



UNIVERSIDAD POPULAR AUTONOMA
DEL ESTADO DE PUEBLA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE ELECTRÓNICA

**Evaluación ergonómica en líneas de producción por
análisis biomecánico empleando sistemas
optoelectrónicos de detección de movimiento.**

Trabajo práctico para obtener el Título de:

Ingeniera Biónica

Presenta:

Paulina Zavaleta Hernández

Puebla, Pue., México

Enero de 2018



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyla**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Puebla, Pue. a 4 de diciembre de 2017

Dr. Hugo O. Ferrer Toledo
Decano del Departamento de Ingenierías.
PRESENTE

Por medio de la presente me permito informarle que el trabajo recepcional con el título:

**“Evaluación ergonómica en líneas de producción por
análisis biomecánico empleando sistemas optoelectrónicos
de detección de movimiento.”**

Que el / la alumno/a:

Paulina Zavaleta Hernández Matrícula: 24100171

Elaboró para la realización de su examen profesional en la Licenciatura en Ingeniería Biónica.

Ha sido concluido a mi entera satisfacción, por lo que no dudo en dar por terminado el trabajo, mismo que cumple con los requisitos establecidos por las autoridades de la Decanatura de Ingenierías de la UPAEP.

Sin más por el momento quedo a sus órdenes para cualquier aclaración o duda.

Atentamente

Mtro. Abel Ronquillo Arroyo
Director General
Metrical (Laboratorio de biomecánica)

Marian Denisse Velazquez
R103
4/12/2017

Maria de la Luz
Garcia Cruz
4-Dic-2017

Agradecimientos

A mis padres, quienes siempre han estado a mi lado apoyándome incondicionalmente. Gracias por alentarme a salir adelante, por ayudarme a cumplir todos mis sueños, por su trabajo y sacrificios todos estos años. Sobre todo, gracias por su inmenso amor.

A mi hermano, quien es mi mejor amigo y siempre ha creído en mí, por su cariño y apoyo en todo momento.

Finalmente, agradezco a la UPAEP y a mis profesores de la universidad por los conocimientos que me transmitieron a lo largo de mi carrera universitaria. Mi especial agradecimiento a mi asesor por haberme guiado durante el desarrollo de este proyecto, Mtro. Abel Ronquillo Arroyo, así como a los miembros del jurado, Dra. María de la Luz García Cruz y Mtra. Marian Denisse Volver Rios, sin su apoyo esto no hubiera sido posible.

Con cariño,
Paulina

Índice

1- Introducción.....	1
2- Antecedentes	2
3- Propósito.....	3
4- Objetivo.....	3
5- Alcances y Limitaciones	3
6- Justificación	4
7- Marco teórico.....	4
7.1) Método Sue Rodgers	4
7.1.1) Resultado de riesgo por cada muscular analizado	6
7.2) Método OCRA	7
7.2.1) Aplicación del método.....	7
7.3) Sistema músculo esquelético.....	9
7.4) Principales lesiones laborales en el sistema músculo esquelético.....	10
7.5) Biomecánica.....	11
7.6) Biomecánica regional.....	11
7.6.1) Biomecánica de la columna vertebral.....	11
7.6.1.1) Cinemática de la columna vertebral.....	12
7.6.1.2) Rango articular de la columna vertebral.....	12
7.6.2) Biomecánica del hombro.....	12
7.6.2.1) Cinemática del hombro.....	13
7.6.2.2) Rango articular del hombro... ..	13
7.6.3) Biomecánica del codo.....	13
7.6.3.1) Cinemática del codo.....	14
7.6.3.2) Rango articular del codo.....	14
7.6.4) Biomecánica de la muñeca.....	15
7.6.4.1) Cinemática de la muñeca.....	15
7.6.4.2) Rango articular de la muñeca.....	15
7.7) Cámaras optoelectrónicas.....	16
7.8) Concentrador (hub).....	16
7.9) Características del laboratorio de biomecánica	16

8- Metodología.....	18
9- Procedimiento	22
10-Desarrollo del proyecto	23
10.1) Método Sue Rodgers aplicado.....	23
10.2) Imágenes de referencia	24
10.3) Tabla de resultado de análisis ergonómico con sistema de detección de movimiento en tercera dimensión	25
10.4) Evaluación por OCRA	25
10.5) Interpretación.....	26
10.6) Recomendaciones generales.....	26
11-Conclusión.....	27
12-Referencias bibliográficas	28
13-Anexo: Tablas para evaluación método OCRA	25
14-Anexo 2: Especificaciones de componentes electrónicos.....	30

1- INTRODUCCIÓN

La ergonomía es el conjunto de conocimientos de carácter multidisciplinario, aplicados a la adecuación de los productos, sistemas, limitaciones o características de sus usuarios, optimizando la eficacia, seguridad y bienestar, de acuerdo con la Asociación Española de Ergonomía.

Partiendo de esta definición, la ergonomía trata de mitigar los riesgos de lesiones músculo esqueléticas de las personas debido a las malas posiciones, principalmente en la columna y en las extremidades superiores. Hoy en día dichas lesiones se encuentran entre las más frecuentes en los obreros de los países en vías de desarrollo (Prevalia, 2013), esto causa pérdidas económicas muy importantes a las empresas ya que su producción se ve disminuida y se tienen que realizar el pago de licencias médicas frecuentemente.

Para aplicar una evaluación ergonómica, es necesario seguir un protocolo para la obtención de la información requerida por parte del evaluador y así poder detectar los riesgos ergonómicos que se presentan en un puesto de trabajo y tomar medidas preventivas para conservar la integridad física del empleado, con el fin de que el trabajo se desarrolle con seguridad y confort.

La finalidad de este proyecto es realizar una evaluación enfocada a la fatiga muscular por tareas repetitivas, manipulación de cargas y posturas forzadas, mejorando el protocolo de evaluación ergonómica que las empresas realizan normalmente aplicando un sistema de análisis de movimiento en tercera dimensión para obtener datos con un mayor grado de confiabilidad.

2- ANTECEDENTES

En 2010 el Instituto Mexicano del Seguro Social señaló que en un año se registraron más de 411 mil accidentes de trabajo debido a malas posturas al momento de realizar su labor, esto representa uno de los principales motivos de consultas médicas al año. Explicó que teniendo programas de higiene postural se disminuirían las incapacidades en el trabajo y esto mejoraría la calidad de vida laboral.

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) en su estudio realizado en 2013 ha demostrado en el entorno internacional, que México tiene una ocurrencia de riesgos de trabajo relativamente alta. El estudio muestra que en 2008 la tasa de accidentes fue de 48 por cada 100 trabajadores en México, mientras que en otros países la tasa es inferior.

El presente proyecto se basa en uno de los procesos de análisis ergonómico más utilizado en las empresas para la evaluación en puestos de trabajo donde se realizan movimientos repetitivos, el método Sue Rodgers, con el objetivo de brindar propuestas de mejora para poder disminuir riesgos laborales.

El procedimiento inicia con la colocación de tres cámaras de video en diferentes ángulos en el área de trabajo y grabar hasta por cinco minutos el ciclo de trabajo para posteriormente realizar un análisis del video.

Del material obtenido, el analista realiza una interpretación de los datos registrados, tales como ángulos y rangos articulares, basándose en el método de análisis biomecánico Sue Rodgers, el cual clasifica los posibles riesgos que se pudieran presentar en el sistema músculo esquelético del personal, a corto o largo plazo. Durante el procedimiento se efectúan mediciones biomecánicas del ciclo de trabajo tomando capturas de imágenes del video adquirido, esto se realiza mediante un método tradicional que consiste en dibujar y medir unas líneas sobre la imagen obteniendo mediciones poco precisas y/o subjetivas.

3- PROPÓSITO

Aplicar un método de evaluación ergonómica en puestos de trabajo en base al modelo de análisis biomecánico Sue Rodgers, utilizando un sistema de detección de movimiento por medio de cámaras optoelectrónicas, colocando marcadores en áreas anatómicas específicas del trabajador.

La representación del análisis se mostrará gráficamente mediante un modelo en tercera dimensión y numéricamente obteniendo valores de los rangos de movimiento articular realizados por el empleado en su jornada laboral. De este modo se optimizará la prevención de lesiones del sistema músculo esquelético en un puesto de trabajo debido a una mala postura o movimientos repetitivos que provoquen fatigas musculares excesivas.

4- OBJETIVO

Realizar la valoración sistemática del entorno de trabajo, así como la medición precisa de los rangos articulares de movimiento realizados por los trabajadores, para la identificación de posibles riesgos ergonómicos, señalando las necesidades del empleado y proponiendo mejoras en su área de trabajo.

5- ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcances:

1. Propuesta de mejora ergonómica.
2. Evaluación de áreas de trabajo en donde los empleados realicen movimientos repetitivos en toda su jornada laboral.
3. Representación del análisis de movimiento en tercera dimensión.
4. Medición precisa de los rangos articulares.
5. Proponer mejoras del área de trabajo para evitar lesiones a los trabajadores.
6. Confiabilidad en la obtención de datos

Limitaciones:

7. Áreas de trabajo con estructuras altas que puedan interferir en el área de captura.
8. Zona reducida (techos bajos o área menor a 6 m² para la colocación de las seis cámaras optoelectrónicas).

6- JUSTIFICACIÓN

Debido al protocolo de análisis que actualmente es utilizado para la evaluación ergonómica en puestos de trabajo, los datos que se obtienen en dichos análisis sobre los rangos articulares no son precisas, debido a que las mediciones se realizan de manera inexacta, a través de capturas de imágenes obtenidas de un video, colocando ángulos que no han sido medidos de una manera confiable, lo cual puede generar errores al momento de buscar riesgos ergonómicos en un área de trabajo y en el trabajador.

Este proyecto busca mejorar la forma de analizar al trabajador y los resultados del análisis ergonómico en puestos de trabajo, teniendo una medición más precisa al utilizar un modelo de marcadores colocados estratégicamente en articulaciones específicas del trabajador, obteniendo así, mediciones exactas del análisis biomecánico por medio de un sistema de captura en tercera dimensión y poder tener una mejor valoración sobre los posibles riesgos ergonómicos en el área de trabajo.

7- MARCO TEÓRICO:

En este capítulo se describen los métodos de evaluación biomecánica ergonómica Sue Rodgers y el método OCRA, se da la definición del sistema músculo esquelético, biomecánica, se nombran las principales lesiones laborales en sistema músculo esquelético y se explica el funcionamiento de las cámaras optoelectrónicas y los concentradores.

7.1 - Método Sue Rodgers

Este método de análisis evalúa las tareas con una frecuencia de repetición de 1 hasta 15 veces por minuto, llegando a su mayor precisión en el establecimiento de probabilidades de fatiga muscular, en esfuerzos que se realizan entre 1 a 10 veces por minuto (Rodríguez Villalobos y Sempere Ripoll, 2003).

El método de análisis Sue Rodgers, estudia el esfuerzo, la duración y la frecuencia requerida por cada parte del cuerpo para realizar una determinada tarea. A partir de estos parámetros se hace una predicción de la fatiga muscular.

Nivel de Esfuerzo: Los niveles de esfuerzo se valoran como Bajo, Moderados o Pesado basándose en las descripciones enlistadas en la Tabla 1 para las distintas partes del cuerpo.

NIVEL DE ESFUERZO			
	BAJO (1)	MODERADO (2)	PESADO (3)
CUELLO	La cabeza gira parcialmente y/o está hacia adelante ligeramente	Cabeza totalmente girada hacia un lado. Cabeza completamente hacia atrás. Cabeza hacia al frente a 20°	Cabeza totalmente girada hacia un lado o completamente hacia atrás con aplicación de fuerza. Cabeza hacia el frente más de 20°.
HOMBROS	Brazos ligeramente recogidos. Brazos extendidos con algún apoyo	Brazos recogidos, sin apoyo. Trabajar al nivel de la cabeza, brazos flexionados.	Aplicar fuerza o sostener peso con las manos despegadas del cuerpo al nivel de la cabeza
ESPALDA	Inclinado ligeramente hacia un lado. Espalda arqueada	Inclinada hacia delante, sin peso Eleva cargas moderadas proximas al cuerpo. Trabajar al nivel de la cabeza	Levanta de carga o aplica fuerza con rotación de tronco. Aplicación de fuerza con tronco en flexión.
BRAZOS CODO	Brazos despegados del cuerpo, sin carga Aplicación de poca fuerza o levantamiento manual de cargas ligeras cerca del cuerpo	Rotación del brazo aplicando fuerza moderada	Levanta de carga o aplica fuerza con rotación. Eleva cargas con los brazos extendidos.
MANOS MUÑECA DEDOS	Aplicación de poca fuerza en objetos proximos al cuerpo. Muñecas derechas con aplicación de fuerza para agarre pequeño.	Área de agarre grande o estrechos. Angulos moderados en la muñeca, especialmente en la flexión. Uso de guantes con fuerza moderada	Pinzamiento con los dedos. Muñeca en ángulo con carga y superficie corrugada.
PIERNAS PIES DEDOS	Peso del cuerpo sobre ambos pies, parado, caminando sin realizar flexiones.	Flexión hacia delante. Inclinarse sobre una mesa de trabajo. Peso del cuerpo sobre un pie. Girar el cuerpo sin ejercer fuerza.	Aplicación frande de fuerzas para levantar un objeto. Agacharse mientras se ejerce una fuerza.

Tabla 7.1 Tabla de verificación de nivel de esfuerzo

Duración del esfuerzo: Es el tiempo que un músculo permanece activo de manera continua. La duración se valora con 1, 2 o 3 para cada grupo de músculos. Se valora con 1 cuando hay un descanso antes de 6 segundos de esfuerzo continuo; con 2 cuando el descanso es entre 6 y 20 segundos, y con 3 en el momento que los músculos están activos continuamente durante más de 20 segundos.

Clasificación	Duración para un nivel de esfuerzo específico
1	< 6 segundos
2	Entre 6 y 20 segundos
3	> 20 segundos

Tabla 7.2 Clasificación de los niveles de esfuerzo de músculos

La frecuencia (esfuerzos por minuto): Se mide por grupo de músculos y para un nivel de esfuerzo específico, y se define como se muestra en la Tabla 7.3. Este método no es apropiado para evaluar tareas de alta frecuencia (más de 15 esfuerzos por minuto). Esta información puede ser recogida en el área de trabajo, observando a los operarios en varios

puestos, lo importante es contar las repeticiones para cada grupo de músculos separadamente.

Clasificación	Esfuerzos por minuto
1	< 1 por minuto
2	1 a 5 por minuto
3	> 5 y hasta 15 por minuto

Tabla 7.3 Clasificación de la frecuencia.

Niveles de Severidad o Prioridad de cambio. De la combinación de resultados obtenidos en el nivel de frecuencia, de esfuerzo y duración de esfuerzo, se identifica el nivel de severidad como bajo, moderado y alto, de acuerdo con la tabla 6.4. Obteniendo el nivel de severidad se sabrá si alguna parte del cuerpo está en riesgo de lesión.

Baja (B) (severidad = 2)	Moderada (M) (severidad = 5)	Alta (A) (severidad = 7)
Resto de combinaciones	1,2,3	2,2,3
	1,3,2	3,1,3
	2,1,3	3,2,1
	2,2,2	3,2,2
	2,3,1	3,2,3
	2,3,2	3,3,2
	3,1,2	3,3,1

Tabla 7.4, Definición de nivel de severidad

7.1.1 Resultados de riesgo por cada grupo muscular analizado.

Con los resultados obtenidos por el método de SUE RODGERS se observará el comportamiento de cada parte del cuerpo evaluado y, los que tengan una severidad mayor a 5 serán sometidos a un estudio en donde se determinará, si es necesario complementar con otro método de evaluación ergonómica, la parte del cuerpo sometida a una fatiga muscular muy alta.

Los resultados que hayan obtenido una severidad igual a cinco estarán señaladas en color naranja, mientras que los que hayan tenido una severidad igual a 7 tendrán el color rojo que nos indican que hay un riesgo muy alto y podrían ser estudiadas con otro método, en este caso el OCRA para obtener los valores que indiquen que hay un riesgo asociado a los movimientos repetitivos en la parte superior del cuerpo que puedan perjudicar la salud del

trabajador, esto para poder tener una mayor visión del problema y poder priorizar los riesgos existentes en la empresa para proponer mejoras que los eliminen o minimicen.

Resultados obtenidos por Sue Rodgers	Recomendaciones y capacitación al personal	OCRA
Amarillo	SI	NA
Rojo	SI	SI

Tabla 7.5: Colores obtenidos y el método de evaluación correspondiente.

7.2. Método OCRA

La lista de control (Check List) OCRA permite valorar el riesgo asociado al trabajo repetitivo. Este método mide el nivel de riesgo en función de la probabilidad de aparición de trastornos músculo esquelético en un determinado tiempo, centrándose en la valoración del riesgo en los miembros superiores del cuerpo (Mas-Diego,2015).

El método OCRA (*Occupational Repetitive Action*) considera la valoración de los factores de riesgo recomendados por la IEA (International Ergonomics Association) tales como repetitividad, posturas inadecuadas o estáticas, fuerzas, movimientos forzados y la falta de descansos o períodos de recuperación, valorándolos a lo largo del tiempo de la actividad del trabajador. Por ello, existe consenso internacional en emplear el método OCRA para la valoración del riesgo por trabajo repetitivo en los miembros superiores, y su uso es recomendado en las normas ISO 11228-3 y EN 1005-5 (Mas-Diego,2015).

En general, el método analiza el riesgo de los puestos con una ocupación genérica de 8 horas por jornada, sin embargo, un trabajador puede ocupar el cargo un número menor de horas, ocupar varios lugares en una jornada o rotar entre varios puestos. En estos casos puede obtenerse el riesgo al que se somete el trabajador, calculando el riesgo a jornada completa de los cargos que ocupa y ponderándolos por el tiempo que ocupa cada uno de ellos.

7.2.1 Aplicación del método:

La aplicación del método determina el valor del Índice Check List OCRA (ICKL) y, a partir de este valor, clasificar el riesgo como Óptimo, Aceptable, Muy Ligero, Ligero, Medio o Alto.

El ICKL se calcula empleando la Ec. 7.1 y los valores definidos en la tabla 7.7:

$$ICKL = (FR + FF + FF_z + FP + FC) (MD) \quad (\text{Ec. 7.1}).$$

La información en la tabla 7.6 permite conocer el nivel de riesgo obtenido con los cálculos adquiridos al estudiar a un trabajador en un puesto de trabajo que realice movimientos repetitivos.

Índice Check List OCRA	Nivel de Riesgo	Acción recomendada
≤ 5	Óptimo	No se requiere
5.1 - 7.5	Aceptable	No se requiere
7.6 - 11	Incierto	Se recomienda un nuevo análisis o mejora del puesto
11.1 - 14	Inaceptable Leve	Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento
14.1 - 22.5	Inaceptable Medio	Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento
> 22.5	Inaceptable Alto	Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento

Tabla 7.6 Nivel de riesgo de método OCRA.

FR Factor de recuperación.	Proporción entre trabajo repetitivo y periodo de recuperación 5:1	(Tabla 13.1)
FF Factor de frecuencia.	$FF = \text{Max}(\text{ADT} ; \text{ATE})$	(Tabla 13.2)
FF_z Factor de fuerza.	Cuantificar el esfuerzo necesario para realizar acciones.	(Tabla 13.3)
FP Factor de posturas y movimientos.	$FP = \text{Max} (PH_o; PC_o; PM_u; PM_a) + P_{es}$	(Tabla 13.4)
FC Factor de riesgos adicionales.	$FC = F_{fm} + F_{so}$	(Tabla 13.5)
MD Multiplicador de duración.	Dependiendo el TNTR es el MD	(Tabla 13.6)

Tabla 7.7 Parámetros empleados en el método OCRA.

Antes de empezar con el cálculo de los diferentes factores y multiplicadores del ICKL, es necesario calcular el Tiempo neto de trabajo repetitivo (TNTR), que es el tiempo durante el cual el trabajador está realizando los movimientos repetitivos en su puesto de trabajo y el Tiempo neto del ciclo de trabajo (TNC), es el tiempo de ciclo de trabajo considerando sólo las tareas repetitivas.

Es necesaria la obtención de estos valores, debido a que se utilizarán posteriormente para obtener el Multiplicador de duración que nos servirá para obtener el ICKL.

Los valores de TNTR Y TNC se obtienen con las Ec. 7.2, Ec. 7.3 cuyos parámetros se definen en la tabla 7.8

$$TNTR = DT - (TNR + P + A) \quad \text{Ec. 7.2}$$

$$TNC = 60 (TNTR/NC) \quad \text{Ec. 7.3}$$

DT	Duración del turno en min.
TNR	Tiempo de trabajo no repetitivo.
P	Pausas que realiza el trabajador en su jornada laboral (min).
A	Duración del descanso para el almuerzo en min.
NC	Numero de ciclos de trabajo que realiza en el puesto.

Tabla 7.8 Parámetros empleados para obtener TNTR y TNC

7.3 Sistema músculo esquelético.

Es el conjunto de estructuras, que permite al cuerpo humano realizar cualquier tipo de movimiento, y está formado por el esqueleto que consta de 206 huesos y el sistema muscular.

El Sistema óseo o esqueleto está formado por huesos, cartílagos y articulaciones. Los huesos son órganos duros y resistentes, tienen la función de dar forma al cuerpo, proteger órganos vitales, permiten el movimiento gracias a los músculos que se unen por los tendones. Se componen de agua y sustancias minerales formadas a partir del calcio y del fósforo, además de una sustancia llamada osteína.

El desarrollo y fortalecimiento del hueso dependen de la vitamina D y de la vitamina D2, que regula el metabolismo del calcio, imprescindible para el funcionamiento de los músculos.

El sistema muscular está formado de músculos, que son órganos elásticos, esto quiere decir que se pueden contraer y relajar, y están constituidos por células musculares (fibras musculares). La función principal de los músculos es mover las distintas partes del cuerpo apoyándose en los huesos. Existen más de 400 músculos de tamaño y potencia muy variables. Este número tan elevado permite la realización de gran cantidad de movimientos, algunos de gran precisión, como los realizados por la mano.

7.4 Principales lesiones laborales en sistema músculo esquelético.

Ciertas patologías músculo esqueléticas, constituyen un conjunto importante de enfermedades laborales, causadas por agentes físicos en diversos trabajos. La biomecánica del aparato locomotor visualiza y explica el mecanismo generador de estas patologías, permitiendo establecer las relaciones causales entre las diferentes actividades laborales y las posibles alteraciones generadas (Rodríguez, 2013, p.1).

En la tabla 7.9 se nombran las patologías del sistema músculo esquelético, presentes con mayor frecuencia en el entorno laboral, explicando las posibles causas de la lesión que son provocados por posturas forzadas y movimientos repetitivos, o enfermedades por fatiga e inflamación de la membrana fibrosa del músculo, que rodea a los tendones.

Parte afectada	Patología	Posible Causa	Movimiento relacionado
Hombro	Tendinosa crónica del manguito rotador.	Trabajos que se realicen con los codos en posición elevada o que tensen los tendones (acciones de levantar o alcanzar).	Brazo en Abducción o Flexión.
Codo y Antebrazo	Epicondilitis y epitrocleítis.	Trabajos que requieren movimientos de impacto o sacudidas, supinación o pronación repetidas del brazo contra resistencia.	Movimientos de flexo-extensión forzada de muñeca.
Muñeca y Mano	Enfermedades por fatiga e inflamación de la membrana tendinosa, inserciones musculares y tendinosas.	Trabajos que exijan aprehensión fuerte con giros o desviaciones cubitales y radiales repetidas de la mano.	Movimientos repetidos o mantenidos en extensión de la muñeca.
Rodilla	Lesiones de menisco por mecanismos de arrancamiento y compresión (fisuras o fracturas completas)	Trabajos que requieran posturas de hiperflexión de la rodilla mantenidas (cuclillas).	
Columna vertebral	Arrancamiento por fatiga de las apófisis espinosas.	Trabajo de manipulación de cargas pesadas.	

Tabla 7.9 Patologías en partes del cuerpo específicas con causas y movimientos.

7.5 Biomecánica

La biomecánica utiliza las aplicaciones de la mecánica clásica, para el análisis de los sistemas biológicos y fisiológicos. Por ejemplo, la estática ha sido aplicada para analizar la magnitud y la naturaleza de las fuerzas implicadas en varias articulaciones y músculos, la dinámica para la descripción del movimiento, el análisis de marcha y otras aplicaciones en la mecánica deportiva. La mecánica de los sólidos ofrece las herramientas necesarias para desarrollar el campo de las ecuaciones constitutivas para los sistemas biológicos, las cuales se usan para evaluar su comportamiento funcional en diferentes condiciones de carga. Las bases de la mecánica de los fluidos se han usado para investigar el flujo sanguíneo en el sistema circulatorio, la salida de aire de los pulmones y la lubricación de las articulaciones (Nordín M, Frankel y Victor H, 2004, p.3).

La investigación de la biomecánica es para aplicar el conocimiento científico en el beneficio de los seres humanos. Uno de los principales riesgos ocupacionales son las lesiones y enfermedades músculo esquelético, en los países industrializados. Estas lesiones pueden ser prevenidas o erradicadas mediante el estudio de cómo el sistema músculo esquelético se adapta a las condiciones laborales, mediante pautas para asegurar que el trabajo manual se ajuste a las limitaciones físicas del cuerpo y a sus movimientos naturales (Nordín M, Frankel y Victor H, 2004, p.3).

7.6 Biomecánica Regional

En este apartado se describirá la biomecánica y los rangos de movimientos normales de la columna vertebral, del hombro, del codo y de la muñeca, ya que este proyecto se centra en la evaluación biomecánica de estas articulaciones.

7.6.1. Biomecánica de la columna vertebral

La columna vertebral es una estructura esencialmente mecánica. Cada vertebra se articula de forma controlada a través de un complejo sistema de articulaciones, ligamentos y palancas (costillas). La columna vertebral cumple tres funciones biomecánicas fundamentales:

- 1- Soportar la mitad superior del cuerpo, representa el 60% del peso total.
- 2- Posee flexibilidad suficiente para permitir los movimientos del tronco en los tres planos.
- 3- Protege las delicadas estructuras nerviosas medulares y radicales.

7.6.1.1 Cinemática de la columna vertebral

Las características del movimiento de la columna están determinadas por los elementos pasivos (apófisis articulares, discos, ligamentos, estructuras óseas) y activos (músculos). El grado de movilidad es diferente en los distintos segmentos de la columna y depende de la orientación de las carillas articulares de cada zona. Esta movilidad se produce por la acción coordinada de varios segmentos, que en la región dorsal se encuentra limitada por la caja torácica y en todo el tronco esta aumentada por la acción de la báscula pélvica. Los movimientos de la columna vertebral son: la rotación, flexoextensión y la inclinación lateral. (Viladot Voegeli, A, 2004. p,105-113)

7.6.1.2 Rango articular de la columna vertebral

La imagen 7.1 detallan las cifras de la movilidad global de la columna vertebral enfocada en el área dorsal y lumbar, mientras que la imagen 7.2 muestra el rango articular de la columna cervical.

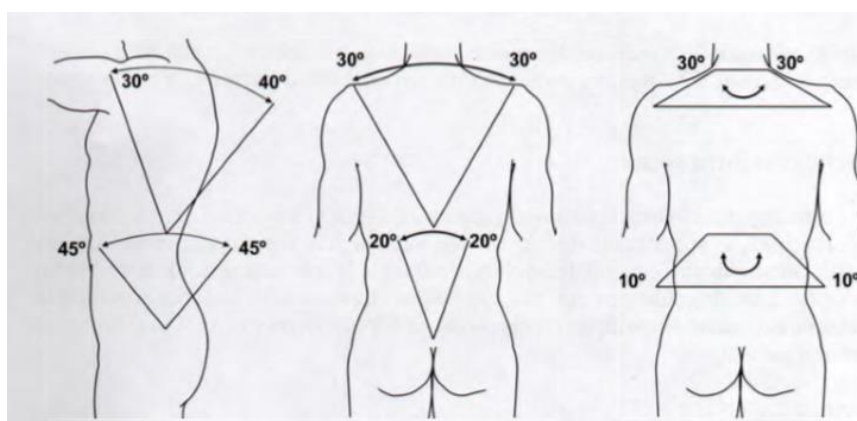


Imagen 7.1, Rangos normales de movimiento en columna dorsal y lumbar.

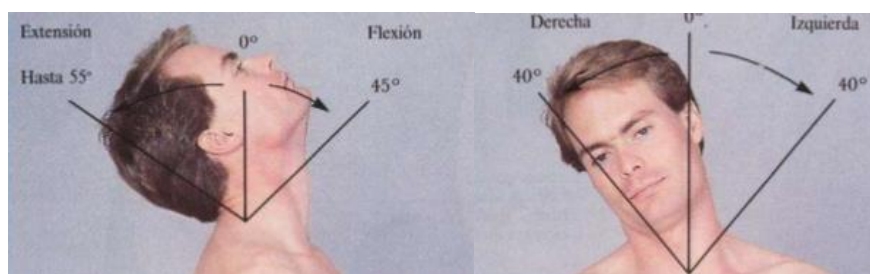


Imagen 7.2, Rangos normales de movimiento en columna cervical.

7.6.2 Biomecánica del hombro

El hombro es el complejo articular de más movilidad en el cuerpo humano, con sus tres ejes de trabajo y grados de movilidad. El complejo articular de la cintura escapular necesita para su funcionamiento 19 músculos y se compone de tres articulaciones verdaderas: esternoclavicular, acromioclavicular y el escapulohumeral.

7.6.2.1 Cinemática del hombro

Es necesaria la acción combinada de varios músculos, para conseguir la movilidad armónica articular. La mayoría de las veces, la acción muscular es motora y de estabilidad. El movimiento de la articulación glenohumeral se acompaña de un movimiento sincrónico de las articulaciones adyacentes, en especial la escapulotorácica, a la cual está estrechamente unida por una continuidad muscular que transmite las sollicitaciones mecánicas. Los movimientos de flexoextensión y de abducción y aducción son los principales realizados por la articulación glenohumeral. (Viladot Voegeli, A, 2004. p,121-135)

7.6.2.2 Rango articular del hombro

Las imágenes 7.3 y 7.4 muestran los grados de movilidad articular normal que tiene la articulación de la cintura escapular:

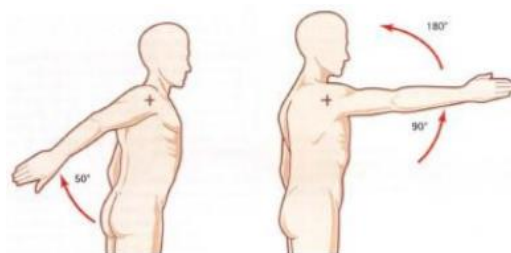


Imagen 7.3, Rango articular del hombro: Extensión 50° y Flexión 180°

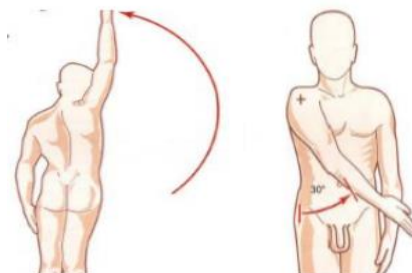


Imagen 7.3, Rango articular del hombro: Abducción 180° y Aducción 30°

7.5.2 Biomecánica del codo

La articulación del codo, que une el brazo con el antebrazo, es la articulación intermedia del miembro superior. Permite al antebrazo aproximarse o separarse del brazo, mediante los movimientos de flexoextensión, y así el miembro superior puede trabajar a diferentes distancias del cuerpo. A su vez orienta la palma de la mano, mediante los movimientos de pronosupinación.

7.6.2.1 Cinemática del codo

La articulación del codo está compuesta por tres articulaciones diferentes: humerocubital, humerorradial y radiocubital proximal. En las dos primeras se realizan los movimientos de flexoextensión: movimiento que aproxima la cara anterior del antebrazo a la cara anterior del brazo y el retorno del antebrazo a su posición anatómica, mientras que en la radiocubital se llevan a cabo los movimientos de pronación, movimiento de rotación medial que sitúa el pulgar hacia dentro y la palma de la mano hacia abajo y la supinación lleva al pulgar hacia afuera y la palma mirando hacia arriba. (Viladot Voegeli, A, 2004. p,147-153)

7.6.2.2 Rango articular del codo

Las imágenes 7.4 y 7.5 indican los valores normales del rango articular normal en la articulación del codo, explicando también las posiciones iniciales para empezar con la medición de los movimientos.

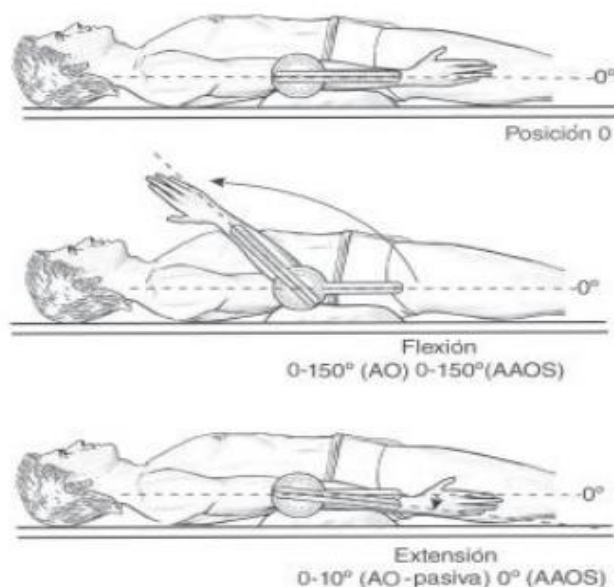


Imagen 7.4, Medición de la flexoextensión del codo, primera imagen posición de referencia, segunda imagen movimiento de flexión 150° y tercera imagen movimiento de extensión 0°.

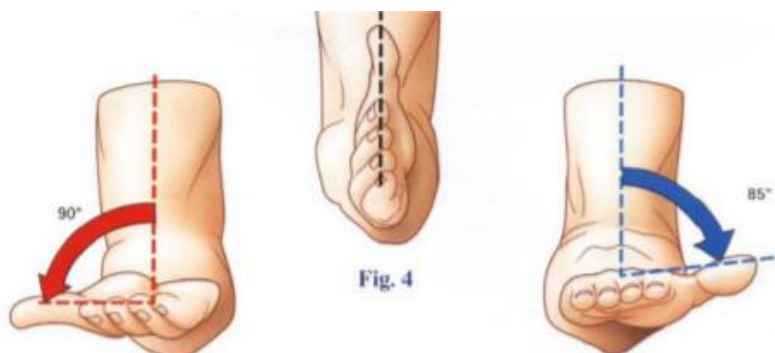


Imagen 7.5, (Izq) Movimiento de supinación 90°, la mano se orienta hacia arriba. (Der) Movimiento de pronación 85°, la mano se orienta hacia abajo. (Centro) Posición de referencia para la medición.

7.6.2 Biomecánica de la muñeca

La muñeca es una de las articulaciones biomecánicamente más compleja del cuerpo humano, pues a la vez permite una gran movilidad, es capaz de soportar importantes fuerzas de compresión, cizallamiento y torsión sin desestabilizarse. Sus características más esenciales son la movilidad y la estabilidad.

7.6.2.1 Cinemática de la muñeca.

La articulación de la muñeca es un complejo pluriarticular, todo movimiento global de esta debe considerarse como el resultado de la interacción y acumulación de los movimientos que ocurren en las distintas articulaciones que la componen. Los principales movimientos que la muñeca realiza son: la flexoextensión que es aquel movimiento producido alrededor de un eje transversal que permite acercar la palma de la mano a la cara anterior del antebrazo o alejarse de ella y la desviación radial-cubital o de abducción–aducción que es el movimiento que realiza en torno a un eje anteroposterior según el cual, la mano, situada anatómicamente se acerca o aleja respecto al eje del cuerpo. (Viladot Voegeli, A, 2004. p,159-164)

7.6.2.2 Rango articular de la muñeca

La imagen 7.6 ilustra los movimientos de flexoextensión y de desviación radio-cubital de la muñeca indicando los valores normales de rango articular.

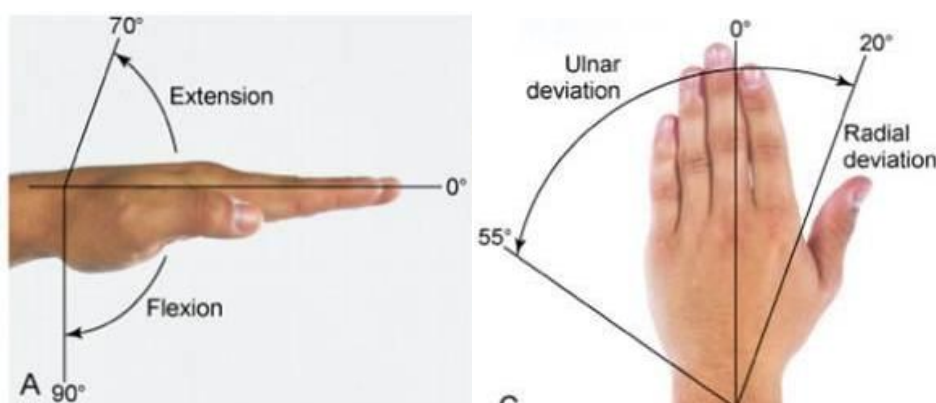


Imagen 7.6, (Der) Movimiento de Flexión 90° y Extensión 70°. (Izq) Movimiento de desviación cubital 55° y desviación radial 20°.

7.7 Cámaras optoelectrónicas

Las cámaras optoelectrónicas, son cámaras infrarrojas desarrolladas para la captura de movimiento. Su propósito es trasladar el movimiento real a un modelo virtual para poder trabajar con la información obtenida (Madrigal, 2016, p.7).

El funcionamiento de la cámara es el siguiente: el aro de 28 leds infrarrojos que tiene la cámara permite la toma de imágenes, ya que los leds emiten una luz infrarroja con longitud de onda de 850nm que los marcadores reflectantes colocados en el cuerpo de la persona reflejan. Las cámaras usan la técnica de la fotogrametría, que se basa en tomar varias imágenes registrando un solo movimiento, toman 100 fotogramas por segundo para ir registrando cada uno de los movimientos que se realizan en la captura del estudio, esto hace que el sistema detecte el movimiento de los marcadores y pueda crear un modelo en tercera dimensión que va a representar el movimiento real.

7.8 Concentrador (hub)

Es un dispositivo utilizado para poder conectar una gran variedad de componentes electrónicos (cámaras, cables RCA, etc.), aprovechando de mejor manera posible el espacio físico de un equipo, y que permite a los usuarios avanzados obtener los beneficios de un mayor volumen de captura y la capacidad de integrar el sistema de captura de movimiento, con otros sistemas de adquisición o control de hardware.

El Concentrador cuenta a su vez con una gran variedad de puertos, que tienen la finalidad de distribuir los datos que son enviados y recibidos a través de su conectividad, por lo que cuando una información ingresa a los mismos es a su vez amplificado y transmitido hacia las otras conexiones presentes en la red emisora.

7.9 Características del laboratorio de biomecánica.

El laboratorio de biomecánica cuenta con dos HUB (especificaciones generales en A2.2) especialmente contruidos para control, sincronización y alimentación de cámaras, se sincronizan al conectar un cable de video (RCA macho-macho), a la entrada y salida del

mismo, en cada uno se conectan tres cámaras optoelectrónicas (especificaciones generales en A2.1) por medio de cable USB 2.0, estas cámaras están colocadas en seis puntos diferentes en el laboratorio lo cual nos da un área total de captura de 2.28m x 4.70m.

El laboratorio de biomecánica está compuesto por:

- 6 cámaras optoelectrónicas (Frame Rate = 100 fps)
- 2 Hub
- Un cable RCA macho - macho (video).
- Un área total del laboratorio de 5.73m x 9.52m
- Área de captura de las cámaras optoelectrónicas de 2.28m x 4.70m
- 6 cables USB 2.0
- Barra de calibración con siete marcadores reflectantes.
- Computadora de escritorio.

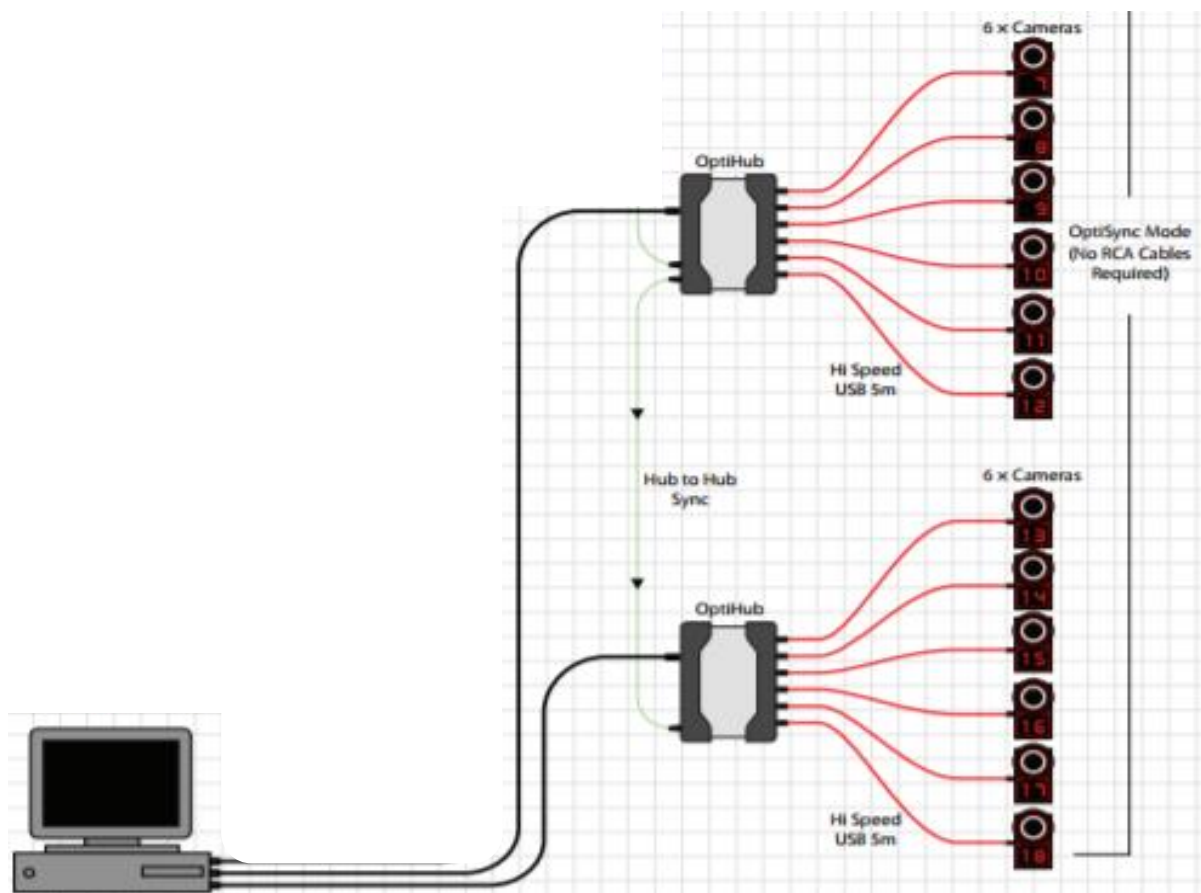


Imagen 7.7, Diagrama de conexión entre concentradores y cámaras.

(Fuente: <http://optitrack.com/products/optihub/indepth.html>)

8 METODOLOGÍA

A continuación, se describen los pasos a seguir para poder realizar una evaluación biomecánica correcta con el sistema optoelectrónico de detección de movimiento en tercera dimensión.

1. **Colocación de cámaras:** Seis cámaras optoelectrónicas, integran el circuito cerrado del sistema de captura en tercera dimensión, estas se dividen en dos grupos de tres cámaras y cada grupo va conectado a un HUB mediante cables USB.

Los HUB se conectan entre sí, por un cable RCA que va en la entrada y salida de video de cada concentrador, el puerto Uplink de cada HUB se le conecta con un cable USB-UpLink a la computadora para la recepción de información y el sistema pueda realizar la captura de video y detección de los marcadores.

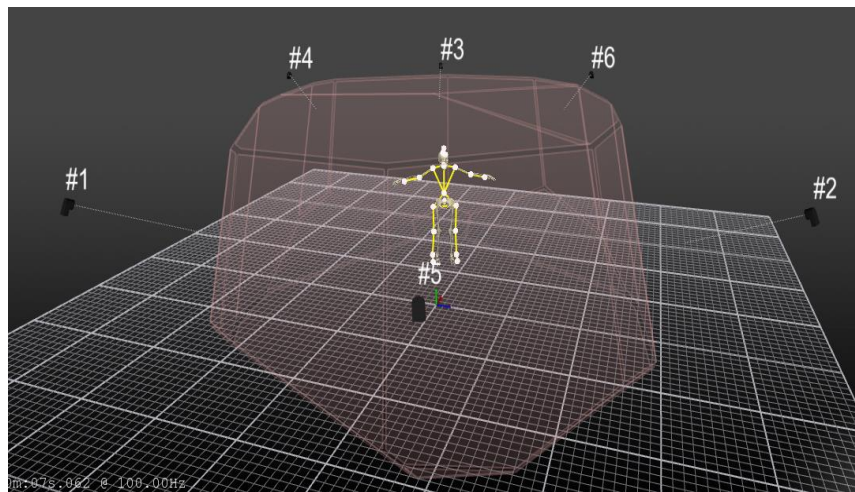


Imagen 8.1 Vista frontal del área de captura indicando la posición de las cámaras respecto al trabajador

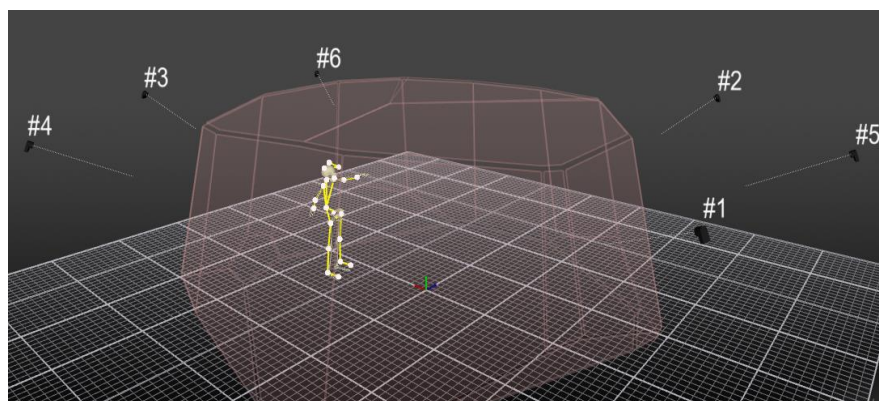


Imagen 8.2 Vista lateral del área de captura indicando la posición de las cámaras

2. **Área de captura:** Después de la colocación de las cámaras optométricas, se verifica que el área de captura sea la deseada, abarcando toda el área laboral, y no haya pérdida de información, al no ser posible capturar los marcadores en el sujeto de evaluación o que estos salgan del área de captura. Se revisará cámara por cámara, el video en tiempo real en la pantalla y se harán modificaciones si es necesario.

En las imágenes 8.3 y 8.4 se muestra el área de captura señalada en color rojo, si la persona con los marcadores llegará a salirse de esta área se perdería información y se tendría que repetir el análisis.

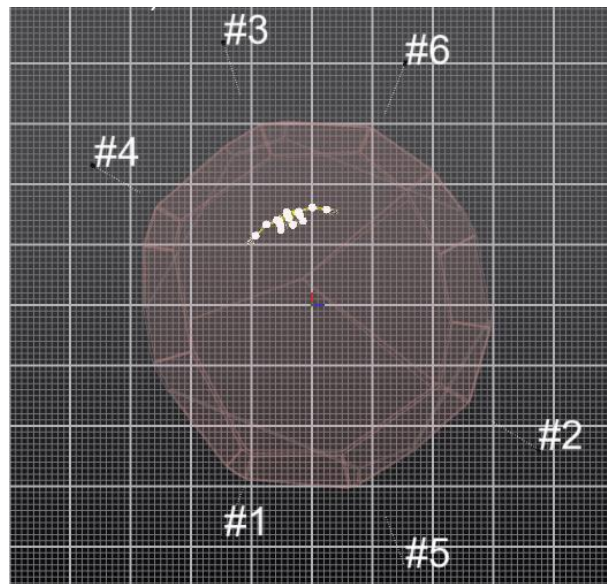


Imagen 8.3, Vista superior del área de trabajo en 3D.

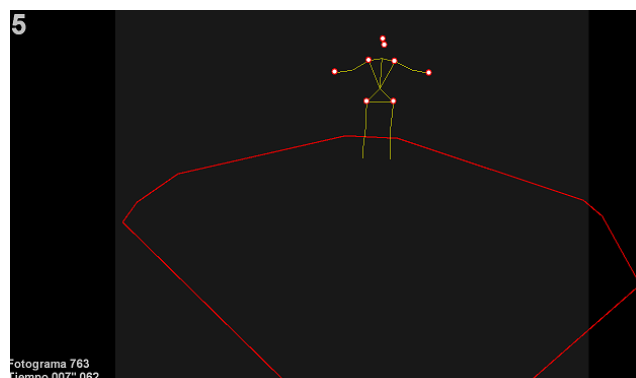


Imagen 8.4, Vista de la cámara número 5 del sistema.

3. **Calibración del sistema:** Se coloca la vara de calibración, que es una delgada vara de fibra de carbono, con siete marcadores separados a una distancia de 30 cm cada uno,

en el área de captura y se irá colocando en 17 posiciones diferentes que abarquen toda la zona. Para que haya una calibración correcta, en cada posición las seis cámaras tienen que ser capaces de captar los 7 marcadores de la vara al mismo tiempo.



Imagen 8.5, Vara de calibración.

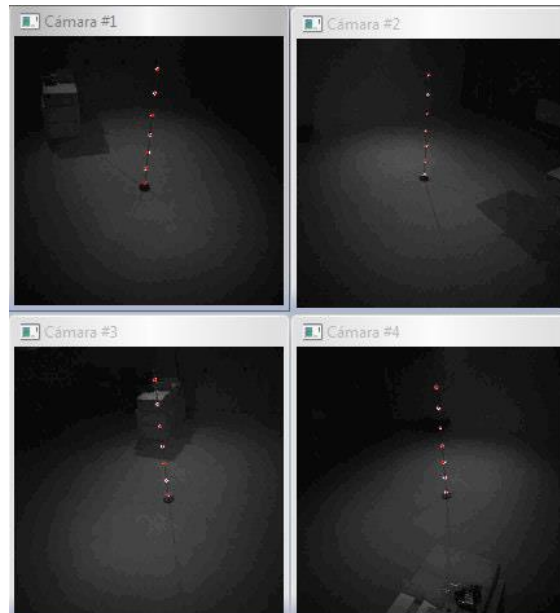


Imagen 8.6, Barra de calibración vista por diferentes cámaras.

4. **Pruebas de calibración:** Se realizan pruebas antes de tomar la captura inicial, para descartar errores en el sistema, como lo serían: cámaras en posición incorrecta, falta de marcadores en el área de captura o en su defecto, marcadores extras.
5. **Colocación de marcadores:** Para el análisis ergonómico se utilizarán 19 marcadores que se colocarán en zonas corporales específicas en el trabajador de manera el sistema logre captarlos y generar un modelo en tercera dimensión.

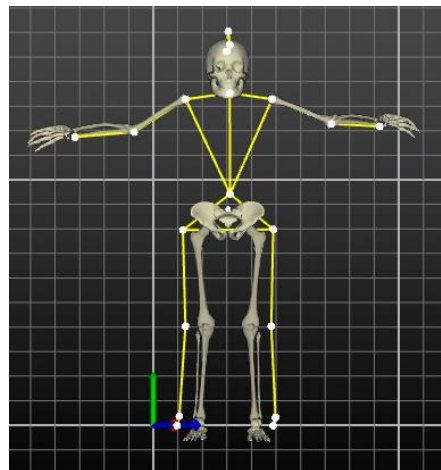


Imagen 8.7, Vista anterior del modelo en 3D

- **Captura del estudio:** Previo a la captura del estudio, se hace una carpeta en el sistema con los datos del trabajador en donde se almacenará toda la información generada, posteriormente el estudio se programa de acuerdo con el modelo de marcadores que se utilizará, el tiempo de captura y al procesamiento del video.
- **Evaluación de resultados:** Al finalizar la captura, el sistema procesa la información y la despliega en la pantalla en forma de gráficas y con la representación de un esqueleto en 3D para que la interpretación sea más sencilla, otra forma de analizar los resultados es mediante el reporte que el sistema genera, dándonos valores obtenidos en el estudio de manera más clara.

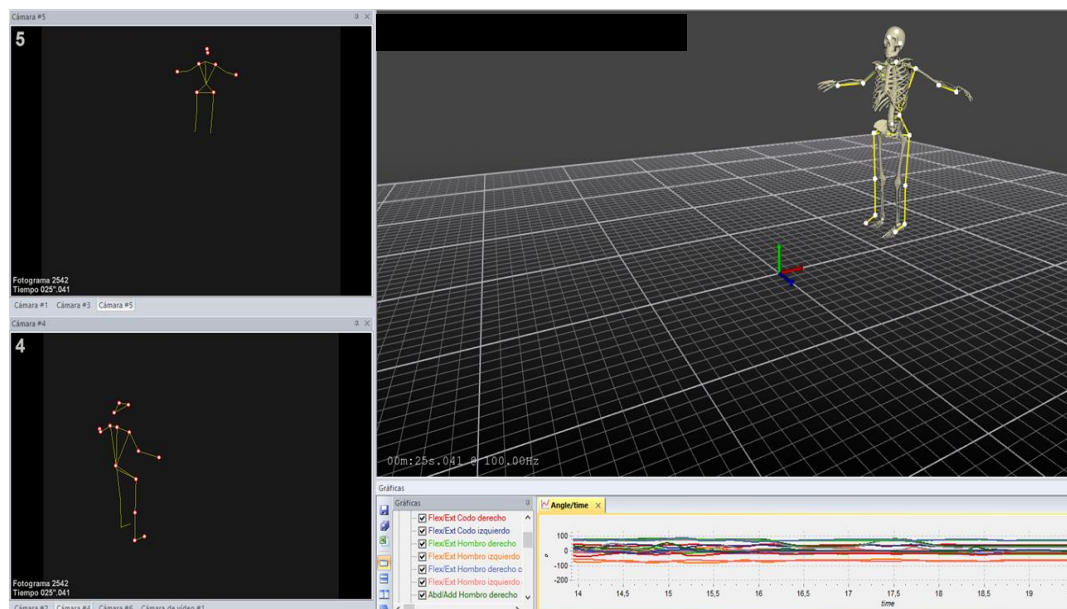


Imagen 8.8, Resultados de captura en el sistema de tercera dimensión.



Imagen 8.9, Gráficas con valores de los rangos articulares en diferentes planos y movimientos.

9 PROCEDIMIENTO

El protocolo de evaluación ergonómica facilita la obtención de los rangos de movimiento articular, que el empleado utiliza en sus tareas diarias. Con estos datos obtenidos, el evaluador va a tener la capacidad de conocer cuáles son los riesgos ergonómicos, que se presentan en un puesto de trabajo y se pueda realizar una toma de decisiones, para la mejora del área y de medidas preventivas.

Los pasos a seguir para la elaboración de la evaluación ergonómica son los siguientes:

1. Se realizará una serie de entrevistas, a los responsables de cada departamento del área de trabajo a analizar, con el fin de recopilar información que consideren importante. Se explicará el procedimiento a seguir y cuál será el área en el que se va a trabajar, con el fin de no interferir en el proceso de producción.
2. A los trabajadores evaluados, se les explicará de manera detallada como se llevará a cabo el estudio, solicitándoles información como: nombre, peso, talla, área de trabajo, puesto, antigüedad, horario de trabajo y antecedentes de lesiones dentro y fuera de su cargo.
3. Se realizarán grabaciones, por medio de una cámara de alta velocidad y un estudio con un sistema de detección de movimiento previamente calibrado con cámaras optoelectrónicas y representación del análisis en tercera dimensión, que nos arrojará información desde diferentes ángulos para poder realizar un estudio biomecánico exacto de las posiciones y posturas forzadas que el trabajador adopta en su rutina diaria.
4. El analista revisa los resultados e información obtenida del estudio, para poder hacer una interpretación detallada del ciclo de trabajo, que se realiza en el puesto que se evaluó, utilizando el modelo de análisis biomecánico Sue Rodgers y detectar los riesgos físicos o fatigas musculares que existen.
5. Dependiendo de la severidad (condiciones del puesto de trabajo) obtenida, se determinará si es necesario realizar un segundo estudio bajo un método diferente llamado OCRA.
6. Posteriormente se harán recomendaciones, que la empresa puede adoptar para mejorar la calidad de vida laboral.

10 DESARROLLO DEL PROYECTO

Se realizó la siguiente evaluación ergonómica, a un trabajador de 25 años que tiene a su cargo el acabado de órtesis en un esmeril, en una jornada de medio tiempo.

Después de tener el área de trabajo listo para capturar y de haber calibrado el sistema, se procede a la colocación de marcadores en el trabajador y a la toma del estudio, posteriormente se realizará el análisis ergonómico de Sue Rodgers, la interpretación de los resultados, observar si el área en donde se desempeña el trabajador necesita o no alguna adaptación, que ayude a mejorar su calidad de vida laboral.

10.1 Resultados método Sue Rodgers.

El estudio fue realizado durante 40 minutos, en donde se obtuvieron los siguientes datos del trabajador durante su jornada laboral: Realiza dos esfuerzos por minuto, la duración del esfuerzo es aproximado a 30 segundos, estos datos permiten realizar el análisis Sue Rodgers y fueron grabados de dos diferentes formas: una utilizando el método ordinario, la otra implementando el sistema de detección de movimiento en tercera dimensión. (Se utilizaron las tablas 7.1 - 7.4).

RESULTADOS	NIVEL DE ESFUERZO	TIEMPO DE ESFUERZO	ESFUERZO POR MINUTO	RESULTADOS (SEVERIDAD = S)
	1- bajo 2-moderado 3-pesado	1 = 0" - 5" 2 = 6" - 20" 3 = > 20"	1 = 0 - 1 2= 2 - 5 3= >5	
CUELLO	3	3	2	332 = ALTA
HOMBROS	2	2	2	222 = MODERADA
ESPALDA	1	1	2	112 = BAJA
BRAZOS CODOS	1	2	2	122= BAJA
MANOS MUÑECAS DEDOS	2	2	3	232= MODERADA
PIERNAS RODILLAS TOBILLOS PIES	1	1	2	112 = BAJA

Tabla 10.1, Resultados obtenidos mediante el método de análisis biomecánico Sue Rodgers.

En la imagen 10.2, se puede observar la diferencia que tienen los métodos utilizados para la captura de la evaluación ergonómica, del lado izquierdo, se encuentra el modelo en tercera dimensión del trabajador realizando los movimientos, el sistema captura automáticamente los ángulos máximos y mínimos de cada movimiento realizado, lo que nos permite tener una mayor exactitud en las mediciones.

En el lado derecho, se observa el método utilizado normalmente en las empresas para hacer evaluaciones ergonómicas y su protocolo de medición angular, como se puede apreciar los valores que se obtienen de esas mediciones no son muy precisas, por lo tanto, el resultado de su evaluación no tiene la confiabilidad que una empresa podría necesitar.

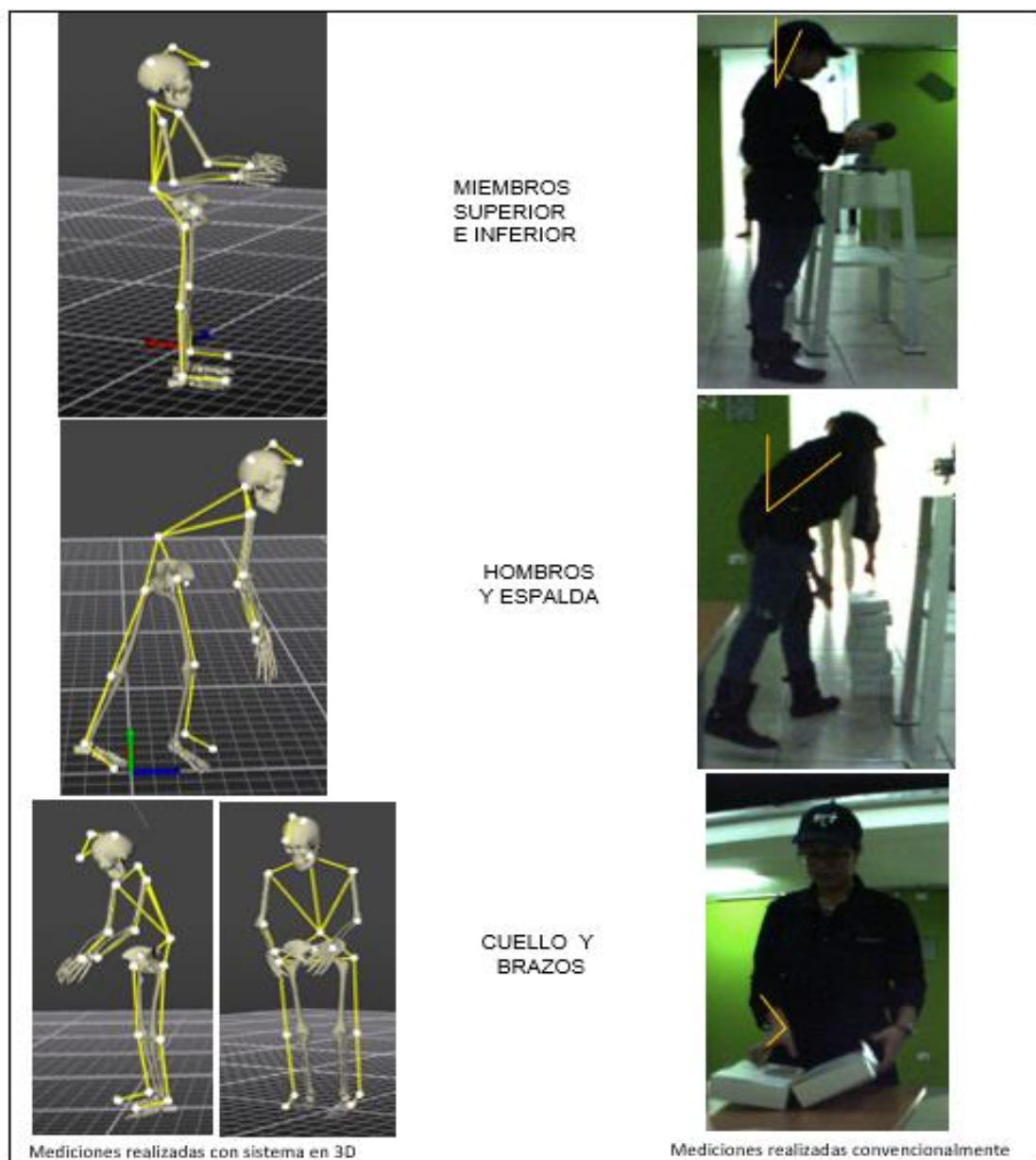


Imagen 10.2, (Izquierdo) Resultados obtenidos por el sistema de detección de movimiento y (derecho) resultados obtenidos por el método convencional.

10.3 Tabla de resultados

La tabla 10.2 es obtenida del sistema de detección de movimiento en tercera dimensión y nos da los valores máximos y mínimos de los rangos de movimiento realizados en la jornada laboral. Los valores señalados de color amarillo y de color rojo indican que esas partes del cuerpo están en peligro de lesión y hay que tratar de mejorar la postura en la jornada laboral.

Ángulo	Máximo	Mínimo
Flex/Ext cadera derecha	18.89°	-21.83°
Flex/Ext cadera izquierda	40.71°	-56.91°
Abd/Add cadera derecha	17.76°	-11.72°
Abd/Add cadera izquierda	11.24°	-39.24°
Flex/Ext rodilla derecha	86.31°	0.30°
Flex/Ext rodilla izquierda	58.37°	0.04°
Flex/Ext tobillo derecho	33.09°	2.42°
Flex/Ext tobillo izquierdo	20.15°	1.91°
Flex/Ext hombro derecho	81.65°	-89.65°
Flex/Ext hombro izquierdo	93.87°	-62.18°
Abd/Add hombro derecho	-37.71°	-88.48°
Abd/Add hombro izquierdo	92.92°	27.32°
Flex/Ext codo derecho	162.81°	20.26°
Flex/Ext codo izquierdo	173.36°	11.85°
Flex/Ext cuello	32°	0.26°

Tabla 10.2, resultados de rangos de movimiento obtenidos desde el sistema en 3D.

10.4 Evaluación por OCRA

Se realizará la evaluación OCRA, en la extremidad superior se detectó un grado de severidad 5 y 7, por lo que es conveniente volver a analizar este segmento, para confirmar si hay algún riesgo laboral y poder evitar algún accidente o lesión al trabajador.

El procedimiento se realizó con las tablas y fórmulas explicadas en el marco teórico (Ec. 7.2, Ec. 7.3 y Ec. 7.1; tabla 7.6)

$$TNTR = 300min - (60min + 25min + 0min) = 215 min \quad (Ec. 7.2)$$

$$TNC = 60 (215 / 430) = 84.5 min \quad (Ec. 7.3)$$

$$ICKL = (2 + 4.5 + 6 + 9.5 + 3) 0.75 = 18.75 \quad (Ec. 7.1)$$

Índice Check List OCRA	Nivel de Riesgo	Acción recomendada
≤ 5	Óptimo	No se requiere
5.1 - 7.5	Aceptable	No se requiere
7.6 - 11	Incierto	Se recomienda un nuevo análisis o mejora del puesto
11.1 - 14	Inaceptable Leve	Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento
14.1 - 22.5	Inaceptable Medio	Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento
> 22.5	Inaceptable Alto	Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento

Tabla 7.6

El resultado indica que hay que modificar la postura del trabajador y el área laboral inmediatamente para prevenir lesiones y tratar las lesiones presentes, lo que significa que la mala postura causo daños al sistema músculo esquelético del trabajador.

10.5 Interpretación

El trabajo que realiza el personal, es el de darle el acabado final a órtesis plantares, lo primero que hace es sacar la órtesis de su caja , revisarla y darle el acabado final en el esmeril, en donde la posición del trabajador no es adecuada ya que el cuello según el método de evaluación de SUE RODGERS tiene una severidad igual a siete, ALTA lo que nos indica que tiene una angulación mayor a los 20° que es lo permitido por el método y a corto plazo traería problemas músculo esqueléticos, el miembro superior se encuentra en una severidad igual a cinco, MODERADA lo que nos señala que hay que tener cuidado y mejorar la posición de trabajo, las muñecas y dedos que no se encuentran en una posición adecuada y podría causar problemas a largo plazo. Posteriormente el trabajador regresa la órtesis plantar a su caja y la almacena con las demás cajas en donde realiza una leve flexión de rodillas y de columna este movimiento tiene una severidad igual a dos, BAJA por lo que ninguna de estas partes se ven comprometidas.

10.6 Recomendaciones generales:

Se recomienda que el trabajador, aumente la altura del área de trabajo de la fresadora (10cm), para que el cuello no se mantenga en una posición inadecuada, ya que como indican los resultados mantener una inclinación mayor a los 20° puede causar problemas músculo esqueléticos a corto o largo plazo. También se recomienda realizar estiramientos de miembro superior o inferior antes, entre y después del trabajo para poder relajar principalmente músculos de espalda, cuello y brazos.

11 CONCLUSIÓN

Este trabajo muestra la importancia de la implementación y desarrollo de nueva tecnología al área de ergonomía industrial, ya que al utilizar un sistema de detección de movimiento en tercera dimensión optimiza la obtención de datos biomecánicos (rangos de movimiento articular) en líneas de producción, haciéndolos más precisos y confiables. Esto ayudará a la empresa a poder tomar decisiones que ayuden al trabajador a mejorar su calidad de vida laboral y al mismo tiempo ayuda a promover la efectividad económica y de producción de las empresas, disminuyendo las pérdidas monetarias por gastos médicos.

Gracias al desarrollo de este proyecto, se lograron englobar y ampliar los conocimientos en el campo de la ingeniería biónica y biomecánica, además de generar la integración de estos con otras áreas de estudio como lo es la ergonomía, con la finalidad de que en el futuro se logren crear nuevas ideas y soluciones prácticas al conjuntar las distintas ramas de estudio, solucionando problemas que el ser humano tiene día a día.

La finalidad general del proyecto a largo plazo es poder realizar la evaluación ergonómica de todos los puestos de trabajo en un grupo de empresas para poder mejorar la calidad de vida dentro y fuera del trabajo de los empleados que realizan movimientos repetitivos en toda su jornada laboral.

12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- Rodríguez Villalobos, A., & Sempere Ripoll, F. (2003) Clasificación y Análisis de Puestos de Trabajo atendiendo a la fatiga muscular en una línea de montaje de automóviles, Congreso de Ingeniería de Organización Valladolid-Burgos, 2-5.
- 2- Prevalia, S.L.U.. (2013). Riesgos Ergonómicos y Medidas Preventivas en las Empresas Lideradas por Jóvenes Empresarios. 6 junio 2017, de fundación para la prevención de riesgos laborales Sitio web: sobre. (2017). SOCIEDAD DE ERGONOMISTAS DE MEXICO, A.C. - ERGONOMIA - Ergonomía. [online] Available at: <http://www.semac.org.mx/index.php/ergonomia.html>
- 3- Viladot Voegeli, A (2004). Lecciones básicas de biomecánica del aparato locomotor, Masson
- 4- Milenio digital. (2014, Abril 12). IMSS busca que lesiones musculoesqueléticas tengan rehabilitación. Milenio. Recuperado de <http://www.milenio.com>
- 5- Sánchez, Julián. (2010, Abril 27). IMSS advierte sobre accidentes laborales. El universal. Recuperado de <http://archivo.eluniversal.com.mx>
- 6- Nordin M, Frankel, Victor H. (2004) Biomecánica básica del sistema musculoesquelético, 3ra Edición, España: Editorial, Mc Graw Hill
- 7- <http://optitrack.com>
- 8- Diego-Mas, Jose Antonio. Evaluación del riesgo por movimientos repetitivos mediante el Check List Ocra. Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. [consulta 05-10-2017].
- 9- <https://www.mastermagazine.info/termino/5290.php>
- 10- Torres Madrigal, D. (2016). Exploración y evaluación de mecanismos para la captura de la posición y posturas de las personas en entornos reales. Licenciatura. Universidad Politécnica de Madrid.
- 11- Rodríguez, J. (2013). Las enfermedades profesionales musculoesqueléticas desde la perspectiva biomecánica. Revista de la sociedad española de salud laboral en la administración pública., (3º Edición).

13 ANEXO: Tablas para evaluación método OCRA

TABLA 13.1

Esta tabla presenta posibles situaciones respecto a los periodos de recuperación (FR), debiendo escogerse la más parecida a la situación real del puesto.

Situación de los periodos de recuperación	Puntuación
- Existe una interrupción de al menos 8 minutos cada hora de trabajo (contando el descanso del almuerzo). - El periodo de recuperación está incluido en el ciclo de trabajo (al menos 10 segundos consecutivos de cada 60, en todos los ciclos de todo el turno)	0
- Existen al menos 4 interrupciones (además del descanso del almuerzo) de al menos 8 minutos en un turno de 7-8 horas. - Existen 4 interrupciones de al menos 8 minutos en un turno de 6 horas (sin descanso para el almuerzo).	2
- Existen 3 pausas, de al menos 8 minutos, además del descanso para el almuerzo, en un turno de 7-8 horas. - Existen 2 pausas, de al menos 8 minutos, en un turno de 6 horas (sin descanso para el almuerzo).	3
- Existen 2 pausas, de al menos 8 minutos, además del descanso para el almuerzo, en un turno de 7-8 horas. - Existen 3 pausas (sin descanso para el almuerzo), de al menos 8 minutos, en un turno de 7-8 horas. - Existe 1 pausa, de al menos 8 minutos, en un turno de 6 horas.	4
- Existe 1 pausa, de al menos 8 minutos, en un turno de 7 horas sin descanso para almorzar. - En 8 horas sólo existe el descanso para almorzar (el descanso del almuerzo se incluye en las horas de trabajo).	6
- No existen pausas reales, excepto de unos pocos minutos (menos de 5) en 7-8 horas de turno.	10

TABLA 13.2

Conocidos los valores de ATD y ATE, la puntuación del factor FF se obtendrá como el máximo de los dos valores: $FF = \text{Max} (ATD ; ATE)$.

Acciones técnicas dinámicas	ATD
Los movimientos del brazo son lentos (20 acciones/minuto). Se permiten pequeñas pausas frecuentes.	0
Los movimientos del brazo no son demasiado rápidos (30 acciones/minuto). Se permiten pequeñas pausas.	1
Los movimientos del brazo son bastante rápidos (más de 40 acciones/minuto). Se permiten pequeñas pausas.	3
Los movimientos del brazo son bastante rápidos (más de 40 acciones/minuto). Sólo se permiten pequeñas pausas ocasionales e irregulares.	4
Los movimientos del brazo son rápidos (más de 50 acciones/minuto). Sólo se permiten pequeñas pausas ocasionales e irregulares.	6
Los movimientos del brazo son rápidos (más de 60 acciones/minuto). La carencia de pausas dificulta el mantenimiento del ritmo.	8
Los movimientos del brazo se realizan con una frecuencia muy alta (70 acciones/minuto o más). No se permiten las pausas.	10

Acciones técnicas estáticas	ATE
Se sostiene un objeto durante al menos 5 segundos consecutivos realizándose una o más acciones estáticas durante 2/3 del tiempo de ciclo (o de observación).	2,5
Se sostiene un objeto durante al menos 5 segundos consecutivos, realizándose una o más acciones estáticas durante 3/3 del tiempo de ciclo (o de observación).	4,5

TABLA 13.3

El cálculo del Factor de Fuerza se basa en cuantificar el esfuerzo necesario para llevar a cabo las acciones técnicas en el puesto. Para ello, en primer lugar, se identificarán las acciones que requieren el uso de fuerza de entre las siguientes:

- Empujar o tirar de palancas, pulsar botones, cerrar o abrir, manejar o apretar componentes, utilizar herramientas, elevar o sujetar objetos.

Se obtendrá el valor del Factor Fuerza (FFz) sumando todas las puntuaciones obtenidas.

Fuerza moderada	
Duración	Puntos
1/3 del tiempo	2
50% del tiempo	4
> 50% del tiempo	6
Casi todo el tiempo	8
Fuerza Intensa	
Duración	Puntos
2 seg. cada 10 min.	4
1% del tiempo	8
5% del tiempo	16
> 10% del tiempo	24
Fuerza casi Máxima	
Duración	Puntos
2 seg. cada 10 min.	6
1% del tiempo	12
5% del tiempo	24
> 10% del tiempo	32

Esfuerzo	Puntuación	OCRA FFz
Nulo	0	No se considera
Muy débil	1	
Débil	2	
Moderado	3	Fuerza moderada
	4	
Fuerte	5	Fuerza intensa
	6	
Muy fuerte	7	Fuerza casi máxima
Cercano al máximo	8	
	9	
	10	

TABLA 13.4

Obtenidas las 5 puntuaciones anteriores puede calcularse el valor del Factor de Posturas y Movimientos (**FP**). Para ello, a la mayor de las puntuaciones obtenidas para el hombro, el codo, la muñeca y la mano, se le sumará la puntuación obtenida para los factores estereotipados según la ecuación: $FP = \text{Max} (P_{Ho} ; P_{Co} ; P_{Mu} ; P_{Ma}) + P_{es}$

Posturas y movimientos del hombro	P _{Ho}
El brazo/s no posee apoyo y permanece ligeramente elevado algo más de la mitad el tiempo	1
El brazo se mantiene a la altura de los hombros y sin soporte (o en otra postura extrema) más o menos el 10% del tiempo	2
El brazo se mantiene a la altura de los hombros y sin soporte (o en otra postura extrema) más o menos el 1/3 del tiempo	6
El brazo se mantiene a la altura de los hombros y sin soporte más de la mitad del tiempo	12
El brazo se mantiene a la altura de los hombros y sin soporte todo el tiempo	24
<i>(*) Si las manos permanecen por encima de la altura de la cabeza se duplicarán las puntuaciones.</i>	

Posturas y movimientos del codo	P _{Co}
El codo realiza movimientos repentinos (flexión-extensión o prono-supinación extrema, tirones, golpes) al menos un tercio del tiempo	2
El codo realiza movimientos repentinos (flexión-extensión o prono-supinación extrema, tirones, golpes) más de la mitad del tiempo	4
El codo realiza movimientos repentinos (flexión-extensión o prono-supinación extrema, tirones, golpes) casi todo el tiempo	8

Posturas y movimientos de la muñeca	P _{Mu}
La muñeca permanece doblada en una posición extrema o adopta posturas forzadas (alto grado de flexión-extensión o desviación lateral) al menos 1/3 del tiempo	2
La muñeca permanece doblada en una posición extrema o adopta posturas forzadas (alto grado de flexión-extensión o desviación lateral) más de la mitad del tiempo	4
La muñeca permanece doblada en una posición extrema, todo el tiempo	8

Duración del Agarre	PMa
Alrededor de 1/3 del tiempo	2
Más de la mitad del tiempo	4
Casi todo el tiempo.	8
<i>(*) El agarre se considerará solo cuando sea de alguno de estos tipos: agarre en pinza o pellizco, agarre en gancho o agarre palmar..</i>	

Movimientos estereotipados	PEs
- Existe repetición de movimientos idénticos del hombro, codo, muñeca, o dedos, al menos 2/3 del tiempo - El tiempo de ciclo está entre 8 y 15 segundos.	1.5
- Existe repetición de movimientos idénticos del hombro, codo, muñeca o dedos, casi todo el tiempo - El tiempo de ciclo es inferior a 8 segundos	3

TABLA 13.5

Los factores adicionales se engloban en dos tipos, los de tipo físico-mecánico y los derivados de aspectos socio-organizativos del trabajo. Para obtener la puntuación del Factor de Riesgos Adicionales (FC), se escogerá una opción de la tabla para obtener la puntuación **F_{fm}** de los factores físico-mecánicos. Posteriormente se buscará la opción adecuada para los factores socio-organizativos obteniendo la puntuación **F_{so}**. Por último, se sumarán ambas puntuaciones para obtener FC: $FC = F_{fm} + F_{so}$

Factores socio-organizativos	Fso
El ritmo de trabajo está parcialmente determinado por la máquina, con pequeños lapsos de tiempo en los que el ritmo de trabajo puede disminuirse o acelerarse	1
El ritmo de trabajo está totalmente determinado por la máquina	2

Factores físico-mecánicos	Ffm
Se utilizan guantes inadecuados (que interfieren en la destreza de sujeción requerida por la tarea) más de la mitad del tiempo	2
La actividad implica golpear (con un martillo, golpear con un pico sobre superficies duras, etc.) con una frecuencia de 2 veces por minuto o más	2
La actividad implica golpear (con un martillo, golpear con un pico sobre superficies duras, etc.) con una frecuencia de 10 veces por hora o más	2
Existe exposición al frío (menos de 0°) más de la mitad del tiempo	2
Se utilizan herramientas que producen vibraciones de nivel bajo/medio 1/3 del tiempo o más	2
Se utilizan herramientas que producen vibraciones de nivel alto 1/3 del tiempo o más	2
Las herramientas utilizadas causan compresiones en la piel (enrojecimiento, callosidades, ampollas, etc.)	2
Se realizan tareas de precisión más de la mitad del tiempo (tareas sobre áreas de menos de 2 o 3 mm.)	2
Existen varios factores adicionales concurrentes, y en total ocupan más de la mitad del tiempo	2
Existen varios factores adicionales concurrentes, y en total ocupan todo el tiempo	3
<i>(*) Si concurren varios factores se escogerá alguna de las dos últimas opciones..</i>	

TABLA 13.6

El multiplicador de división va a depender del Tiempo Neto de Trabajo Repetitivo.

Tiempo Neto de Trabajo Repetitivo (TNTR) en minutos	MD
60-120	0.5
121-180	0.65
181-240	0.75
241-300	0.85
301-360	0.925
361-420	0.95
421-480	1
> 480	1.5

14 ANEXO 2

14.1 - Especificaciones cámara Flex 13:



Camera Body

- Width: 2.12 inches (53.8 mm)
- Height: 3.19 inches (81 mm)
- Depth: 1.67 inches (42.4 mm)
- Weight: 6.6 ounces (187 g)
- Mounting: 1/4"-20 tripod thread
- Status Indicators:
 - 2 digit numeric LEDs
 - 1 bicolor status LED

LED Ring

- 28 LEDs
- 850 nm IR
- Adjustable brightness
- Strobe or Continuous Illumination
- Removable

Image Processing Types

- Object
- Segment
- Precision Grayscale
- MJPEG Grayscale
- Raw Grayscale

Lens & Filter

- Stock Lens: 5.5 mm F#1.8
 - Horizontal FOV: 56°
 - Vertical FOV: 46°
- Optional Lens: 8 mm F#1.8
 - Horizontal FOV: 42°
 - Vertical FOV: 34°
- M12 Lens Mount
- Adjustable focus w/ spring assist
- 800 nm IR long pass filter
- Optional: 800 nm IR long pass filter w/ Filter Switcher

Image Sensor

- Imager Size : 6.144 mm × 4.9152 mm
- Pixel Size : 4.8 μm × 4.8 μm
- Imager Resolution : 1280 × 1024 (1.3 Megapixels)
- Frame Rate: 30-120 FPS (adjustable)
- Latency: 8.3 ms
- Shutter Type: Global
- Shutter Speed:
 - Default: 500 μs
 - Minimum: 20 μs
 - Maximum: 7.5 ms (at 120 FPS)

14.2 - Especificaciones Optitrack OptiHub:

USB Modes Supported	USB2.0: High-Speed (480Mbps), Full-Speed (12Mbps), Low-Speed (1.5Mbps)
USB Ports	Uplink: 1 Downlink: 6
Power Input	OptiHub 1 : 12V @ 3.0A OptiHub 2 : 12V @ 3.8A
Power Output	OptiHub 1 : 3.5W (700mA @ 5V) max per port OptiHub 2 : 5.0W (1000mA @ 5V) max per port
Status LEDs	• Power • Uplink Port Status • Downlink Port Status • Sync Activity
Sync Input Sources	1. Internally Generated 2. Cascaded OptiHub Output 3. External Digital Input 4. Software Trigger (from PC via USB)
External Sync Input	Opto-isolated Input, (LV)TTL compatible $V_{ih(max)}$: 0.8V $V_{ih(min)}$: 2.5V $V_{is(max)}$: 13V Max Freq : 10kHz
External Sync Output	LV-TTL Digital Output
External Sync Output Types	1. Exposure Pulse 2. External Sync Input Pass-Through

	3. Recording Active – Level Output 4. Recording Active – Frame Pulse
External Sync Output Polarity	Normal or Reverse
External Sync Input Divider	1:1 – 1:15
External Sync Input Trigger Modes	1. Rising-Edge 2. Falling-Edge 3. Either-Edge 4. High-Level Gated 5. Low-Level Gated
External Sync Input Trigger Delay	0 – 65ms
Internally Generated Trigger Rate	8 – 100 Hz
OptiTrack™ Camera Sync Modes	1. OptiSync (sync signaling is carried using out-of-band signaling on the power conductors of standard USB cables) 2. WiredSync (dedicated camera-to-camera daisy-chain cables provided by NaturalPoint)
Compatible Stereo-Vision Systems	1. Stereographics CrystalEyes™ 2. NuVision 60GX 3. NuVision APG6000 Refresh Rates: 60/90/96/100/120/200 FPS