

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE COLOCACION DE LA MUÑECA DURANTE EL  
TECLEO EN COMPUTADORA**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN INGENIERIA INDUSTRIAL**

**Ing. Jorge Adrián Aguilar Angulo**

**Director:**

**Dr. Gerardo Meza Partida**

**Hermosillo, sonora, México**

**Noviembre 2018**



## **AGRADECIMIENTOS**

Este logro lo dedico a mi familia por todo su apoyo y por impulsarme a siempre ser una mejor persona y darme los ánimos para siempre llevar a cabo y concluir mis metas y proyectos. Ustedes han sido mi ejemplo a seguir en mi vida, su cariño y amor me han impulsado a seguir adelante, sus esperanzas puestas en mi son las que me dieron las fuerzas para concluir con este proyecto.

A mis padres por ser el ejemplo a seguir y por inculcarme siempre los valores que rigen mi vida y por siempre motivarme cada día a cumplir con todos los proyectos que me proponga y darme siempre la comprensión y fortaleza a lo largo de mi vida.

A mis asesores por el apoyo que me han brindado en la realización de este proyecto, ya que me han mostrado una forma nueva de hacer las cosas, y por sus consejos que me han brindado a lo largo de estos dos años, gracias.

## RESUMEN

Las molestias en manos y muñecas han sido una de las quejas más constantes entre las personas que laboran tecleando en computadoras, debido a que este es un trabajo estático y repetitivo que afecta a los miembros superiores del cuerpo por el trabajo prolongado. Por esta razón se pretende llevar a cabo un estudio para reducir los riesgos ergonómicos para los trabajadores. La investigación tiene como objetivo determinar el desempeño de trabajadores al hacer uso como herramienta de apoyo la computadora, analizando su rendimiento en base a sus medidas antropométricas y comprobar la posición óptima para el teclado.

El trabajo realizado en oficinas se estima que puede ser evaluado en base a las medidas antropométricas de las personas en relación con su desempeño durante una actividad manual. Actividades comunes como la captura de información en una computadora, puede servir como parámetro para evaluar una función cotidiana en base a las medidas corporales de las personas.

El documento hablará sobre el desempeño esperado de las personas al capturar información con relación a sus medidas antropométricas, así como la obtención de un modelo con regresión por segmentos que determine las variables significativas en la realización de esta actividad.

**Abstract:** The discomfort in hands and wrists have been one of the most constant complaints among people who work typing in computers, because this is a static and repetitive work that affects the upper limbs of the body for prolonged work. For this reason it is intended to carry out a study to reduce ergonomic risks for workers. The objective of the research is to determine the performance of workers when using the computer as a support tool, analyzing their performance based on their anthropometric measurements and checking the optimal position for the keyboard.

The work done in offices is estimated to be evaluated based on the anthropometric measurements of people in relation to their performance during a manual activity. Common activities such as the capture of information in a computer, can serve as a parameter to evaluate a daily function based on the body measurements of people.

The document will talk about the expected performance of people when capturing information in relation to their anthropometric measurements, as well as obtaining a model with regression by segments that determines the significant variables in the performance of this activity.

**Key words:** musculoskeletal disorders, anthropometric variables, handwork.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
I.- INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Planteamiento del problema a solucionar .....	4
1.2 Hipótesis .....	4
1.3 Objetivo general.....	5
1.4 Objetivos particulares.....	5
1.5 Justificación del del tema de investigación .....	5
1.6 Metas y alcances .....	6
II.- MARCO TEÓRICO .....	7
2.1 Ergonomía .....	7
2.2 Antecedentes históricos de la ergonomía .....	10
2.3 Biomecánica.....	13
2.4 Antropometría.....	14
2.5 Trastornos musculo esqueleticos.....	16
2.6 Biomecanica de la muñeca .....	21
2.7 Estado del arte.....	23
2.8 Metodo de regresion lineal.....	32
III.- MATERIALES Y MÉTODO .....	29
3.1 Caracterización del trabajo .....	29
3.2 Materiales .....	33
IV.- RESULTADOS .....	35
4.1 Modelo y ecuación de regresión experimento 1.....	42
4.1.1 Posición neutral .....	42
4.1.2 Posición extendida.....	44
4.1.3 Posición flexionada.....	46
4.2 Modelo y ecuación de regresión experimento 2.....	48
4.2.1 Posición neutral .....	48
4.2.2 Posición extendida.....	50
4.2.3 Posición flexionada.....	52

4.3 Experimento 3.....	54
4.4 Modelo y ecuación de regresión experimento 3.....	56
4.4.1 Posición neutral .....	56
4.4.2 Posición extendida.....	58
4.4.3 Posición extendida.....	60
4.5 Adecuación del modelo de regresión .....	62
V.- CONCLUSIONES .....	64
VI.- BIBLIOGRAFÍA.....	67
VII.- ANEXOS.....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Porcentaje de lesiones por región anatómica.....	3
Tabla 4.1. Voluntarios y rendimiento promedio experimento 1 .....	36
Tabla 4.2. Voluntarios y rendimiento promedio experimento 2 .....	37
Tabla 4.3. Comprobación y residuales posición neutral.....	43
Tabla 4.4. Comprobación y residuales posición extendida.....	45
Tabla 4.5. Comprobación y residuales posición flexionada.....	47
Tabla 4.6. Comprobación y residuales posición neutral.....	49
Tabla 4.7. Comprobación y residuales posición extendida.....	51
Tabla 4.8. Comprobación y residuales posición flexionada.....	53
Tabla 4.9. Voluntarios y rendimiento experimento 3.....	54
Tabla 4.10 Comprobación y residuales posición neutral.....	57
Tabla 4.11. Comprobación y residuales posición extendida.....	59
Tabla 4.12. Comprobación y residuales posición flexionada.....	61
Tabla 4.13 Conjunto de datos de predicción.....	62



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Posturas al utilizar el teclado (Melo, 2005) .....	18
Figura 2.2: Corte frontal de la muñeca (Viladot, 2001).....	21
Figura 3.1: Posiciones de la muñeca utilizadas por Qin, J. et al (2013).....	30
Figura 3.2: Actividades a realizar.....	33
Figura 4.1: Análisis de varianza posición neutral, experimento 1.....	38
Figura 4.2: Análisis de varianza posición extendida, experimento 1.....	39
Figura 4.3: Análisis de varianza posición flexionada, experimento 1.....	40
Figura 4.4: Análisis de varianza posición neutral, experimento 2.....	40
Figura 4.5: Análisis de varianza posición extendida, experimento 2.....	41
Figura 4.6: Análisis de varianza posición flexionada, experimento 2.....	41
Figura 4.7: Corrida para posición neutral en experimento 1.....	42
Figura 4.8: Ecuación de regresión lineal en posición neutral, experimento 1.....	43
Figura 4.9: Diagramas de residuales para posición neutral experimento 1.....	44
Figura 4.10: Coeficientes en posición extendida en experimento 1.....	44
Figura 4.11: Ecuación de regresión lineal en posición extendida, experimento 1.....	45
Figura 4.12: Diagramas de residuales para posición extendida experimento 1.....	46
Figura 4.13: Corrida para posición flexionada en experimento 1.....	46
Figura 4.14: Ecuación de regresión lineal en posición flexionada, experimento 1.....	47
Figura 4.15: Diagramas de residuales para posición flexionada experimento 1.....	47
Figura 4.16: Corrida para posición neutral en experimento 2.....	48
Figura 4.17: Ecuación de regresión lineal en posición neutral, experimento 2.....	49
Figura 4.18: Diagramas de residuales para posición neutral experimento 2.....	50

Figura 4.19: Corrida para posición extendida en experimento 2.....	50
Figura 4.20: Ecuación de regresión lineal en posición extendida, experimento 2.	50
Figura 4.21: Diagramas de residuales para posición extendida experimento 2...	51
Figura 4.22: Corrida para posición flexionada en experimento 2.....	53
Figura 4.23: Ecuación de regresión lineal en posición flexionada, experimento 2.	53
Figura 4.24: Diagramas de residuales para posición flexionada experimento 2...	53
Figura 4.25: Análisis de varianza posición neutral, experimento 3.....	55
Figura 4.26: Análisis de varianza posición extendida, experimento 3.....	55
Figura 4.27: Análisis de varianza posición flexionada, experimento 3.....	56
Figura 4.28: Corrida para posición neutral en experimento 3.....	57
Figura 4.29: Ecuación de regresión lineal en posición neutral, experimento 3.....	57
Figura 4.30: Diagramas de residuales para posición neutral experimento 3.....	58
Figura 4.31: Corrida para posición extendida en experimento 3.....	58
Figura 4.32: Ecuación de regresión lineal en posición extendida, experimento 3.	59
Figura 4.33: Diagramas de residuales para posición extendida experimento 3...	59
Figura 4.34: Corrida para posición flexionada en experimento 3.....	60
Figura 4.35: Ecuación de regresión lineal en posición flexionada experimento 3.	60
Figura 4.36: Diagramas de residuales para posición flexionada experimento 3...	61

## I.- INTRODUCCIÓN

El documento habla sobre los trabajos que requieren largas jornadas laborales frente la computadora, como estos se han expandido y de los riesgos ergonómicos que los empleados de este tipo de trabajos tienen y como entrenarlos para disminuirlos. También se incluirán datos obtenidos de estudios anteriores para poder tener una idea sobre las enfermedades musculares que más aquejan a los empleados tomando en cuenta como referencia los call center y trabajos de oficina.

Los call centers nacieron de la oportunidad de prestar un servicio inmediato al cliente a través del teléfono. Al principio era principalmente informativo y tenía un carácter de servicio a la oferta principal del producto. Sin embargo, su utilización se expandió considerablemente debido principalmente a dos factores:

- Fuerte competencia, que convirtió un servicio de lujo en un canal habitual y necesario de contacto con el cliente.
- Fuerte demanda del cliente particular, que cada vez goza de menos tiempo de ocio y por tanto le da más valor a su tiempo libre. (Muñiz, 2014)

Se empezaron a utilizar para solucionar las necesidades de las grandes empresas y tener un contacto directo con sus potenciales consumidores y clientes. Gracias a la implementación de internet, los call centers han ido evolucionando y tenido transformaciones, como pasar del uso de la telefonía tradicional hasta convertirse en centros virtuales. (Helper, 2016)

Se cree que la primera vez que el término call center se empezó a utilizar fue en una publicación de *Data Communications* en 1983, con la siguiente oración: “Cada uno de los call centers trabaja con personal que utiliza terminales inteligentes *Honeywell*, lo que les permite cotizar y dar descuentos a una gran cantidad de usuarios.” (Helper, 2016)

Los orígenes de los call centers modernos datan de la década de 1960 en el Reino Unido. La *Private Automated Business Exchanges* (PABX) los empezó a utilizar para poder manejar un gran número de contacto con los clientes. Se define a un Call Center como una oficina con personal y equipo para manejar una gran cantidad de llamadas, usando una computadora para asistir en la administración de llamadas, proveer información, etc. Este tipo de oficinas provee contacto centralizado y funciones de servicio al cliente para una organización o empresa. (Helper, 2016).

El uso de los call centers se ha extendido en gran manera debido a que las nuevas tecnologías de comunicación y la información han tenido un gran crecimiento, además de los bajos costos de las llamadas. La evolución en la tecnología de los call centers, el sistema y la infraestructura han permitido la transformación de las grandes marcas y organizaciones. El servicio al cliente, servicios de mercadeo y ventas son solo algunos ejemplos (Sartika T. , 2015).

El trabajo desempeñado en estas jornadas laborales requieren del uso constante de la computadora, lo que trae como consecuencia lesiones en la región anatómica de la mano y muñeca.

Los trastornos músculo esqueléticos como el síndrome del túnel de carpo y lesiones del hombro son de las que más afectan a este tipo de trabajadores. Según informes de Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), en el año 2016 hubo registrados en total 12,622 casos de lesiones en los trabajadores, de los cuales 636, o un 5% de los casos se trató del síndrome del túnel carpiano y 503 casos de lesiones del hombro, que equivale a un 4%. Se observó que hubo un aumento considerable durante los últimos cinco años; en el año 2011 hubo un total de 4105 casos, de los que el síndrome del túnel carpiano hubo un 3.6% del total, que son 147 casos y 110 lesiones de hombro, que es el 2.7%. Esto quiere decir que hubo un incremento considerable en México y esto muestra la incidencia que los trabajos de oficina pueden afectar a los empleados. (IMSS, 2017)

La tabla 1.1 muestra la frecuencia de lesiones por región anatómica en México, según la región anatómica donde se presentan, de acuerdo a estadísticas proporcionadas por el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2018).

**Tabla 1.1** Porcentaje de lesiones por región anatómica.

<b>Región Anatómica</b>	<b>%</b>
Muñeca y mano	28.10%
Tobillo y pie	14.35%
Cabeza y cuello	11.65%
Extremidades inferiores (excluye tobillo y pie)	11.46%
Extremidades superiores (excluye muñeca y mano)	10.33%
Varios (frecuencia menor)	10.22%
Región abdominal y espalda	7.34%
Varios cuerpo en general (lesiones múltiples)	2.46%
Tórax (lesiones en órganos intratorácicos)	2.16%
Ojo	1.93%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Como se puede observar en esta tabla, en la muñeca y mano es donde se observa el mayor porcentaje de los casos con 28.10%, casi el doble de porcentaje en consideración a la región anatómica siguiente que es el tobillo y pie con 14.35% en tercer lugar se encuentra la cabeza y cuello con 11.65%, extremidades inferiores (excluye tobillo y pie) con 11.46% en cuarto lugar, extremidades superiores (excluye muñeca y mano) con 10.33%, seguido por varios (frecuencia menor) con 10.22%, región abdominal y espalda con 7.34%, varios cuerpo en general (lesiones múltiples) 2.46%, tórax 2.16% y el lesiones en el ojo con 1.93%.

Hay pocos estudios que informen sobre la incidencia de los desórdenes músculo esqueléticos (MSD por sus siglas en inglés), un ejemplo de estos es el

estudio en el que se basa el presente documento, que es el de (Qin, 2013), por lo tanto se pretende realizar una investigación que nos permita adquirir conocimiento sobre los desórdenes musculares en los trabajadores que realizan trabajo asistido por computadora, como en el caso de los call centers y presentar un modelo para implementar conocimiento de los riesgos ergonómicos y disminuir el número de casos de trabajadores con desórdenes músculo esqueléticos. La mayor parte de los empleados en este tipo de empresas presenta dolores musculares, como dolor de cuello y hombros, espalda, espalda baja, codos y muñeca. Estos padecimientos son causados en gran parte debido a que están la mayor parte de su jornada sentados sin cambiar de posición, además de que están en posiciones incómodas casi siempre las estaciones de trabajo no están adecuadas para que el trabajador haga sus tareas cómodamente. Esto les genera lesiones por estrés repetitivo. Algunos factores que influyen en esto son la antigüedad del trabajador y la cantidad de horas que este labora diariamente.

### **1.1 Planteamiento del Problema a Solucionar**

Como se mencionó anteriormente, los trabajadores de oficina, entre estos los de call centers, están expuestos a lesiones y desórdenes músculo esqueléticos (MSD) por el estrés repetitivo que este conlleva. Las lesiones más comunes ocurren en la muñeca (como la tendinitis) y el cuello. Las estaciones de trabajo no están acondicionadas apropiadamente para la comodidad del trabajador, además que este no tiene conocimientos sobre el correcto uso de estas, siendo las principales causas de que exista esta problemática dentro de las empresas.

### **1.2 Hipótesis**

El estrés muscular incrementa con posturas no neutrales. Específicamente, este aumenta con la muñeca flexionada.

Las medidas antropométricas de las personas influyen en el desempeño al utilizar el teclado de la computadora.

Hay un mejor desempeño al utilizar la posición neutral con respecto a las posiciones flexionada y extendida.

### **1.3 Objetivo General**

El objetivo de este estudio es el de medir el efecto de la postura en la muñeca y antebrazo al utilizar un teclado de computadora y como pueden influir factores antropométricos en su desempeño.

### **1.4 Objetivos Particulares**

Medir el desempeño del trabajador en cada una de las tres posiciones de la muñeca al utilizar la computadora e implementar un proyecto para acondicionar las áreas de trabajo.

Describir en base a las medidas antropométricas el desempeño de las personas al utilizar la computadora.

### **1.5 Justificación del Tema de Investigación**

En los call center y trabajos de oficina los empleados están expuestos a un riesgo ergonómico alto a su salud. Al estar sentados por un tiempo prolongado frente a la computadora pueden adquirir desórdenes musculares esqueléticos causados por estrés repetitivo (Poochada, 2015). Esto deriva en un gasto grande e innecesario para la empresa porque esta se ve obligada a pagar gastos médicos e indemnizaciones a los empleados (Jacobs, 2000). Por eso es importante que se implemente un proyecto que ayude a disminuir los riesgos de que los empleados adquieran lesiones. También se debe de entrenar al personal sobre la forma correcta de utilizar su equipo de trabajo para que estén conscientes de las lesiones que pueden contraer.

## **1.6 Metas y Alcances**

La meta de la presente investigación es que al ser finalizada, la empresa y sus empleados tengan un mejor desempeño. Esto se logrará con instalaciones adecuadas con un área de trabajo segura y cómoda para el trabajador, mejorándolas de acuerdo a los principios ergonómicos. Estas deben ser capaces de adaptarse a las necesidades de todos los agentes que las utilicen. Se tiene como propósito el obtener un conocimiento sobre los riesgos ergonómicos de utilizar su estación de trabajo de forma inadecuada.

El estudio solo representará a empleados sin desórdenes musculares previos, por lo tanto no se podrá definir los riesgos que el trabajo conlleva para trabajadores con enfermedades o lesiones previas. Además, es posible que los resultados no coincidan totalmente con estudios anteriores debido a las condiciones de los voluntarios al realizar la prueba y este solo abarcará las posiciones básicas de la muñeca al momento de utilizar el teclado. Otro factor que influye es la antigüedad del trabajador.

Para el presente documento posiblemente solo se mostrará el desempeño del trabajador en base a sus medidas antropométricas, se determinará si para este trabajo se obtendrán datos sobre la fatiga generada en las tres posiciones de la muñeca y si se necesitará de otro estudio que muestre la fatiga.



## II.- MARCO TEORICO

Este capítulo tratará sobre las definiciones de los temas que se hablará en el presente documento de tesis, además de información histórica sobre ergonomía y la definición de los métodos que se utilizaran para llevar a cabo la investigación.

Desde tiempos remotos, nuestros ancestros vivían en un ambiente en el que su existencia dependía de las actividades que podían realizar con las manos y pies; como obtener comida y perseguir presas para abastecerse de comida. Con el paso de los siglos, los seres humanos elaboraron utensilios y construyeron refugios para mantenerse con vida y llevar una vida más tolerable.

En nuestros tiempos se ha incrementado un mayor interés en el factor humano dentro del desarrollo tecnológico. El factor humano considera el diseño de las cosas que las personas usan y como este puede ser más fácil, su meta es guiar la forma en la que se aplica la tecnología para lograr direccionarla a aportar beneficios para la humanidad.

### 2.1 Ergonomía

El término ergonomía proviene de las palabras griegas *ergon* (trabajo) y *nomos* (ley o norma) y esta se encarga del diseño de los lugares de trabajo, herramientas y tareas para que coincidan con las características fisiológicas, anatómicas, psicológicas y capacidades físicas del trabajador. Busca la optimización del sistema humano-máquina, para lo cual elabora métodos de la persona, de la técnica y de la organización. Los planteamientos de los sistemas persona-máquina surgen de las prestaciones reales que podemos alcanzar con referencia a las características teóricas y el análisis exhaustivo de las capacidades y limitaciones de las personas. (Mondelo, 2000)

La ergonomía es la ciencia que estudia la adaptación del medio al hombre; en el ámbito laboral: la relación entre el trabajador que efectúa la tarea y la forma en que está diseñado su puesto y el modo con que realiza la tarea. El

análisis de esta relación tiene como fin adaptar el trabajo al hombre, considerando sus características físicas y las de la tarea que debe desempeñar, a fin de evitar la generación de enfermedades o lesiones.

En la ciencia ergonómica confluyen principios de biología, psicología, anatomía, biomecánica y fisiología. Esta comunión tiene por objetivo, suprimir todas aquellas situaciones que pueden provocar cansancio, lesiones, incomodidad que, a largo o mediano plazo, provocarán enfermedades a veces irreversibles.

Sin embargo hoy se conoce que no contemplar los aspectos ergonómicos obliga al trabajador a adaptarse a condiciones deficientes y por lo tanto a exponerse al riesgo de sufrir daños en su salud. Este tipo de riesgos y sus consecuencias han ido en aumento: cada vez es mayor la cantidad de personas que se ven afectadas por la escasez de diseños adecuados. Por ello, la ergonomía se integra hoy al conjunto de acciones preventivas que tienden a lograr el bienestar físico de los trabajadores y por ende a la calidad y aumento de la producción (Melo, 2005).

Para algunos autores la definición de ergonomía y factores humanos se pueden llegar a utilizar como sinónimos, debido a que en ambos se describe la interacción entre el operador y la tarea a realizar, los dos tienen que ver con tratar de reducir el estrés innecesario en estas interacciones. También se ha hecho hincapié en los métodos para reducir la fatiga mediante el diseño de tareas para que caigan dentro de las capacidades de las personas y poder reducir el potencial de error humano (Chengalur, Rodgers, & Bernard, 2004).

El factor humano, según (Chapanis, 1985): *El factor humano descubre y aplica información sobre la conducta humana, habilidades, limitaciones, y otras características para diseñar herramientas, máquinas, sistemas, tareas, trabajos y ambientes para un productivo, seguro, confortable y efectivo uso humano.* (Sanders & McCormick, 1992)

El factor humano, al contrario de la ingeniería, donde el principal interés es las máquinas, son las personas y su interacción con productos, procedimientos y el ambiente de trabajo y forma de vida. El principal enfoque es la aplicación sistemática de información relevante sobre las capacidades humanas, limitaciones, características, comportamiento y motivación del diseño de las cosas y los procedimientos que la gente usa y el ambiente en el que se usan. (Sanders & McCormick, 1992)

Al hablar de ergonomía es importante definirla como una actividad multidisciplinaria que se encarga de reunir la información de las necesidades y capacidades humanas, con el fin de utilizar la información obtenida para el diseño de puestos de trabajo. El propósito de la ergonomía se basa en asegurar que se trabaje de manera armónica entre los humanos y la tecnología, adecuando los equipos de trabajo a las características de las personas. (Acevedo, 2003)

Hay varios principios que se deben tomar en cuenta para evitar los riesgos ergonómicos: como evitar posturas forzadas sostenidas, tener los brazos extendidos o la columna encorvada. Es menos cansado el trabajo sentado que de pie, por ello este último es conveniente que se reduzca al mínimo posible, pero es mucho mejor el que permite alternar una posición con la otra. La rotación de tareas contribuye a cambiar el empleo de diferentes grupos musculares. Las tareas repetitivas en tiempos prolongados obligan a forzar ciertos músculos una y otra vez, además de ser monótona. El levantamiento de pesos conlleva un procedimiento que, de ser el adecuado, evita daños en la columna. El diseño de la tarea a su vez implica un análisis del peso, la forma, el tamaño del objeto y de la frecuencia que el trabajador debe ejecutar esta acción. Las herramientas pueden seleccionarse según sea más cómodo su uso. Aquellos quienes las usan, son los más indicados para sugerir el formato adecuado y el tamaño ideal. (Mondelo, 2000)

En un sistema persona-máquina (P-M), cualquier proyecto que la persona realice está condicionado por un conjunto de sistemas interactuantes,

cada uno de ellos se rige por leyes específicas y en algunos casos, antagónicas. Se podría considerar que un P-M es un conjunto de elementos que interactúan entre sí para lograr un fin común; un P-M avanza en el tiempo siguiendo una serie de reglas con el objetivo de obtener metas determinadas y su rendimiento no depende de los resultados que tiene cada elemento por sí solo, sino por el resultado de las interacciones que tienen todos los sistemas que intervienen en el P-M. (Mondelo, 2000)

La ergonomía se centra en el análisis del subsistema máquina y las limitaciones que la persona le impone a este (motrices, capacidad decisional y de respuesta que le impone) y en optimizar las respuestas del sistema P-M, previendo el grado de fiabilidad que podemos esperar de las relaciones sinérgicas que se generan en los múltiples que integran el sistema P-M y que repercuten en los resultados. (Mondelo, 2000)

Hoy en día las empresas se preocupan por la seguridad y ergonomía en el trabajo, por eso se ve la necesidad de realizar estudios integrales de clasificación y análisis de los puestos de trabajo atendiendo a la fatiga muscular de los operarios (Villalobos & Ripoll, 2003). También la ergonomía se define como el estudio sistemático de las personas en su entorno de trabajo con el fin de mejorar su situación laboral, sus condiciones de trabajo y las tareas que realizan. (Singleton, 2001)

Su objetivo principal es considerar a las personas al momento de diseñar medios de trabajo, objetos y entornos producidos por el hombre, con el fin de poder incrementar la eficiencia funcional de estos y que se trabaje en un ambiente seguro y sin riesgos. (Herrera, 2002)

## **2.2 Antecedentes Históricos de la Ergonomía**

El factor humano se originó desde que las personas desarrollaron las primeras herramientas y utensilios, sin embargo, el desarrollo del factor humano empezó a evolucionar con avances en la tecnología, por lo tanto, este tuvo su

inicio con la revolución industrial durante finales del siglo XIX y principio del siglo XX. (Norman, 1988)

Fue a partir de la Revolución Industrial, cuando se realizaron las primeras investigaciones científicas en este campo. Fue a partir de la Revolución Industrial, cuando surge la exigencia de adaptación de los hombres a las nuevas y complejas máquinas. Esto puso de manifiesto la importancia de los factores humanos debido a que, en sistemas complejos, donde parte de las funciones clásicamente ejecutadas por el hombre han podido ser sustituidas por máquinas, una incorrecta adaptación de las funciones humanas puede invalidar la fiabilidad de todo el sistema. En esta época no sólo se tenían en cuenta los factores físicos del hombre, sino también los fisiológicos y dimensionales que han tenido una función decisiva en el diseño de las máquinas. (Sanders & McCormick, 1992)

En el siglo XIX, Chaveu define el concepto de “trabajo fisiológico” y las primas leyes del gasto del trabajo muscular. Jules Amar, a principios de este siglo, da las bases de la Ergonomía del trabajo físico estudiando el diferente tipo de contracción muscular y se interesa por los problemas de fatiga, los efectos del medio ambiente, temperatura, ruido e iluminación. Durante la Primera Guerra Mundial se ocupa de la readaptación de los heridos y el diseño de prótesis. Sus trabajos le llevan a clasificar a los individuos según sus capacidades. (LLaneza, 2008)

Algunos de los primeros avances en el área del factor humano se dieron gracias a las contribuciones de Frank y Lillian Gilbreth. Su trabajo incluía el estudio del rendimiento y la fatiga y el diseño de estaciones de trabajo para personas con discapacidad. Antes de las contribuciones de los Gilbreth, la idea de adaptar equipos y procedimientos a las personas no había sido muy estudiada. (Sanders & McCormick, 1992)

Durante la Segunda Guerra Mundial se solían hacer pruebas para seleccionar a las personas para poder realizar los trabajos y para la mejora de

procedimientos y entrenamientos. La atención era solamente en encontrar a la persona indicada para el trabajo. Sin embargo, aun eligiendo al candidato más adecuado y con el entrenamiento y selección, la operación de algunos de los equipos más complejos seguían excediendo las capacidades de las personas que lo operaban. Por lo tanto, era tiempo de ajustar el equipo a las capacidades de las personas. Fue durante este periodo después de la guerra que la profesión de los factores humanos tuvo su origen. (Sanders & McCormick, 1992)

Fue durante este periodo, en la Segunda Guerra Mundial, en Estados Unidos, cuando aparece la necesidad de una tecnología que diera respuesta al problema del hombre frente a la técnica (*human factor*) y a la necesidad de adaptar la tarea al hombre. Esta toma de conciencia tuvo lugar a una acción interdisciplinaria que los americanos llamaron "*human engineering*", cuyo objetivo era proyectar, ubicar e instalar los dispositivos técnicos, teniendo en cuenta las limitaciones del operador humano, con el objeto de lograr la máxima eficacia del sistema hombre-máquina. (LLaneza, 2008)

La profesión del factor humano tuvo su origen después de la Segunda Guerra Mundial, cuando se fundó la Sociedad Nacional de Ergonomía en el Reino Unido, una agrupación de médicos psicólogos e ingenieros que se interesan por la adaptación del trabajo al hombre. Durante los siguientes años se llevaron a cabo conferencias, publicaciones sobre el factor humanos aparecieron y laboratorios y compañías consultoras del trabajo humano fueron establecidas. (Sanders & McCormick, 1992), (LLaneza, 2008)

Podemos decir que la ergonomía trata de alcanzar el mayor equilibrio posible entre las necesidades/posibilidades del usuario y las prestaciones/requerimientos de los productos y servicios. (Mondelo, 2000)

## 2.3 Biomecánica

La biomecánica se considera una rama de la bioingeniería y la ingeniería biomédica. La biomecánica utiliza las aplicaciones de la mecánica clásica para el análisis de los sistemas biológicos y fisiológicos (Vera, 1994). Los distintos aspectos de la biomecánica utilizan diferentes partes de la mecánica aplicada (estática, dinámica, mecánica de los sólidos, mecánica de fluidos). Estos principios se han utilizado para analizar la magnitud y la naturaleza de las fuerzas implicadas en varias articulaciones y músculos del sistema músculo esquelético. Para la descripción del movimiento, análisis de la marcha, análisis del movimiento segmentario. La mecánica de los sólidos proporciona las herramientas para desarrollar las ecuaciones constituyentes del campo de los sistemas biológicos, que son usadas para evaluar su comportamiento funcional bajo diferentes situaciones de carga. Los principios de mecánica de fluidos han sido utilizados para investigar el flujo sanguíneo en el sistema circulatorio. (Repetto, 2005)

La biomecánica es la ciencia que aplica las leyes del movimiento mecánico a los sistemas vivos, (LLaneza, 2008). La biomecánica se encarga de varios aspectos de movimientos físicos del cuerpo. Usa leyes de la física y conceptos de ingeniería para describir el movimiento realizado por los varios segmentos del cuerpo y las fuerzas que actúan sobre las partes del cuerpo durante las actividades diarias (Sanders & McCormick, 1992).

Uno de los campos que estudia la biomecánica es la biomecánica ocupacional: esta estudia la interacción del cuerpo humano con los elementos con que se relaciona en diversos ámbitos. Proporciona las bases y las herramientas para reunir y evaluar los procesos biomecánicos en lo que se refiera a la actual evolución de las industrias, con énfasis en la mejora de la eficiencia general de trabajo y la prevención de las lesiones relacionadas con el trabajo y está relacionada íntimamente con la ergonomía de trabajo, que se encarga de adaptar el cuerpo humano a las tareas y herramientas de trabajo. (Ruiz, 2013)

Una de las subdisciplinas de la biomecánica es la *kinesiología*, esta se encarga del estudio del movimiento humano y de la relación de la construcción del sistema músculo esquelético. La kinesiología describe los movimientos de las secciones del cuerpo e identifica las acciones de los músculos responsables de esos movimientos. (Rosenhahn, 2007)

## **2.4 Antropometría**

El término antropometría proviene del griego *anthropos* (hombre) y *metrikos* (medida) y trata del estudio cuantitativo de las características físicas del hombre. Probablemente, el origen de la antropometría científica moderna se encuentre en la obra de Alberto Dureró (1471) *Los cuatro libros de las proporciones humanas*, publicado de modo póstumo en 1528. (Pheasant, 1986)

La antropometría tiene un papel importante en el diseño industrial, en la industria de diseños de indumentaria, en la ergonomía, en la mecánica y en la arquitectura, donde se usan datos estadísticos sobre la distribución de medidas corporales de la población para optimizar sus productos. (Nogareda, 2008)

Se considera a la antropometría como la ciencia que estudia las medidas del cuerpo humano con el fin de establecer diferencias entre individuos, grupos, razas, etc. Sus orígenes datan del siglo XVIII en el desarrollo de estudios de antropometría racial comparativa por parte de antropólogos físicos; sin embargo, fue hasta finales del siglo XIX cuando se considera su descubrimiento y estructuración científica. A partir de 1940, con la necesidad de datos antropométricos en la industria, especialmente la bélica y la aeronáutica, cuando la antropometría se consolida y se desarrolla, debido al contexto bélico mundial. (Pheasant, 1986) Las dimensiones del cuerpo humano varían de acuerdo al sexo, edad, raza, nivel socioeconómico, etc.; por lo que esta ciencia dedicada a investigar, recopilar y analizar estos datos, resulta una directriz en el diseño de los objetos y espacios arquitectónicos, al ser estos contenedores o



prolongaciones del cuerpo y que por lo tanto, deben estar determinados por sus dimensiones.

Actualmente, la antropometría es una disciplina fundamental en el ámbito laboral, tanto en relación con la seguridad como con la ergonomía. La antropometría permite crear un entorno de trabajo adecuado permitiendo un correcto diseño de los equipos y su adecuada distribución, permitiendo configurar las características geométricas del puesto, un buen diseño del mobiliario, de las herramientas manuales, de los equipos de protección individual, etc. (Nogareda, 2008)

Se trata de organizar y diseñar los puestos de trabajo determinando los espacios necesarios para desarrollar la actividad de manera que la persona pueda desarrollar su trabajo realizando todos los movimientos requeridos por la tarea sin verse expuesta a posibles riesgos derivados de la falta de espacio. (Carmona, 2003)

La antropometría estática o estructural es aquella cuyo objeto es la medición de dimensiones estáticas, es decir, aquellas que se toman con el cuerpo en una posición fija y determinada. Sin embargo, el hombre se encuentra normalmente en movimiento, de ahí que se haya desarrollado la antropometría dinámica o funcional, cuyo fin es medir las dimensiones dinámicas que son aquellas medidas realizadas a partir del movimiento asociado a ciertas actividades. (Pheasant, 1986)

El conocimiento de las dimensiones estáticas es básico para el diseño de los puestos de trabajo y permite establecer las distancias necesarias entre el cuerpo y lo que le rodea, las dimensiones del mobiliario, herramientas, etc. Las dimensiones estructurales de los diferentes segmentos del cuerpo se toman en individuos en posturas estáticas, normalizadas bien de pie o sentado. Del cuerpo humano pueden tomarse gran número de datos antropométricos estáticos diferentes que pueden interesar, en función de lo que se esté diseñando. (Panero, 1991)

## 2.5 Trastornos músculo esqueléticos

Los trastornos músculo esqueléticos de origen laboral se definen como los síndromes, padecimientos o lesiones del sistema óseo y muscular originados por: movimientos repetitivos en los miembros superiores; manipulación de cargas y posiciones forzadas sostenidas (Silveti & Idoate, 2000).

La fatiga se define como la reducción de la capacidad de trabajo y resistencia del trabajador. La fatiga crónica, en particular, se refiere a la sensación de cansancio diario, en cuyo caso se intensifica generalmente al final de la tarde, pero puede ser durante el día e incluso, a veces, antes de empezar a trabajar. Una sensación de malestar, frecuentemente de naturaleza emocional, suele acompañar a este estado. En las personas que padecen fatiga se han observado los siguientes síntomas: mayor emotividad psíquica, tendencia a la depresión y falta de energía con pérdida de iniciativa (Grandjean, 2001).

Los trastornos músculo esqueléticos normalmente afectan a la espalda, cuello, hombros y extremidades superiores, aunque también pueden afectar a las extremidades inferiores. Comprenden cualquier daño o trastorno de las articulaciones y otros tejidos. (Takala, 2018)

Estos trastornos presentan características específicas asociadas a diferentes regiones del cuerpo y a diversos tipos de trabajo. Las dolencias de la región inferior de la espalda, por ejemplo, suelen darse en personas que levantan y manipulan pesos o que están sometidas a vibraciones. Las de las extremidades superiores (dedos, manos, muñecas, brazos, codos, hombros o nuca) pueden deberse a la aplicación de una fuerza estática repetitiva o duradera, o pueden acentuarse por efecto de esas actividades. Ese tipo de trastornos puede ser tan leve como un dolor ocasional o tan serio como una enfermedad específica claramente diagnosticada. El dolor puede interpretarse

como la consecuencia de una sobrecarga aguda o reversible o puede indicar el comienzo de una enfermedad grave. (Soo, 2012)

Los problemas de salud abarcan desde pequeñas molestias y dolores a cuadros médicos más graves que obligan a solicitar la baja laboral e incluso a recibir tratamiento médico. En los casos más crónicos, pueden dar como resultado una discapacidad y la necesidad de dejar de trabajar. (Ahmad, 2016)

Los dos grupos principales de “MSD” son los dolores y las lesiones de espalda y los trastornos laborales de las extremidades superiores (que se conocen comúnmente como lesiones por movimientos repetitivos), (Westgaard, 1996).

Otro factor que causa los “MSD” es la carga física: se define a la carga física como factores relacionados a fuerzas biomecánicas en el cuerpo. También se define como “exposición mecánica” que indica que otros factores en el ambiente no son considerados (luz, ruido, organización de trabajo, factores psicológicos). (Osha Europa, 2016)

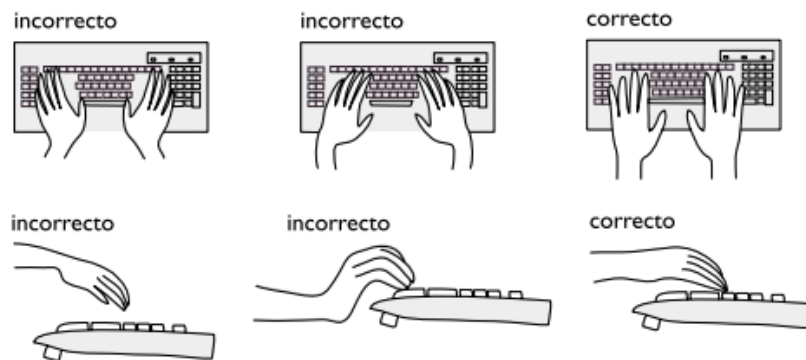
Los trastornos músculo esqueléticos son la principal dolencia en el ámbito laboral y estos traen consecuencias físicas y económicas para quienes los padecen: trabajadores, familias, empresas y gobiernos. Estos trastornos abarcan una gran gama de problemas para la salud que pueden ser desde ligeros dolores hasta trastornos médicos mucho más importantes que podrían llegar a incluir la hospitalización del trabajador (LLaneza, 2008).

Debido a las varias formas en que estos trastornos pueden aparecer, se clasifican en dos grandes grupos: los traumatismos de tipo acumulativo (de extremidades superiores e inferiores) y las lesiones dorso lumbares. (Nogareda, 2008)

**Traumatismos acumulativos:** Este tipo de lesiones han ido incrementando debido a la automatización y el gran número de procesos industriales. Esta automatización ha traído consigo el desmedido incremento de los ritmos de trabajo, la concentración en pequeñas porciones del cuerpo, la adopción de posturas inadecuadas. (Fattorini , y otros, 2016)

Estas dolencias se localizan en músculos, tendones, vainas sinoviales o nervios, y se caracterizan por producir dolor e impotencia funcional pudiéndose prologar durante muchos años. (Fattorini , y otros, 2016)

Hay gran cantidad de actividades que pueden causar la aparición de estas dolencias: tareas repetitivas, trabajos que requieren esfuerzos prolongados, posturas extremas de determinados segmentos corporales, mantenimiento prolongado de cualquier postura, manejo de herramientas no ergonómicas, pesadas y/o vibratorias, exposición de ciertos segmentos corporales al frío o al contacto con superficies duras, trabajos en los que se produzcan combinaciones de los factores anteriores y las condiciones ambientales son algunos ejemplos (LLaneza, 2008). El uso correcto e incorrecto del teclado de la computadora se muestra en la figura 2.1.



**Figura 2.1:** Posturas al utilizar el teclado (Melo, 2005)

**Lesiones dorso lumbar:** este tipo de dolores afectan en especial manera a los trabajadores que dedican una gran parte de su jornada a actividades de arrastre, empuje, levantamiento y transporte de materiales

pesados. Al igual que los traumatismos acumulativos, estas lesiones suelen ser muy dolorosas, reducen la movilidad y suponen una de las principales causas de discapacidad temprana. (Bernard, 1997)

Según (Bernard, 1997), para poder prevenir estas dolencias se debe conocer el tipo de acciones que los originan. Algunos de los factores en el entorno de trabajo que causan los trastornos músculo esqueléticos son:

- Ritmo de trabajo.
- Trabajo repetitivo.
- Horarios de trabajo.
- Sistemas de retribución.
- Trabajo monótono.
- Fatiga.
- Cómo perciben los trabajadores la organización del trabajo.
- Factores psicosociales del trabajo.

La Unidad de Salud Laboral de la Escuela Valenciana de Estudios de la Salud considera seis categorías de factores de riesgo ergonómicos y no ergonómicos de los trastornos músculo-esqueléticos: 1) posturas forzadas (inadecuadas por estar cercanas a los límites de la articulación, exigentes al luchar contra la gravedad, mala posición). 2) Fuerza (del sistema músculo-esquelético al medio externo), esfuerzo (es el que aplica en forma individual cada trabajador) y carga músculo-esquelética (sobre estructuras músculo-esqueléticas, en el músculo, el tendón). 3) Trabajo muscular estático (contracción muscular mantenida sin interrupción, cuando el miembro debe mantenerse en posición luchando contra la gravedad, cuando las estructuras músculo-esqueléticas soportan el peso de un miembro, el trabajo por encima de

los hombros, la intensidad del riesgo depende de la amplitud de la postura y de la duración del mantenimiento, puede ser responsable de la reducción del aporte de sangre a los músculos, lo que produce con rapidez fatiga muscular).

4) Trabajo muscular dinámico; repetición e invariabilidad en el trabajo (actúa como modulador de otros factores de riesgo, tiene efecto multiplicador, la invariabilidad se refiere a la actividad que sigue siendo la misma a lo largo del tiempo con las mismas estructuras músculo-esqueléticas), impide a las estructuras recuperarse e implica un riesgo más elevado de lesiones.

5) Agresores físicos (frío, vibraciones, impactos, presiones mecánicas).

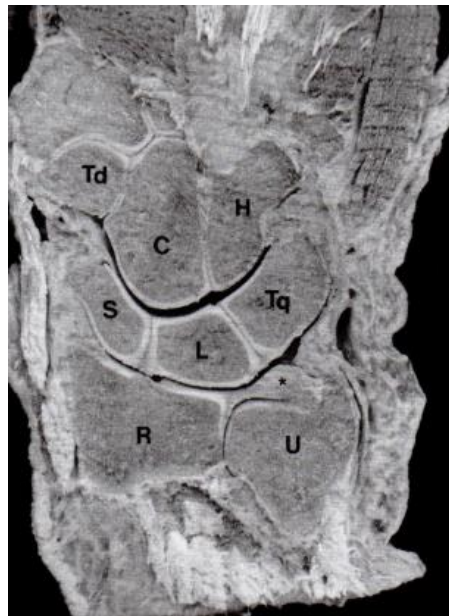
6) Factores organizativos (organización en el trabajo, todo lo que determina en qué condiciones y modalidades se realizará el trabajo, tienen un efecto complejo en el riesgo de lesiones, no son fáciles de identificar en forma clara, determinan la intensidad de los otros factores de riesgo, como posturas, fuerza o repetición, ritmo, estrés, tipo de horario, cambios en tecnología, ambiente social, trabajar solo o en equipo, modo de remuneración, tipo de supervisión. Las relaciones de trabajo influyen en el riesgo de lesiones, trabajo diferente para responder a las exigencias del proceso de producción) que pueden condicionar alteraciones músculo-esqueléticas en los miembros superiores, la columna lumbar y cervical y los miembros inferiores. (Sierra, 2018)

Existen diversas dolencias causadas por los trastornos músculo esqueléticos (Soo, 2012). En el presente documento no concentraremos en las dolencias y lesiones causadas por la postura de la muñeca. Una de las principales lesiones es la tendinitis, que a su vez es causada por la extensión y flexión de la muñeca con fuerza y la desviación cubital con fuerza. Las actividades típicas que dan origen a este trastorno son las operaciones de presión con las manos, trabajos de montaje, trabajos con cables, empaquetado y utilización de alicates. (Qin, 2013)

## 2.6 Biomecánica de la Muñeca

La muñeca es una de las articulaciones más complejas del cuerpo humano, permite gran movilidad, es capaz de soportar importantes fuerzas de compresión, cizallamiento y torsión sin desestabilizarse. La movilidad y estabilidad (capacidad de transmitir cargas sin sufrir subluxaciones) son sus características más esenciales. (Viladot, 2001)

Los huesos carpianos se los ha agrupado en dos hileras transversales. La hilera proximal está formada, de fuera adentro, por escafoides, el semilunar y el piramidal, y la hilera distal, por el trapecio, el trapecoide, el hueso grande y el ganchoso. La figura 2.2 muestra el corte frontal de la muñeca. (Viladot, 2001)



**Figura 2.2:** Corte frontal de la muñeca. (Viladot, 2001)

### **Cinemática articular de la muñeca**

La muñeca, al ser 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. El conocimiento de la cinemática articular de cada una de las articulaciones tiene

interés porque facilita la interpretación y el adecuado tratamiento de muchos de los trastornos que suceden en ella. (Viladot, 2001)

### **Movimiento de flexión-extensión**

Es el 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. Existen algunas variaciones individuales, la flexión activa de la muñeca, con los dedos extendidos, raras veces supera los 90° y es mucho menor con el puño cerrado (65°). La extensión activa es algo menor, en promedio 80° con cualquier posición de los dedos. La extensión pasiva es máxima, en promedio 95° cuando existe una ligera inclinación radial, mientras que la combinación flexión-inclinación cubital pasiva con los dedos puede llegar a 125°. (Viladot, 2001)

### **Movimiento de inclinación radial-cubital (abducción-aducción)**

Se trata de un movimiento que la muñeca realiza en torno a un eje anteroposterior según el cual, situada anatómicamente, se acerca o aleja respecto al eje del cuerpo. La inclinación cubital, o aducción, acerca la mano hacia el cuerpo, mientras que la inclinación radia, o abducción, la aleja de este. El centro de rotación de los movimientos de inclinación lateral de la muñeca tampoco es fijo sino móvil y se localiza alrededor del centro de la cabeza del hueso grande. La amplitud de la inclinación cubital presenta unos valores variables, según cual sea el método utilizado para medirla. Si tomamos el tercer metacarpiano como referencia, la inclinación cubital llega con facilidad a 30 s 40°. La implitud de la inclinación radial, en cambio, no sobrepasa los 15°. (Viladot, 2001)



## 2.7 Estado del Arte

Esta sección hablará sobre estudios realizados con anterioridad en relación a la fatiga y las causas de los traumas y desórdenes músculo esquelético que pueden sufrir los trabajadores.

De acuerdo a un estudio realizado por (Arenas & Cantù, 2013): *Los trastornos músculo-esqueléticos son algunos de los problemas más importantes de salud en el trabajo y causa de ausentismo laboral en la Unión Europea y países de América Latina con repercusiones económicas relevantes en el trabajador, la empresa y las instituciones de salud. Son consecuencia de la sobrecarga muscular en actividades laborales por posturas, fuerza y movimientos repetitivos con intensidad, frecuencia y duración definidos; es relevante identificarlos con métodos ergonómicos predictivos que permitan implementar acciones para prevenir las consecuencias citadas.*

Según la Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo, los trastornos músculo-esqueléticos afectan a una cuarta parte de la población europea (25% de los trabajadores sufren dolor de espalda y 23% dolores musculares). La VI Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo (INSHT) muestra que 74.2% de los trabajadores sienten alguna molestia músculo-esquelética atribuida a posturas y esfuerzos derivados del trabajo –las de la zona baja de la espalda, nuca-cuello y la zona alta de la espalda son las más frecuentes (40.1, 27, y 26.6%, respectivamente). Los trastornos músculo-esqueléticos son la principal causa de ausentismo laboral en todos los países miembros de la Unión Europea, reducen la rentabilidad de las empresas y aumentan los costos sociales públicos. (Sierra, 2018)

En México, las memorias estadísticas del Instituto Mexicano del Seguro Social muestran las enfermedades de trabajo según la naturaleza de la lesión (con base en la CIE-10); las sinovitis, tenosinovitis y bursitis ocupan el tercer lugar en frecuencia, 1.1% del total de casos calificados como enfermedad de trabajo en 2006, 2.2% en 2007, 3.2% en 2008, 2.8% en 2009, 6.4% en 2010 y

6.8% en 2011. En cuarto lugar se encuentran las enteropatías con 0.7% en 2006, 1% en 2007, 1.3% en 2008, 1.7% en 2009, 5.7% en 2010 y 6.7% en 2011. El sexto lugar lo ocupa el síndrome del túnel carpiano con 0.7% en 2006, 1.1% en 2007, 1.7% en 2008, 1.6% en 2009, 3.6% en 2010 y 3.9% en 2011. En séptimo lugar se encuentran las dorsopatías con 0.6% en 2006, 0.8% en 2007, 1.4% en 2008, 0.9% en 2009, 1.8% en 2010 y 3.0% en 2011. (Castillo, 2018)

Existen diversos estudios que han demostrado el efecto que causan la postura y la duración del trabajo y jornada en la fatiga y la productividad del trabajador. De acuerdo a un estudio realizado por Ahmad (2016), en el que se estudió el efecto de las condiciones mencionadas anteriormente, los resultados mostraron un gran efecto de incomodidad en el trabajador. La fatiga en hombro y espalda era inferior cuando los trabajadores adoptaban una postura dinámica. Esto demuestra que al cambiar de posición se reducen los riesgos ergonómicos y la fatiga. También se demostró que el horario del trabajador tiene un gran efecto en la fatiga (mañana/tarde), estos mostraron que los rangos de fatiga e incomodidad eran menores durante el horario de la mañana.

El experimento de Ahmad (2016) tomó a cuatro participantes de sexo masculino para armar candados, todos sin experiencia para evitar sesgo en la muestra de datos, se les dio un corto entrenamiento y se les pidió realizar esta actividad por 15 minutos para identificar los músculos con mayor actividad se tomaron datos en diferentes posturas para identificar los desórdenes músculo esqueléticos uno a la vez.

Se observó que aunque la postura estática tenía un efecto considerable en la fatiga tanto para hombro y espalda, esta no tenía efectos significativos en los desórdenes músculo esqueléticos y en la productividad. Los resultados concuerdan con la hipótesis de que el nivel de fatiga e incomodidad tanto en extremidades superiores e inferiores disminuye con una postura dinámica al realizar el trabajo de ensamblaje. (Ahmad, 2016)

La fatiga muscular ocurre cuando las unidades motoras ya no son capaces de mantener un nivel de fuerza establecido y está asociada con un decremento de la frecuencia de contracción de fibras musculares. Cuando el músculo está expuesto a vibración mecánica, este sufre una superposición de contracción y estiramiento de reflejo voluntario, que después se sincroniza con la frecuencia mecánica. De acuerdo a (Fattorini , y otros, 2016), al estudiar diferentes frecuencias de vibración mecánica y diferentes niveles de trabajo muscular, dio como resultado que al combinar diferentes frecuencias de sincronización muscular se pueden reducir o evitar lesiones de trabajo, esto se puede lograr utilizando herramientas que se concentren en reducir la fatiga muscular.

Dicho estudio realizado por Ahmad (2016) concluyó que la influencia de vibración mecánica tiene una influencia más grande en la fatiga del trabajador cuando la este realiza una tarea con un 30% de MV de fuerza y 33Hz MV de frecuencia.

Un estudio realizado en Brasil demostró que los desórdenes musculares relacionados al trabajo de oficina han ido en aumento desde 1987. Los trabajadores de call centers se encontraban dentro de este grupo registrado con dichos desórdenes. Las observaciones fueron hechas en la estación de trabajo de los operadores, mientras estos atendían las llamadas utilizando un cable conectado al teléfono. Se seleccionaron a los voluntarios con el mayor y menor tiempo de trabajo en la compañía, edad y el horario de trabajo como los criterios. Durante las observaciones los operadores fueron monitoreados electrónicamente desde su estación de trabajo para obtener datos con un periodo de una hora a una hora y media. Los voluntarios también fueron entrevistados sobre las condiciones de trabajo. Los resultados arrojaron que el 43% de los operadores tenían desórdenes en el cuello y hombros con 41 casos y 39% en la muñeca y mano con 37 casos. (Rocha, 2005).

Debido a que este tipo de labor no conlleva mucha carga física, no se han hecho muchos estudios para disminuir los riesgos que esto conlleva para el

trabajador (Wahlstrom, 2005). Por eso es importante llevar a cabo un estudio que tome en cuenta que esto puede afectar la salud del trabajador, así como su desempeño y también la productividad y utilidad de la empresa. El empleado no está realizando su labor de una manera eficiente y esto puede ocasionar gasto innecesario debido que la calidad del trabajo disminuye y el cliente al que la compañía le presta servicio queda inconforme. Además, esto también puede ocasionar gastos de indemnización para el trabajador, no se le informa y no se le da entrenamiento sobre la forma en la que puede disminuir los riesgos de salud por utilizar mal su estación de trabajo. Todo esto se puede evitar al darle el entrenamiento adecuado y también al darle importancia a la salud y bienestar del empleado, estos son los que brindan valor a la empresa.

De acuerdo a otro estudio realizado a diez voluntarios por Worawan (2015) se comprobó que al utilizar una postura neutral en la muñeca, se disminuye el cansancio en la muñeca y las MSD. Se utilizó a diez voluntarios y estos utilizaron el teclado en cuatro posiciones distintas: postura neutral, extendida, flexionada y en aducción. Las lesiones aumentaban especialmente con la muñeca flexionada. Todos los voluntarios eran diestros y se hizo el estudio utilizando las cuatro posturas en las que el usuario puede teclear. Otro factor fue que no se utilizaba un soporte para los brazos, esto ocasiona que no hubiera un balance necesario para el peso creado por la mano. Esta puede ser una razón por la cual la tendinitis es más prevalente en los usuarios que utilizan la computadora con frecuencia.

Hay varios niveles de riesgo para los trabajadores de centros de llamadas. De acuerdo a un experimento previo realizado por Poochada et. al (2015), se determinó que hay cuatro riesgos para los trabajadores: bajo, medio, alto y muy alto. En cada uno de los niveles se mostró los siguientes resultados: nivel bajo=1-2 puntos, nivel medio=3-4 puntos, nivel alto= 5-7 puntos y nivel muy alto=8-10 puntos. De acuerdo a ROSA los puntajes de más de cinco puntos fueron los que se consideraban de riesgo alto.

## 2.8 Análisis de Regresión Lineal

La información se procesa y se elige el método de selección hacia adelante, al ser este el método que proporcionó la ecuación de regresión lineal con el resultado más acertado.

El método de eliminación hacia atrás comienza con la regresión más grande, usando todas las variables, y subsecuentemente se reduce el número de variables en la ecuación hasta que se toma una decisión en la ecuación a utilizar. La selección hacia adelante es un intento de lograr una conclusión similar trabajando en una dirección contraria, que es insertar las variables hasta que la ecuación de regresión es satisfactoria. El orden de inserción es determinado al usar una correlación parcial de los coeficientes como medida de importancia de las variables que aún no están en la ecuación.

Primero se selecciona el valor Z más correlacionada con Y y se encuentra la ecuación de regresión lineal utilizando las variables con más significancia. Una variable de predicción puede que tenga una mayor significancia en una de las etapas iniciales del proceso, sin embargo, más adelante esta puede considerarse como una variable superflua debido a las relaciones de esta con las demás variables que están ahora en el modelo de regresión. Para poder verificar esto se evalúa cada variable F con cada variable en la regresión en cada etapa del cálculo y la más baja de las *F-values* se comparan con el porcentaje preseleccionado para una distribución apropiada. Si una de las variables probadas provee una contribución poco significativa se remueve del modelo y la ecuación de regresión apropiada es utilizada con las demás variables que aún quedan en el modelo.

Este método es considerado como uno de los métodos más recomendados y mejores para la selección de variables. Es más económico para computar que los otros métodos, como el método de eliminación hacia atrás porque este evita trabajar con más variables  $X$ 's que las necesarias, mientras que se mejora la ecuación con cada paso. Una de las ventajas que

este método tiene con respecto a la eliminación hacia atrás es que en cuanto una variable se elimina en dicho proceso ya no puede volverse a utilizar, sin embargo, en la eliminación hacia atrás se toman en cuenta todas las variables y se van eliminando, mientras que en la selección hacia adelante se tienen que hacer múltiples pruebas hasta dar con el modelo más apropiado. (Draper & Smith, 1996)

### **III.- MATERIALES Y METODO**

Los desórdenes músculo esqueléticos han sido una de las quejas más constantes entre los trabajadores de oficina debido a que este es un trabajo estático y repetitivo que afecta los miembros superiores del cuerpo por el trabajo prolongado en la computadora. Por esta razón se pretende llevar a cabo un estudio para determinar el desempeño en cada posición de la muñeca utilizando las medidas antropométricas de los participantes y aplicar la información obtenida utilizando un modelo de regresión lineal.

#### **3.1 Caracterización del Trabajo**

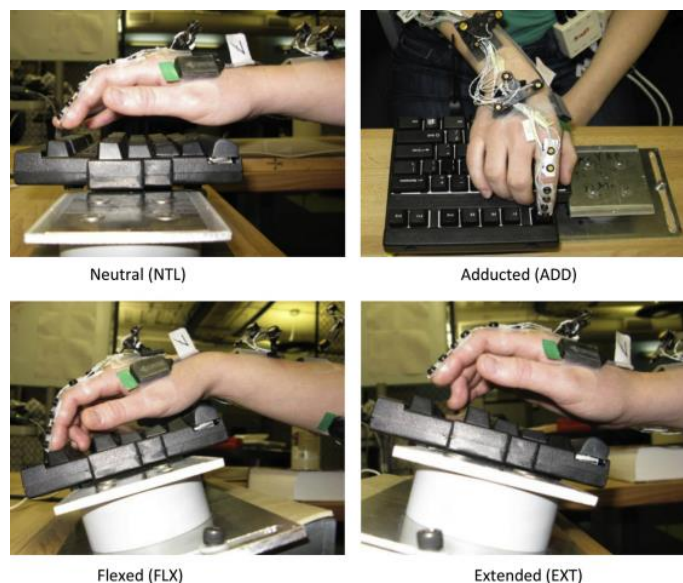
El presente capítulo habla sobre la metodología con la que se llevará a cabo la investigación del tema de tesis. Lo que se está buscando en este trabajo de tesis es demostrar que una postura neutral es la más adecuada y en la que hay mayor productividad en los trabajos de oficina, como los centros de llamadas.

El uso intensivo del teclado ha sido asociado con un incremento en el riesgo de desarrollar trastornos músculo esquelético en la mano, muñeca y brazo. Los síntomas incluyen dolor, estremecimiento, entumecimiento, rigidez, síndrome del túnel carpiano y tendinitis. Los tejidos afectados incluyen el músculo, tendón e inserciones tendinosas. Una revisión de la evidencia psicológica demuestra que una base plausible para la patogénesis de los trastornos musculares de la extremidad superior en tareas de baja intensidad es la unidad motora sostenida reclutadores y los trastornos homeostáticos coincidieron con la actividad muscular sostenida de baja intensidad (Gerr, 2002).

La actividad muscular de baja intensidad prolongada esta con posturas flexionada y extendida de la muñeca durante las tareas que utilizan teclado. Estas posiciones de la muñeca están asociadas con síntomas de la mano y el brazo entre los usuarios que utilizan la computadora. Las guías ergonómicas recomiendan que no se utilicen posiciones no neutrales durante el trabajo. Visto

de una manera biomecánica, estas posturas pueden incrementar la carga interna en los músculos y articulaciones. Los cambios en la postura de la muñeca alteran el túnel carpiano, lo cual puede ocasionar el desarrollo o agravamiento del síndrome de túnel carpiano. Además, la postura también afecta al músculo y empiezan el deterioro del mismo (Rempell, 1999).

El experimento se selecciona basado en un estudio elaborado anteriormente por Qin, J. *et al* (2013) que utilizó el mismo procedimiento que se pretende utilizar en nuestra investigación. Se demostró que el estrés muscular incrementa con posturas no neutrales. El riesgo aumenta principalmente con la muñeca flexionada. Otro factor descubierto en este experimento fue que se requiere de un soporte para los brazos, esto ocasiona que no haya un balance necesario para el peso creado por la mano. Esta puede ser una razón por la cual la tendinitis es más prevalente en los usuarios que utilizan la computadora con frecuencia. (Sartika T. , 2015).



**Figura 3.1:** Posiciones de la muñeca utilizadas por Qin, J. et al (2013).



Primero se llevará a cabo con un grupo de 12 voluntarios estudiantes del Instituto Tecnológico de Hermosillo. Se realizan tres sesiones en las que los voluntarios escribirán un texto en la computadora durante un periodo de 30 minutos durante tres días no consecutivos. Se va a realizar el experimento de esta forma para que los voluntarios tengan un descanso y que este pueda mostrar de una forma más precisa la productividad que estos tenían con cada una de las posturas que se utilizan con la muñeca al utilizar el teclado.

Cada participante debe llevar consigo su computadora personal para realizar el experimento, el primer día se utiliza la postura neutral, dos días después el experimento con postura flexionada, esto con un respaldo que se ha colocado debajo de la computadora para lograr un ángulo de 30 grados. Lo mismo se hará para la postura extendida, solo que el respaldo se colocó en la parte contraria de la computadora para lograr la inclinación deseada.

Se utilizan tres posturas de la muñeca: postura neutral, postura flexionada y postura extendida.

Hay que tomar en cuenta que los resultados posiblemente no concuerden totalmente con otros estudios debido a las condiciones que existan al momento de que los voluntarios realicen la prueba. Por ejemplo, usar soporte para la mano o la muñeca puede reducir la carga en el músculo y reducir el estrés muscular. De igual forma, solo las tres posiciones básicas serán consideradas.

La información se analiza para determinar el número y el porcentaje de las características del trabajo y su área y el nivel de riesgo entre los trabajadores. Las condiciones a verificar son: altura de la silla y el ángulo, esta se ve afectada cuando se tiene un ángulo de 90°; la inclinación ideal es de 135°. El soporte de los codos debe estar al mismo nivel que el de la estación y debe haber un soporte para la espalda adecuado. Todos estos son factores que se deben tomar en cuenta para evitar los riesgos ergonómicos.

Los estudios anteriores mostraron que había un riesgo ergonómico alto en el que estaban expuestos a sufrir desórdenes musculares esqueléticos (MSD). Para su prevención, debe haber entrenamiento ergonómico a los trabajadores para que estos conozcan los factores de riesgo en la oficina y área de trabajo. Además, el comportamiento del personal y el diseño de las estaciones de trabajo deben ser mejoradas de acuerdo a los principios ergonómicos.

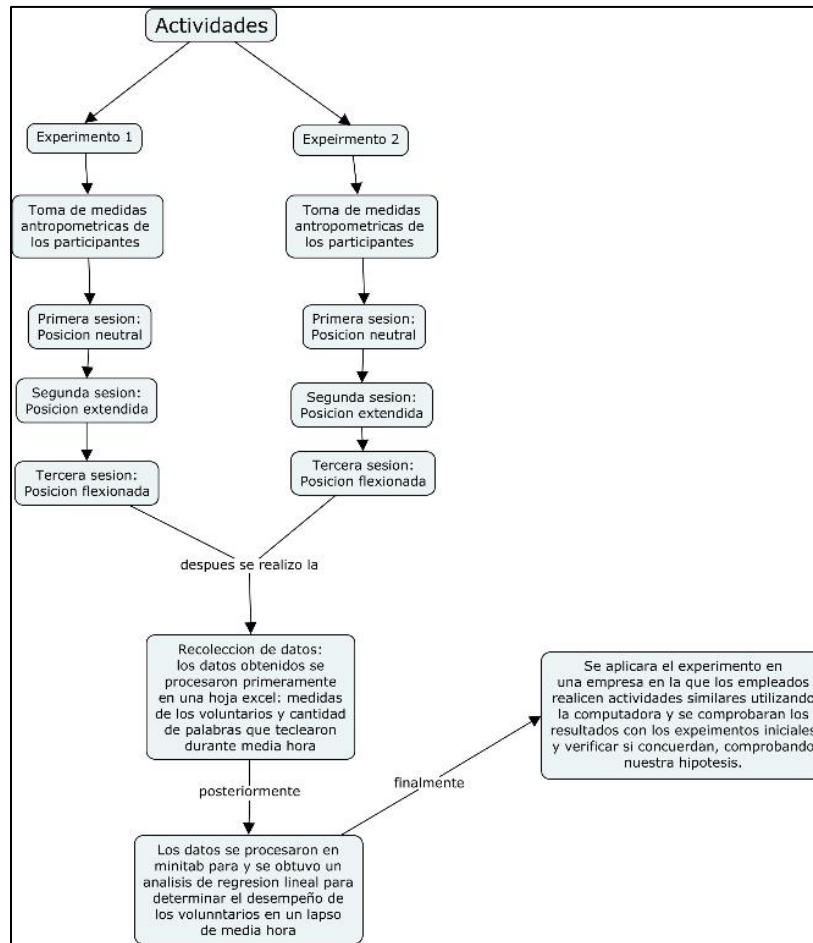
El estudio tiene como propósito estimar el desempeño al teclear en las tres posturas de la muñeca, probando la hipótesis de que al teclear en una posición no neutral se incrementa el estrés muscular en comparación con una posición neutral de la muñeca.

Posteriormente se realiza otro experimento con otro grupo de 11 voluntarios para determinar el número de palabras que estos logran teclear en un transcurso de media hora y comparar los resultados con los del primer experimento y corroborar si estos concuerdan.

Finalmente la información se procesa utilizando un modelo de regresión lineal, tomando como factores las medidas antropométricas de los participantes; no se tomará en cuenta la edad y género de los voluntarios. Se utiliza dicho modelo de regresión lineal para determinar el número de palabras que cada voluntario puede teclear en un periodo de media hora utilizando sus medidas antropométricas y ver si estas influyen en el desempeño.

Los resultados de los primeros experimentos se comparan con los que se obtengan en la práctica después de realizar el estudio en una empresa en la que los empleados realicen el mismo tipo de trabajo y actividades.

Las actividades mencionadas se realizan de la esta manera, de acuerdo al siguiente diagrama de actividades, como se muestra en la figura 3.1:



**Figura 3.2:** Actividades a realizar.

### 3.2 Materiales

Se utiliza el antropómetro para llevar a cabo las mediciones de la mano, muñeca y brazo. Los datos obtenidos se vacían en una hoja de cálculo de Excel para determinar el desempeño de los voluntarios después de hacer el experimento. Posteriormente los datos se procesan en minitab, se obtiene el modelo de regresión y se determina qué tan confiable es la predicción del desempeño de los trabajadores en base a sus medidas. Todo esto se llevará a cabo en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Hermosillo, cada alumno llevará su propia computadora y un respaldo para acomodar su teclado en las posiciones en las que se hará el experimento.

Finalmente el estudio se replica en una empresa en la que los trabajadores realicen un trabajo similar y se comprobará si los resultados de los primero dos experimentos concuerdan con el que se realice en la práctica.

#### **IV.- RESULTADOS**

Este capítulo habla sobre las actividades realizadas para comprobar la hipótesis y los resultados obtenidos en el experimento. El criterio de selección de los voluntarios es que estos no tengan ninguna lesión previa o padecimiento que afecte su rendimiento, de lo contrario no son útiles para la prueba, no se toman en cuenta factores como la edad y el género de los participantes debido a que se considera que estos no afectan el rendimiento porque el trabajo es igual para todos y este puede ser realizado tanto por hombres como por mujeres.

Primero se selecciona un grupo de 12 voluntarios en el Instituto Tecnológico de Hermosillo, se toman medidas antropométricas de la mano, muñeca y brazo de cada participante (Véase Anexo1). Posteriormente se lleva a cabo el experimento en cada una de las tres posiciones: neutral, flexionada y extendida.

Los datos se recopilan en un archivo de Excel, las medidas antropométricas y la cantidad de palabras que cada voluntario logra escribir en un periodo de media hora en cada una de las posiciones y se calcula el promedio total en cada una de las posiciones por todos los voluntarios. El resultado fue contrario al de la hipótesis planteada en el presente documento, en el cual se quiere probar que la posición neutral, por ser la más cómoda y común es en la que se obtiene mejor rendimiento. La posición en la que encuentra un mayor resultado fue la posición extendida, sin embargo, fue también en esta posición en la que se presentan mayores molestias. La mayoría de los participantes expresan mayor incomodidad, molestia y dolor en esta posición que en las otras dos.

El promedio en cada una de las posiciones son los siguientes: posición neutral con 806 palabras, posición flexionada con 823 palabras y posición extendida con 835 palabras, como se muestra en la tabla 4.1.

**Tabla 4.1:** Voluntarios y rendimiento promedio, experimento 1.

Voluntario	Posición Neutral	Posición Flexionada	Posición Extendida
Voluntario 1	873	821	791
Voluntario 2	694	668	775
Voluntario 3	1065	1095	1074
Voluntario 4	750	989	952
Voluntario 5	678	628	634
Voluntario 6	934	829	1138
Voluntario 7	725	678	731
Voluntario 8	1042	1182	1088
Voluntario 9	686	656	686
Voluntario 10	627	666	647
Voluntario 11	666	738	520
Voluntario 12	943	926	989
Promedio	806.916667	823	835.416667

Existe una gran diferencia en el rendimiento en las posiciones flexionada y extendida con respecto a la neutral, por esa razón se decide llevar a cabo un segundo experimento con un grupo de voluntarios diferentes.

El segundo experimento se realiza de igual manera en el Instituto Tecnológico de Hermosillo; el primer día se toman las medidas antropométricas de los participantes utilizando como herramienta de medición el antropómetro (Véase Anexo 2).

El experimento muestra un desempeño de 941 palabras para la postura neutral, 1029 para la postura flexionada y 983 para la postura extendida. El experimento con los voluntarios del Instituto Tecnológico de Hermosillo sirve de base para implementarlo en una empresa y demostrar que la postura neutral es con la que hay mayor desempeño.

Al ser analizado el trabajo y dependiendo el puntaje, este indica el estrés muscular para cada uno de los músculos, por lo tanto si los valores se encuentran cerca de la frontera de una categoría esto quiere decir que se tomara la categoría más alta.

Como datos adicionales se encontró que además de dolor o incomodidad hay algunas molestias en las posiciones extendida y flexionada. En la posición extendida seis voluntarios presentaron dolor de espalda, seis voluntarios con dolor de hombro y tres voluntarios dolor de cuello, mientras que con la posición extendida cinco voluntarios presentaron dolor de hombro, un voluntario dolor de cuello y dos voluntarios dolor de espalda.

Los resultados del segundo experimento concordaron con el primero; la posición extendida fue en la que hubo mejor rendimiento, sin embargo era incomoda y causaba molestias a los participantes. El rendimiento en cada una de las posiciones fue de 941 palabras para la posición neutral, 1029 palabras para la posición extendida y 983 palabras para la posición flexionada. Con los datos de ambos experimentos se puede rechazar la hipótesis del presente documento. Sin embargo, se tiene que determinar qué posición es más conveniente utilizar al momento de llevar el trabajo a la práctica, esto porque utilizar una posición que cause fatiga por estrés repetitivo puede llevar al trabajador a contraer un trastorno músculo esquelético. Los datos y promedios encontrados en el segundo experimento se presentan a continuación en la tabla 4.2:

**Tabla 4.2:** Voluntarios y rendimiento promedio, experimento 2.

Voluntario	Posición Neutral	Posición Extendida	Posición Flexionada
Voluntario 1	806	967	918
Voluntario 2	772	1232	927
Voluntario 3	803	717	740
Voluntario 4	1137	1393	1248
Voluntario 5	853	931	1022
Voluntario 6	947	910	772
Voluntario 7	919	1067	1046
Voluntario 8	931	1036	1110
Voluntario 9	872	793	694
Voluntario 10	905	1053	980
Voluntario 11	1412	1226	1366
Promedio	941.5454545	1029.54545	983.909091

Los resultados de ambos experimentos se analizan utilizando minitab para verificar cuales son los factores que afectan el rendimiento de los voluntarios, se descartan para el análisis de datos el género y edad de los participantes debido a que estos no juegan un papel importante en el rendimiento del tecleo por computadora.

Se utiliza un modelo de regresión lineal en cada una de las posiciones de ambos experimentos y hay algunos factores que no se toman en cuenta en el modelo debido a que no a que estos no determinan el rendimiento de los voluntarios. Los siguientes resultados son los que se obtienen del primer experimento:

Para la posición neutral en el primer experimento el programa toma en cuenta los siguientes factores que son los que determinan de manera directa el desempeño de los participantes: peso, grosor mano izquierda, largo mano derecha e izquierda, largo dedo medio izquierdo, longitud del pulgar izquierdo, ancho del pulgar izquierdo, ancho de muñeca derecha e izquierda y longitud hombro-codo derecho como se muestra en la figura 4.1:

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	10	267065	26706.5	2625.45	0.015
Peso (Kg)	1	70	69.9	6.87	0.232
Grosor Mano LH	1	22970	22969.5	2258.08	0.013
Largo Mano RH	1	17940	17939.8	1763.62	0.015
Largo Mano LH	1	2012	2011.8	197.77	0.045
Largo dedo medio LH	1	3971	3970.7	390.35	0.032
Longitud del pulgar LH	1	196	196.5	19.31	0.142
Ancho del pulgar LH	1	11070	11069.6	1088.23	0.019
Ancho de la muñeca RH	1	683	683.2	67.16	0.077
Ancho de la muñeca LH	1	893	893.0	87.79	0.068
Longitud hombro-codo RH	1	30994	30994.0	3046.95	0.012
Error	1	10	10.2		
Total	11	267075			

**Figura 4.1:** Análisis de varianza posición neutral, experimento 1.



El resto de las medidas antropométricas no se incluyen en el modelo porque estos no influyen en el desempeño y por lo tanto no forman parte de la ecuación de regresión lineal, que es la que predice o determina el resultado de las palabras que una persona puede teclear durante un transcurso de media hora.

Para la posición extendida se obtuvieron los siguientes resultados. En el modelo se incluyen las siguientes medidas antropométricas en la ecuación de regresión lineal: peso, largo del dedo medio en mano derecha, longitud del pulgar izquierdo, ancho del pulgar izquierdo, ancho de ambas muñecas, grosor de muñeca derecha, longitud del brazo derecho e izquierdo y longitud brazo-espalda en el lado derecho, como se muestra a continuación en la figura 4.2:

Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	10	463864	46386	90494.87	0.003	
Peso (Kg)	1	215	215	419.22	0.031	
Largo dedo medio RH	1	1521	1521	2968.26	0.012	
Longitud del pulgar LH	1	31631	31631	61707.90	0.003	
Ancho del pulgar LH	1	12690	12690	24757.02	0.004	
Ancho de la muñeca RH	1	55	55	106.94	0.061	
Ancho de la muñeca LH	1	120	120	234.44	0.042	
Grosor de la muñeca RH	1	13792	13792	26906.69	0.004	
Longitud del brazo RH	1	45808	45808	89365.98	0.002	
Longitud del brazo LH	1	174783	174783	340982.88	0.001	
Longitud brazo-espalda LH	1	61522	61522	120023.30	0.002	
Error	1	1	1			
Total	11	463865				

**Figura 4.2:** Análisis de varianza posición extendida, experimento 1.

Finalmente para la posición flexionada los siguientes factores antropométricos son considerados para el análisis de varianza: peso, grosor mano izquierda, largo mano izquierda y derecha, largo de dedo medio derecho, ancho del pulgar izquierdo, ancho de la muñeca izquierda, longitud hombro-codo izquierdo y derecho y longitud brazo espalda en lado derecho como se muestra en la figura 4.3:

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	10	383907	38390.7	27798.86	0.005
Peso (Kg)	1	1952	1952.0	1413.42	0.017
Grosor Mano LH	1	32233	32232.9	23339.97	0.004
Largo dedo medio LH	1	42261	42260.7	30601.15	0.004
Ancho mano LH	1	3469	3469.0	2511.93	0.013
Ancho del pulgar LH	1	2375	2375.0	1719.75	0.015
Ancho del dedo medio RH	1	20179	20178.5	14611.38	0.005
Ancho del dedo medio LH	1	27127	27126.9	19642.68	0.005
Ancho de la muñeca LH	1	20776	20775.7	15043.78	0.005
Longitud brazo-espalda RH	1	355	354.6	256.78	0.040
Longitud brazo-espalda LH	1	136	136.1	98.56	0.064
Error	1	1	1.4		
Total	11	383908			

**Figura 4.3:** Análisis de varianza posición flexionada, experimento 1.

El mismo método de selección hacia enfrente se lleva a cabo para el segundo experimento. Participan once voluntarios y se toman sus medidas antropométricas, los datos son vaciados en una hoja de Excel para posteriormente trabajar con ellos y conseguir el modelo de regresión la ecuación de regresión lineal de las posiciones de la muñeca.

Para la posición neutral del segundo experimento el programa selecciona los siguientes factores: grosor mano izquierda y derecha, largo dedo medio izquierdo y derecho, longitud del pulgar izquierdo, ancho del pulgar izquierdo y derecho, ancho del dedo medio izquierdo y longitud del brazo izquierdo como se muestra en la figura 4.4:

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	9	340505	37833.9	2872370.26	0.000
Grosor Mano RH	1	25854	25853.8	1962835.30	0.000
Grosor Mano LH	1	3015	3015.3	228923.75	0.001
Largo dedo medio RH	1	37747	37747.1	2865781.65	0.000
Largo dedo medio LH	1	29460	29459.6	2236587.60	0.000
Longitud del pulgar LH	1	60	60.1	4560.15	0.009
Ancho del Pulgar RH	1	5648	5647.7	428778.61	0.001
Ancho del pulgar LH	1	2529	2528.6	191970.78	0.001
Ancho del dedo medio LH	1	26946	26945.8	2045743.32	0.000
Longitud del brazo LH	1	1103	1103.4	83767.43	0.002
Error	1	0	0.0		
Total	10	340505			

**Figura 4.4:** Análisis de varianza posición neutral, experimento 2.

Para la posición extendida en el experimento dos se toman en cuenta el grosor de la mano derecha, ancho del pulgar derecho, ancho del dedo medio izquierdo y derecho, longitud hombro-codo derecho y longitud brazo- espalda izquierdo como se muestra en la figura 4.5:

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	6	561477	93579	38.85	0.000
Grosor Mano RH	1	50073	50073	20.79	0.004
Ancho del Pulgar RH	1	148847	148847	61.80	0.000
Ancho del dedo medio RH	1	417166	417166	173.19	0.000
Ancho del dedo medio LH	1	69259	69259	28.75	0.002
Longitud hombro-codo RH	1	18232	18232	7.57	0.033
Longitud brazo-espalda LH	1	300187	300187	124.63	0.000
Error	6	14452	2409		
Total	12	575929			

**Figura 4.5:** Análisis de varianza posición extendida, experimento 2.

En la posición flexionada se toman en cuenta el peso, estatura, largo mano izquierda, largo dedo medio derecho, longitud de pulgar izquierdo, ancho de la muñeca derecha, grosor de la muñeca derecha, longitud del brazo izquierdo y derecho como se muestra en la figura 4.6:

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	9	432984	48109.3	36923.50	0.004
Peso (Kg)	1	81623	81623.4	62645.31	0.003
Estatura (m)	1	85397	85397.3	65541.78	0.002
Largo Mano LH	1	1393	1393.0	1069.11	0.019
Largo dedo medio RH	1	11848	11847.7	9093.01	0.007
Longitud del pulgar LH	1	13541	13541.1	10392.66	0.006
Ancho de la muñeca RH	1	339	339.4	260.46	0.039
Grosor de la muñeca RH	1	17321	17321.0	13293.71	0.006
Longitud del brazo RH	1	89313	89313.3	68547.24	0.002
Longitud del brazo LH	1	92753	92753.0	71187.18	0.002
Error	1	1	1.3		
Total	10	432985			

**Figura 4.6:** Análisis de varianza posición flexionada, experimento 2.

En ambas pruebas se dejan a un lado prácticamente las mismas medidas antropométricas y los resultados del rendimiento en los voluntarios también coinciden: la posición extendida es la que mejores resultados arroja al calcular el promedio de todos los voluntarios que toman la prueba. Hay un mejor rendimiento en dicha posición, sin embargo se presentan más molestias,

por lo que se debe tomar en cuenta porque la hipótesis está siendo rechazada y si es más viable utilizar la postura neutral para que haya menos riesgo de que los trabajadores de una empresa contraigan un trastorno músculo esquelético y a la vez tengan un buen desempeño.

El resto de los factores se utilizan para realizar un análisis de regresión lineal en el que se obtienen las ecuaciones para determinar el número de palabras que puede teclear cada uno de los voluntarios.

Para poder determinar del número de palabras solamente se sustituye en la ecuación el valor de la medida antropométrica y multiplicarlo por el coeficiente que da el análisis de varianza de cada uno de los factores que se toman en cuenta dentro de la ecuación.

#### 4.1 Modelo y ecuación de regresión experimento 1

Para el primer experimento se obtienen las siguientes corridas con sus respectivas ecuaciones de regresión como se muestran en las figuras 4.7 y 4.8:

##### 4.1.1 Posición neutral

Model Summary							
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)				
3.18938	100.00%	99.96%	83.95%				
Coefficients							
Term	Coef	SE Coef	Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	3721.4	46.1		80.74	0.008		
Peso (Kg)	0.859	0.328		2.62	0.232	18.82	
Grosor Mano LH	678.6	14.3		47.52	0.013	32.21	
Largo ManoRH	-587.2	14.0		-42.00	0.015	276.97	
Largo Mano LH	216.3	15.4		14.06	0.045	385.03	
Largo dedo medio LH	220.3	11.2		19.76	0.032	67.59	
Longitud del pulgar LH	13.73	3.12		4.39	0.142	18.72	
Ancho del pulgar LH	300.52	9.11		32.99	0.019	5.62	
Ancho de la muñeca RH	-228.4	27.9		-8.20	0.077	302.18	
Ancho de la muñeca LH	-314.3	33.5		-9.37	0.068	359.43	

**Figura 4.7:** Corrida para posición neutral en experimento 1.

Regression Equation

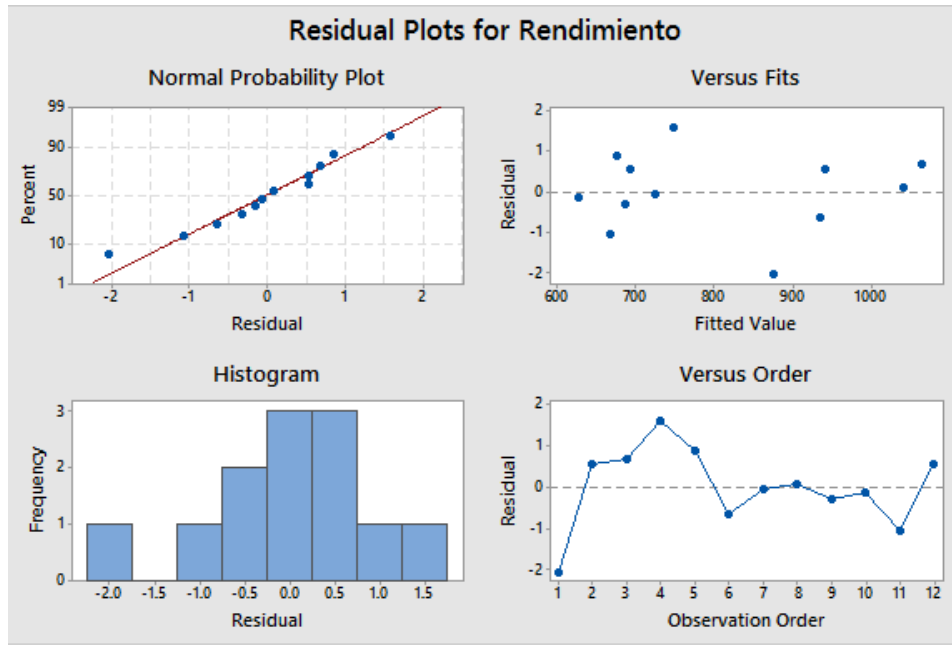
$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} = & 3721.4 + 0.859 \text{ Peso (Kg)} + 678.6 \text{ Grosor Mano LH} - \\ & 587.2 \text{ Largo ManoRH} \\ & + 216.3 \text{ Largo Mano LH} + 220.3 \text{ Largo dedo medio LH} \\ & + 13.73 \text{ Longitud del pulgar LH} + 300.52 \text{ Ancho del pulgar LH} \\ & - 228.4 \text{ Ancho de la muñeca RH} - 314.3 \text{ Ancho de la muñeca LH} \\ & + 59.05 \text{ Longitud hombro-codo RH} \end{aligned}$$

**Figura 4.8:** Ecuación de regresión lineal en posición neutral, experimento 1.

Esta corrida presenta un porcentaje de predicción de 99.96% y una r ajustada de 83.95%, por lo cual se puede considerar este como un buen modelo. Para la comprobación se sustituyen los datos en la ecuación de regresión resultante, lo cual da los resultados que se muestran en la tabla 4.3 y la figura 4.9:

**Tabla 4.3:** Comprobación y residuales posición neutral.

Voluntario	Rendimiento	Comprobación	Residuales
Voluntario 1	873	874.539	-1.539
Voluntario 2	694	692.9839	1.0161
Voluntario 3	1065	1063.846	1.154
Voluntario 4	750	747.874	2.126
Voluntario 5	678	676.552	1.448
Voluntario 6	934	934.093	-0.093
Voluntario 7	725	724.5637	0.4363
Voluntario 8	1042	1041.46	0.54
Voluntario 9	686	685.74	0.26
Voluntario 10	627	626.584	0.416
Voluntario 11	666	666.5557	-0.5557
Voluntario	943	941.984	1.016



**Figura 4.9:** Diagramas de residuales para posición neutral experimento 1.

Para la posición extendida los análisis y ecuación correspondientes se muestra en las figura 4.10 y 4.11:

#### 4.1.2 Posición extendida

Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)			
0.715951	100.00%	100.00%	99.74%			
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	4054.42	6.55	619.17	0.001		
Peso (Kg)	1.4477	0.0707	20.47	0.031	17.37	
Largo dedo medio RH	-68.68	1.26	-54.48	0.012	13.45	
Longitud del pulgar LH	-149.494	0.602	-248.41	0.003	13.78	
Ancho del pulgar LH	216.98	1.38	157.34	0.004	2.56	
Ancho de la muñeca RH	62.99	6.09	10.34	0.061	286.39	
Ancho de la muñeca LH	-141.24	9.22	-15.31	0.042	539.49	
Grosor de la muñeca RH	473.19	2.88	164.03	0.004	24.62	
Longitud del brazo RH	87.436	0.292	298.94	0.002	92.09	
Longitud del brazo LH	-192.909	0.330	-583.94	0.001	122.32	
Longitud brazo-espalda LH	55.690	0.161	346.44	0.002	43.27	

**Figura 4.10:** Coeficientes en posición extendida en experimento 1.

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} = & 4054.42 + 1.4477 \text{ Peso (Kg)} - 68.68 \text{ Largo dedo medio RH} \\ & - 149.494 \text{ Longitud del pulgar LH} + 216.98 \text{ Ancho del pulgar LH} \\ & + 62.99 \text{ Ancho de la muñeca RH} - 141.24 \text{ Ancho de la muñeca LH} \\ & + 473.19 \text{ Grosor de la muñeca RH} + 87.436 \text{ Longitud del brazo RH} \\ & - 192.909 \text{ Longitud del brazo LH} + 55.690 \text{ Longitud brazo-espalda LH} \end{aligned}$$

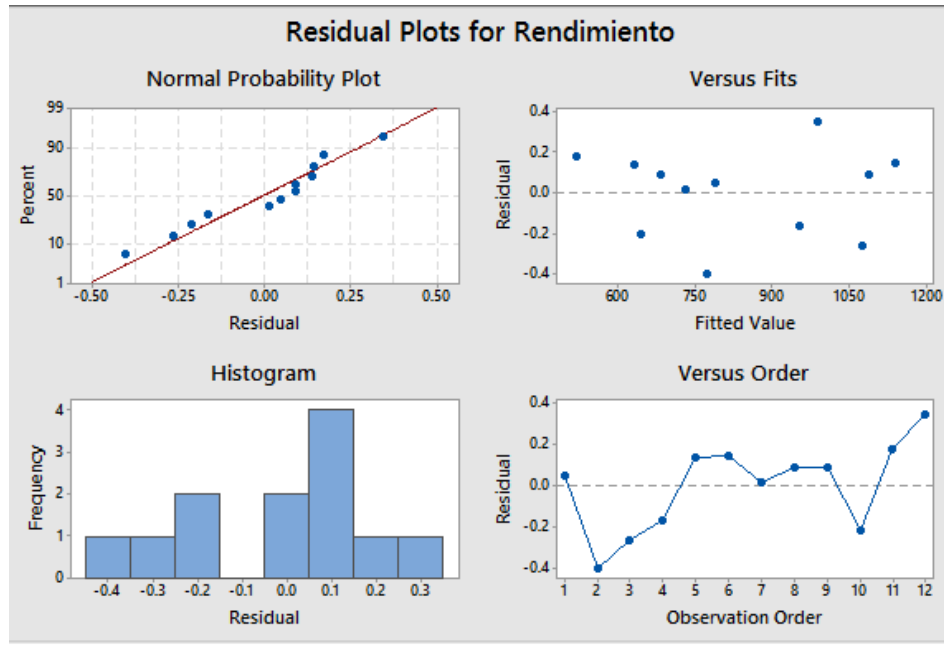
**Figura 4.11:** Ecuación de regresión lineal en posición extendida, experimento 1.

La prueba arroja un porcentaje de predicción de 100% y  $r$  ajustada de 99.74%, por lo tanto este modelo es bueno. Se observa que los datos que se consideran contienen medidas como la longitud de los brazos a la espalda y los codos, probablemente debido a que aquí la muñeca se está extendiendo e implica más esfuerzo de esos músculos.

En la tabla 4.4 se muestra los resultados esperados con la aplicación de la ecuación obtenida y en la figura 4.12 los diagramas de residuales:

**Tabla 4.4:** Comprobación y residuales posición extendida.

Voluntario	Rendimiento	Comprobación	Residuales
Voluntario 1	791	790.9719	0.0281
Voluntario 2	775	775.41847	-0.41847
Voluntario 3	1074	1074.285	-0.285
Voluntario 4	952	952.182	-0.182
Voluntario 5	634	633.878	0.122
Voluntario 6	1138	1137.8782	0.1218
Voluntario 7	731	731.01381	-0.01381
Voluntario 8	1088	1087.9266	0.0734
Voluntario 9	686	685.9422	0.0578
Voluntario 10	647	647.231	-0.231
Voluntario 11	520	519.84751	0.15249
Voluntario 12	989	988.665	0.335



**Figura 4.12:** Diagramas de residuales para posición extendida experimento 1.

Para la posición flexionada los análisis y ecuación correspondientes se muestra en las figura 4.13 y 4.14:

### 4.1.3 Posición flexionada

Model Summary							
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)				
1.17517	100.00%	100.00%	99.64%				
Coefficients							
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF		
Constant	2409.04	9.78	246.22	0.003			
Peso (Kg)	4.838	0.129	37.60	0.017	21.36		
Grosor Mano LH	1687.0	11.0	152.77	0.004	141.86		
Largo dedo medio LH	-572.09	3.27	-174.93	0.004	42.82		
Ancho mano LH	275.66	5.50	50.12	0.013	105.95		
Ancho del pulgar LH	-279.77	6.75	-41.47	0.015	22.71		
Ancho del dedo medio RH	1881.6	15.6	120.88	0.005	109.22		
Ancho del dedo medio LH	-1976.9	14.1	-140.15	0.005	115.62		
Ancho de la muñeca LH	-1151.28	9.39	-122.65	0.005	207.34		
Longitud brazo-espalda RH	17.75	1.11	16.02	0.040	812.69		
Longitud brazo-espalda LH	10.08	1.02	9.93	0.064	640.40		

**Figura 4.13:** Corrida para posición flexionada en experimento 1.



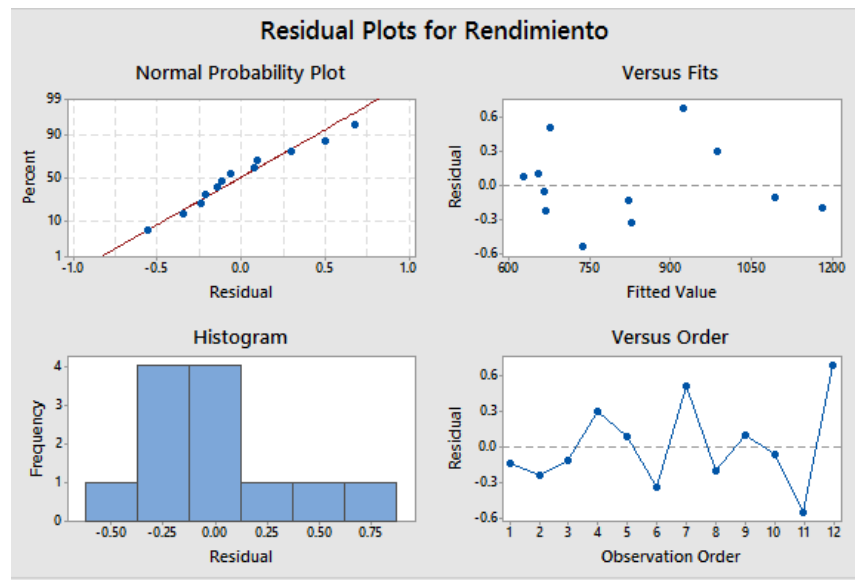
$$\begin{aligned}
 \text{Rendimiento} = & 2409.04 + 4.838 \text{ Peso (Kg)} + 1687.0 \text{ Grosor Mano LH} - \\
 & 572.09 \text{ Largo dedo medio LH} \\
 & + 275.66 \text{ Ancho mano LH} - 279.77 \text{ Ancho del pulgar LH} \\
 & + 1881.6 \text{ Ancho del dedo medio RH} - 1976.9 \text{ Ancho del dedo medio LH} \\
 & - 1151.28 \text{ Ancho de la muñeca LH} + 17.75 \text{ Longitud brazo-espalda RH} \\
 & + 10.08 \text{ Longitud brazo-espalda LH}
 \end{aligned}$$

**Figura 4.14:** Ecuación de regresión lineal en posición flexionada, experimento 1.

En la tabla 4.5 se muestra los resultados esperados con la aplicación de la ecuación obtenida y en la figura 4.15 los diagramas de residuales:

**Tabla 4.5:** Comprobación y residuales posición flexionada.

Voluntario	Rendimiento	Comprobación	Residuales
Voluntario 1	821	821.255	-0.255
Voluntario 2	668	668.3518	-0.3518
Voluntario 3	1095	1095.226	-0.226
Voluntario 4	989	988.806	0.194
Voluntario 5	628	628.042	-0.042
Voluntario 6	829	829.466	-0.466
Voluntario 7	678	677.6414	0.3586
Voluntario 8	1182	1182.297	-0.297
Voluntario 9	656	656.053	-0.053
Voluntario 10	666	666.179	-0.179
Voluntario 11	738	738.6694	-0.6694
Voluntario 12	926	925.408	0.592



**Figura 4.15:** Diagramas de residuales para posición flexionada experimento 1.

En la posición flexionada se obtiene un porcentaje de predicción de 100% y una  $r$  ajustada de 99.64%, al igual que los otros experimentos, esta prueba arroja un buen resultado y se puede concluir que es un buen modelo. En esta posición se observa que se toman más en cuenta las medidas antropométricas de las manos, mientras que las medidas del brazo no son consideradas para el modelo de predicción.

## 4.2 Modelo y ecuación de regresión experimento 2

Con el fin de corroborar los resultados del experimento 1, se desarrolla un segundo experimento, bajo circunstancias similares presentadas durante a la realización del primer experimento. El tratamiento de los datos con la aplicación de modelos de regresión arroja los siguientes análisis y ecuación para la segunda prueba como se muestra en las figuras 4.16 y 4.17 para la posición neutral:

### 4.2.1 Posición neutral

Model Summary							
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)				
0.114768	100.00%	100.00%	100.00%				
Coefficients							
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF		
Constant	2765.37	3.74	740.31	0.001			
Grosor Mano RH	-1015.78	0.73	-1401.01	0.000	71.26		
Grosor Mano LH	198.286	0.414	478.46	0.001	42.84		
Largo dedo medio RH	-487.444	0.288	-1692.86	0.000	25.49		
Largo dedo medio LH	522.952	0.350	1495.52	0.000	37.03		
Longitud del pulgar LH	-24.569	0.364	-67.53	0.009	40.27		
Ancho del Pulgar RH	-478.786	0.731	-654.81	0.001	55.28		
Ancho del pulgar LH	-382.647	0.873	-438.14	0.001	67.17		
Ancho del dedo medio LH	1508.20	1.05	1430.29	0.000	62.62		
Longitud del brazo LH	1.70763	0.00590	289.43	0.002	2.30		

**Figura 4.16:** Corrida para posición neutral en experimento 2.

Regression Equation

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} = & 2765.37 - 1015.78 \text{ Grosor Mano RH} + 198.286 \text{ Grosor Mano LH} \\ & - 487.444 \text{ Largo dedo medio RH} + 522.952 \text{ Largo dedo medio LH} \\ & - 24.569 \text{ Longitud del pulgar LH} - 478.786 \text{ Ancho del Pulgar RH} \\ & - 382.647 \text{ Ancho del pulgar LH} + 1508.20 \text{ Ancho del dedo medio LH} \\ & + 1.70763 \text{ Longitud del brazo LH} \end{aligned}$$

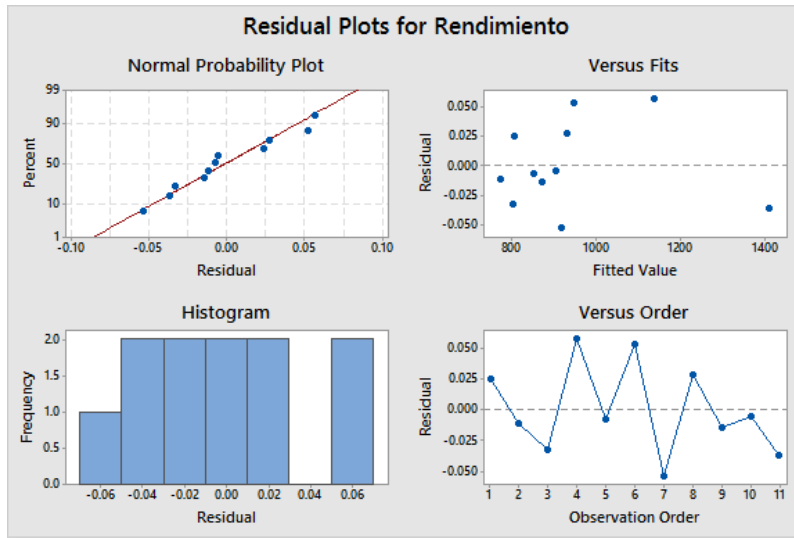
**Figura 4.17:** Ecuación de regresión lineal en posición neutral, experimento 2.

En la tabla 4.6 se muestra los resultados esperados con la aplicación de la ecuación obtenida y en la figura 4.18 los diagramas de residuales:

**Tabla 4.6:** Comprobación y residuales posición neutral.

Voluntario	Rendimiento	Comprobación	Residuales
Voluntario 1	806	805.949375	0.050625
Voluntario 2	772	771.987145	0.012855
Voluntario 3	803	803.01168	-0.01168
Voluntario 4	1137	1136.921432	0.078568
Voluntario 5	853	852.985619	0.014381
Voluntario 6	947	946.92642	0.07358
Voluntario 7	919	919.031495	-0.031495
Voluntario 8	931	930.94614	0.05386
Voluntario 9	872	871.988228	0.011772
Voluntario 10	905	904.98227	0.01773
Voluntario 11	1412	1412.01375	-0.01375

En esta prueba hay un porcentaje de predicción y  $r$  ajustada de 100%. Se consideran medidas de la mano como el grosor, el largo del dedo medio y las medidas del pulgar, mientras que no se toman en cuenta las medidas del brazo y la estatura. La predicción del modelo es buena, se llega a esta conclusión al observar los residuales después de hacer la comprobación aplicando la fórmula de predicción.



**Figura 4.18:** Diagramas de residuales para posición neutral experimento 2.

Para la posición extendida los análisis y ecuación correspondientes se muestra en las figura 4.19 y 4.20:

### 4.2.2 Posición extendida

Model Summary						
S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)			
49.0786	97.49%	94.98%	77.08%			
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	2978	221	13.45	0.000		
Grosor Mano RH	-244.1	53.5	-4.56	0.004	2.58	
Ancho del Pulgar RH	-809	103	-7.86	0.000	6.18	
Ancho del dedo medio RH	2427	184	13.16	0.000	10.84	
Ancho del dedo medio LH	-979	183	-5.36	0.002	10.91	
Longitud hombro-codo RH	17.00	6.18	2.75	0.033	2.17	
Longitud brazo-espalda LH	-37.52	3.36	-11.16	0.000	2.29	

**Figura 4.19:** Corrida para posición extendida en experimento 2.

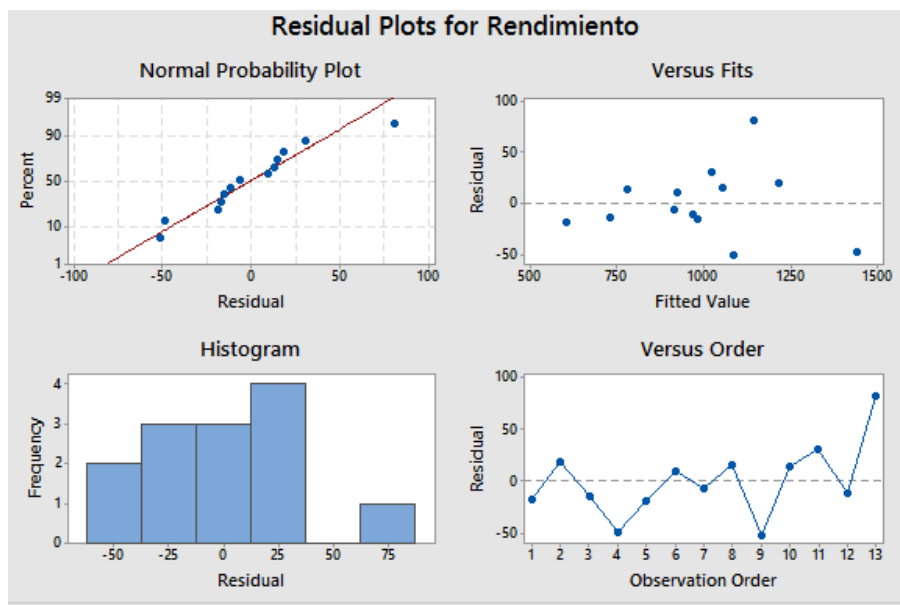
Regression Equation	
Rendimiento = 2978 - 244.1 Grosor Mano RH - 809 Ancho del Pulgar RH	
+ 2427 Ancho del dedo medio RH - 979 Ancho del dedo medio LH	
+ 17.00 Longitud hombro-codo RH - 37.52 Longitud brazo-espalda LH	

**Figura 4.20:** Ecuación de regresión lineal en posición extendida, experimento 2.

En la tabla 4.7 se muestra los resultados esperados con la aplicación de la ecuación obtenida y en la figura 4.21 los diagramas de residuales:

**Tabla 4.7:** Comprobación y residuales posición extendida.

Voluntario	Rendimiento	Comprobación	Residuales
Voluntario 1	967	983.88	-16.88
Voluntario 2	1232	1213.62	18.38
Voluntario 3	717	731.94	-14.94
Voluntario 4	1393	1441.716	-48.716
Voluntario 5	931	921.62	9.38
Voluntario 6	910	916.65	-6.65
Voluntario 7	1067	1052.42	14.58
Voluntario 8	1036	1087.66	-51.66
Voluntario 9	793	779.496	13.504
Voluntario 10	1053	1022.262	30.738
Voluntario 11	1226	1144.75	81.25



**Figura 4.21:** Diagramas de residuales para posición extendida experimento 2.

En esta posición existe una predicción de 94.78% y una  $r$  ajustada de 77.08%. En esta prueba se toman en cuenta pocos factores, como las medidas de la mano derecha y la longitud hombro-codo del lado derecho. La única medida del lado izquierdo considerada para el modelo de predicción fue la longitud brazo-espalda. Sin embargo, se obtiene un buen resultado al hacer la

comprobación, además que la fórmula es muy parecida a la del primer experimento para esta misma posición. Por lo tanto se concluye que ambos experimentos coinciden.

Para la posición flexionada los análisis y ecuación correspondientes se muestra en las figura 4.19 y 4.20:

### 4.2.3 Posición flexionada

Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)			
1.14147	100.00%	100.00%	99.43%			
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-555.5	12.6		-43.92	0.014	
Peso (Kg)	-24.2321	0.0968		-250.29	0.003	20.77
Estatura (m)	2950.8	11.5		256.01	0.002	11.91
Largo Mano LH	35.20	1.08		32.70	0.019	11.41
Largo dedo medio RH	-145.67	1.53		-95.36	0.007	7.25
Longitud del pulgar LH	-222.47	2.18		-101.94	0.006	14.65
Ancho de la muñeca RH	8.221	0.509		16.14	0.039	3.29
Grosor de la muñeca RH	277.86	2.41		115.30	0.006	9.54
Longitud del brazo RH	-285.58	1.09		-261.82	0.002	822.59
Longitud del brazo LH	290.58	1.09		266.81	0.002	793.02

**Figura 4.22:** Corrida para posición flexionada en experimento 2.

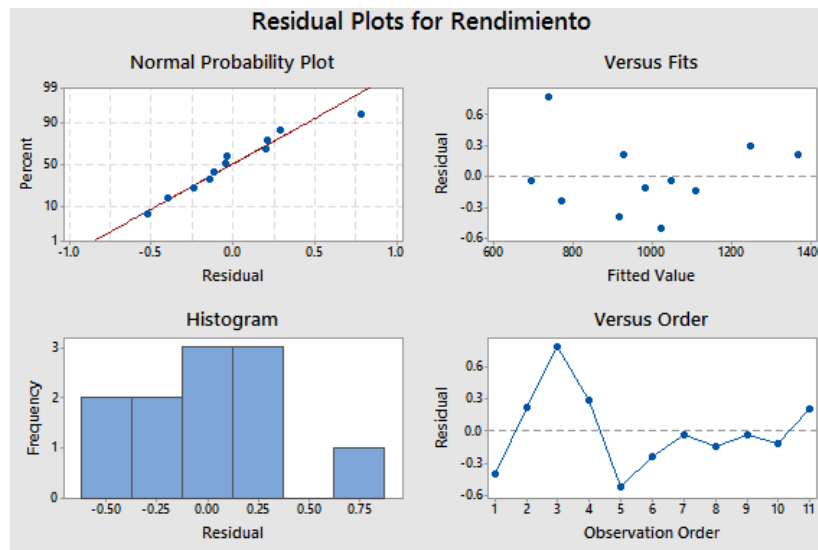
Regression Equation	
Rendimiento =	-555.5 - 24.2321 Peso (Kg) + 2950.8 Estatura (m)
	+ 35.20 Largo Mano LH
	- 145.67 Largo dedo medio RH - 222.47 Longitud del pulgar LH
	+ 8.221 Ancho de la muñeca RH + 277.86 Grosor de la muñeca RH
	- 285.58 Longitud del brazo RH + 290.58 Longitud del brazo LH

**Figura 4.23:** Ecuación de regresión lineal en posición flexionada, experimento 2.

En la tabla 4.8 se muestra los resultados esperados con la aplicación de la ecuación obtenida y en la figura 4.30 los diagramas de residuales:

**Tabla 4.8:** Comprobación y residuales posición flexionada.

Voluntario	Rendimiento	Comprobación	Residuales
Voluntario 1	918	918.3908	-0.3908
Voluntario 2	927	926.7707	0.2293
Voluntario 3	740	739.2121	0.7879
Voluntario 4	1248	1247.7042	0.2958
Voluntario 5	1022	1022.5113	-0.5113
Voluntario 6	772	772.2316	-0.2316
Voluntario 7	1046	1046.0378	-0.0378
Voluntario 8	1110	1110.1377	-0.1377
Voluntario 9	694	694.0047	-0.0047
Voluntario 10	980	980.10655	-0.10655
Voluntario 11	1366	1365.7891	0.2109



**Figura 4.24:** Diagramas de residuales para posición flexionada experimento 2.

Esta prueba obtiene un porcentaje de predicción de 100% y una  $r$  ajustada de 99.43%. Se utilizan medidas de ambas manos para la fórmula de regresión, principalmente las medidas del dedo medio y pulgar y la longitud del brazo. La comprobación da un buen resultado al ver los residuales que se obtienen al aplicar la fórmula del modelo. El modelo de regresión de igual forma es parecido al del experimento 1.

### 4.3 Experimento 3

Finalmente se hace un último experimento en una empresa con trabajo de oficina. Se toman medidas antropométricas de la misma manera a un grupo de diez voluntarios y estos teclean el mismo texto durante un periodo de media hora (Véase Anexo 3). La diferencia es que el experimento se lleva a cabo durante el mismo día sin descanso debido a que no la empresa solo dio permiso durante un día. Se realiza el experimento el día 2 de agosto de 2018.

El resultado del experimento es el siguiente: un promedio de 859 palabras para la posición neutral, 959 para la extendida y 925 para la posición flexionada. Los resultados concuerdan con los resultados de los dos primeros experimentos. La posición extendida es la que muestra un mejor desempeño, mientras que la posición neutral presenta un resultado menor, por lo que se vuelve a rechazar la hipótesis que indica que la posición neutral da un mejor desempeño.

La tabla 4.9 muestra a los voluntarios que hicieron la prueba y el promedio de las palabras que escribieron en media hora:

**Tabla 4.9:** Voluntarios y rendimiento experimento 3.

Voluntario	Posición Neutral	Posición Extendida	Posición Flexionada
Voluntario 1	807	1315	903
Voluntario 2	487	504	613
Voluntario 3	908	994	1040
Voluntario 4	857	900	939
Voluntario 5	790	873	839
Voluntario 6	1316	1329	1320
Voluntario 7	1012	1090	1194
Voluntario 8	521	587	549
Voluntario 9	957	957	909
Voluntario 10	939	1048	953
Promedio	859.4	959.7	925.9



Posteriormente se vacían los datos en una hoja de cálculo para después procesarlos y obtener el modelo de regresión lineal para determinar el porcentaje de predicción del modelo. Se obtiene el siguiente análisis de varianza para cada posición:

Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	8	510758	63845	92025.01	0.003	
Peso (Kg)	1	95920	95920	138258.40	0.002	
Grosor Mano RH	1	125	125	180.56	0.047	
Largo Mano LH	1	13632	13632	19648.32	0.005	
Ancho del pulgar LH	1	7860	7860	11329.93	0.006	
Longitud hombro-codo RH	1	189274	189274	272817.78	0.001	
Longitud del brazo RH	1	1294	1294	1865.13	0.015	
Longitud del brazo LH	1	12305	12305	17736.28	0.005	
Longitud brazo-espalda LH	1	5788	5788	8342.22	0.007	
Error	1	1	1			
Total	9	510758				

**Figura 4.25:** Análisis de varianza posición neutral, experimento 3.

En la posición neutral se toman en cuenta los siguientes factores: peso, grosor mano derecha, largo mano izquierda ancho de pulgar izquierdo, longitud hombro-codo derecho, longitud del brazo derecho, longitud brazo izquierdo y longitud brazo-espalda izquierdo, mientras que los demás factores no se consideran para el modelo de predicción, tal y como se muestra en la figura 4.25.

Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	8	646228	80779	9910236.06	0.000	
Estatura (m)	1	25780	25780	3162838.98	0.000	
Largo ManoRH	1	17475	17475	2143904.52	0.000	
Largo dedo medio LH	1	6740	6740	826873.71	0.001	
Longitud del Pulgar RH	1	2	2	251.10	0.040	
Ancho del Pulgar RH	1	8236	8236	1010426.13	0.001	
Ancho de la muñeca LH	1	24729	24729	3033803.57	0.000	
Longitud hombro-codo RH	1	2953	2953	362328.30	0.001	
Longitud brazo-espalda LH	1	241451	241451	29622214.28	0.000	
Error	1	0	0			
Total	9	646228				

**Figura 4.26:** Análisis de varianza posición extendida, experimento 3.

En la posición extendida los factores utilizados para el modelo son: estatura, largo mano derecha, largo dedo medio derecho, longitud del pulgar derecho, ancho del pulgar derecho, ancho de muñeca izquierda, longitud hombro-codo derecho y longitud brazo-espalda izquierda, los resultados están en la figura 4.26:

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	8	489438	61180	89888.12	0.003
Grosor Mano LH	1	15145	15145	22251.58	0.004
Largo dedo medio LH	1	90723	90723	133294.13	0.002
Ancho mano LH	1	2423	2423	3559.36	0.011
Ancho del dedo medio RH	1	10311	10311	15149.70	0.005
Grosor de la muñeca LH	1	16815	16815	24705.63	0.004
Longitud hombro-codo RH	1	116042	116042	170494.48	0.002
Longitud del brazo LH	1	299	299	438.59	0.030
Longitud brazo-espalda LH	1	60035	60035	88205.78	0.002
Error	1	1	1		
Total	9	489439			

**Figura 4.27:** Análisis de varianza posición flexionada, experimento 3.

En la posición flexionada los datos a considerar son: grosor mano izquierda, largo dedo medio derecho, ancho mano izquierda, ancho dedo medio derecho, grosor de muñeca izquierda, longitud hombro-codo derecho, longitud del brazo izquierdo y longitud brazo-espalda izquierdo, de acuerdo a la figura 4.27.

#### **4.4 Modelo y ecuación de regresión experimento 3**

##### **4.4.1 Posición neutral**

Para la posición neutral los análisis y ecuación correspondientes se muestran en las figura 4.28 y 4.29:

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)			
0.832932	100.00%	100.00%	99.70%			
Coefficients						
Term		Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		718.86	5.30	135.71	0.005	
Peso (Kg)		-16.5580	0.0445	-371.83	0.002	3.95
Grosor Mano RH		-24.81	1.85	-13.44	0.047	6.14
Largo Mano LH		23.741	0.169	140.17	0.005	1.58
Ancho del pulgar LH		172.33	1.62	106.44	0.006	2.04
Longitud hombro-codo RH		116.149	0.222	522.32	0.001	8.41
Longitud del brazo RH		16.549	0.383	43.19	0.015	44.23
Longitud del brazo LH		-59.972	0.450	-133.18	0.005	55.08
Longitud brazo-espalda LH		-10.462	0.115	-91.34	0.007	6.08

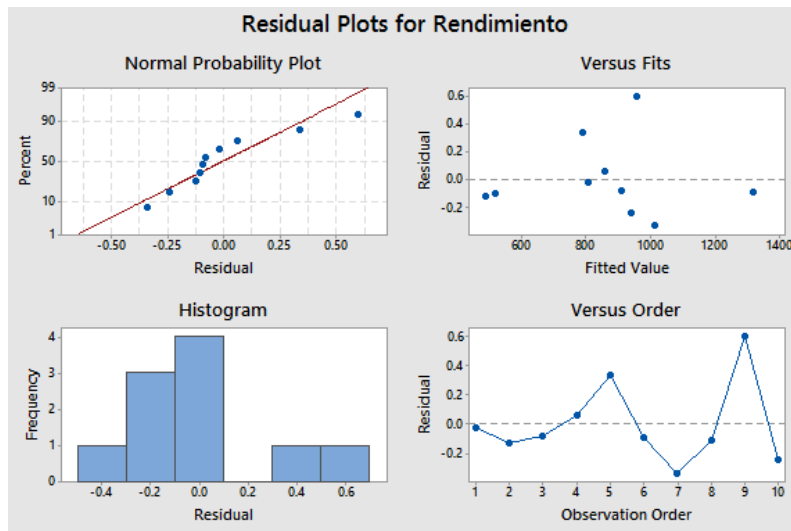
**Figura 4.28:** Corrida para posición neutral en experimento 3.

Rendimiento = 718.86 - 16.5580 Peso (Kg) - 24.81 Grosor Mano RH  
+ 23.741 Largo Mano LH  
+ 172.33 Ancho del pulgar LH + 116.149 Longitud hombro-codo RH  
+ 16.549 Longitud del brazo RH - 59.972 Longitud del brazo LH  
- 10.462 Longitud brazo-espalda LH

**Figura 4.29:** Ecuación de regresión lineal en posición neutral, experimento 3.

**Tabla 4.10:** Comprobación y residuales posición neutral.

Voluntario	Rendimiento	Comprobación	Residuales
Voluntario 1	807	807.0237	-0.0237
Voluntario 2	487	487.1286	-0.1286
Voluntario 3	908	908.083	-0.083
Voluntario 4	857	856.9442	0.0558
Voluntario 5	790	789.6621	0.3379
Voluntario 6	1316	1316.0966	-0.0966
Voluntario 7	1012	1012.3385	-0.3385
Voluntario 8	521	521.1097	-0.1097
Voluntario 9	957	956.4038	0.5962
Voluntario 10	939	939.2475	-0.2475



**Figura 4.30:** Diagramas de residuales para posición neutral experimento 3.

Esta posición arroja un resultado de 100% y  $r$  ajustada de 99.70%. Se utilizan medidas antropométricas como el peso y las medidas antropométricas de las manos como el ancho del pulgar, mientras que medidas de los brazos y la longitud brazo espalda se tomaron en cuenta para la predicción. Los coeficientes utilizados concuerdan con las fórmulas de predicción de los experimentos 1 y 2 (Tabla 4.10).

#### 4.4.2 Posición extendida

Para la posición extendida los análisis y ecuación correspondientes se muestra en las figura 4.31 y 4.32:

Model Summary							
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)				
0.0902830	100.00%	100.00%	100.00%				
Coefficients							
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF		
Constant	815.110	0.757	1076.80	0.001			
Estatura (m)	1128.39	0.63	1778.44	0.000	8.65		
Largo ManoRH	41.7855	0.0285	1464.21	0.000	3.68		
Largo dedo medio LH	141.026	0.155	909.33	0.001	20.45		
Longitud del Pulgar RH	2.474	0.156	15.85	0.040	30.59		
Ancho del Pulgar RH	408.799	0.407	1005.20	0.001	10.98		
Ancho de la muñeca LH	-324.443	0.186	-1741.78	0.000	7.00		
Longitud hombro-codo RH	20.6785	0.0344	601.94	0.001	17.08		
Longitud brazo-espalda LH	-47.6191	0.0087	-5442.63	0.000	3.02		

**Figura 4.31:** Corrida para posición extendida en experimento 3.

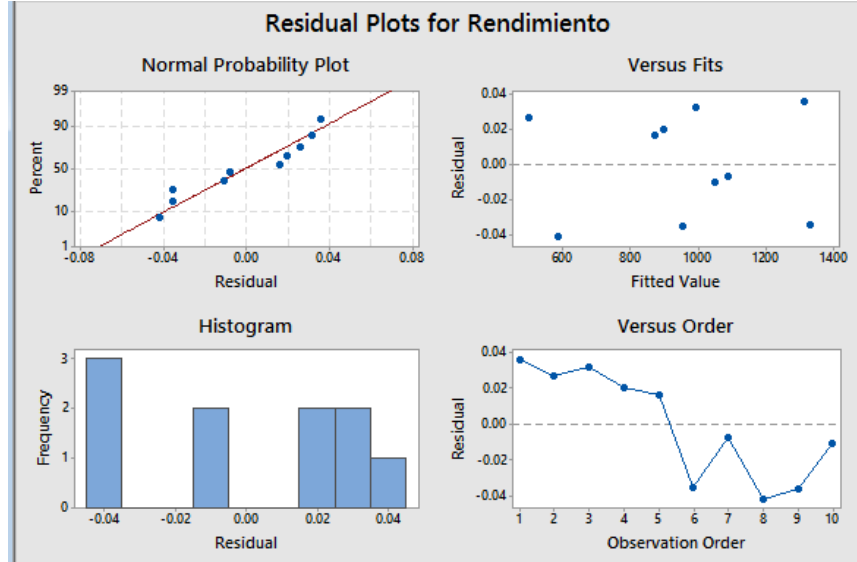
Regression Equation

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} = & 815.110 + 1128.39 \text{ Estatura (m)} + 41.7855 \text{ Largo ManoRH} \\ & + 141.026 \text{ Largo dedo medio LH} + 2.474 \text{ Longitud del Pulgar RH} \\ & + 408.799 \text{ Ancho del Pulgar RH} - 324.443 \text{ Ancho de la muñeca LH} \\ & + 20.6785 \text{ Longitud hombro-codo RH} - 47.6191 \text{ Longitud brazospalda LH} \end{aligned}$$

**Figura 4.32:** Ecuación de regresión lineal en posición extendida, experimento 3.

**Tabla 4.11:** Comprobación y residuales posición extendida.

oluntario	Rendimiento	Comprobación	Residuales
Voluntario 1	1315	1314.96089	0.03911
Voluntario 2	504	503.97035	0.02965
Voluntario 3	994	993.9644	0.0356
Voluntario 4	900	899.97715	0.02285
Voluntario 5	873	872.9814	0.0186
Voluntario 6	1329	1329.03185	-0.03185
Voluntario 7	1090	1090.0042	-0.0042
Voluntario 8	587	587.03938	-0.03938
Voluntario 9	957	957.03255	-0.03255
Voluntario 10	1048	1048.00759	-0.00759



**Figura 4.33:** Diagramas de residuales para posición extendida experimento 3.

En esta prueba hay una predicción y r ajustada de 100%. Las medidas que se toman en cuenta fueron las del dedo medio y el pulgar y la de la muñeca. La fórmula de regresión coincide con las de los experimentos 1 y 2

debido que se toman más o menos las mismas medidas antropométricas para la fórmula de regresión lineal. El modelo es bueno, se concluye esto al comprobar utilizando la formula sustituyendo los datos y aplicarlos a la formula.

#### 4.4.3 Posición flexionada

Para la posición extendida los análisis y ecuación correspondientes se muestra en las figura 4.34 y 4.35:

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.824998	100.00%	100.00%	91.48%

Coefficients							
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF		
Constant	337.70	5.55	60.83	0.010			
Grosor Mano LH	-351.42	2.36	-149.17	0.004	12.85		
Largo dedo medio LH	294.098	0.806	365.09	0.002	6.61		
Ancho mano LH	-81.76	1.37	-59.66	0.011	10.62		
Ancho del dedo medio RH	321.31	2.61	123.08	0.005	4.62		
Grosor de la muñeca LH	-506.39	3.22	-157.18	0.004	22.71		
Longitud hombro-codo RH	111.613	0.270	412.91	0.002	12.67		
Longitud del brazo LH	-2.690	0.128	-20.94	0.030	4.57		
Longitud brazo-espalda LH	-34.477	0.116	-296.99	0.002	6.36		

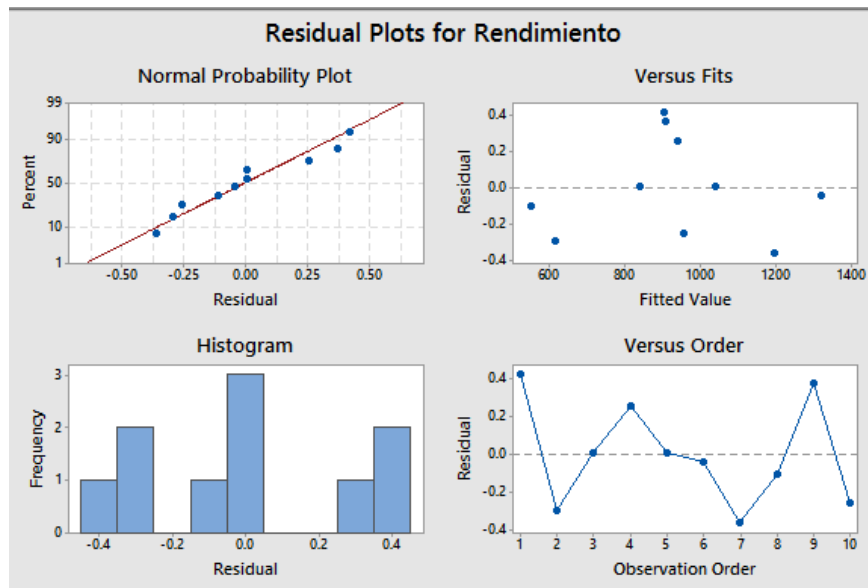
**Figura 4.34:** Corrida para posición flexionada en experimento 3.

Regression Equation	
Rendimiento =	337.70 - 351.42 Grosor Mano LH + 294.098 Largo dedo medio LH
	- 81.76 Ancho mano LH + 321.31 Ancho del dedo medio RH
	- 506.39 Grosor de la muñeca LH + 111.613 Longitud hombro-codo RH
	- 2.690 Longitud del brazo LH - 34.477 Longitud brazo-espalda LH

**Figura 4.35:** Ecuación de regresión lineal en posición flexionada, experimento 3.

**Tabla 4.12:** Comprobación y residuales posición flexionada.

Voluntario	Rendimiento	Comprobación	Residuales
Voluntario 1	903	902.6031	0.3969
Voluntario 2	613	613.3217	-0.3217
Voluntario 3	1040	1040.0241	-0.0241
Voluntario 4	939	938.7632	0.2368
Voluntario 5	839	839.017	-0.017
Voluntario 6	1320	1320.0686	-0.0686
Voluntario 7	1194	1194.387	-0.387
Voluntario 8	549	549.1296	-0.1296
Voluntario 9	909	908.6538	0.3462
Voluntario 10	953	953.2787	-0.2787



**Figura 4.36:** Diagramas de residuales para posición flexionada experimento 3.

Esta prueba da como resultado un porcentaje de predicción de 100% y  $r$  ajustada de 91.48%. Se consideran medidas como el grosor y ancho de la mano y la muñeca y las medidas antropométricas de los brazos. El modelo de regresión lineal es parecido al de los experimentos 1 y 2 y hay un buen resultado al aplicar la fórmula. Esto se puede concluir al observar el resultado de los residuales (Tabla 4.12).

#### 4.5 Adecuación del modelo de regresión.

Para la adecuación del modelo de regresión, se usa el procedimiento de obtención de nuevos datos, con el cual se investigará el desempeño del modelo de predicción. Se selecciona este método porque se considera el más eficaz para validar un modelo de regresión con respecto a su eficiencia de predicción al reunir nuevos datos y comparar en forma directa las predicciones del modelo con esos datos. (Montgomery, 2004)

Para el desarrollo de este procedimiento, se consideran las 21 observaciones de los experimentos dos y tres, en la tabla 4.13 se representan observaciones obtenidas.

**Tabla 4.13** Conjunto de datos de predicción.

Observaciones	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Rendimiento $y$	Ajuste		Ajuste Robusto	
		$\hat{y}$	$y - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y - \hat{y}$
1	806	805.9493	0.0506	805.96	0.04
2	772	771.9871	0.0128	771.99	0.01
3	803	803.011	-0.0116	802.98	0.02
4	1137	1136.9214	0.0785	1136.94	0.06
5	853	852.9856	0.0143	853.01	-0.01
6	947	946.9264	0.0735	946.93	0.07
7	919	919.0314	-0.0314	918.98	0.02
8	931	930.9461	0.0538	930.95	0.05
9	872	871.988	0.0117	871.99	0.01
10	905	904.982	0.0177	905.01	-0.01
11	1412	1412.0137	-0.0137	1411.99	0.01
12	807	807.0237	-0.0237	806.98	0.02
13	487	487.1286	-0.1286	487.07	-0.07
14	908	908.083	-0.083	908.07	-0.07
15	857	856.9442	0.0558	856.96	0.04
16	790	789.6621	0.3379	789.8	0.2
17	1316	1316.0966	-0.0966	1316.03	-0.03
18	1012	1012.3385	-0.3385	1012.2	-0.2
19	521	521.1097	-0.1097	520.99	0.01
20	957	956.4038	0.5962	956.6	0.4
21	939	939.2475	-0.2475	939.15	-0.15



La ecuación para el modelo con ajuste se presenta en la figura 4.8.

En la tabla 4.13 se muestran las nuevas observaciones, además se muestran las fuerzas predichas correspondientes, y los errores de predicción del ajuste con mínimos cuadrados (columnas 2 y 3).

Para el ajuste robusto se consideran las 21 nuevas observaciones, además de las observaciones anteriormente obtenidas.

Las fuerzas predichas correspondientes y los errores de predicción del ajuste robusto con mínimos cuadrados se muestran en las columnas 4 y 5 de la tabla 4.13.

Al obtener el porcentaje de variabilidad del modelo de ajuste se tiene:

$$R^2 \text{ Predicción} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{21} (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{21} (y_i - \bar{y}_i)^2} = 1 - \frac{0.7131}{4.1947} = 0.83$$

En forma parecida, la  $R^2$  para predicción de con el ajuste robusto es:

$$R^2 \text{ Predicción} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{21} (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{21} (y_i - \bar{y}_i)^2} = 1 - \frac{0.2892}{4.1947} = 0.93$$

Se puede observar que este valor es mayor que el valor correspondiente del modelo de mínimos cuadrados.

Recabando nuevas observaciones se ha visto que los ajustes por mínimos cuadrados como el robusto, producen ecuaciones razonablemente buenas de predicción. Hay cierta evidencia el ajuste robusto es mejor que los mínimos cuadrados.

## V.- CONCLUSIONES

En este capítulo se muestra la conclusión de la investigación y si se lograron los objetivos y las recomendaciones para la aplicación del proyecto del análisis del desempeño de las tres posiciones de la muñeca.

Se contestarán las hipótesis planteadas en el capítulo 1, las cuales son las siguientes:

1. El estrés muscular incrementa con posturas no neutrales. Específicamente, este aumenta con la muñeca flexionada.
2. Las medidas antropométricas de las personas influyen en el desempeño al utilizar el teclado de la computadora.
3. Hay un mejor desempeño al utilizar la posición neutral con respecto a las posiciones flexionada y extendida.

Los voluntarios en los tres experimentos mostraron una mayor incomodidad al utilizar la posición extendida, además algunos de ellos mostraron otras molestias en los hombros y espalda, mientras que en la posición neutral no se presentaron estos problemas. Sin embargo, hay un mayor desempeño en las posiciones flexionada y extendida, especialmente en la flexionada que en la neutral.

En los tres experimentos se rechaza la hipótesis que indica que la posición neutral tiene un mejor resultado, sin embargo, en los tres experimentos solo se realiza la prueba por un periodo de media hora en cada posición, por lo que también es importante considerar que a largo plazo tal vez la posición neutral podría dar un mejor resultado si se realiza una prueba con un mayor tiempo a media hora.

El objetivo de este proyecto de investigación consistió en determinar el desempeño que pueden tener los trabajadores de oficina al realizar teclado en computadora utilizando la posición neutral, extendida y flexionada y a su vez

determinar si se aprueba la hipótesis de que la posición neutral es la que da un mejor desempeño.

Esta investigación rechaza la hipótesis planteada anteriormente. Esto fue porque la posición extendida es la que presenta un mayor rendimiento con respecto a la posición neutral y flexionada. Se tiene que determinar cuál es la razón por la que la hipótesis se rechaza. De igual forma, mediante el análisis de regresión lineal se puede encontrar la forma en la que se puede determinar el desempeño que tienen los trabajadores con cada posición utilizando sus medidas antropométricas. Esto porque dichas medidas afectan directamente la cantidad de palabras que el trabajador puede teclear.

Al aplicar la comprobación utilizando el modelo de regresión lineal en cada una de las pruebas se obtiene un buen resultado, esto porque el modelo es bueno y arroja un porcentaje de predicción de más del 90% en todas las pruebas. Al compararlo con el resto de las pruebas en las otras posiciones se obtiene un modelo de regresión más o menos parecido, por lo tanto el modelo de regresión de cada prueba se puede utilizar en las otras y se obtendría una predicción igual o muy parecida.

Al realizar un nuevo análisis de regresión lineal hacia adelante con los datos de los experimentos uno y dos se obtienen una nueva ecuación de regresión lineal. Al aplicarla con los datos antropométricos esto nos arroja una predicción de alrededor de 80%. Por lo tanto se puede concluir que las medidas antropométricas pueden determinar directamente el rendimiento de una persona en el trabajo por computadora.

Aunque la posición extendida muestra un mejor desempeño, tal vez no sea lo más conveniente utilizarla debido a la incomodidad y fatiga que la persona podría presentar. El análisis de la fatiga se tiene pensado determinarlo en un futuro estudio de tesis.

Los resultados del presente documento pueden ser muy útiles al momento de aplicarlos en la industria de los trabajos de oficina. Esto porque se puede determinar el desempeño de los trabajadores en base a sus medidas antropométricas y saber si estos pueden llegar a presentar algún trastorno musculoesquelético. Hace falta todavía determinar la fatiga que cada una de las posiciones puede llegar a tener en la persona, lo cual posiblemente requiera de otro estudio de tesis. El presente, por el momento solo da como resultado el desempeño que tienen los voluntarios en base a sus medidas.

## VI.- BIBLIOGRAFIA

- Acevedo, M. (2003). Definiciones de Interes en la Ergonomia. *Ergos*, 1-4.
- Ahmad, S. (2016). Effect of Posture, Task Duration and Shift on Fatigue and. *International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences*, 293-302.
- Arenas, L., & Cantù, O. (2013). Factores de riesgo de trastornos músculo-esqueléticos crónicos laborales. *Med Int Mex*, 370-379.
- Bernard, B. (1997). *Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors*. Cincinnati: NIOSH.
- Carmona, A. (2003). *Aspectos antropométricos de la población laboral española aplicados al diseño industrial*. Madrid: INSHT.
- Castillo, J. (12 de Noviembre de 2018). *Sistema de Información Científica Redalyc*. Obtenido de Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173514138002>
- Chapanis, A. (1985). Some reflection on progress. *Proceedings of Human Factors Society 29th Annual Meeting* (págs. 1-8). Santa Monica, CA: Human Factors Society.
- Chengalur, S., Rodgers, S., & Bernard, T. (2004). *Kodak's Ergonomic Design for People at Work*. Canada: Wiley.
- Draper, N., & Smith, H. (1996). *Applied Regression Analysis* (2 ed.). Estados Unidos: Wiley Interscience.
- Fattorini, L., Tirabasso, A., Lunghi, A., Di Giovanni, R., Sacco, F., & Marchetti, E. (2016). Muscular synchronization and hand-arm fatigue. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1-4.
- Gerr, F. (2002). A prospective study of computer users. *Study design and incidence of musculoskeletal disorders*, 41, 221-235.
- Grandjean, E. (2001). Fatiga general. *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*, 29.39-29.40.
- Helper, C. C. (2016). <https://www.callcentrehelper.com/the-history-of-the-call-centre-15085.htm>.
- Herrera, R. E. (2002). *Ergonomia Aplicada al Software*. Guatemala.
- <http://www.imss.gob.mx/conoce-al-imss/memoria-estadistica-2017>. (Marzo de 2017). IMSS.
- <http://www.imss.gob.mx/conoce-al-imss/memoria-estadistica-2018>. (Agosto de 2018). IMSS.
- Jacobs, C. (2000). Call Center Ergonomics Makes Good Sense. *Building the Perfect Call Center*, 130, 4-78.
- LLaneza, L. (2008). *Ergonomía y psicología aplicada. Manual para la formación del especialista*. España: Lex Nova S.A.
- Melo, J. (2005). *Prevencion de Riesgos Ergonomicos*. Argentina: La Caja de Ahorro y Seguro.
- Mondelo, P. (2000). *Ergonomía 1; Fundamentos*. México: Alfaomega Grupo Editor.

- Montgomery, D. (2004). *Introducción al Análisis de Regresión Lineal*. Blacksburg: Grupo Editorial Patria.
- Muñiz, R. (2014). *Marketing en el Siglo XXI (5ª Edición ed.)*. Madrid, España: Centro de Estudios Financieros.
- Nogareda, C. (2008). *Ergonomía* (5 ed.). Madrid: INSHT.
- Norman, D. (1988). *The psychology of everyday things*. Nueva York: Basic Books.
- Osha Europa. (2016). Obtenido de <https://osha.europa.eu/es/themes/musculoskeletal-disorders>.
- Panero, J. (1991). *Las dimensiones humanas en los espacios interiores*. Mexico: G. Gili.
- Pheasant, S. (1986). *Bodyspace. Antropometry, Ergonomics and Design*. Londres: Taylor & Francis.
- Poochada, W. C. (2015). Ergonomic risk assesment among call center workers. *Procedia Manufacturing*, 3, 4613-4620.
- Qin, J. C. (2013). Wrist posture affects hand and forearm muscle stresses during tapping. *Applied Ergonomics*, 44, 969-976.
- Rempell, D. (1999). Pathophysiology of nervecompression syndromes: response of peripheral nerves to loading. *J. Bone Jt. Surg*, 81, 1600-1610.
- Repetto, A. (2005). *Bases biomecánicas para el analisis del movimiento humano*. Argentina: Bs. As.
- Rocha, L. (2005). Risk Factors for Muscolokeletal Symptoms among Call Center Operators of a Bank in Sao Paulo, Brazil. *Industrial Health*, 637-646.
- Rosenhahn, B. (2007). Human Motion - Understanding, Modelling, Capture and Animation. *Computational Imaging and Vision*, 1-22.
- Ruiz, M. (27 de Junio de 2013). *Seguridad Industrial, Alturas y Salud Ocupacional*. Obtenido de <http://industrial-alturasysaludocupacinoal.blogspot.com/2013/06/biomecanica-aplicada-al-diseno.html>
- Sanders, M., & McCormick, E. (1992). *Human Factors in Engineering and Design*. Wallingford, United Kingdom: McGraw-Hill.
- Sartika, T. (2015). Customer Service Information System for a Call Center. *Procedia Computer Science*, 59, 298-304.
- Sierra, O. (3 de Mayo de 2018). [http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista\\_colombiana\\_enfermeria/volumen5/prevalencia\\_sintomas\\_osteomusculares\\_factores\\_asociados\\_embaladores\\_leche\\_pasteurizadora\\_nemocon\\_cundinamarca.pdf](http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista_colombiana_enfermeria/volumen5/prevalencia_sintomas_osteomusculares_factores_asociados_embaladores_leche_pasteurizadora_nemocon_cundinamarca.pdf).
- Silveti, S., & Idoate, V. (2000). *Movimientos repetidos de miembro superior*. España: Protocolos de vigilancia sanitaria específica.
- Singleton, W. T. (2001). Naturaleza y Objetivos de la Ergonomía. *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*, 2-6.

- Soo, Y. (2012). Quantitative estimation of muscle fatigue on cyclic handgrip tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 103-112.
- Takala, E. (12 de Noviembre de 2018). *Agencia europea para la seguridad y salud en el trabajo*<https://osha.europa.eu/es/themes/musculoskeletal-disorders>.
- Vera, P. (1994). Ergonomía y psicología aplicada. Manual para la formación del especialista. *Ergonomía y psicología aplicada. Manual para la formación del especialista*, 361-369.
- Viladot, A. (2001). *Lesiones Basicas De Biomecanica Del Aparato Locomotor*. Berlín: Springer Science and Business Media.
- Villalobos, A. R., & Ripoll, F. S. (2003). Clasificación y Análisis de Puestos de Trabajo atendiendo a la Fatiga Muscular en una línea de montaje de automóviles. *V Congreso de Ingeniería de Organización*. Valladolid.
- Wahlstrom, J. (2005). Ergonomics, musculoskeletal disorders and computer work. *Occupational Medicine*, 168-176.
- Westgaard, R. (1996). Guidelines for Occupational Musculoskeletal Load as a Basis for Intervention: a Critical Review. *Apple Ergon*, 79-88.
- Worawan, P. (2015). Ergonomic Risk Assessment Among Call Center Workers. *Applied Ergonomics*, 969-976.

## VII.- ANEXOS

### Anexo 1

Voluntario	Voluntario 1	Voluntario 2	Voluntario 3	Voluntario 4	Voluntario 5	Voluntario 6	Voluntario 7	Voluntario 8	Voluntario 9	Voluntario 10	Voluntario 11	Voluntario 12
Rendimiento	873	694	1065	750	678	934	725	1042	686	627	666	943
Genero	M	M	F	F	M	M	F	M	M	M	F	F
Edad	20	21	20	21	21	21	20	21	21	21	21	21
Peso (Kg)	59	61.1	52	62	80	70	61.3	56	92	76	53.3	50
Estatura (m)	1.66	1.68	1.61	1.67	1.83	1.78	1.62	1.52	1.9	1.88	1.64	1.49
Grosor Mano RH	2.7	2.3	2.2	3	3.2	3.2	2.5	2.6	3.2	3.4	2.4	2.5
Grosor Mano LH	2.7	2.4	2.2	3	3.1	3.2	2.4	2.5	3.1	3.3	2.4	2.5
Largo Mano RH	17.6	17.1	16.3	18.6	19	18.1	16.4	15.6	18.5	18.6	17.6	16.1
Largo Mano LH	17.5	16.9	16.5	18.4	19.4	18.3	16.6	15.4	18.6	18.7	17.6	16
Largo dedo medio RH	7.5	7.7	6.9	8	8.4	7.9	7.1	6.4	8.6	7.9	7.6	7.2
Largo dedo medio LH	7.4	7.6	6.5	8	8.4	8.1	7.2	6.5	8.8	8	7.5	7.1
Ancho mano RH	6.8	7.8	6.6	8.5	8.1	8	7.2	6.8	8.2	8	7.1	6.9
Ancho mano LH	6.7	7.7	6.7	8.3	8	8.2	7.3	7	8.1	8.2	6.9	6.7
Longitud del Pulgar RH	10.5	10	11.1	11.2	11.8	12.3	9.6	10.9	7.4	12	11.7	10.4
Longitud del pulgar LH	10.6	10	11.1	10.6	12	11.9	9.6	10.8	7.4	12.3	11.7	10.5
Ancho del Pulgar RH	1.6	1.2	1.5	1.9	1.6	1.9	1.7	1.6	2	1.8	1.6	1.2
Ancho del pulgar LH	1.5	1.2	1.5	1.9	1.6	1.8	1.7	1.6	2	1.8	1.5	1.2
Ancho del dedo medio RH	1.2	1.8	1.2	1.8	1.5	1.6	1.3	1.3	1.8	1.6	1.3	1.3
Ancho del dedo medio LH	1.3	1.7	1.1	1.8	1.5	1.6	1.2	1.1	1.8	1.6	1.2	1.2
Ancho de la muñeca RH	4.5	4.9	4	5	5.5	5.7	5.2	4.8	5.6	6	4.6	4.4
Ancho de la muñeca LH	4.6	4.8	4.3	5	5.5	5.7	5.2	4.8	5.6	6	4.6	4.5
Grosor de la muñeca RH	3.2	3.3	3.2	3.8	3.9	3.8	3.4	3.2	4	4	2.9	3.5
Grosor de la muñeca LH	3.3	3.3	3	3.8	4	3.7	3.5	3.1	4	4.1	3	3.4
Longitud hombro-codo RH	35	36.1	34.5	35.8	37.8	38.2	33.1	33	34.2	38.3	34.4	30.9
Longitud hombro-codo LH	36	36	35	35.6	37.8	38.1	32.5	32.3	34.2	39.2	35.1	31.2
Longitud del brazo RH	62	64	63.3	64.4	67.5	68.9	73.8	57.4	83.8	68.5	65.8	58.5
Longitud del brazo LH	63	64	61.2	64.6	68	67.4	74.4	57.2	83.6	69	65.1	58
Longitud brazo-espalda RH	71	71	66.6	70.5	76	81.9	86.9	64	91.7	79.5	73.6	61.5
Longitud brazo-espalda LH	72	71	69.4	71	77	81.5	86.9	63.5	91.7	78.5	74.1	61.8



## Anexo 2

Voluntario	Voluntario 1	Voluntario 2	Voluntario 3	Voluntario 4	Voluntario 5	Voluntario 6	Voluntario 7	Voluntario 8	Voluntario 9	Voluntario 10	Voluntario 11
Rendimiento	806	772	803	1137	853	947	919	931	872	905	1412
Genero	M	F	F	F	F	F	M	M	M	F	M
Edad	22	22	23	22	22	22	22	22	22	23	22
Peso (Kg)	84	46	74	44	43	59	86	74	88	56.5	64
Estatura (m)	1.62	1.49	1.67	1.51	1.56	1.65	1.76	1.79	1.77	1.56	1.74
Grosor Mano RH	4.2	4	3	3	3.4	3.3	3.6	3.8	4	3.5	3.1
Grosor Mano LH	4.4	3.9	3.1	2.9	3.8	2.6	2.8	3.9	3.9	3.6	3.2
Largo Mano RH	17.9	16.7	17.2	16.9	16.4	17.2	17	19.6	19.2	17.1	17.6
Largo Mano LH	18.2	16.7	17.5	16.8	16	17.2	17.2	19.6	19.5	17	18
Largo dedo medio RH	7.6	7.4	8	7.2	7.4	7.5	7.3	9.1	8.9	7.9	7.6
Largo dedo medio LH	7.9	7.6	7.8	7.1	7.2	7.6	7.2	8.8	9.1	7.8	7.8
Ancho mano RH	8.2	7.1	7.9	7.1	7	6.4	7.5	9.1	8.7	7.3	8.5
Ancho mano LH	8.6	7.1	7.8	6.7	7	6.6	7	9.1	8.5	7.4	8.6
Longitud del Pulgar RH	11.6	11.1	11.1	11.5	11.1	9.2	10	12.2	12.2	11.2	12.4
Longitud del pulgar LH	11.6	11.2	11.2	11.4	11.5	10.2	10.4	12.3	11.9	11.2	12
Ancho del Pulgar RH	2.3	1.9	2.1	1.8	1.6	1.3	1.2	2.2	2.1	1.9	2.2
Ancho del pulgar LH	2.3	1.8	2.1	1.9	1.8	1.3	1.3	2.2	2.1	1.9	2.2
Ancho del dedo medio RH	2.1	1.8	1.6	1.7	1.6	1.5	1.5	2.2	2	1.7	2
Ancho del dedo medio LH	2.1	1.8	1.5	1.6	1.5	1.3	1.5	2.1	2	1.7	1.9
Ancho de la muñeca RH	5.2	1.3	5.5	4.6	4.6	4.5	5.4	5.1	5.5	3.2	5.5
Ancho de la muñeca LH	5.2	1.3	5.7	4.6	4.7	4.7	5.5	5.1	5.4	3.8	5.3
Grosor de la muñeca RH	4.6	3.7	4	3.4	3.3	3.4	3.5	4.2	4.5	4.2	4.1
Grosor de la muñeca LH	4.5	3.8	4.2	3.4	3.2	3.5	3.4	4.2	4.5	4.1	4.1
Longitud hombro-codo RH	33.6	32	41	29.5	31.9	33	35.5	38.1	34.7	34	35.2
Longitud hombro-codo LH	34	32	40.5	30.1	31.3	33.5	35.5	38.1	35.4	34	35.2
Longitud del brazo RH	62	51.9	67	55.9	61.9	66.3	66.8	68	35.8	59.5	65.1
Longitud del brazo LH	62.5	51.5	66	56.4	61.3	64	66.5	68	35.6	59	65
Longitud brazo-espalda RH	73	64.5	76	64.9	76.7	83.5	77	82	80.5	69.4	77
Longitud brazo-espalda LH	72.5	64	78	64.2	77	83.5	76	83	80.2	69.4	77

### Anexo 3

Voluntario	Voluntario 1	Voluntario 2	Voluntario 3	Voluntario 4	Voluntario 5	Voluntario 6	Voluntario 7	Voluntario 8	Voluntario 9	Voluntario 10
Rendimiento	807	487	908	857	790	1316	1012	521	957	939
Genero	M	M	M	M	F	M	M	F	M	F
Edad	21	23	20	20	21	21	22	23	23	22
Peso (Kg)	80	86	70	59	74	70	86.4	47	74	61
Estatura (m)	1.85	1.74	1.71	1.66	1.53	1.85	1.87	1.54	1.84	1.54
Grosor Mano RH	2.7	3.2	3.1	2.8	2.3	3.1	3.4	2.9	3.6	2.8
Grosor Mano LH	2.9	3.2	3	2.7	2.3	3.1	3.5	2.5	3.5	2.5
Largo Mano RH	19	19	13.3	17.5	15.2	19.5	18	15.8	15.3	17.2
Largo Mano LH	19.3	19	13.4	17.7	15.1	19.6	18.5	16.3	19.3	17.4
Largo dedo medio RH	7.8	8.1	8.2	7.3	5.5	8.2	8.3	6.9	7.8	7.4
Largo dedo medio LH	7.9	8.1	8.3	7.4	5.5	8.2	8.2	6.8	8.1	7.4
Ancho mano RH	8.2	8.1	8.4	6.7	7	8.4	8	6.6	8.1	7.2
Ancho mano LH	8.1	8	8.2	6.6	6.9	8.3	8	6.9	7.9	7
Longitud del Pulgar RH	12.1	11.9	12.9	10.7	9	12.2	11.3	11.4	11.7	10.9
Longitud del pulgar LH	12	11.9	12.7	10.6	8.8	13.4	11.2	11.3	11.7	10.5
Ancho del Pulgar RH	2	1.9	2.2	1.5	1.5	2.1	1.7	1.7	2	1.7
Ancho del pulgar LH	1.9	1.9	2.2	1.5	1.5	2.1	1.7	2	2.1	1.8
Ancho del dedo medio RH	1.6	1.6	1.8	1.1	1.4	1.7	1.6	1.4	1.9	1.6
Ancho del dedo medio LH	1.6	1.6	1.9	1.1	1.3	1.9	1.6	1.6	1.9	1.7
Ancho de la muñeca RH	5.2	5.7	5.2	4.6	4.5	5.7	5.8	4.7	4.9	4.6
Ancho de la muñeca LH	5.3	5.7	5.1	4.7	4.6	5.5	5.8	4.9	5.1	4.7
Grosor de la muñeca RH	3.6	4	4	3.1	3.2	3.9	4.1	3.4	4	3.6
Grosor de la muñeca LH	3.9	3.8	4.2	3.2	3.2	3.9	4.1	3.1	4	3.5
Longitud hombro-codo RH	35.7	36.8	38.4	34	33	40	40.8	30.2	39	31.9
Longitud hombro-codo LH	35.9	36.5	39.3	35	32	39	40.8	30.5	39	31
Longitud del brazo RH	60.7	67.2	68	61.5	58	69	67	65	67.7	55
Longitud del brazo LH	62	67.2	68	62	57	67	67	65.5	68.4	55.9
Longitud brazo-espalda RH	70.5	82.5	76	70.5	61.1	73.5	72	71	80	66
Longitud brazo-espalda LH	70.6	82.5	74.5	71	61	73	72	70.2	78	65.6