente:** Elaboración Propia.

El grafico (Figura 12) nos muestra que la mayor parte de la población escogida para el estudio se encuentran en edades entre los 30 y 34 años con un 40%, seguido de edades entre 22 y 29 años con un 33%, edades entre 44 y 45 años con un 20%, por último, encontramos la población de más de 50 años con un 7%.

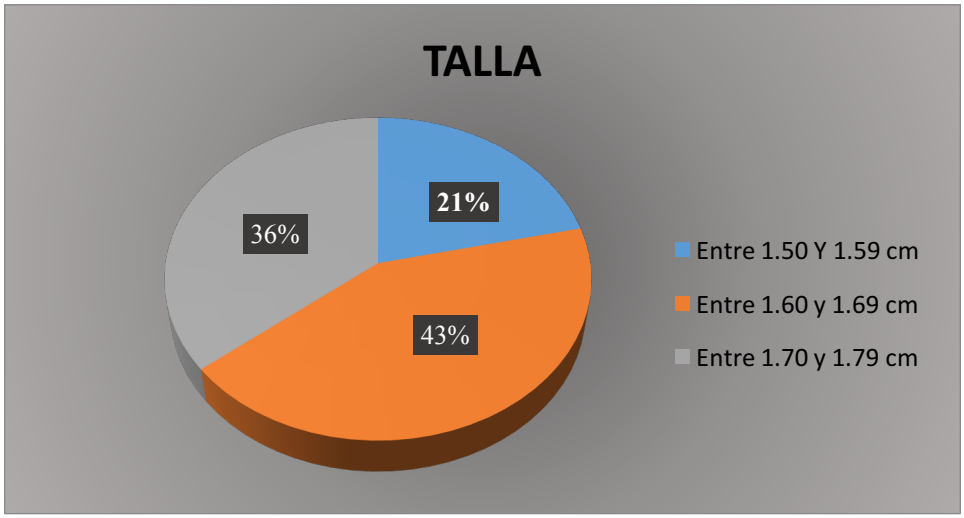


Figura 13. Distribución Porcentual según Talla. **Fuente:** Elaboración Propia.

El grafico (Figura 13) nos muestra que la mayoría de la población muestra, se encuentra en talla entre 1.60cm y 1.69 cm con un 43%, seguido de la población con estatura entre 1.70 y 1.79cm con un 36%, por ultimo encontramos la población que se encuentra entre 1,50 y 1,59 cm con un 21%.

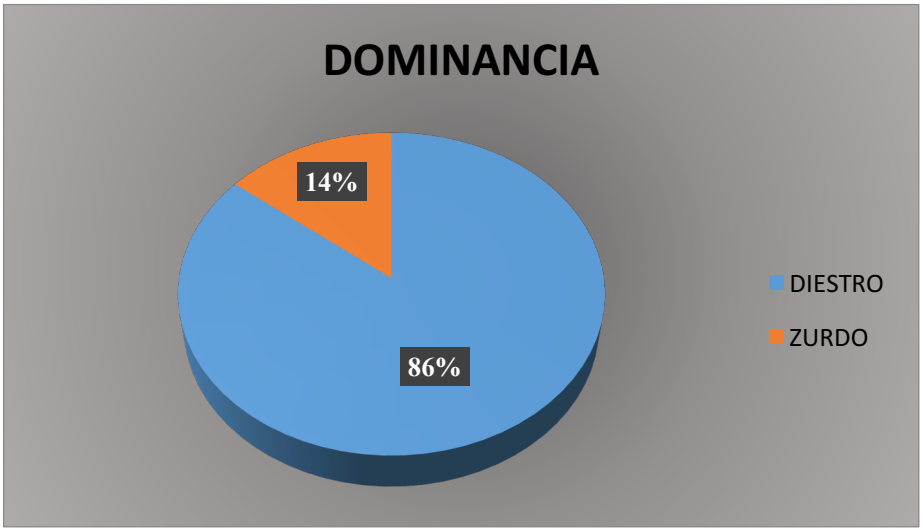


Figura 14. Distribución Porcentual según Dominancia. **Fuente:** Elaboración Propia.

En el grafico (Figura 14) se evidencia que el 86% de la población es diestra y el 14% restante es zurdo.

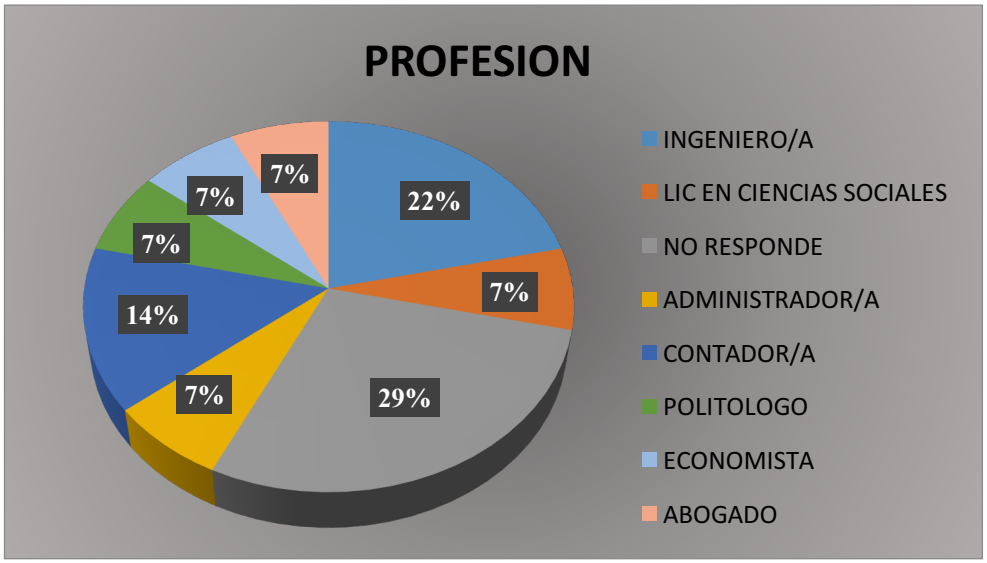


Figura 15. Distribución Porcentual según Profesión. **Fuente**: Elaboración Propia.

En el grafico (Figura 15) se evidencia que el 29% no responde que profesión tiene, el 22% es ingeniero/a, seguido encontramos que el 14% tiene como profesión contador/a, el

7% pertenece a la profesión de licenciatura en ciencias sociales, administrador/a, politólogo, economista, abogado.

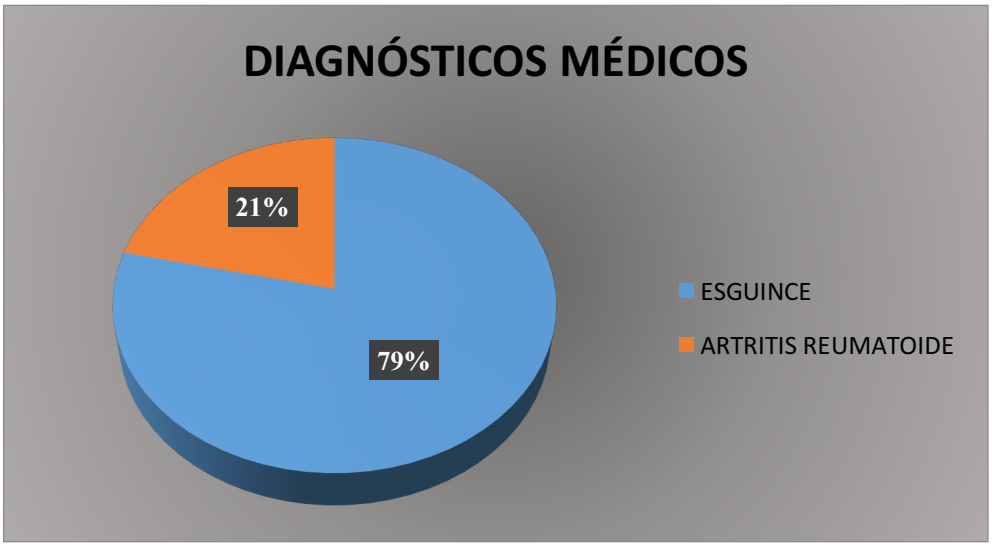


Figura 16. Distribución Porcentual según Diagnósticos Médicos. **Fuente:** Elaboración Propia.

El grafico (Figura 16) nos muestra que el 79% de la población muestra tiene como diagnóstico médico esguince, el otro 21% presenta artritis reumatoide.

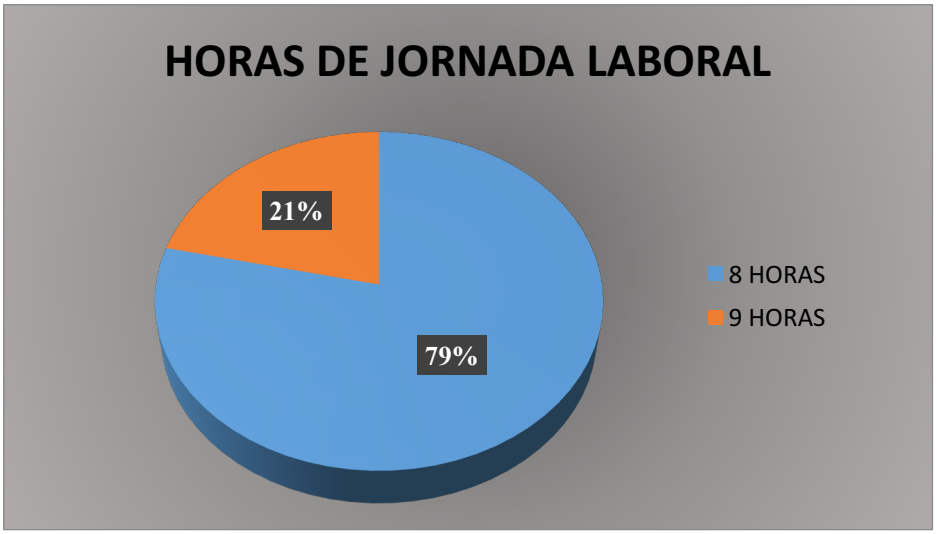


Figura 17. Diagnóstico Porcentual según Horas de Jornada Laboral. **Fuente:** Elaboración Propia.

En el grafico (Figura 17) se evidencia que el 79% de la población muestra respondió que trabaja 8 horas diarias, el 21% respondió que trabaja 9 horas diarias.

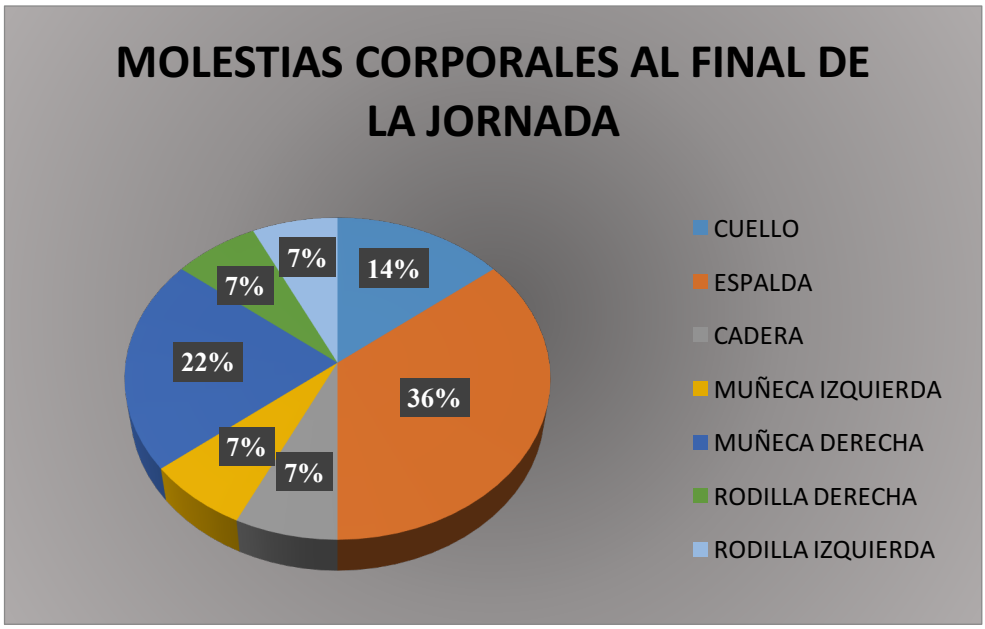


Figura 18. Diagnóstico Porcentual Según Molestias Corporales al Final de la Jornada. **Fuente:** Elaboración Propia.

En el grafico (Figura 18) se evidencia que el 36% de la población refiere molestia en espalda al final de la jornada, el 22% presenta molestia en muñeca derecha al final de la jornada, seguido del 14% refiere dolor en cuello, por ultimo encontramos que el 7% presentan dolor en rodilla derecha, rodilla izquierda, muñeca izquierda y cadera.

Resultados NTC 5831

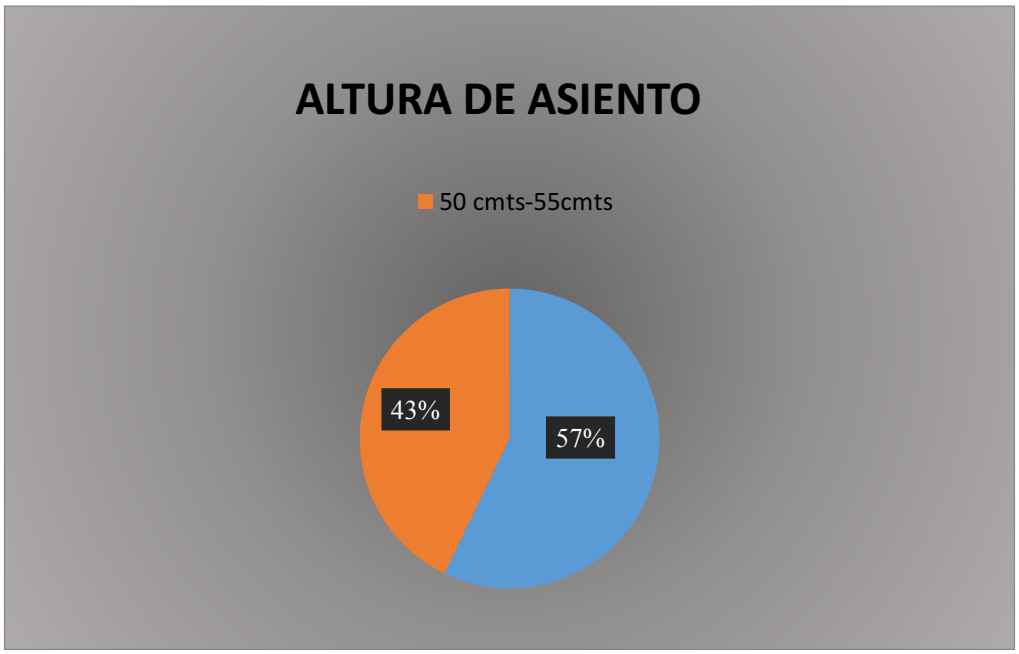


Figura 19. Distribución Porcentual de medidas de la altura del asiento. **Fuente:** Elaboración Propia.

De acuerdo a las medidas tomadas (Figura 19) se evidencia que el 57% de los trabajadores evaluados tienen sus asientos a una altura entre 50 y 55 centímetros, el 43% restante de los trabajadores evaluados durante su jornada laboral tienen el asiento a una altura entre 46 y 49 centímetros.

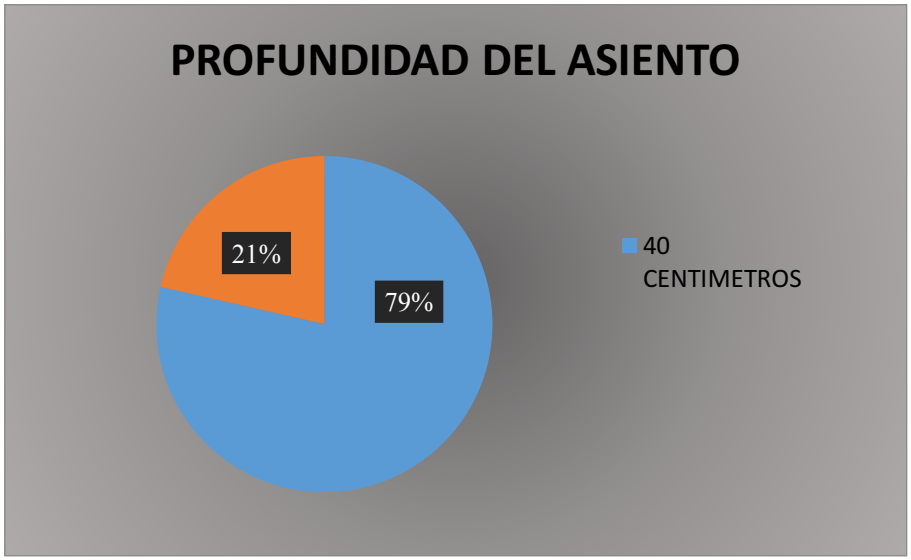


Figura 20. Distribución Porcentual de medidas de la profundidad del asiento. **Fuente:** Elaboración Propia.

De acuerdo a las medidas tomadas (Figura 20) se evidencia que el 79% de los trabajadores tienen el asiento a una profundidad de 40 centímetros, el 21% restante de los trabajadores tienen sus asientos a una profundidad de 41 centímetros.

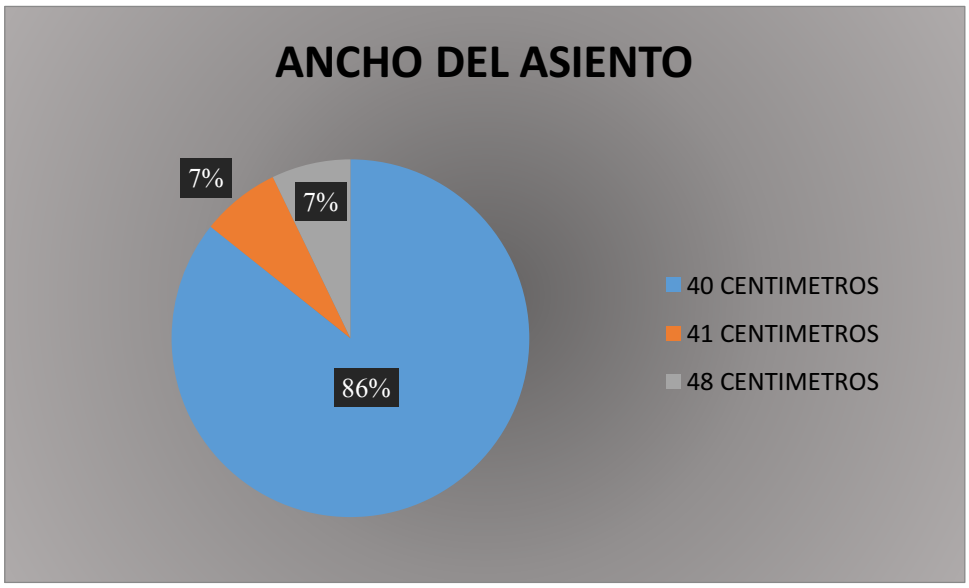


Figura 21. Distribución Porcentual de medidas del ancho del asiento. **Fuente:** Elaboración Propia.

De acuerdo a las medidas tomadas (Figura 21) se evidencia que el 86% de los trabajadores tienen el asiento con un ancho de 40 centímetros, un 7% de los trabajadores tienen sus asientos con un ancho de 41 centímetros, el 7% restante tiene su asiento con un ancho de 48 centímetros.

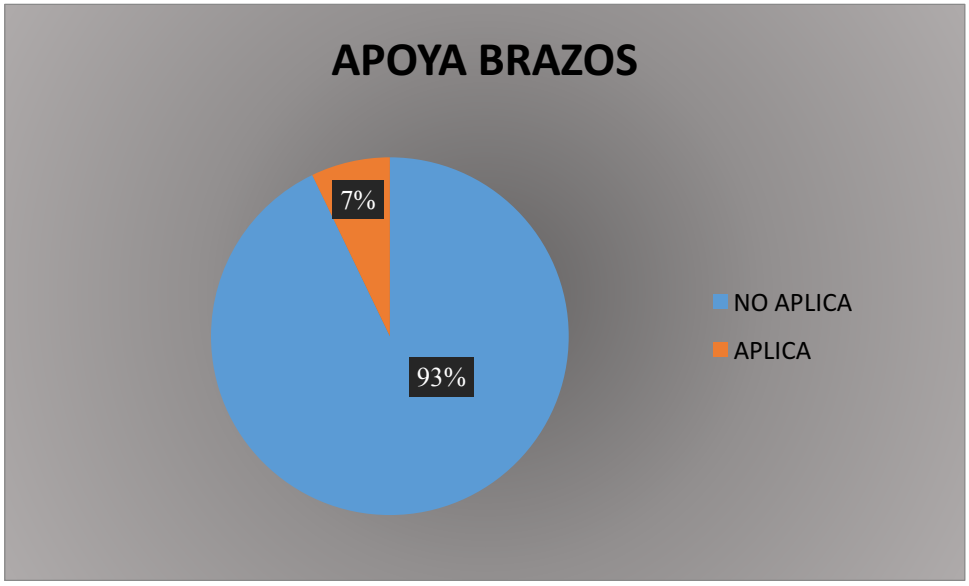


Figura 22. Distribución Porcentual de apoya brazos. **Fuente:** Elaboración Propia.

La grafica (Figura 22) evidencia que el 93% de los asientos de los trabajadores evaluados no tienen apoya brazos y el 7% de los trabajadores restantes cuentas con silla con apoya brazos.

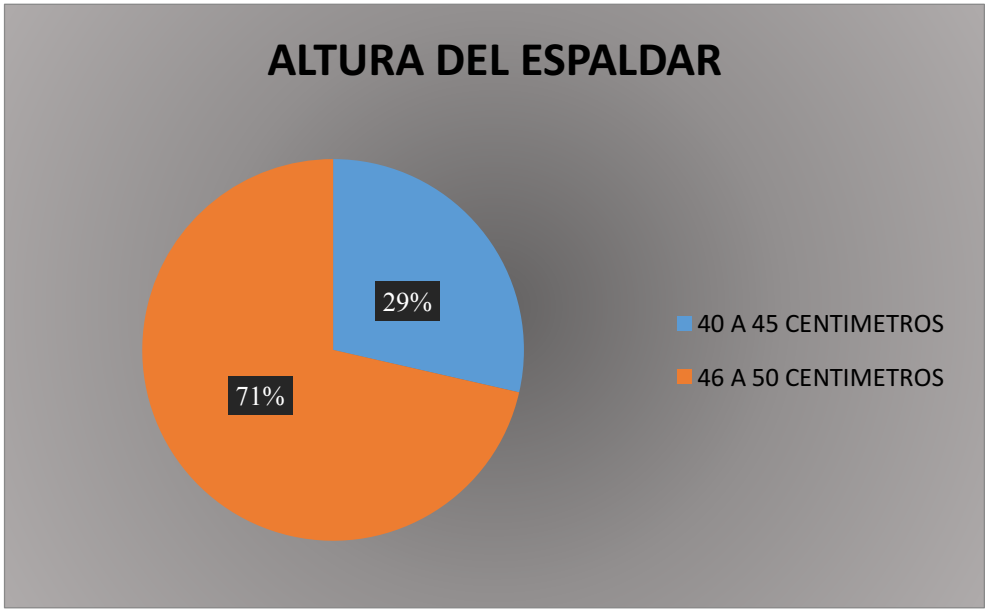


Figura 23. Distribución Porcentual medidas de altura del espaldar. **Fuente:** Elaboración Propia.

La grafica (Figura 23) evidencia que el 71% de los trabajadores tienen asientos con una altura del espaldar entre 46 y 50 centímetros, el 29% restante de los trabajadores tienen una altura del espaldar de sus asientos entre 40 y 45 centímetros.

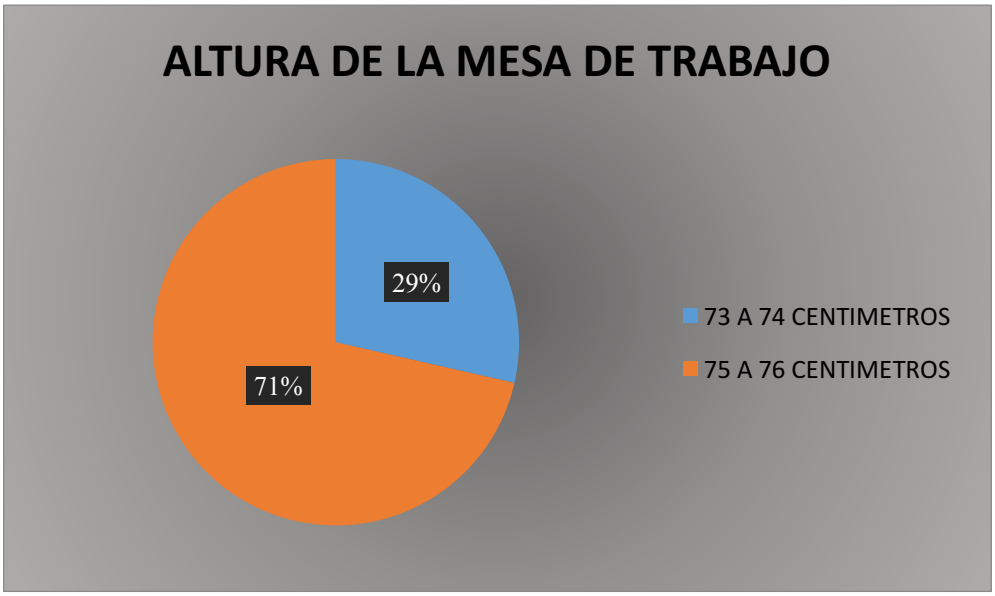


Figura 24. Distribución Porcentual de medidas de la altura de la mesa de trabajo. **Fuente:** Elaboración Propia.

La grafica (Figura 24) evidencia que el 71 % de los trabajadores tienen la mesa de trabajo con una altura de 75 a 76 centímetros, el 29% tienen la mesa de trabajo a una altura de 73 a 74 centímetros.

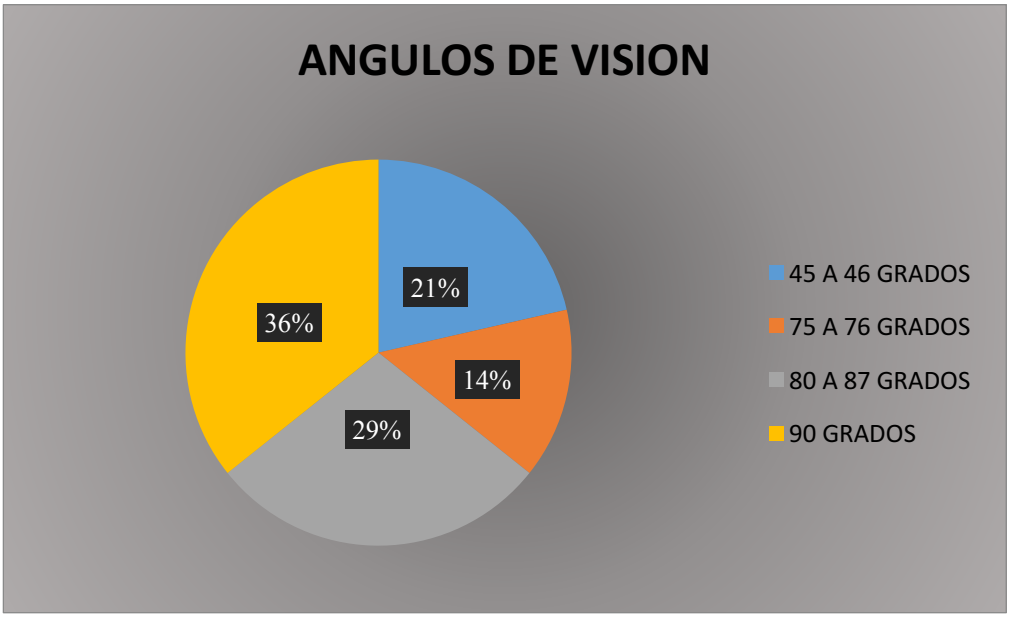
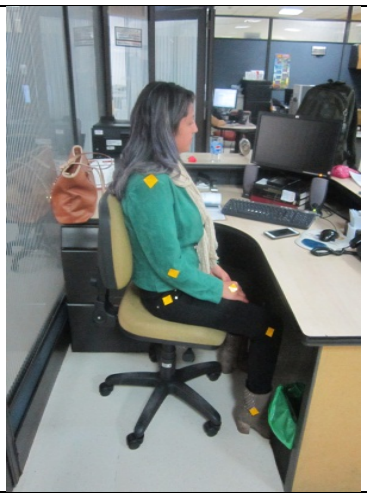
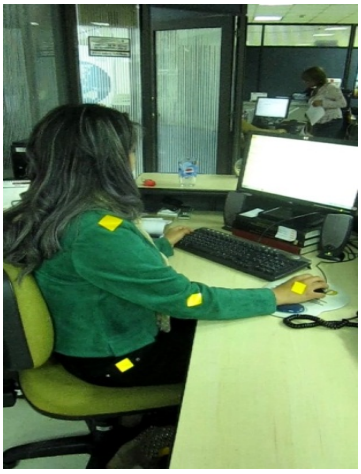


Figura 25. Distribución Porcentual de los angulos de vision. **Fuente:** Elaboración Propia.

Se muestra un ejemplo de cómo se recolectaron los datos por trabajador para posteriormente ser organizadas en un documento de Excel, y finalmente ser comparadas. Después de este ejemplo se muestran las gráficas comparativas de los datos recolectados por medición objetiva y subjetiva.

TABLA 5. MEDICIONES SUBJETIVAS TRABAJADORA 3

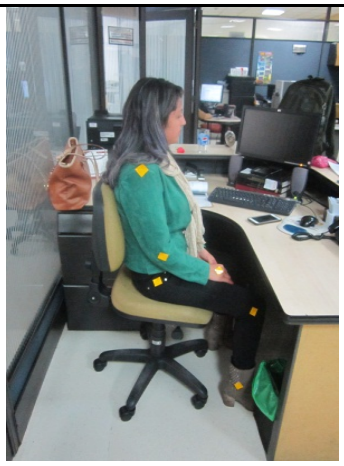
IMAGEN	MEDICIONES SUBJETIVAS	
	**SEGMENTOS**	**GRADOS**
	HOMBRO	Flexión de 6°
	CODO	Flexión de 30°
	MUÑECA	Neutro
	DEDOS	Metacarpofalanges en flexión de 35°
	TRONCO	Neutro
	CADERA	Flexión de 87°
	RODILLA	Flexión de 90°
	CUELLO DE PIE	Plantiflexion



SEGMENTOS	GRADOS
HOMBRO	*Flexión de hombro 40° *Abducción de hombro de 15°
CODO	Flexión de 80°
MUÑECA	Extensión de 3°
DEDOS	*Interfalanges proximales en flexión de 30° *Quinto dedo en abducción de 4°
TRONCO	Neutro
CADERA	No aplica
RODILLA	No aplica
CUELLO DE PIE	No aplica

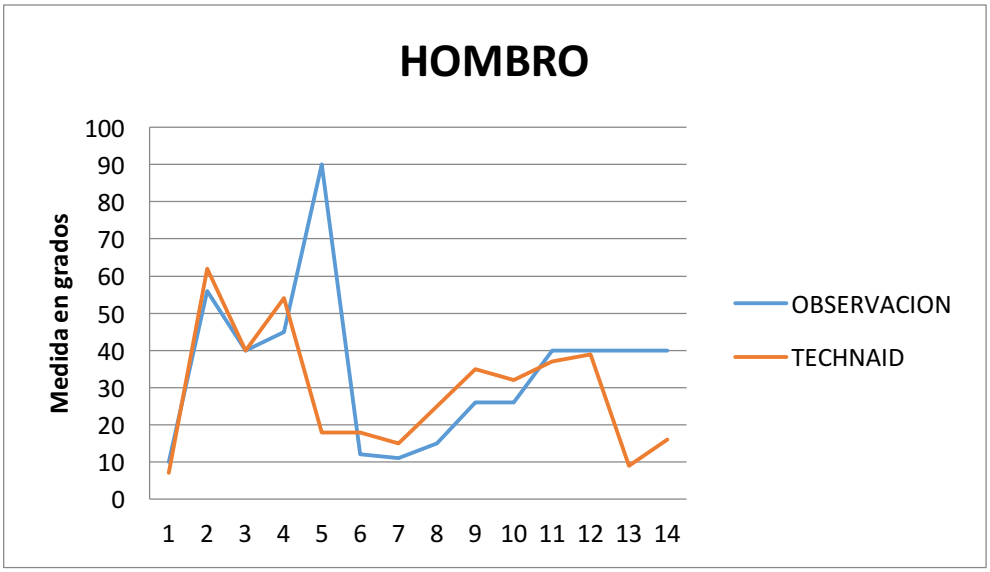
FUENTE: ELABORACION PROPIA

TABLA 6. EVALUACION TECHNAID TRABAJADORA 3

CASO 3	EVALUACION TECHNAID	
	SEGMENTO	ANGULOS
	HOMBRO	40º Flexión
	CODO	37º flexión
	MUÑECA	N/A
	DEDOS	N/A
	TRONCO	3º
	CADERA	93º
	RODILLAS	97º
	CUELLO PIE	N/A

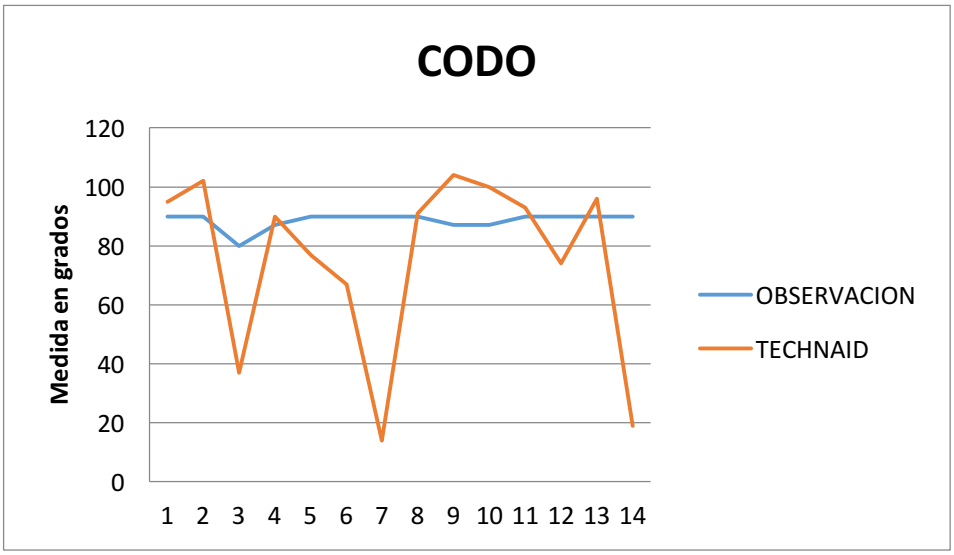
FUENTE: ELABORACION PROPIA

FIGURA 26. COMPARACION TECHNAID Y OBERVACION ARTICULACION DE HOMBRO



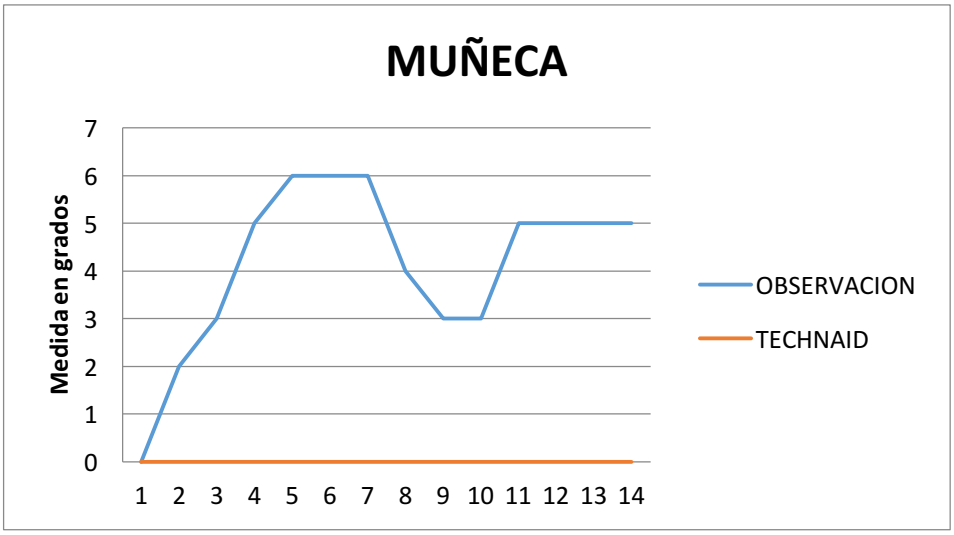
Al comparar los datos de valoración subjetiva y objetiva podemos observar una variación máxima de 36 grado y mínima de 3 grados para la flexión de hombro, se encuentra desviación estándar de la medida subjetiva del 20,67% y una desviación estándar objetiva de 15,92%.

FIGURA 27 COMPARACION TECHNAID Y OBSERVACION ARTICULACION DEL CODO



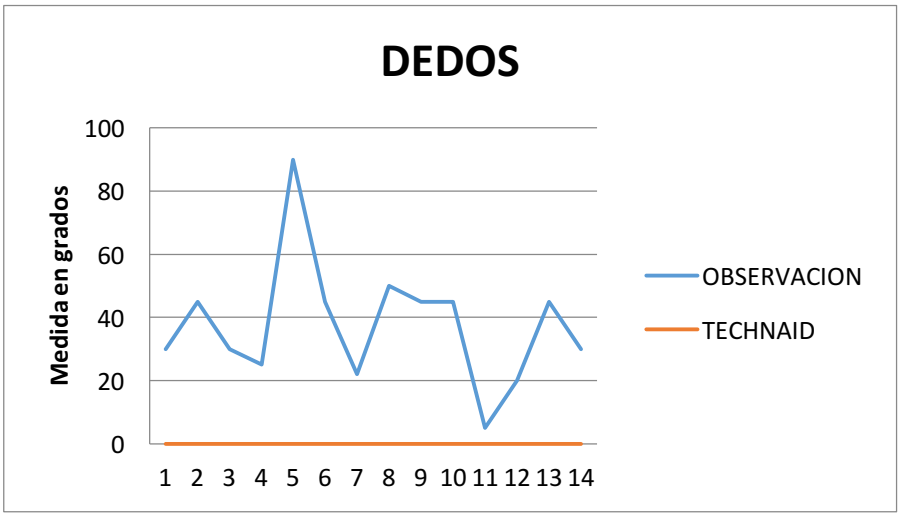
Al comparar los datos de valoración subjetiva y objetiva podemos observar una variación máxima de 76 grado y mínima de 12 grados para la flexión de codo con una desviación estándar subjetiva de 2,6% y una objetiva de 29,52%.

FIGURA 28 COMPARACION TECHNAID Y OBSERVACION ARTICULACION DE MUÑECA



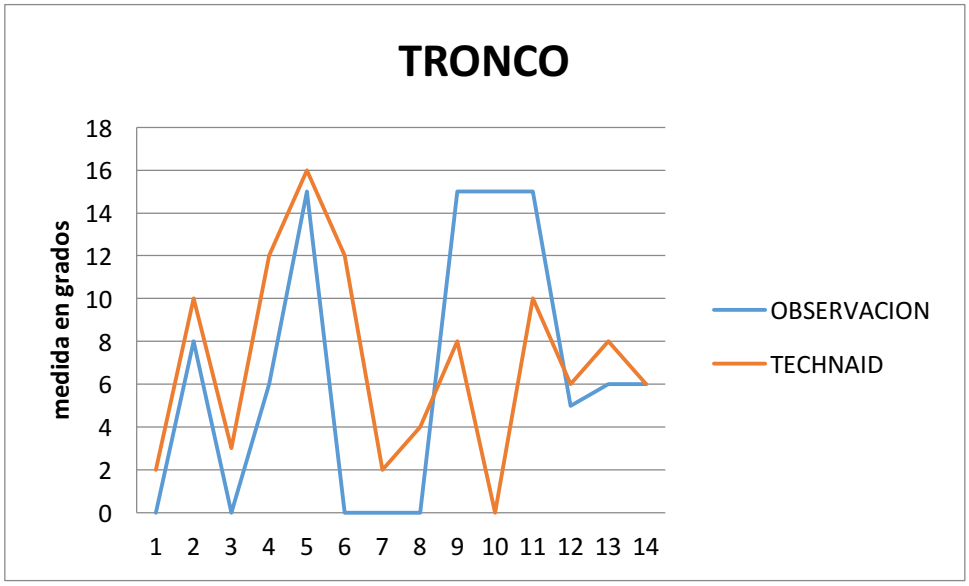
Al comparar los datos de valoración subjetiva y objetiva podemos observar que no se logra determinar la variación máxima ni mínima para la flexo-extensión de muñeca dado que al medir los grados de estos movimientos el TechNaid no logro medirlos pues son articulaciones de palanca corta. Cabe resaltar que se obtuvo una desviación estándar subjetiva de 1,68%.

FIGURA 29 COMPARACION TECHNAID Y OBSERVACION ARTICULACION DE DEDOS



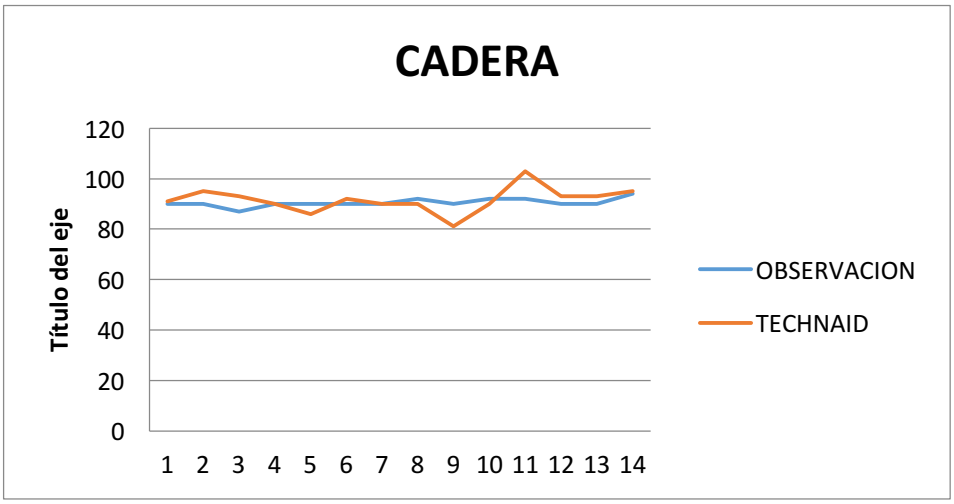
Se encuentra que en la articulación de los dedos no se logra encontrar diferencia dado que no se logró digitalizar ni analizar la información pues al ser dichas articulaciones de palanca corta, es decir, de tamaño de poca longitud el alcance del equipo electrónico TechNaid se limita. Se destaca que tuvo una desviación estándar subjetiva del 19,12%.

FIGURA 30 COMPARACION TECHNAID Y OBSERVACION ARTICULACION DEL TRONCO



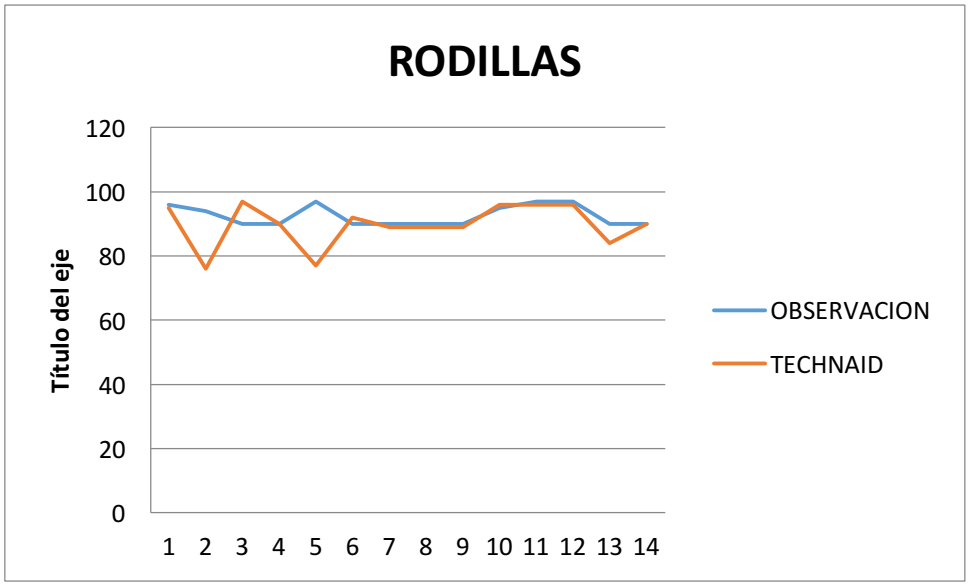
Se encuentra que en la estructura del tronco la mayor diferencia en el resultado en grados es de 15, mientras que la mínima es de 2 grados, con una desviación estándar subjetiva de 6,00% y una desviación estándar objetiva del 4,44%.

FIGURA 31 COMPARACION TECHNAID Y OBSERVACION ARTICULACION DE LA CADERA



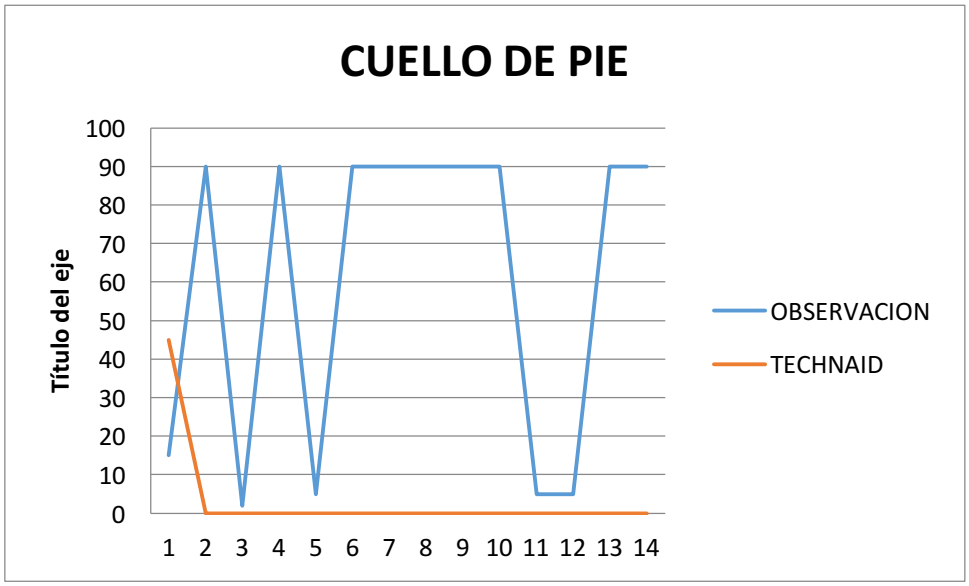
En la grafica numero 31 se observa que la maxima diferencia entre las medidas son de 15 grados y la minima diferencia es de 2 grados, con una desviacion estandar subjetiva 31,73% y una desviacion estandar objetiva de 91,57% y se encuentra que para cinco trabajadores no se encuentra diferencia tanto la medida por observacion como con el equipo electronico es la misma.

FIGURA 32 COMPARACION TECHNAID Y OBSERVACION ARTICULACION DE LAS RODILLAS



Al comparar los datos de valoración subjetiva y objetiva podemos observar que hay una variación máxima de 20 grados y mínima de 1 grado para la flexión de rodilla con una desviación estándar subjetiva de 32,67% y desviación estándar objetiva de 89,71%.

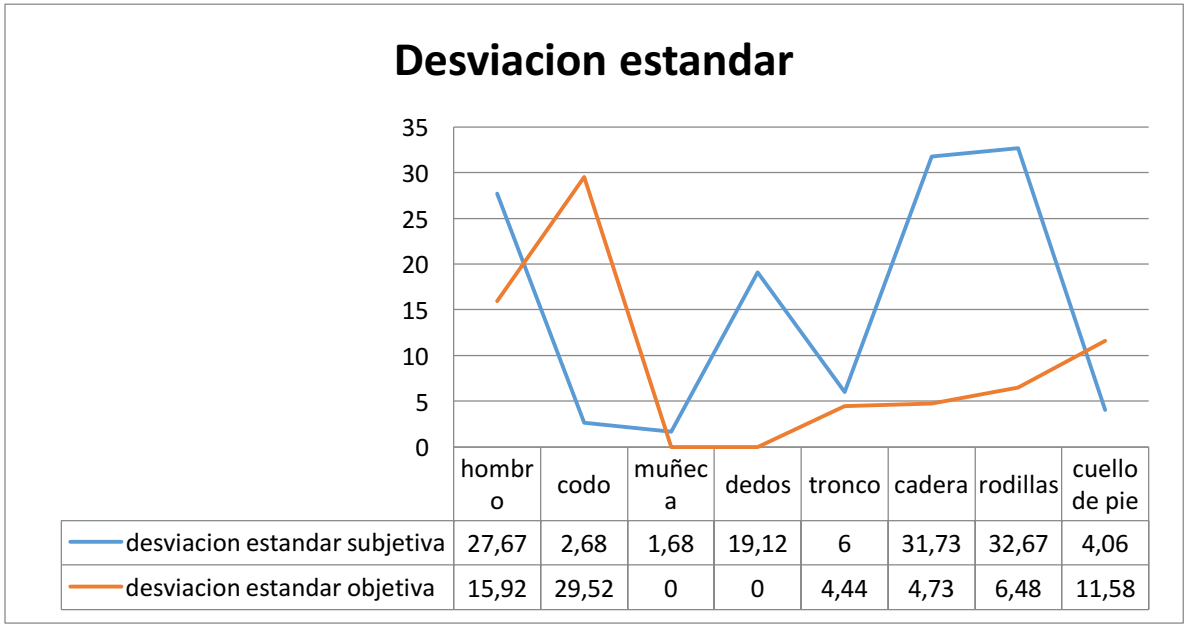
FIGURA 33 COMPARACION TECHNAID Y OBSERVACION ARTICULACION DE CUELLO DE PIE



Al comparar los datos de valoración subjetiva y objetiva se encontró que en la plantiflexión del pie la mayor variabilidad es de 90 grados y la mínima es de 2 grados, se halló también la

desviación estándar subjetiva es de 4,06% y desviación objetiva de 3,21%. Es importante destacar que el dispositivo TechNaid solamente logro registrar una medida en esta articulación, pues los demás participantes no pudieron ser medidos debido a la limitación en el ángulo de visión de la evaluación.

COMPARACION DE EVALUACION OBJETIVA CON TECHNAID Y SUBJETIVA



	hombro	codo	muñeca	dedos	tronco	cadera	rodillas	cuello de pie
desviacion estandar subjetiva	27,67	2,68	1,68	19,12	6	31,73	32,67	4,06
desviacion estandar objetiva	15,92	29,52	0	0	4,44	4,73	6,48	11,58

FIGURA 34 DESVIACION ESTANDAR TECHNAID Y OBSERVACION

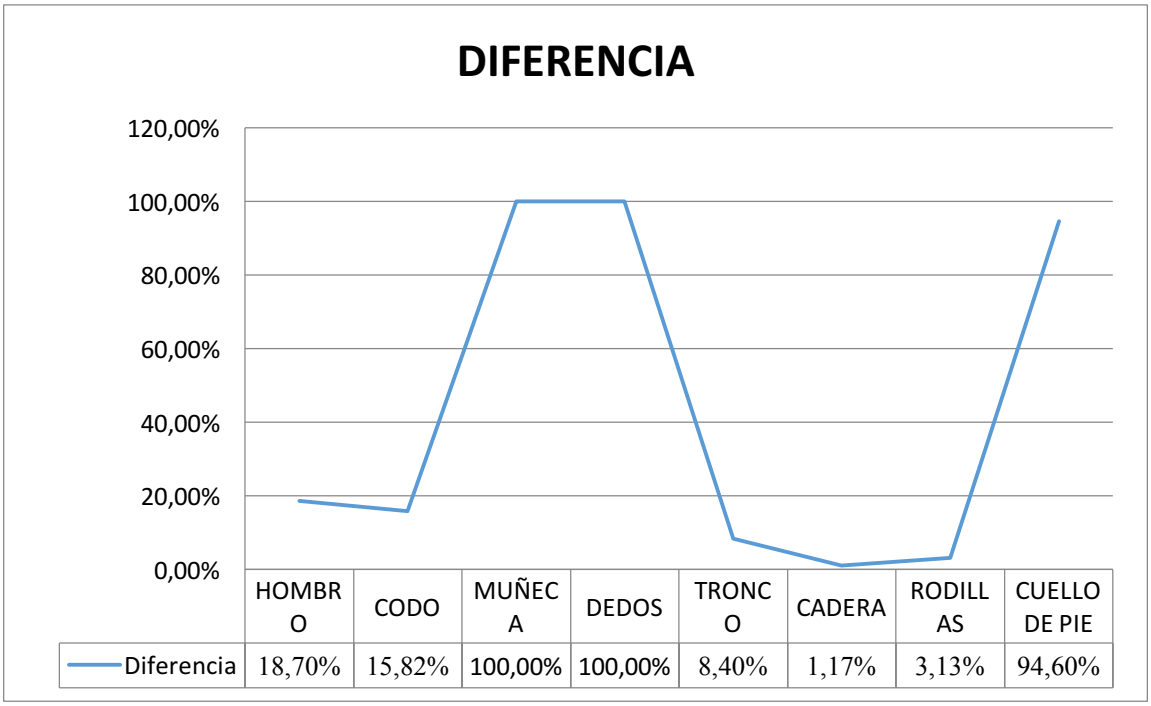
En el grafico se observa que la desviación estándar subjetiva se encuentra en primera medida un rango más alto en las articulaciones de las rodillas con un 32,67%, seguido de la articulación de la cadera con un 31,73%, posteriormente lo sigue la articulación de hombro con un 27,67%, articulaciones de los dedos con un 19,12%, tronco con un 6%, cuello de pie con 4,06%, codo con un 2,68% y muñeca de 1,68%.

Por otra parte la desviación estándar objetiva el rango más alto es en la articulación de codo con un 29,52%, seguido de la articulación de hombro con un 15,92%, cuello de pie con 11,58%, rodilla 6,48%, cadera de 4,73% y tronco de 4,44%, debido a la dificultad para tomar datos de las articulaciones de muñeca y codo no se logra obtener información de dicha desviación estándar de forma objetiva con el equipo TechNaid.

De acuerdo a la anterior información y hallando la media de las desviaciones se determina que la desviación subjetiva tiene una media de 15,7% mientras que la desviación objetiva por medio del TechNaid tiene una media de 9,08%, lo que permite indicar que existe menor

variabilidad de los datos con la medición del equipo electrónico que por medio de la observación.

FIGURA 35 DIFERENCIA ENTRE MEDIDAS DE TECHNAID Y POR OBSERVACION



En la gráfica se encuentra la diferencia entre los resultados tomados subjetivamente (por observación) y las tomadas con el elemento electrónico TechNaid donde se puede determinar que las articulaciones de muñeca y de dedos tienen la mayor discrepancia posible que es del 100% debido a que se encontró dificultad para tomar dichas medidas con el equipo electrónico TechNaid debido a que este no logra tomar medida de articulaciones cortas; posterior a este dato se encontró que la articulación que sigue con mayor diferencia es la de cuello de pie con un 94.60%, en tercer lugar se encuentra la articulación de hombro con 18,70% y el codo con 15,82%, en los últimos lugares se encuentra el tronco con un 8,40%, rodillas 3,13% y finalmente la articulación de la cadera con un 1,17%.

NTC5831

TABLA 7 RESULTADOS A PARTIR DE LA NORMA TECNICA COLOMBIANA 5831

Ítems	Cumple	%	No Cumple	%	No Aplica
Generalidades	9	64	5	36	

Postura	9	64	5	36	
Facilidad de ajuste del mobiliario	12	86	2	14	
Superficie de apoyo	8	57	6	43	
Silla de trabajo	9	64	5	36	
Otros elementos de apoyo					14
Distribución del puesto de trabajo	9	64	5	36	
Conformidad	7	50	7	50	
Medidas	11	79	3	21	

Fuente: Elaboración Propia.

Se evidencia que el 64% de los trabajadores cumplen y el 36% no cumplen con las generalidades planteadas por la NTC, tienen buena higiene postural, las sillas de trabajo y la distribución del puesto de trabajo también se adhieren a las especificaciones dadas por la Norma Técnica Colombiana, el 86% de los puestos de trabajo se pueden ajustar fácilmente, el 14% restante no son fáciles de ajustar, el 57% de los puestos de trabajo cumplen con una buena superficie de apoyo y el 43% no cumplen con estos requisitos que son importantes para permitir una postura cómoda durante la jornada laboral, el 50% cumple y el 50% no cumplen con la conformidad de los puestos de trabajo, el 79% cumplen y el 21% con las medidas del mobiliario. Es importante resaltar que se evidencia que ningún puesto de trabajo tiene elementos de apoyo como apoyapiés y portadocumentos.

6. Conclusiones

1. De acuerdo a la información recolectada a partir de la gráfica de la media de las desviaciones, se determina que la desviación subjetiva tiene una media de 15,7% mientras que la desviación objetiva por medio del TechNaid tiene una media de 9,08%, lo que permite indicar que existe menor variabilidad de los datos con la medición del equipo electrónico que por medio de la observación logrando indicar que es posible obtener mediciones más precisas con este equipo electrónico garantizando mayor confiabilidad en los datos recolectados.
2. Durante el estudio de investigación realizado se encontró como resultado que el equipo electrónico TechNaid no logra medir de forma precisa articulaciones cortas tales como las de la muñeca y dedos, por lo tanto limita parcialmente la medición total del trabajador de forma integral para dar los resultados precisos, por lo anterior se espera a futuro realizar una modificación en los algoritmos del sistema y/o en la recolección de datos con el mismo de tal manera que se fortalezcan estas falencias y optimizar aún más la toma de los resultados con este dispositivo innovador.
3. Se encontró que con el equipo electrónico TechNaid se obtuvo varias medidas en 0 grados para la articulación de cuello de pie, encontrando que la causa de esto en la mayoría de los resultados se dio porque el alcance de la cámara no logró registrar los datos dado que los trabajadores por lo general se encontraban sentados de tal manera que los pies quedaban ubicados dentro del puesto de trabajo.
4. Se concluye que usando el dispositivo electrónico TechNaid se logra eliminar el sesgo de observación pues descarta la influencia deliberada del observador en los resultados, pues el instrumento es preciso en los rangos de movimiento y los datos recolectados de forma sistemática.
5. Con la evaluación de los puestos de trabajo bajo las especificaciones de la Norma Técnica Colombiana 5831, pudimos observa que ningún puesto de trabajo cumple con el 100 por ciento de dichas especificaciones, el no cumplir con esto puede incidir en el trabajador a mediano y largo plazo con el diagnóstico de enfermedades musculoesqueléticas de origen laboral.
6. Se determina que el equipo electrónico TECHNAID es más preciso que el observador en el tren inferior medido, pero el observador posee mayor capacidad de exactitud en el tren superior, debido a que el equipo electrónico está diseñado para la medición de marcha por lo tanto mide palancas largas del cuerpo y presenta grandes falencias en articulaciones distales como muñeca y dedos.

Recomendaciones

La recomendación principal a partir de la presente investigación es la viabilidad que hay de usar el equipo electrónico TechNaid para la recolección de datos en las evaluaciones de puesto de trabajo en diferentes labores, teniendo en cuenta, que a pesar de que sería posible mejorar aún más la calidad de los resultados obtenidos y conociendo que es posible que la inversión de las empresas sea aún mayor adquiriendo dicho equipo, se destaca que las ventajas pueden ser más, encontrando en primera medida que la inversión que la empresa o el empleador a largo plazo puede verse reflejado positivamente en la disminución de inversión en programas de promoción de la salud con trabajadores que ya tengan alguna enfermedad laboral instaurada y tendrá trabajadores más saludables y productivos, como segunda medida es importante tener en cuenta la precisión de la recolección de los datos, la cual es alta y esto permite obtener un resultado objetivo disminuyendo o eliminando el sesgo del observador y dando así una deducción que contribuya puntualmente a las articulaciones que a largo plazo puedan determinar algún tipo de molestias osteomusculares o enfermedades de origen laboral.

Teniendo en cuenta los otros resultados obtenidos a partir del presente trabajo a continuación estableceremos las recomendaciones para los diferentes participantes y componentes del puesto de trabajo:

En la fuente:

- Realizar mantenimientos periódicos a los equipos electrónicos y revisión al estado del mobiliario.
- Reportar a los supervisores o encargadas del área de salud y seguridad en el trabajo de inmediato cuando detecte que un equipo no esté funcionando bien.
- Se recomienda que en lo posible el puesto de trabajo se pueda ajustar a las dimensiones corporales de los trabajadores para los movimientos y la alternancia de posturas pues son indispensables para prevenir fatiga y garantizar la eficacia del trabajo.

En el trabajador:

- Manejar la fatiga mental y el estrés porque cuando estos se aumentan el trabajador realiza ajustes posturales forzados o inadecuados que se convierten en lesiones musculo esqueléticas como espasmos o dolor.
- Debido a que son cargos administrativos con uso de videoterminales es importante realizar cambios de postura para evitar sobreesfuerzo en los músculos de la espalda, de miembros inferiores y miembros superiores.

- Realiza pausas activas periódicas para evitar la tensión muscular y favorecer la oxigenación de los músculos de la espalda, miembros superiores e inferiores.
- En el tiempo libre intenta incorporar actividades como ir al gimnasio, yoga, natación o baile para promover una mejor calidad de vida física y mental.
- Reportar la presencia de dolor o fatiga muscular cuando esta se presente en la jornada laboral para realizar un seguimiento de manera temprana.
- Mejorar la distribución de los elementos del puesto de trabajo.
- Ubicar en lugares visibles las siguientes recomendaciones a los trabajadores para que conozcan mejor los estándares mínimos para adoptar posturas en el puesto de trabajo:

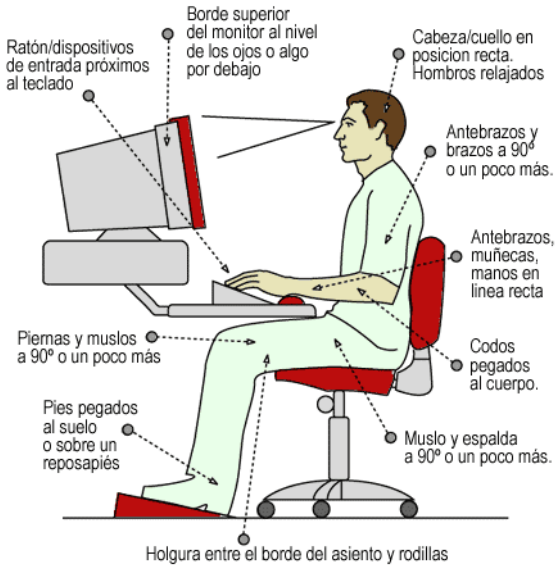


ILUSTRACIÓN 1. RECOMENDACIONES ERGONOMICAS PARA EL PUESTO DE TRABAJO CON VIDEOTERMINALES

FUENTE: FISIOTERAPIA DE LA SERNA. (2017)

En el empleador:

- Capacitar al personal sobre el autocuidado, la higiene postural, prevención de lesiones musculo esqueléticas y los riesgos a los que están expuestos de acuerdo a la ocupación que desempeñan.
- Realizar evaluaciones médicas periódicas enfocadas.
- Desarrollar programas de prevención, dando a conocer las posturas correctas para que los trabajadores adopten en actividades laborales y extra-laborales.

7. Discusión

En estudios realizados en trabajadores que laboran en videoterminales, la tension muscular percibida se asoció con mayor riesgo de padecer dolor de cuello; por otro lado el uso del teclado y del raton se relaciona con dolor de muñeca y codo. (Oha, K., Animagui, L. 2013.)

En Colombia según datos de FASECOLDA, en el año 2010 las enfermedades más frecuentes fueron las osteomusculares (84%); el síndrome de túnel carpiano ocupó el primer lugar en frecuencia con un porcentaje del 36% , seguida de las epicondilitis con el 11 % , el síndrome del manguito rotatorio con el 8,8 % , y el lumbago con un 6% (FASECOLDA 2018)

La incidencia y la prevalencia de las LME en los miembros superiores se han incrementado hasta en un 60% en aquellos puestos de trabajo que involucren videoterminales, mientras que la lumbalgia es una sintomatología observable en todos los trabajadores en todas las poblaciones y todas las categorías profesionales. (Vernaza, P. 2005)

Es de resaltar la diferencia de enfoque dada por la herramienta electronica vs la medición subjetiva del experto, ya que en la primera nos enfoca la intervención en áreas como codo, hombro, cuello de pie; mientras la medicion subjetiva del experto nos enfoca en cadera rodilla y hombro.

Los resultado obtenidos en esta investigacion ponen en evidencia la diferencia del resultado en cuanto a la precisión del equipo Technaid vs la subjetividad evidenciada en el observador. es justificable el precio de la herramienta electronica contemplando que se debe tener un experto que la opere?. Aunque esta claro que el equipo electrónico nos ofrece una versatilidad de tiempo en la toma de datos y evaluación de cada uno de los individuos de la muestra.

Bibliografía

Átomos y Bits. (2014). *La física tras el acelerómetro.* Recuperado de: http://atomosybits.com/la-fisica-tras-el-acelerometro/

Barrera, J. (2009). *Evaluación experimental de una herramienta de corte de rosas, prototipo desarrollada en el centro de estudios de ergonomía.* (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Colombia. Recuperado de: https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7313/tesis310.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Broome, R. (2005). *Técnica quiropráctica de las articulaciones periféricas.* Inglaterra: Paidotribo.

Castro, D. (2011). *Patologías osteomusculares de miembro superior relacionadas a la labor del fisioterapeuta y terapeuta ocupacional.* (Tesis de Posgrado). Universidad CES. Medellín. Colombia. Recuperado de: http://bdigital.ces.edu.co:8080/repositorio/handle/10946/1512

Cuevas, M., De Amirola, M., Romero, O. y Rostro, J. (2014). *Goniómetro digital para medir flexo extensión en brazo derecho como propuesta para aplicaciones en telerehabilitación.* En A. Salazar del presidente del concurso (Presidencia). Tercer

concurso de Investigación, desarrollo e innovación tecnológica - CIDIT 2014. Facultad de Ingeniería. Universidad de la Salle. México. Recuperado de: http://zeus.lci.ulsa.mx/portales/cidit/archivos/2014/articulo_003.pdf

Decreto Nº 1477. Ministerio de Trabajo Republica de Colombia, 5 de Agosto de 2014a. Recuperado de: http://www.ins.gov.co/normatividad/Decretos/DECRETO%201477%20DE%202014.pdf

Federacion de Asesores Colombianos FASECOLDA (8 de MARZO de 2018). FASECOLDA. Recuperado de: http://www.fasecolda.com/index.php/fasecolda/estadisticas-del-sector/estadisticas-por-ramo/

Fondo de Riesgos Laborales de la Republica de Colombia ((8 de MARZO de 2018). Recuperado de: http://fondoriesgoslaborales.gov.co/seccion/informacion-estadistica/2016.html

Farías, S., Gomes, N., Ferreira, A., Fernández, A., Moreno, C. y Villaverde, C. (2006). Análisis ergonómico del puesto de trabajo de una persona con discapacidad física. *ELSEVIER.* Volumen 28. Núm. 2. Marzo 2006. DOI: 10.1016/S0211-5638(06)74031-7. Recuperado de: http://www.elsevier.es/es-revista-fisioterapia-146-articulo-analisis-ergonomico-del-puesto-trabajo-13087119

Goniómetro Pro. (2016). *Goniómetro Pro – fisioEducación.* Recuperado de: http://fisioeducacion.net/fisios/redes/325-goniometropro.

Henao, J y López, J. (2013). *Goniómetro digital basado en sensores cinemáticos con comunicación inalámbrica en tiempo real.* (Tesis de Pregrado). Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín. Colombia. Recuperado de: https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1097/PROYECTO%20DE%20GRADO.pdf?sequence=1

Hernández, A. (1998). *NTP 501: Ambiente termico: inconfort termico local.* Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo. Ministerio de trabajo y asuntos sociales España. Recuperado de: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_501.pdf

Lauring, W. & Vedder, J. (1998). *Ergonomía.* Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Capítulo 29. Ministerio de trabajo y asuntos sociales subdirección general de publicaciones. Madrid. Chantal Dufresne, BA. Recuperado de: https://higieneyseguridadlaboralcvs.files.wordpress.com/2012/04/oit-enciclopedia-de-salud-y-seguridad-en-el-trabajo.pdf

Medina, M., & Castillo, J. A. (2013). Evaluation of musculoskeletal disorders in a food production line. Compared analysis of posture and work activity using 4 methods. Fisioterapia, 263-271. DOI: 10.1016/j.ft.2013.02.001. Recuperado de: https://pure.urosario.edu.co/es/publications/evaluation-of-musculoskeletal-disorders-in-a-food-production-line

Méndez, J. (2015). *Aplicación Android de apoyo a Fisioterapeutas.* (Tesis de Pregrado). Universidad de Valladolid. Valladolid. España. Recuperado de: https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/11536/1/TFG-G%201114.pdf

Norma Técnica Colombiana 5831. Icontec Internacional, Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Colombia. 23 de diciembre de 2010. Recuperado de: https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5831.pdf

Oha, K., Animagui, L. (2013). Factores de riesgo individuales y laborales para musculoesquelético dolor: un estudio transversal entre los usuarios de computadoras de Estonia. Recuperado de: http://www.ncbi.nlm.nih.gov.ez.urosario.edu.co/pubmed/24884911

Oficina Internacional del Trabajo - OIT. (2010). *Identificación y reconocimiento de las enfermedades profesionales: criterios para incluir enfermedades en la lista de enfermedades profesionales de la OIT*. Lista de enfermedades profesionales. Serie de Seguridad y Salud en el Trabajo. Nº 74. Oficina Internacional del Trabajo. Ginebra. Recuperado de: http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_150327.pdf

Real, G. (2011). *Modelo y procedimientos para la intervención ergonómica en las camareras del piso del sector hotelero*. Caso verdadero Cuba. Universidad de Matanzas. Cuba.

Sánchez, J. (2012). *Sistema LIDAR integrado en un UAV para la generación de modelos digitales del terreno.* Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla. España.

Taboadela, C. (2007). *Goniometría una herramienta para la evaluación de las incapacidades laborales.* Buenos Aires, Argentina: Asociart SA ART.

Tech Naid. (2015). {Desarrollo de technología para distintas aplicaciones}. Página Web: http://www.technaid.com/es/

Tecno Med Ingenieros. (2010). {Consultores tecnologías sanitarias}. Página Web: https://www.tecno-med.es/?page_id=151

Vernaza, P (2005). {Dolor Musculo-Esqueletico y su Asociacion con Factores de Riesgo Ergonomico en Trabajadores administrativos.}