

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN CIENCIAS E INGENIERÍA



**Optimización del proceso de armado de arnés aplicando Lean
Manufacturing y Ergonomía Participativa.**

T E S I S

que presenta para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS

Ing. Jesús Salvador Castillo Palacios

DIRECTOR DE TESIS:

Dra. Karla Isabel Velázquez Victorica

CO-DIRECTOR DE TESIS

Dr. Carlos Raúl Navarro González

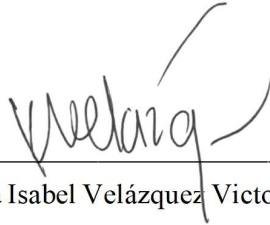
MEXICALI, B. C.

OCTUBRE DE 2023

RESUMEN de la Tesis de Jesús Salvador Castillo Palacios, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS. Mexicali, Baja California, México. Abril de 2023.

Optimización del proceso de armado de arnés aplicando Lean Manufacturing y Ergonomía Participativa.

Resumen aprobado por:



Dra. Karla Isabel Velázquez Victorica
Director de tesis



Dr. Carlos Raúl Navarro González
Co-director de tesis

La fabricación de arneses eléctricos es de gran importancia para simplificar ensambles en las distintas industrias entre ellas la aeroespacial y la automotriz, pero debido a su gran variedad de modelos y sus materiales, la automatización de sus procesos de producción es muy difícil. Haciendo que sus procesos sean ineficientes y de alto riesgo ergonómico. Para poder optimizar los procesos y que las empresas sean competitivas es importante implementar las herramientas de Lean Manufacturing y Ergonomía Participativa.

El objetivo de esta investigación es mejorar la productividad y bienestar laboral optimizando el proceso de armado de arnés eléctrico mediante las herramientas Lean Manufacturing y Ergonomía Participativa, buscando aquellas herramientas que sirven para mejorar los procesos manuales, así como la integración de los trabajadores en el control de la producción y el bienestar laboral.

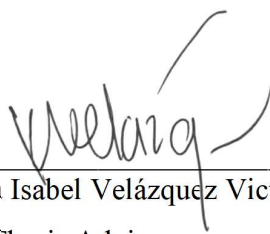
Se implementó una metodología de 5 fases en una industria manufacturera de arneses eléctricos aplicando las herramientas de Lean Manufacturing y métodos Ergonómicos, donde se formó un comité multidisciplinario de ingenieros y trabajadores para la detección de los problemas ergonómicos e implementación de propuestas de mejoras. Logrando optimizar los procesos mediante la automatización parcial, reduciendo 30% la repetitividad de movimientos y el tiempo de ciclo. Además, se eliminó el malestar de trastorno musculoesquelético, mejorando el bienestar laboral.

Palabras clave: arneses eléctricos, Ergonomía Participativa, Lean Manufacturing, Optimización de Procesos

ABSTRACT of the thesis, presented by Jesus Salvador Castillo Palacios, in order to obtain the **MASTER of ENGINEERING DEGREE in INDUSTRIAL ENGINEERING**. Mexicali, Baja California, México. April 2023.

Optimization of the wire harness assembly process applying Lean Manufacturing and Participatory Ergonomics

Approved by:


Dra. Karla Isabel Velázquez Victorica
Thesis Advisor


Dr. Carlos Raúl Navarro González
Thesis Co-advisor

The manufacture of electrical harnesses is of great importance to simplify assemblies in different industries, including aerospace and automotive, but due to their great variety of models and materials, the automation of their production processes is very difficult. It is Making your processes inefficient and high ergonomic risk. To optimize processes and make companies competitive, it is important to implement Lean Manufacturing and Participatory Ergonomics tools.

The objective of this research is to improve productivity and workplace well-being by optimizing the assembly process of electrical harnesses using Lean Manufacturing and Participatory Ergonomics tools, seeking those tools that serve to improve manual processes, as well as the integration of workers in the control of production and labor well-being.

A 5-phase methodology was implemented in an electrical harness manufacturing industry applying Lean Manufacturing tools and Ergonomic methods, where a multidisciplinary committee of engineers and workers was formed to detect ergonomic problems and implement improvement proposals. Managing to optimize processes through partial automation, reducing the repetitiveness of movements and cycle time by 30%. In addition, the discomforts inherent to the musculoskeletal disorder were eliminated, improving work well-being.

Keywords: wire harness, Participatory Ergonomics, Lean Manufacturing, Process Optimization

ÍNDICE

Página

1. Planteamiento de la Investigación	
1.1 Antecedentes	7
1.2 Planteamiento del problema	12
1.3 Justificación	12
1.4 Objetivo general	13
1.5 Objetivos específicos	13
1.6 Hipótesis	13
1.7 Preguntas de investigación	14
2. Estado del Arte	15
2.1 Lean Manufacturing y Ergonomía	15
2.2 Enfermedades asociadas a operaciones manuales	18
2.3 Ergonomía Participativa	22
2.4 Enfoque integrador de la Ergonomía Participativa	23
2.5 Proceso de armado de arneses eléctricos	26
2.6 Aplicación de Lean y Ergonomía en la industria de arneses	27
3. Marco teórico	29
3.1 Lean Manufacturing	29
3.2 Desperdicios (Mudas)	30
3.3 Métodos, herramientas, procedimientos aplicados a Lean Manufacturing	33
3.4 Ergonomía	38
3.4.1 Ergonomía Geométrica	40
3.4.2 Ergonomía Temporal	41
3.5 Ergonomía Participativa	42
3.6 Cuestionarios para evaluar molestias musculoesqueléticas	44
3.7 Checklist para evaluar áreas de trabajo	48
3.8 Análisis Jerárquico de Tareas (HTA) para analizar procesos y tareas	50
3.9 Métodos ergonómicos	52
3.10 Estadística descriptiva y ANOVA	60
3.11 Normativa asociado a procesos manuales de arneses.	64
4. Metodología	66
4.1 Recopilación de Información	67
4.2 Diagnóstico y Valoración	68
4.3 Análisis de Propuestas	69
4.4 Impacto de las mejora e implementación	69
4.5 Análisis de resultados y Propuesta de control	70
5. Caso de estudio	71
5.1 Antecedentes de la empresa	71
5.2 Procesos	71
5.3 Identificación del proceso crítico	72
5.4 Validación de la metodología	75
5.4.1 Fase 1	76
5.4.2 Fase 2	78
5.4.3 Fase 3	86
5.4.4 Fase 4	88
5.4.5 Fase 5	93
5.5 Resultados y acciones de seguimiento	96
6. Discusión	100

7. Conclusiones y Recomendaciones	<u>Página</u>
Referencias	107
Apéndice	109
	122

Índice de figuras

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
1.- Figura 3.1 Ejemplo de VSM	33
2.- Figura 3.2 Símbolos del VSM	34
3.- Figura 3.3 VSM con mejoras potenciales	35
4.- Figura 3.4 Diagrama de 5'S	35
5.- Figura 3.5 Cuestionario musculoesquelético de Cornell versión masculina	44
6.- Figura 3.6 Cuestionario musculoesquelético de Cornell versión mano derecha	45
7.- Figura 3.7 Ejemplo de Cuestionario Nórdico Parte 1	46
8.- Figura 3.8 Ejemplo de Cuestionario Nórdico Parte 2	47
9.- Figura 3.9 Ejemplo de Cuestionario Nórdico Parte 3	47
10.- Figura 3.10 Estructura del Análisis Jerárquico de Tareas (HTA)	50
11.- Figura 3.11 Ejemplo del Análisis Jerárquico de Tareas HTA	52
12.- Figura 3.12 Ejemplo de análisis Suzanne Rogers	53
13.- Figura 3.13 Formato estándar de Evaluación de Riesgos Ergonómicos en el Trabajo WERA Parte 1	58
14.- Figura 3.14 Formato estándar de Evaluación de Riesgos Ergonómicos en el Trabajo WERA Parte 2	59
15.- Figura 4.1 Fases de la metodología	66
16.- Figura 5.1 Casos Ergonómicos por parte del cuerpo	73
17.- Figura 5.2 Casos Ergonómicos por parte del cuerpo	73
18.- Figura 5.3 Diagnósticos Ergonómicos	74
19.- Figura 5.4 Casos Ergonómicos por proceso	74
20.- Figura 5.5 Casos Ergonómicos por antigüedad	75
21.- Figura 5.6 Casos Ergonómicos por área	75
22.- Figura 5.7 Diagrama de la línea Hanon 1	76
23.- Figura 5.8 VSM de la línea Hanon 1	77
24.- Figura 5.9 Encuestas aplicadas por proceso	78
25.- Figura 5.10 % de respuestas Cornell por parte del cuerpo	79
26.- Figura 5.11 Proporción de niveles de frecuencia, incomodidad e incapacidad Cornell	79
27.- Figura 5.12 Análisis Rodgers de la estación pullchecker 3 en manos/dedos/muñecas	81
28.- Figura 5.13 Método manual para sujetar y liberar conectores	86
29.- Figura 5.14 Método neumático para sujetar y liberar conectores	86
30.- Figura 5.15 FMEA HanoIn 1	88
31.- Figura 5.16 Pinzamientos finos de la estación de pullchecker	89
32.- Figura 5.17 Sistema manual de cierre de conector	91
33.- Figura 5.18 VSM futuro de la línea Hanon 1	92
34.- Figura 5.19 Antes y después de la mejora	93
35.- Figura 5.20 Gráfica de caja Antes y Después de la mejora	94
36.- Figura 5.21 Gráfica de caja Pullchecker 3 antes, muestra1 y muestra 2	95
37.- Figura 5.22 Gráfica de caja productividad Real, Alternativa 1 y Alternativa 2	95

Índice de tablas

<u>Tabla</u>	<u>Página</u>
1.- Tabla 2.1 Comparativa de autores Lean Manufacturing y Ergonomía	17
2.- Tabla 2.2 Definición de Ergo-Lean	18
3.- Tabla 2.3 Principales factores de riesgo de trastorno musculoesquelético asociadas a operaciones manuales	20
4.- Tabla 3.1 Herramientas de Lean Manufacturing para eliminación de desperdicios	32
5.- Tabla 3.2 Atributos de la filosofía Kaizen	38
6.- Tabla 3.3 Proceso de diseño participativo, adaptado por Vink et al. (2005) y Kuijt-Evers (2006)	43
8.- Tabla 3.4 Puntuaciones del cuestionario de malestar musculoesquelético de Cornell	45
9.- Tabla 3.5 Ejemplo del checklist de NIOSH	49
10.- Tabla 3.6 Nivel de riesgo y severidad del método Suzanne Rogers	54
11.- Tabla 3.7 Tabla de tratamientos	62
12.- Tabla 3.8 Tabla ANOVA	63
12.- Tabla 3.9 Puntos críticos al 5% de la distribución F, $P(X > x) = 0.05$	63
13.- Tabla 5.1 Casos Ergonómicos del 2018 al 2020	72
14.- Tabla 5.2 Nivel Promedio de riesgo Cornell	88
15.- Tabla 5.3 Resultados Rodgers línea Hanon 1	82
16.- Tabla 5.4 Nivel máximo de riesgo Rodgers por proceso	83
17.- Tabla 5.5 Nivel promedio de riesgo Rodgers por parte del cuerpo	83
18.- Tabla 5.6 Método Ocra Checklist de la línea Hanon	84
19.- Tabla 5.7 Método manual contra método neumático	87
20.- Tabla 5.8 Mejoras y su impacto	90
21.- Tabla 5.9 Análisis de Varianza del antes y después de la mejora	94
22.- Tabla 5.10 ANOVA del antes, muestra 1 y 2 de la mejora	95
23.- Tabla 5.11 Prueba LSD de Fisher de la mejora	97
24.- Tabla 5.12 Tabla de Resultados	98
24.- Tabla 5.13 Análisis de Varianza Real, Alternativa 1 y Alternativa 2	99
25.- Tabla 5.14 Prueba LSD de Fisher Real, Alternativa 1 y Alternativa 2	100
23.- Tabla A1 Distribución F 95% de confiabilidad	123

Capítulo 1

Planteamiento de la Investigación

1.1 Antecedentes

La construcción de arneses eléctricos es una de las actividades más importante debido a que de ella dependen industrias como la automotriz, transporte, construcción, médica, aeroespacial, entre otras. Tanto Masakazu Kobayashi, et al. (2014) como Palomba, et al. (2021) definen los arneses eléctricos como un conjunto de alambres o cables que se utilizan para transmitir señales y suministrar energía eléctrica. El arnés se obtiene uniendo los cables mediante cinta, correas, ataduras, cordones, etc. El objetivo de un arnés es simplificar la instalación de los cables agrupándolos en un paquete compacto que requiere una sola operación de instalación, disminuyendo el tiempo de instalación. No obstante, el armado de un arnés eléctrico es una operación que requiere mucho tiempo debido a su complejidad.

Los procesos básicos de fabricación de arneses eléctricos son el corte de cable, despunte, prensado manual, engarzado, soldadura, enrutado, inserción, etiquetado o estampado, encintado entre otros. La producción del arnés eléctrico se divide en dos partes: el prearmado, que es la etapa de preparación del cable, como cortar, engarzar y pegar antes de ensamblar con otros cables, y el ensamblaje final. (Sugiono, et al., 2018). Por lo general, en el proceso de fabricación de arneses eléctricos se utilizan los métodos manuales para operaciones como desforre, despunte, crimpado o prensado. Masakazu Kobayashi, et al. (2014) menciona que los procesos manuales de arnés se realizan sobre un banco de trabajo con horquillas en forma de tenedor. También se usan herramientas neumáticas como son las prensadoras o crimpadoras de terminales y máquinas de corte, despunte y crimpado. Heisler, et al. (2020) afirman que el ensamble de arneses eléctricos

se ha efectuado principalmente de manera manual hasta ahora, ya que la automatización completa ha demostrado ser difícil para la fabricación de material flexible con muchas variantes.

Es importante tener en cuenta las normativas, criterios de aceptación y la clasificación en la industria manufacturera de arneses eléctricos, en relación con la aplicación que se le va a dar. Uno de los estándares que se utilizan en la industria manufacturera de arneses eléctricos es el estándar IPC/WHMA-A-620C (2017). Este estándar establece prácticas y requisitos para la fabricación de cables, alambres y mazos de cables.

Según Hernández, J. y Carrillo, J. (2018), una de las normas de gestión de calidad de la industria manufacturera aeroespacial es la AS9100 o EN9100:2018/AS9100D de NQA que está basada en ISO 9001. Muchas de las industrias aeroespaciales requieren estar certificados en AS9100 para poder vender los productos. Las auditorías de AS9100 verifican que se estén siguiendo los procesos estipulados por la empresa y que toda la documentación sea llenada correctamente. Además de la norma AS9100 las industrias aeroespaciales se certifican en Nadcap (National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program). Esta norma tiene un apartado para las pruebas y los productos electrónicos.

En los últimos años la filosofía Lean Manufacturing va tomando cada vez más fuerza entre las industrias. Más empresas van adoptando la metodología Lean. Hay muchas definiciones de Lean Manufacturing. Escalda Villalobos, et al. (2016) definen Lean Manufacturing como “la aplicación sistemática y habitual de un conjunto de técnicas de fabricación que buscan mejorar los procesos productivos a través de la reducción de todo tipo de “desperdicios”, enfocándose en la creación de flujo para poder entregar el máximo valor”. Gisbert Soler, (2015) afirma que con la aplicación de las herramientas de la filosofía Lean, las empresas conseguirán la eliminación de desperdicios, la mejora de la productividad y calidad basándose en el respeto al trabajador.

Un ejemplo de implementación de Lean Manufacturing en la industria de arneses - eléctricos es el trabajo de Cano, et. al (2019), que implementaron varias herramientas de Lean

Manufacturing tales como círculo Deming. Ellos lograron mejorar el diseño de las estaciones de trabajo reduciendo el número de operadores de 35 a 29.

Además de Lean Manufacturing es importante considerar la Ergonomía en la industria ya que busca prevenir riesgos laborales los cuales se generan por el esfuerzo físico, las actividades repetitivas o las posturas forzadas que tienen como consecuencia fatiga, errores, accidentes y enfermedades (NOM-036-1-STPS-2018, 2018). Una de las más frecuentes enfermedades que experimentan los trabajadores son los trastornos musculoesqueléticos. Sugiono, et al. (2018) afirma que “El trastorno musculoesquelético es una de las principales quejas que experimentan los trabajadores”. Por otro lado, Bernardes, et al. (2020) afirman que las intervenciones de Ergonomía en el lugar de trabajo se implementan con frecuencia en todo el mundo para prevenir los trastornos musculoesqueléticos. En la industria manufacturera en general se busca reducir costos y aumentar la producción dejando de lado el tema de la Ergonomía. Brito, et al. (2019) afirman que la presión extrema para que las empresas sean competitivas en los mercados de su elección parece tener un efecto negativo en el bienestar de los trabajadores.

En México existen normas que se enfocan en la prevención y el manejo manual de cargas y una de ellas es la norma oficial mexicana NOM-036-1-STPS-2018. Esta norma tiene como objetivo “establecer los elementos para identificar, analizar, prevenir y controlar los factores de riesgo ergonómico en los centros de trabajo derivados del manejo manual de cargas, a efecto de prevenir alteraciones a la salud de los trabajadores” (NOM-036-1-STPS-2018, 2018).

El principal objetivo de la Ergonomía es desarrollar y aplicar las técnicas de adaptación del hombre a su trabajo y formas eficientes y seguras con el fin de optimizar el bienestar y así aumentar la productividad (dos-Santos, et al. 2015).

Dado que la Ergonomía es parte del departamento de Seguridad y Salud Ocupacional (SST) (esencialmente para responder a los requisitos legales y realizar la gestión de riesgos), los gerentes tienden a reducir inadvertidamente su alcance de intervención a los peligros (Brito, et

al., 2019). Algunos autores como Kester (2013) mencionan que los procesos Lean representan un problema para la Ergonomía debido a que se da énfasis en operaciones repetitivas sin dar el descanso necesario al trabajador para que se recupere. Los autores como Tortorella et al. (2017), Brito et al. (2017) argumentan que Lean Manufacturing y la Ergonomía no son contrarios, sino que la implementación de ambos es favorable tanto para la producción como para el bienestar de los trabajadores.

Existen beneficios en la implementación de Lean Manufacturing y Ergonomía, Brito, et al., (2019) mencionan que la integración de los principios de Lean Manufacturing y Ergonomía, desde la fase de diseño de la estación de trabajo en adelante, puede traer beneficios al bienestar de los trabajadores y simultáneamente potencializar mejoras en la productividad. Khani Jazan, et al. (2018) argumentan que la Ergonomía y las herramientas Lean pueden utilizarse simultáneamente ya que ambas tratan de mejorar la productividad, la Ergonomía a través de la adaptación entre personas y trabajo mientras que Lean Manufacturing eliminando desperdicios. Miguez, et al. (2018) argumentan “que la falta de análisis ergonómico puede considerarse un desperdicio dentro de la filosofía Lean Manufacturing”.

Debido a la necesidad de detectar los riesgos ergonómicos que pueden reducir el bienestar del trabajador en la industria una de las metodologías que se utilizan para potenciar el análisis ergonómico es la Ergonomía Participativa, que integra en el análisis la participación de los trabajadores. La Ergonomía Participativa se define como "una estrategia que involucra a las personas en la planificación y control de una parte significativa de su trabajo, con el suficiente conocimiento y capacidad para influir sobre los procesos y sus resultados con el objetivo de conseguir metas específicas, asociadas al control de problemas de Ergonomía" (Haines y Wilson, 1998). Las etapas del programa de Ergonomía Participativa son el análisis, evaluación de riesgos ergonómicos, plan de acción, ejecución y verificación de medidas de control (Pinto-Retamal, 2015).

Mejias-Herrera, (2018) obtuvo resultados positivos en calidad, productividad y calidad de vida laboral al aplicar métodos ergonómicos en los cuales interviene la Ergonomía Participativa. Bernardes, et al. (2020) muestran en su investigación resultados satisfactorios al reducir los problemas musculoesqueléticos con acciones de bajo costo y baja tecnología aplicando Ergonomía Participativa. Brandt, et al. (2015) mencionan que la Ergonomía Participativa aumenta potencialmente el éxito de las intervenciones destinadas a reducir las exposiciones físicas excesivas. Miguez, et al. (2018) implementaron en un proceso de una industria metalmecánica un método ergonómico basado en Lean Manufacturing y Ergonomía Participativa el cual consiste en siete fases: identificación del problema, especificación del problema mediante evaluación ergonómica utilizando RULA y método de observación, análisis de problemas, clasificación de valor agregado y determinación de causas, Plan de acción, implementación, nuevo análisis ergonómico y validación de resultados. Sus resultados en reducción de movimientos, transporte y retrabajos como en el bienestar del trabajador fueron positivos.

La Ergonomía Participativa sirve para la evaluación tanto Microergonomía como Macroergonomía, es decir, que puede evaluar las estaciones de trabajo, las herramientas y las tareas que realizan en esta, así como la organización y el entorno (Realyvásquez-Vargas et al., 2018). La Ergonomía Participativa nos ayuda al desarrollo de los trabajadores, así como el desarrollo organizacional (Selamat et al., 2021).

Existe poca información en relación con la aplicación Lean Manufacturing y Ergonomía Participativa, como lo menciona Khani Jazan, et al. (2018). Se necesita explorar este tema para la industria de arneses ya que sus procesos son difíciles de automatizar, lo cual dificulta la optimización de sus procesos y genera riesgos ergonómicos debido al trabajo manual repetitivo.

1.2 Planteamiento del Problema

La industria de arneses es esencial tanto en la cadena de suministros, transporte público y privado, en aplicaciones comerciales, industriales y personales. Las principales industrias son la aeroespacial, automotriz, médica, construcción, entre otras. Existe una gran variedad de arneses, con procesos de gran carga manual, difíciles de automatizar y con muchas normativas para asegurar su calidad, lo que origina los riesgos en la salud de los trabajadores. De esta forma se encuentran diversas áreas de oportunidad en el manejo de materiales, reducción de costos y mejora a la salud.

En base a lo anterior y la escasez de información relacionada a la implementación de la metodología de Lean Manufacturing y Ergonomía Participativa, en los ámbitos de la Microergonomía y Macroergonomía, es cómo se detecta la necesidad de aplicarlo en el ramo automotriz para optimizar el proceso de armado de arneses.

1.3 Justificación

La optimización en el proceso de armado de arnés ayudará a la empresa a ser más competitiva y facilitar el cumplimiento de las normativas críticas hacia la seguridad aeroespacial y automotriz mediante la utilización del enfoque de Lean Manufacturing.

La exploración de la Ergonomía Participativa en los ámbitos de la Microergonomía y la Macroergonomía dentro del proceso de armado de arnés, el cual conlleva una excesiva carga manual, apoyará hacia la reducción de riesgos laborales y mejorará las condiciones del personal. Lo que redundaría en reducción de rotación de personal, de inasistencias, incapacidades y mejora el bienestar de los trabajadores de esa área.

Tal como mencionó en los antecedentes Lean Manufacturing está orientada a mejorar la productividad y calidad de los productos; mientras que la Ergonomía Participativa a apoyar la calidad laboral y bienestar de los trabajadores. Por lo que su integración sinérgica será de gran

ayuda para la industria en Mexicali, B.C., México.

1.4 Objetivo General

Mejorar la productividad y bienestar laboral optimizando el proceso de armado de arnés eléctrico mediante las herramientas Lean Manufacturing y Ergonomía Participativa en una maquiladora de la ciudad de Mexicali, Baja California.

1.5 Objetivos específicos

1. Analizar la integración de Lean Manufacturing en el proceso de arnés mediante la búsqueda de herramientas Lean relacionadas a procesos manuales.
2. Analizar la integración de aspectos de Ergonomía y Ergonomía Participativa en los ámbitos de la Microergonomía y Macroergonomía en el proceso de arnés mediante la búsqueda de estrategias y métodos relacionados a procesos manuales.
3. Proponer un índice integrador hacia la productividad y bienestar laboral en el proceso de armado de arnés, para la integración de Lean Manufacturing y Ergonomía Participativa.
4. Generar propuestas con la participación de trabajadores hacia la mejora y control de la productividad y bienestar laboral.
5. Validar cambios hacia la estación de trabajo en la productividad y bienestar laboral.

1.6 Hipótesis

A través de la integración de Lean Manufacturing y Ergonomía Participativa se logrará la optimización del proceso de armado de arneses y mejorar el bienestar laboral de los trabajadores.

1.7 Preguntas de investigación

Las preguntas de investigación que guiarán este proyecto son:

1. ¿Cómo la sinergia entre Lean Manufacturing y Ergonomía Participativa, en los ámbitos de la microergonomía y macroergonomía, pueden incidir en el índice propuesto de productividad y bienestar laboral, y en la optimización del proceso de armado de arnés?
2. ¿De qué manera se pueden reducir los desperdicios y costos de operación asociados con la integración entre Lean Manufacturing y Ergonomía Participativa?
3. ¿Cómo influye la Ergonomía Participativa en la detección de riesgos en el proceso productivo?

Capítulo 2

Estado del Arte

Este capítulo consiste en una revisión de literatura acerca de los temas de Lean Manufacturing, Ergonomía Participativa y sus beneficios, riesgos y limitaciones en general y su aplicación en el proceso de arneses eléctricos. Se verá las principales enfermedades y riesgos ergonómicos en los procesos de alta carga manual. También, el cómo los distintos autores abordan las herramientas de filosofía Lean Manufacturing y la Ergonomía en procesos manuales y en el de los arneses eléctricos, sus beneficios y problemáticas, así como la interacción y beneficios paralelos con otras áreas. Se abordará el tema de la Ergonomía Participativa de un punto de vista Microergonómico hacia Macroergonómico, su efectividad, beneficios y limitaciones. Se hablará de los procesos de los arneses, sus dificultades al momento de automatizar y sus problemáticas con respecto a los riesgos Ergonómicos.

2.1 Lean Manufacturing y Ergonomía

La adaptación de Lean Manufacturing con perspectiva ergonómica ha sido estudiada por varios autores. Se han hecho descubrimientos positivos al utilizar ambas metodologías integradas a varios sectores tanto industriales como de servicios. De acuerdo con la investigación de Vinoth Kumar et al. (2020) algunos de los efectos positivos de la implementación de Lean Manufacturing y Ergonomía son la disminución del ausentismo, mejores condiciones y calidad de trabajo, cumplimiento del plan de producción, entregas a tiempo, incremento de la eficiencia, calidad, y de los ingresos. De igual modo Tortorella et al. (2020) afirma que la implementación de herramientas Lean considerando aspectos ergonómicos es posible mejorar la productividad y las condiciones laborales del trabajador.

Queda claro que incluir los aspectos ergonómicos dentro de la filosofía Lean trae consigo beneficios que impactan tanto en el bienestar laboral como en la mejora de los procesos productivos porque ambos buscan mejorar la productividad (Khani Jazani et al., 2018). Además, también tiene impacto en la calidad, porque tanto la gestión de la calidad como de la Ergonomía tienen un mismo objetivo en común, es decir, mejorar la eficiencia (Zare et al., 2016). Entonces, con todo esto se evidencia que tanto Lean Manufacturing como Ergonomía son necesarios para poder optimizar los procesos de una manera segura y una mejor calidad, ya que Lean Manufacturing es una filosofía que busca la mejora continua eliminando desperdicios y la Ergonomía busca eliminar o reducir los factores de riesgo.

Algunos autores mencionan y están de acuerdo que la implementación de Lean Manufacturing sin tener en cuenta la Ergonomía trae consigo problemas a los trabajadores. El aumento del estrés y el aumento de las responsabilidades, las demandas y, en consecuencia, la presión sobre los trabajadores se encuentra entre los principales problemas observados (Rampasso et al., 2017). El sistema de Lean Manufacturing es complejo y beneficioso, pero los posibles cambios pueden traer problemas ergonómicos. (Cirjaliu & Draghici, 2016). Brannmark y Hakansson (2012) (Citado por Brito et al., 2019) concluyen que aumenta el riesgo de trastorno musculoesquelético cuando al aplicar Lean Manufacturing no se lleva de la mano de la Ergonomía enfocada en reducir trabajos repetitivos y monótonos.

Se evidencia que el enfoque ergonómico dentro de la filosofía Lean es necesario porque de esa manera se pueden reducir o eliminar los riesgos que producen el estrés, las fatigas, dolores y lesiones, además de que afecta en la calidad y eficiencia de los procesos.

En la tabla 2.1 se comparan los puntos de vista de varios autores con respecto a los beneficios Lean Manufacturing y Ergonomía, las problemáticas Ergonómicas de salud ocupacional de la aplicación de la filosofía Lean Manufacturing. Además, muestra el impacto que tienen Lean Manufacturing y Ergonomía en otras áreas, como en el área de calidad.

Tabla 2.1*Tabla comparativa de autores Lean Manufacturing y Ergonomía*

Aspectos	Autores	Hallazgos	Énfasis
Beneficios Lean y Ergonomía	Vinoth Kumar et al. (2020)	Disminución del ausentismo, mejores condiciones de trabajo, entregas a tiempo, incremento de la eficiencia y calidad	Resaltar ganancias en productividad e indicadores laborales
	Khani Jazani et al. (2018)	Incrementa la productividad	Mejora la Productividad
	Tortorella et al. (2020)	Mejora la productividad y las condiciones laborales del trabajador	Herramientas Lean (5's, kanban, gestión visual y estandarización) para reducción de riesgos
Lean Manufacturing y Ergonomía en otras áreas	Zare et al. (2016)	Impacto positivo en la calidad	Medir beneficios paralelos
Problemáticas Lean con Ergonomía	Rampasso et al. (2017)	Aumento del estrés, las responsabilidades y lesiones en los trabajadores.	Cuidar la intensificación del trabajo
	Cirjaliu & Draghici (2016)	Aumento de estrés en los trabajadores	Eliminar esfuerzos físicos o de altas repeticiones
	Brannmark y Hakansson (2012) (Citado por Brito et al., 2019)	Aumenta el riesgo de trastorno musculoesquelético	Reducir trabajos repetitivos y monótonos.

Nota: La fuente es tomada de varios autores.

En el aspecto de beneficios, los autores coinciden con que el uso de Lean Manufacturing y Ergonomía aumenta la productividad y, tiene beneficios en la calidad y bienestar laboral. Por otra parte, Rampasso et al. (2017) y Cirjaliu & Draghici, (2016) coinciden en que Lean Manufacturing puede provocar aumento de estrés. Rampasso et al. (2017) y Brannmark y Hakansson (2012) (Citado por Brito et al., 2019) coinciden en que Lean Manufacturing puede incrementar los riesgos laborales cuando Lean no va de la mano con la Ergonomía. Debemos

resaltar que la aplicación de las herramientas Lean sin Ergonomía provoca la mala calidad, ineficiencias y peores condiciones para los trabajadores.

Como se puede ver la integración de Ergonomía con Lean Manufacturing puede potencializar la organización al vincular la reducción de riesgos laborales con la productividad; algunos autores han nombrado a esta alianza con el término de Ergo-Lean, lo cual representa un enfoque interesante. Esto lo podemos ilustrar en la siguiente tabla 2.2.

Tabla 2.2
Definición de Ergo-Lean

Autor	Ergo-Lean
Solis et al. (2009)	Ergo-Lean es la aplicación de los principios ergonómicos con miras a reducir las actividades que no agreguen valor al producto y cuidar la salud del trabajador.
Sakthi Nagaraj et al. (2019)	El enfoque integrador de HFE (human factors and ergonomics) y Lean podría ser llamado enfoque Ergo-Lean
Tortorella et al. (2020)	El enfoque Ergo-Lean aplica Lean Manufacturing al campo de la Seguridad y Salud Ocupacional, enfocándose en la reducción de actividades que no agregan valor asociadas a los trastornos musculoesqueléticos.
Valentina et al. (2020)	Ergo-Lean es la Integración de Lean Manufacturing y Ergonomía que tiene como objetivo aumentar la producción, eliminación de desperdicios e integrar aspectos de mejora de protección a la salud

Nota. La fuente es tomada de varios autores.

El concepto Ergo-Lean, como se muestra en la tabla 2.2, está enfocada en el campo de la salud ocupacional principalmente. Los efectos de su aplicación son la reducción de los riesgos Ergonómicos y el incremento de la producción.

2.2 Enfermedades asociadas a operaciones manuales

El trastorno musculoesquelético es la principal enfermedad relacionada con el trabajo según la investigación de varios autores. Chu et al. (2021) en su investigación sobre los trastornos del hombro, se centran en cuatro factores de riesgo ergonómico que son: la repetición, las posturas incómodas, los esfuerzos y las vibraciones causadas por equipos o herramientas. En su análisis encontraron que la repetición y las posturas son de gran impacto para los trastornos del hombro

en la industria electrónica y que afecta más a hombres que a mujeres, mientras que las vibraciones no tienen tanto impacto. Yang et al. (2020) en su investigación encontraron que el principal problema de trastorno músculo esquelético es en la lumbar, seguido de los hombros, luego la región de brazos y manos. Esto es causado por elevación y descenso principalmente, seguido de empujar y jalar, luego transportar. Sugiono et al. (2019) también nos dicen que las partes del cuerpo que más sufren dolor son los hombros, el cuello, las manos y las pantorrillas porque los operadores dependen en gran medida de la parte superior del cuerpo para hacer su trabajo repetidamente mientras que las pantorrillas funcionan para sostener el cuerpo del operador durante 8 h. Pandey, K., & Vats, A. (2017) concluyeron que la mayoría de los trabajadores sienten los diversos trastornos relacionados con el trabajo debido al diseño inadecuado de las herramientas, la estación de trabajo y el manejo manual de materiales. Alipoor et al., (2021) argumenta que uno de los factores de riesgo más importantes entre los trabajadores en las estaciones de trabajo de carga manual es la postura estática e incómoda. Por otra parte, Wilhelm et al., (2021) mencionan que la práctica de balanceo de línea en procesos manuales generalmente no conlleva un enfoque ergonómico puede provocar trastornos musculoesqueléticos, esto debido a la alta repetitividad. Rodríguez Díez-Caballero et al., (2020) mencionan que el manejo de cargas y las posturas inadecuadas son los factores de riesgo que más impactan en la tendinitis del manguito rotador en el hombro en el ensamblaje de automóviles.

La tabla 2.3 nos muestra los principales factores de riesgo asociados a los procesos, actividades y operaciones manuales que influyen en los trastornos musculoesqueléticos que son la carga, la frecuencia y la postura. También, las partes del cuerpo más afectadas mencionadas por los autores, las cuales son: los hombros, los brazos y manos, la espalda y lumbar, el cuello. Además, se nos muestra el enfoque de los autores donde muestran algunos de los métodos de recolección de datos, evaluación ergonómica y análisis estadístico.

Tabla 2.3

Principales factores de riesgo de trastorno musculoesquelético asociadas a operaciones manuales

Autores	Factores de riesgo			Partes del cuerpo más afectadas mencionadas por los autores				ENFOQUE
	carga	frecuencia	postura	hombros	brazos manos	lumbar espalda	cuello	
Pandey, K., & Vats, A. (2017)	*	*	*	*	*	*	*	Checklist NIOSH para análisis de la estación de trabajo, tareas y herramientas.
Diez-Caballero et al. (2020)	*	*	*	*				Registros de seguridad y salud para extracción de datos de trabajadores y lesiones. Estudio descriptivo y ANOVA a los factores de riesgo. Estudio Cualitativo, Regresiones, Chi2, desviación, Hosmer & Lemeshow (R2L).
Chu et al. (2021)	*	*	*	*				Cuestionario musculoesquelético nórdico para definición de síntomas. Evaluación de riesgos basada en el checklist de "Upper limb disorders in the workplace" de Health and Safety Executive (2002). Evaluación de asociación de variables mediante cuestionario. Análisis estadístico descriptivo y cualitativo.
Kanniappan & Palani (2020)		*	*	*	*	*	*	Cuestionario musculoesquelético nórdico para evaluación de riesgos.
Yang et al. (2020)	*			*	*	*		Clasificación de variables (género, edad, tamaño de la compañía, tipo de proceso, tipo de lesión, severidad) con base en el reporte de incidencias y enfermedades. Análisis estadístico chi2 para las categorías.
Sugiono et al (2019)		*		*	*			Método de análisis ergonómico WERA (workplace ergonomic risk assessment).
Alipoor et al. (2021)			*	*		*	*	Cuestionario demográfico/ocupacional y p-nórdico musculoesquelético (P-NMQ), análisis de tareas jerárquicas (HTA), Hoja de clasificación de ideas (IRS), RULA, antropométricos y CATIA para evaluación ergonómica.
Wilhelm et al. (2021)		*			*			Cámara Kinect, programa Ergosentinel, RULA para evaluación ergonómica.
Porcentajes	50%	75%	63%	88%	63%	50%	38%	

Nota: La tabla es de autoría propia. La fuente obtenida de varios autores

Según la tabla 2.3, los tres principales factores de riesgo asociado a las operaciones manuales son la frecuencia de operaciones 75%, posturas inapropiadas 63% y el manejo de cargas 50%.

Por otra parte, las partes afectadas son los hombros con un 88%, los brazos y manos con un 63%, la espalda con un 50% y el cuello con un 38% de los autores. Se evidencia que para operaciones manuales la frecuencia es el factor de riesgo más importante y las áreas del cuerpo más afectadas son los hombros y los brazos.

Para abordar los procesos manuales desde el punto de vista ergonómico de los autores consultados, tres mencionan el cuestionario nórdico: Chu et al. (2021), Kanniappan & Palani (2020) y Alipoor et al. (2021). Además, agregan otras preguntas para obtener datos demográficos como: edad, género, etc.

Otros métodos de análisis para evaluación ergonómica son los checklist. Podemos observar que dos autores utilizaron checklist: Chu et al. (2021) empleó el checklist de "Upper limb disorders in the workplace" de Health and Safety Executive (2002), para evaluación de riesgos, mientras que Pandey, K., & Vats, A. (2017) empleó el checklist NIOSH para el análisis de la estación de trabajo, tareas y herramientas manuales.

Algunos autores usan algunas herramientas para relacionar los checklist aplicados al área de trabajo y los cuestionarios de desórdenes musculoesqueléticos tales como: HTA implementado por Alipoor et al. (2021), ANOVA empleado por Diez-Caballero et al. (2020), estadística descriptiva usada por Chu et al. (2021) y Diez-Caballero et al. (2020), etc. Por lo que valoraremos su uso.

Es evidente que hay que prestar atención a los factores de riesgo ergonómico, ya que son los causantes de las diversas lesiones y enfermedades en los trabajadores, generando pérdidas, tanto en su bienestar como en la eficiencia. Es necesario realizar intervenciones para eliminar los factores de riesgo y así mejorar de forma integral el bienestar laboral y la eficiencia.

2.3 Ergonomía Participativa

Para poder reducir o eliminar aquellos factores de riesgo ergonómico que producen lesiones y daños en el trabajador es necesario implementar un análisis ergonómico y ejecutar las acciones necesarias para lograrlo. Una manera de efectuar este análisis ergonómico es la inclusión de los trabajadores los cuales aportan su conocimiento en el proceso para de esta manera proponer las mejoras ergonómicas en el lugar de trabajo. Burgess-Limerick, (2018) menciona que a través de la Ergonomía Participativa se puede garantizar que las soluciones óptimas y aceptadas por los trabajadores, pero es necesario que la gerencia se comprometa para asegurar el éxito. Van Eerd et al., (2021) añade que los programas de Ergonomía Participativa pueden tener buenos resultados en la comunicación de los trabajadores y en la identificación de reducción de riesgos.

La Ergonomía Participativa es de ayuda para la detección de los riesgos ergonómicos, sin embargo, existen limitaciones para su aplicación práctica en la industria. Sundstrup et al. (2020) según su revisión de literatura concluyó que no hay evidencia suficiente de la efectividad de la Ergonomía Participativa en la reducción de trastornos musculoesqueléticos salvo trabajos estáticos como el de oficina o costura. Tapping et al., (2016) argumenta que es necesaria la existencia de un grupo clave que cuenta con el apoyo de la industria y cuenta con los recursos suficientes para participar activamente en el estudio. Además, Nobrega et al., (2017) dice que los despidos, las jubilaciones, una cultura de gestión resistente a los cambios, los procesos de decisión y aprobación altamente burocráticos y la alta rotación de personal son limitaciones de la Ergonomía Participativa. Debido a esto se tienen diversos resultados en la efectividad de la aplicación práctica de la Ergonomía Participativa. Por otra parte, Hasheminejad et al. (2021) concluyó que después de la implementación del programa de Ergonomía Participativa los factores de riesgos se redujeron, pero las tasas de prevalencia de trastornos musculoesqueléticos no mostraron diferencias significativas. Esto debido a la limitación de tiempo de duración de la intervención. Es evidente que para el éxito de los programas de Ergonomía Participativa es

necesario que se invierta tiempo y la participación tanto de los trabajadores como de la gerencia para poder ver los resultados esperados en la disminución de los riesgos ergonómicos tanto como los síntomas de trastornos musculoesqueléticos.

Se evidencia que, al integrar en el equipo de análisis a los trabajadores, a los supervisores y gerentes se asegura el éxito de los programas de Ergonomía Participativa. Además, se obtienen mejores resultados en la reducción de riesgos ergonómicos porque al estar involucrados tanto gerentes como trabajadores se obtiene una mayor concientización de los problemas ergonómicos y así se reduce o elimina la resistencia al cambio. Sin embargo, es necesario la prevalencia del programa en el tiempo para eliminar por completo, para esto es necesario el compromiso de la gerencia para que el programa de Ergonomía Participativa se mantenga en el tiempo.

Para que la Ergonomía Participativa tenga resultados es necesario un compromiso organizacional, es decir, que deba existir una cultura participativa organizacional donde la Ergonomía forme parte de las estrategias para el cumplimiento de los objetivos globales de la organización. Ergonomía Participativa debería desarrollarse hacia el vínculo entre Microergonomía y Macroergonomía. Es decir, debe ser parte de los cambios hechos en las estaciones de trabajo hasta la evaluación ergonómica de toda la organización en conjunto con otras herramientas ergonómicas.

2.4 Enfoque integrador de la Ergonomía Participativa

La Ergonomía Participativa vista desde una perspectiva Microergonómica se centra en que los trabajadores aporten ideas en cómo mejorar su estación de trabajo, ya que la Microergonomía se enfoca en la relación trabajador-máquina (Broday, 2021), es decir, en el trabajador y su trabajo sin tomar en cuenta otros aspectos como la productividad y el retorno económico. Christy, (2019) menciona que históricamente el concepto de Ergonomía tiene un enfoque Microergonómico que se centra en ajustar el trabajo a la persona, es decir, en adaptar el trabajo para que el trabajador

pueda realizar las actividades diarias sin mucha tensión. Reiman et al. (2021) afirma que para alcanzar una madurez organizacional las empresas necesitan una profunda comprensión de sus procesos, por lo tanto, es necesario la comprensión Microergonómica para aplicar las herramientas y métodos en las actividades de trabajo a nivel operativo.

La Ergonomía Participativa desde un enfoque Macroergonómico dentro del sistema de manufactura está asociado al análisis ergonómico de todos los factores de la organización, no solo del punto de vista operador-estación de trabajo como es en el caso de la Microergonomía. Kalteh et al. (2020) menciona que la Macroergonomía es un sistema sociotécnico que se encarga de observar los sistemas de trabajo y cómo trabajan sus componentes y funciones, es decir, cómo trabajan entre sí cada subsistema. Los subsistemas considerados en la Macroergonomía son: la organización, el trabajo y tareas, humano, herramientas y tecnología, medio ambiente. Azadeh et al. (2016) definen la Macroergonomía como la relación humano-organización-entorno-máquina, aunque el principal enfoque de la Macroergonomía es la relación entre diseño organizacional y la tecnología utilizada en el sistema. Realyvásquez-Vargas et al. (2018) menciona que el enfoque Macroergonómico comienza con el análisis de las necesidades y la formulación de los objetivos del sistema de trabajo, considerando la Ergonomía desde el inicio, transformándose en los requerimientos y especificaciones del diseño organizacional. También menciona que la Ergonomía Participativa tanto Microergonomía y Macroergonomía ayuda a evaluar el sistema de trabajo para que los trabajadores, en conjunto con el ergónomo, puedan detectar fácilmente los síntomas de un problema e identificar la intervención Macroergonómica más adecuada. Además, menciona que, existen otras herramientas de evaluación Macroergonomía que se pueden utilizar en conjunto con la Ergonomía Participativa como lo son las encuesta Macroergonómica organizacional MOQS (por sus siglas en inglés), el análisis estructural Macroergonómico MAS (por sus siglas en inglés), el análisis y diseño Macroergonómico MEAD (por sus siglas en inglés). Por otra parte, Reiman et al. (2021) menciona para el desarrollo de la organización es necesario

un enfoque holístico que comprende el análisis integral Microergonómico y Macroergonómico que ayude a obtener datos desde las tareas singulares hasta el proceso de fabricación terminado complementado con la comprensión del entorno externo donde interactúa la empresa. Esto nos ayuda a tener procesos productivos, de calidad, seguros y ergonómicos.

Otro enfoque es el de integrar la Ergonomía Participativa a Lean. En la aplicación de Lean y Ergonomía Participativa de manera integrada muy poca literatura publicada. Míguez et al. (2018) realizó una intervención ergonómica basada en Lean Manufacturing y Ergonomía Participativa en una estación de hojas de metal cuyo resultado fue las actividades innecesarias, reducción costos y entregas y mantenimiento de la salud y la seguridad de los trabajadores. Jarebrant et al., (2016) aplicó la herramienta Value Stream Mapping (VSM) con un enfoque ergonómico y llevado a cabo por un equipo de trabajo enfocado en salud y seguridad ocupacional. Dos Santos & Dos Santos Nunes (2017) desarrollaron un modelo integrado por Lean, Six Sigma y Ergonomía Participativa. Concluyeron que al ejecutar de manera correcta los métodos de análisis de Lean y Six Sigma, y al estar integrados a la Ergonomía, permite la aplicación de una Ergonomía Participativa para proyectar ambientes seguros, saludables, cómodos y eficientes.

La Ergonomía Participativa nos ayuda al cumplimiento de las metas organizacionales. Selamat et al. (2021) concluye que existe una relación positiva de la Ergonomía Participativa, el desempeño de los trabajadores y el desempeño organizacional. Además, considera que la Ergonomía Participativa es de los mejores métodos para el desarrollo de los trabajadores y la organización. Como complemento a los métodos de desarrollo organizacional, Realyvásquez-Vargas et al. (2018) afirma que la implementación de la Ergonomía Participativa, al ser el único método donde se incluye la participación de los trabajadores, proporciona mejores soluciones que la de los métodos Macroergonómicos donde no se incluye la participación de los trabajadores. Por lo que es evidente que tomar en cuenta aspectos tanto Microergonómicos como Macroeconómicos, ayuda a la organización a cumplir con sus metas.

La Ergonomía Participativa desde el punto de vista de la Microergonomía ayuda a que los trabajadores tengan mejor comprensión a nivel operativo y así dar soluciones efectivas que mejoren los procesos y las estaciones de trabajo, mientras que el enfoque Macroergonómico ayuda a comprender de manera global el sistema organizacional en cada una de sus subsistemas. Además, al integrar las herramientas Lean en conjunto con la Ergonomía Participativa puede ser de gran beneficio para mejorar aspectos de productividad y de salud ocupacional de manera efectiva.

2.5 Proceso de armado de arneses eléctricos

En la industria de arneses eléctricos existe una necesidad de mejorar sus procesos de manufactura debido a que son de alta carga manual. Heisler et al. (2021) mencionan que, por razones de eficiencia, los procesos de ensamble de arneses eléctricos requieren una automatización completa en lugar de una producción manual convencional. Por otro parte, Trommnau et al. (2019) han afirmado que existen muchas restricciones para la automatización de los arneses eléctricos debido a flexibilidad, complejidad y a la enorme variedad de modelos, la fabricación de los arneses eléctricos es en su mayoría manual. Román Ibáñez et al., (2021) mencionan que los robots todavía encuentran un desafío trabajar con materiales flexibles. También, Nguyen et al. (2021) argumentan que, a pesar de la importancia de los arneses, su proceso de fabricación requiere una gran cantidad de mano de obra humana, por lo tanto, están propensos a errores.

Como vimos en la sección 2.2, en los procesos manuales existen riesgos Ergonómicos que provocan enfermedades laborales, las cuales también están presentes en los procesos de fabricación de arnés. Sugiono et al., (2019) mencionan que los tipos de trabajos en la fabricación de arneses eléctricos que conducen con mayor frecuencia a riesgos de lesiones y dolor son el trabajo de torsión, el trabajo con ojales y el trabajo fuera de línea de producción. Hendricks (2019) menciona que, en el proceso de arnés existen los riesgos ergonómicos de cargas,

posturales y de alta repetitividad, pero el que tiene un riesgo alto es el de alta repetitividad. Gualtieri et al. (2020) en su estudio de mejora de estaciones de trabajo de arneses eléctricos utilizan los métodos de OCRA checklist para actividades repetitivas, RULA para análisis posturales y NIOSH para manejo de cargas.

Es evidente la necesidad de optimizar los procesos de fabricación de arneses eléctricos. Los autores concuerdan en que la automatización total del proceso es muy difícil. Por lo cual se evidencia que debido a la alta carga manual aumentan los riesgos de tener problemas ergonómicos como fatigas y lesiones. Además, al ser un trabajo manual se aumentan los defectos debido al factor humano lo cual es contraproducente al momento de cumplir con la producción y entregas a tiempo. Debido a que en este tipo de procesos la automatización tiene muchas limitantes es necesario optar por alternativas que puedan mejorar los procesos y a su vez mejorar el bienestar laboral de los trabajadores. Por eso en este trabajo se propone el uso de la filosofía Lean con una perspectiva ergonómica y con la participación de los trabajadores en el análisis y soluciones.

2.6 Aplicación de Lean Manufacturing y Ergonomía Participativa en arneses eléctricos

En relación con la integración de Lean Manufacturing y Ergonomía Participativa aplicada en el proceso de armado de arneses es escasa la literatura publicada. Es un área de oportunidad la aplicación la integración de Lean Manufacturing y la Ergonomía Participativa. En vista de que es necesario optimizar los procesos de arneses por su compleja manufactura, y sabiendo que Lean Manufacturing es una filosofía que busca optimizar procesos eliminando desperdicios, mientras que la Ergonomía Participativa busca mejorar los procesos para eliminar los factores de riesgos, la integración de estos enfoques vista tanto a nivel Microergonómico, como Macroergonómico

puede ser de gran ayuda al cumplimiento de las metas de la industria de manufactura de arneses eléctricos.

De todos estos temas se puede evidenciar que para optimizar el proceso de armado de arnés eléctrico una excelente opción es utilizar herramientas de Lean Manufacturing, ya que la automatización del proceso de armado de arnés todavía tiene muchos problemas y restricciones. Además, es necesario integrar las herramientas ergonómicas dentro de la aplicación de las herramientas de Lean Manufacturing, ya que al ser un proceso altamente de carga manual aumentan los riesgos ergonómicos que provocan al trabajador estrés, fatiga y lesiones, lo cual reduce el rendimiento del trabajador provocando ineficiencias en el proceso productivo. También se debe incluir dentro de los análisis a los trabajadores para así lograr la eliminación y reducción significativa de los factores de riesgos ergonómicos en el proceso productivo, así como en el análisis y mejoras de Lean Manufacturing. Es decir, incluir a los trabajadores en el programa integral de Lean Manufacturing y Ergonomía Participativa.

Capítulo 3

Marco teórico

En este capítulo se mostrará la teoría Lean Manufacturing, así como las herramientas utilizadas. También se mostrarán los métodos y herramientas ergonómicos, normativas y los instrumentos de Ergonomía Participativa.

3.1 Lean Manufacturing

Pulido (2020) nos dice que Lean Manufacturing es una filosofía de gestión basada en el Sistema de Producción Toyota que busca mejorar los procesos productivos o servicios a través de identificar y eliminar aquellas actividades que no les agregan valor. Las actividades que no agregan valor o desperdicios como lo son la sobreproducción, esperas, transporte, sobre procesamiento, sobre inventarios, movimientos y retrabajos están presente de manera general en los procesos productivos, haciéndolos lentos y poco productivos. Lean Manufacturing busca aumentar la velocidad de los procesos mediante herramientas de análisis del flujo de los procesos, identificando aquellas actividades que no agregan valor y eliminando desperdicios.

Jacobs (2018) nos habla del término Lean Production o producción esbelta, que es un sinónimo de Lean Manufacturing, que nos habla de conceptos como lo son el valor para el cliente, los desperdicios y el respeto por la gente. El objetivo central de Lean Manufacturing es mejorar la calidad y la producción mediante la eliminación de desperdicios.

Uno de los retos de los sistemas de producción es la incertidumbre de la demanda. Al hacer los procesos Lean se busca reducir al máximo los desperdicios y aquellas actividades que no agregan valor; se ajusta el proceso con base en el tiempo disponible para producir, es decir el tiempo basado en la demanda. Al haber variaciones en la demanda genera problemas a la

capacidad de producción. Lean Manufacturing busca producir con base en la demanda del cliente, en la cantidad que pida y en el tiempo que este requiera con el mínimo de los recursos.

Además de la identificación y eliminación de las actividades que no agregan valor, la filosofía Lean (de Toyota) busca el respeto por la gente. Esto es que, a pesar de los cambios en la demanda, se busca que los trabajadores conserven sus empleos. Los trabajadores se consideran como activos y no como máquinas, automatizando sus operaciones repetitivas y monótonas, dándoles mayor libertad para realizar y mejorar las actividades más importantes.

3.2 Desperdicios (Mudas)

Pulido (2020) habla acerca del desperdicio o muda que es cualquier actividad que genera costo y no agrega valor al producto. También menciona Ohno (1988) identificó los siete desperdicios son: sobreproducción, esperas, transportación, sobre procesamiento, inventarios, movimientos y retrabajos.

La sobreproducción es producir más o producir con mucha anticipación causando un exceso de piezas y un descontrol en los inventarios debido a la mala planeación de producción, desbalance en el flujo de materiales y/o por la producción de lotes grandes. Herramientas como Just in time (JIT), SMED, reducir tiempos de preparación y sincronizar procesos sirven para hacer solo lo necesario.

Las esperas es el tiempo desperdiciado en el cual no se hacen actividades que agregan valor al producto. Esto puede ser el tiempo que el trabajador espera materiales, información o máquinas disponibles ya sea porque esté dañada o porque el operador esté parado porque la máquina esté procesando un producto. Esto puede ser generado por la mala planeación, lotes grandes, mala calidad, deficiente programa de mantenimiento y/o el incumplimiento de los proveedores.

El transporte es el movimiento innecesario de materiales y trabajadores debido a la mala distribución de la planta, a procesos separados físicamente y altos inventarios provocando gran manejo y movimiento de materiales, daños por manejo y tiempos de ciclo largos.

El sobre procesamiento son todos aquellos procesos y esfuerzos que no agregan valor al producto al no ser requeridos por el cliente. Esto puede ser a causa del diseño del proceso productivo o del producto, las pruebas excesivas, las políticas o procedimientos inadecuados y las vagas especificaciones del cliente.

El desperdicio de inventario se refiere a tener más materiales de los mínimos requeridos para poder cumplir con la demanda del cliente. Puede ser causado por la sobreproducción, la mala planeación, las políticas de compra de materiales por grandes lotes y proveedores poco confiables.

El desperdicio de movimientos se refiere a los movimientos innecesarios de materiales o trabajadores dentro de un proceso productivo debido al mal diseño del proceso productivo, a la falta de controles visuales, a la mala distribución de las estaciones de trabajo, las herramientas y materiales, lo que provoca que los trabajadores se desplacen innecesariamente para buscar las herramientas y los materiales, doble manejo de partes y una baja productividad.

El retrabajo es la repetición o corrección de un proceso debido a defectos provocados por la mala calidad de los materiales, procesos mal diseñados, falta de capacitación a los trabajadores y las especificaciones vagas de los clientes. Esto tiene como consecuencia estaciones de retrabajo, altas tasas de defectos y un departamento de calidad muy grande.

Según Pulido (2020) otros autores manejan el talento humano como un octavo desperdicio, ya que no se aprovecha las capacidades de los trabajadores para mejorar los procesos productivos.

Existen varias herramientas de Lean Manufacturing que nos ayudan a mejorar los procesos mediante la eliminación de los desperdicios como se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1*Herramientas de Lean Manufacturing para eliminación de desperdicios*

Tipo de desperdicio	Herramientas de Lean Manufacturing
Sobreproducción	• Kaizen (evento de mejora, equipos de trabajo) • VSM (mapeo de tiempos de ciclo en los procesos) • Heijunka (nivel de producción) • SMED (reduce los tiempos de preparación)
Esperas	• Kaizen (aplicación de la metodología para la propuesta de reducción de tiempos de espera en la cadena de valor) • VSM (identificar y ajustar los tiempos de entrega en producción) • SMED (reducir los tiempos de espera en la preparación de la máquina) • Jidoka (automatización con presencia)
Transporte	• Kaizen (enfoque continuo en la mejora y mejora de los procesos logísticos) • VSM (identificación de transportes en las diferentes etapas del proceso)
Inventario	• Justo a tiempo (elimine todo el inventario que representa un desperdicio en las actividades de compra, fabricación y distribución) • VSM (transferencia de materias primas y producto terminado. De proveedor a planta o de planta a cliente) • Sistema Andon (control visual de los niveles de inventario) • Kaizen (evento kaizen para mejorar el sistema de inventario) • Kanban (nivelar el flujo de materiales)
Sobre procesamiento	• Kaizen (evento kaizen para eliminar pasos innecesarios) • VSM (mapeo de procesos para identificar actividades que no agregan valor desde el punto de vista del cliente)
Movimientos innecesarios	• 5s (organice el trabajo de modo que se minimicen los movimientos innecesarios, garantice que las áreas de trabajo estén constantemente limpias y organizadas) • VSM (identificar en el mapa los movimientos que se encuentran y que no agregan valor al cliente)
Retrabajos	• Poka-Yoke (sistema anti-error) • Jidoka (automatización con control de personas) • Kaizen (propuesta de mejora continua) • VSM (mapeo de la cadena de valor para identificar defectos) • Kanban, 5s y Andon System (control visual) • TPM (planes de mantenimiento preventivo)

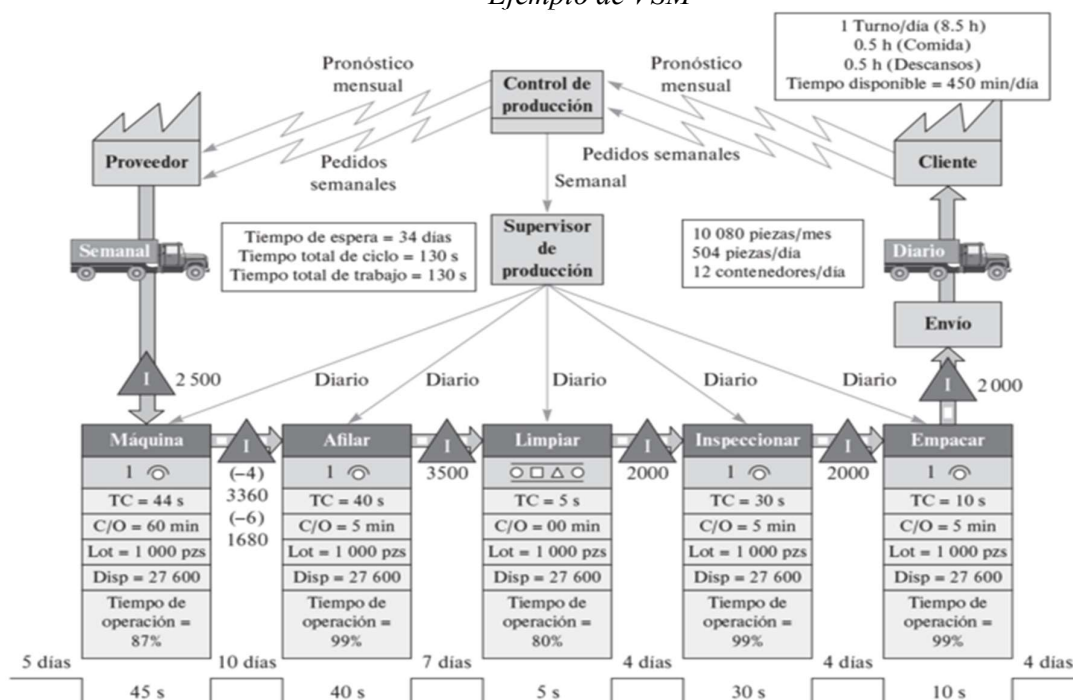
Nota. Fuente: (Marcela Solís-Quinteros et al., 2021) (p. 5)

Se puede observar en la tabla que la herramienta que se utiliza en todas los desperdicios o mudas es el VSM, seguido de kaizen. que es utilizado en 6 de las 7 mudas.

3.3 Métodos, herramientas, procedimientos aplicados a Lean Manufacturing

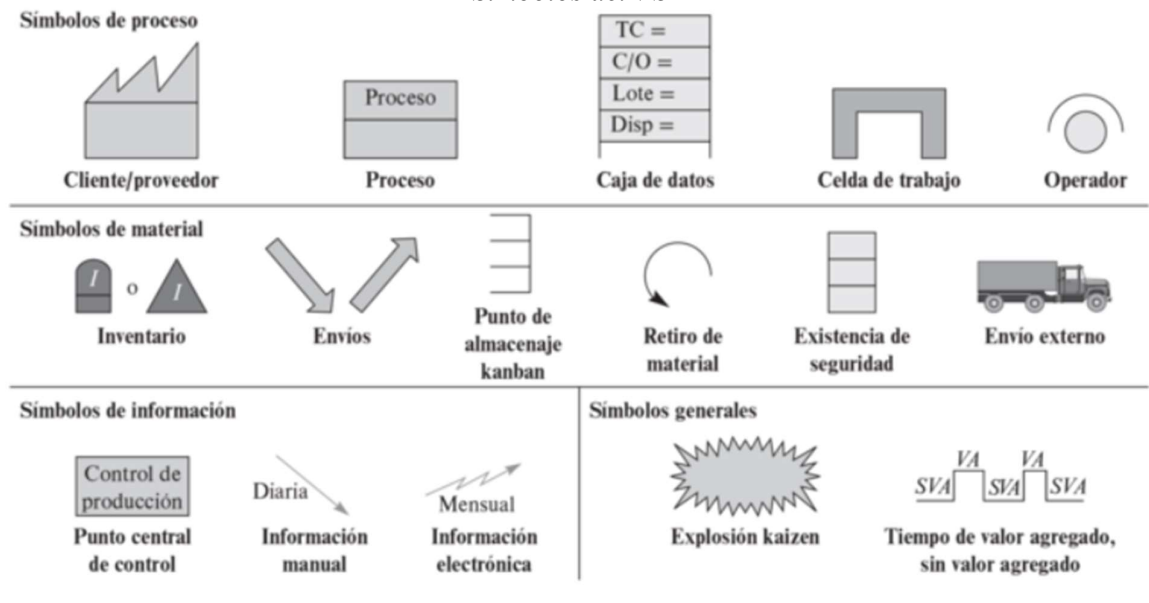
Pulido (2020) presenta varias herramientas de Lean Manufacturing como: JIT (Just in Time), SMED (Single Minute Exchange of Die), VSM (Value Stream Mapping), 5's, etc. JIT es una estrategia o sistema que se utiliza para la planeación de los materiales necesarios para la producción de manera óptima. Se basa en que debe haber poco o nada material entre cada proceso, y una mínima inspección al recibir el material para lograr producir solo la cantidad requerida y en el tiempo requerido. El SMED se centra en reducir el tiempo de preparación de un proceso de fabricación en pocos minutos. La preparación es el tiempo que transcurre en cambiar de un número de serie o modelo a otro. El VSM es un esquema donde se plasma cada una de las acciones que se realizan realmente a lo largo del proceso de producción, desde la orden de compra hasta que llega al cliente. Sirve para identificar las actividades que agregan valor y las que no agregan valor al producto. La figura 3.1 es un ejemplo de VSM, la figura 3.2 vemos los símbolos del VSM y en la figura 3.3 vemos un ejemplo de VSM con mejoras potenciales.

Figura 3.1
Ejemplo de VSM



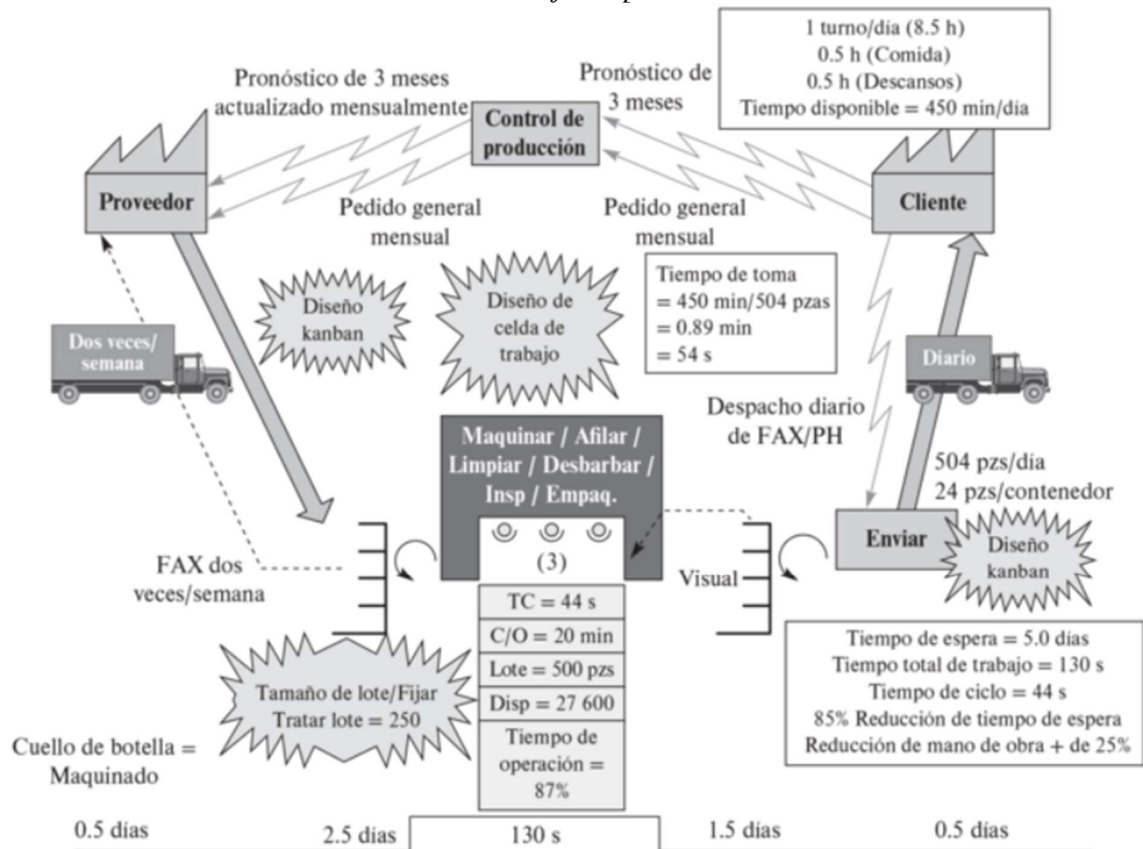
Nota. Fuente: Jacobs (2018) (p. 354)

Figura 3.2
Símbolos del VSM



Nota. Fuente: Jacobs (2018) (p. 355)

Figura 3.3
VSM con mejoras potenciales



Nota. Fuente: Jacobs (2018) (p. 355)

Las 5's es una metodología Lean participativa cuyo objetivo es el orden, limpieza y disciplina en el lugar de trabajo. Se le conoce 5's porque son 5 palabras en japonés: Seiri (seleccionar), Seiton (ordenar), Seiso (limpiar), Seiketsu (estandarizar) y Shitsuke (auto disciplinarse). En la figura 3.4 vemos un diagrama de las 5's.

Figura 3.4
Diagrama de 5'S



Nota. Diagrama 5's fuente: («Método de las 5S», 2016)

El principio Seiri (seleccionar) implica que los trabajadores puedan identificar cuáles son aquellos objetos que son realmente importantes para el área de trabajo y quitar aquellos que no son necesarios. Estos objetos pueden ser herramientas, mobiliario, materiales, documentos, equipos, etc. Con esto se pretende dejar un área libre de objetos innecesarios los procesos que impidan su flujo. La selección de estos objetos puede tener limitaciones debido a que durante este proceso no se eliminarán a la tendencia de los seres humanos acumular objetos que no necesitamos en el momento o que no sirven, pero que pensamos que tal vez se necesitará después.

En estos casos la detección de aquellos objetos se vuelve una tarea complicada y da pie a que tenga que realizar de nuevo la selección, porque quedaron objetos innecesarios.

La aplicación del principio Seiri (seleccionar) es necesario aprender a desprenderse de las cosas. Esto implica arriesgarse y tomar decisiones de utilizar lo que realmente es necesario como, por ejemplo, si no se utilizó un objeto el último año, entonces no se necesitará otra vez. Estas decisiones se deben tomar en todas las áreas de producción, como en las oficinas, laboratorios y las demás áreas de trabajo, para eliminar lo que no es necesario.

Una forma de hacer la selección es identificar los objetos innecesarios con una etiqueta roja, para después ponerlos en un área de almacenamiento temporal, en la cual se valorará si realmente es necesaria para otro proceso o no se necesita. Las piezas innecesarias serán removidas. Una vez realizada la selección se obtienen espacios libres, se reutilizan los objetos en otras áreas y se elimina la basura y objetos que estorban en el área de trabajo. El principio dos de las 5's Seiton (ordenar) consiste en ordenar y organizar la estación de trabajo. Poner cada cosa en su lugar, es decir, que exista un lugar para cada cosa. Después de haber hecho el proceso de selección se realiza un proceso de ubicación en el cual se le da un lugar a cada objeto con el fin de que esté disponible y accesible para que pueda ser utilizado cuando se necesite. Esto es necesario para que los objetos sean localizados fácilmente y por eso es importante siempre regresarlos a la ubicación que se le haya asignado siempre que ya no se esté utilizando, de esta manera el proceso de búsqueda se reduce, así, eliminando el desperdicio de movimientos innecesarios. Debe ser de fácil uso y de fácil acceso, así como de buena imagen del lugar. Para esto es necesario seguir unas reglas como lo son el etiquetado, tener lo que más se usa más cerca, los objetos pesados abajo, los livianos arriba. Es necesario delimitar y etiquetar todos los objetos, las áreas de trabajo, estantes, gabinetes, botes de basura, carpetas, entre otros, para que todo tenga su lugar. Al tener todo en su sitio, con un orden y limpio se reducen los desperdicios.

El tercer principio Seiso (limpiar) consiste en limpiar e inspeccionar las áreas de trabajo y equipos tomando acciones que eliminen o reduzcan la suciedad con el objetivo de tener ambientes más seguros. Este proceso de limpieza e inspección debe realizarse de manera profunda para poder identificar las causas por las cuales los procesos y las cosas no son como deben ser, y así poder dar solución a los problemas apoyándose de herramientas de análisis como el diagrama de Ishikawa, graficas de Pareto, entre otros.

Las ventajas de esta limpieza no solo es tener un sitio más agradable visualmente hablando, sino, que realmente ayuda a detectar posibles fallas como lo puede ser el derrame de fluidos de las máquinas, olores a humo, entre otros.

Seiketsu (estandarizar) pretende mantener los primeros tres principios de las 5's mediante la aplicación continua de estos. Para esto se puede apoyar de varias herramientas como lo son las fotografías de lugar, las cuales ayudan a los trabajadores a visualizar el cómo debe estar el área de trabajo. Otra herramienta es la creación de reglas y normas que le indiquen que es lo que debe hacer el trabajador para mantener el área. También se puede realizar un manual de procedimientos y crear programas donde se involucren los empleados.

Shitsuke (disciplina) está orientada a que se cumplan los estándares, normas y procedimientos ya establecidos, es decir, que no se dejen de cumplir. Para esto es necesario que haya controles periódicos, autodisciplina de los empleados, visitas sorpresa o auditorías, además de respeto por los demás para un mejor bienestar laboral.

Otra de las herramientas de Lean Manufacturing es Kaizen. Hosono et al. (2020) definen Kaizen como un enfoque inclusivo y participativo para la mejora continua de la calidad y la productividad, que constituye la base de múltiples sistemas de gestión desarrollados en Japón y otros países. Además, nos mencionan que la definición de Kaizen tiene 5 atributos intrínsecos que definen Kaizen, los cuales son: la mejora continua, el aumento de producción y calidad, el

enfoque inclusivo y participativo, las herramientas y métodos, TQC (Total Quality Control) y TQM (Total Quality Management), los cuales vemos en la tabla 3.2.

Tabla 3.2
Atributos de la filosofía Kaizen

Atributos	Descripción
Mejora continua	Este es el atributo principal de Kaizen por excelencia, ya que es la traducción de la palabra japonesa Kaizen (mejora) que busca la mejora continua de las organizaciones.
Aumento de producción y calidad	Busca reducir los problemas de productividad, calidad, seguridad y sostenibilidad mediante el control de calidad estadístico y la eliminación de los desperdicios.
Enfoque inclusivo y participativo	Constituye el elemento central de Kaizen, el cual incluye la participación de los trabajadores para mejorar la calidad, la producción y reducir las confrontaciones entre los trabajadores y la gerencia.
Herramientas y métodos	Existen varias herramientas y métodos utilizados en Kaizen tales como: 5s, JIT (por sus siglas en inglés), círculos de control de calidad que ponen énfasis en el trabajo en equipo, la comunicación y las aptitudes de aprendizaje.
TQC (Total Quality Control) y TQM (Total Quality Management)	Estos son sistemas que fueron basados en Kaizen que fueron adaptados por otros países fuera de japon.

Nota: fuente: (Hosono et al., 2020)

De la tabla podemos resaltar que Kaizen es parte de la filosofía Lean donde busca la mejora continua a través de la inclusión y participación de los trabajadores. Kaizen busca que los trabajadores participen aplicando las herramientas de Lean Manufacturing.

3.4 Ergonomía

Kroemer Elbert et al. (2018) define Ergonomía como el estudio de las características humanas para el diseño adecuado del entorno de vida y trabajo. El objetivo de la Ergonomía es que el diseño de las herramientas, máquinas, equipos y los entornos están orientados al bienestar y el rendimiento de las personas. La Ergonomía es una ciencia que tiene un campo de aplicación

desde una persona usando una herramienta, como es el caso de la Microergonomía que se enfoca en el sistema hombre-máquina; hasta una organización, como es el caso de la Macroergonomía que se enfoca en la integración sistema-humano.

Berlin & Adams (2017) mencionan que la palabra Ergonomía proviene del griego “Ergon” (trabajo) y “Nomos” (leyes naturales), se puede traducir como “la ciencia del trabajo” enfocada en los humanos. La Ergonomía es un término muy amplio que va desde cómo el trabajador interactúa con su trabajo, las actividades físicas, la organización del trabajo, el entorno, la motivación entre otras. Todos los aspectos del trabajo que involucre actividad humana pueden verse con un enfoque de Ergonomía.

En los sistemas de producción uno de los activos más importantes son los empleados porque aportan innovación, flexibilidad y soluciones a los problemas de producción. Aunque son de gran valor para la empresa pueden correr el riesgo de desarrollar problemas de trastornos musculoesqueléticos relacionados con las actividades del trabajo causando lesiones e incapacidades que representa un gran costo. También, la falta de apoyo, estímulo y motivación pueden ser factores que contribuyen a reducir la capacidad mental de los seres humanos provocando irritación, molestias, malas interpretaciones y errores graves que pueden causar daños materiales y personales. Además, las relaciones entre los trabajadores, aunque pueden ser buenas para su motivación y su desarrollo personal, las relaciones disfuncionales provocan falta de compromiso, desmotivación e insatisfacción. La Ergonomía tiene como propósito diseñar un entorno laboral donde se eliminen los riesgos de lesiones, malestares, confusiones y desmotivación.

Las empresas eligen la forma de manejar la Ergonomía dependiendo de su tamaño y su organización. Existen dos tipos de enfoques ergonómicos: el proactivo y el reactivo. El enfoque ergonómico proactivo es cuando la empresa está consciente de que la Ergonomía es una ganancia porque reduce los costos de producción y mejora el bienestar laboral. Normalmente este enfoque

es incluido desde las primeras etapas de planeación. Por otra parte, el enfoque reactivo se centra en realizar las intervenciones para resolver los problemas, es decir, no aborda la Ergonomía desde el comienzo, solo hasta que ya hay problemas de lesiones. En este enfoque las empresas se centran en atender los síntomas y no las causas que los provocan.

Los trastornos musculoesqueléticos son un conjunto de trastornos heterogéneos que afectan al sistema locomotor o sistema musculoesquelético (formado por los músculos, huesos y articulaciones) que son generados por distintos factores entre los principales se encuentran los esfuerzos, posturas inadecuadas y las actividades repetitivas con poco tiempo de recuperación. Los principales síntomas de los trastornos musculoesqueléticos son la fatiga, hormigueo, entumecimiento, pérdida de fuerza, pérdida de función y rango de movilidad limitado. Esto provoca que el trabajador baje la productividad, que se incapacite hasta que se recupere o incapacidad de por vida teniendo un impacto negativo para la empresa.

3.4.1 Ergonomía Geométrica

La Ergonomía geométrica es aquella que se encarga de estudiar las dimensiones del cuerpo humano para el diseño de los espacios de trabajo. Es adaptar el área de trabajo al trabajador tomando en cuenta sus dimensiones. La Ergonomía geométrica se apoya de la antropometría la cual se encarga del estudio de las medidas físicas del cuerpo humano. Berlin (2017) menciona que es importante que el trabajo esté diseñado de acuerdo con las características del cuerpo humano. La antropometría proviene del griego “Atropos”, que significa humano y “Metrikos” significa medida, en pocas palabras, es la rama de la ciencia que se ocupa de las medidas del cuerpo humano.

Existe una gran variación entre las dimensiones del cuerpo de una persona a otra y con tienen proporciones únicas en cada segmento del cuerpo. Cada población, género y nacionalidad tiene variación significativa en el tamaño del cuerpo, lo que hace que el diseño de equipos y

estaciones de trabajo sea un reto, especialmente cuando se diseña para un entorno internacional. Por ejemplo, el diseño de una estación de trabajo diseñada para personas de Estados Unidos o Alemania no se adapta a la mayoría de los países asiáticos donde su población tiene una media de medidas más pequeña. Además, cada población va cambiando sus medidas de generación en generación habiendo la necesidad de cambiar los diseños constantemente.

Cuando se trata de diseñar para el ser humano, el enfoque de "talla única" rara vez proporciona satisfacción para todos los involucrados. Así como la industria de la ropa tiene en cuenta la variación al proporcionar una gama de tamaños para satisfacer las diversas necesidades de todos, se deben tener en cuenta una serie de consideraciones para permitir que una amplia gama de personas utilice una configuración de estación de trabajo. En realidad, hay muy pocos entornos de trabajo diseñados a la medida y adaptados a un individuo específico (los autos de Fórmula 1 son una de las raras excepciones). Si bien las estaciones de trabajo diseñadas individualmente probablemente promoverían prácticas de trabajo más saludables, serían extremadamente costosas y poco prácticas. En cambio, es necesario seleccionar tamaños apropiados para diferentes aspectos del diseño, teniendo en cuenta las variaciones en las medidas corporales entre las poblaciones, de modo que se logre una solución para la mayoría de la población. Los datos antropométricos juegan un papel clave en este proceso de optimización de un diseño para maximizar su uso y valor para el mayor número de usuarios.

3.4.2 Ergonomía Temporal

Consiste en el estudio del trabajo en el tiempo. Nos interesa, no solamente la carga de trabajo, sino como se distribuye a lo largo de la jornada, el ritmo al que se trabaja, las pausas realizadas, etc. Estudia pues, el reparto del trabajo en el tiempo en lo que se refiere a: La distribución semanal, las vacaciones, descanso semanal, el horario de trabajo (fijo, a turnos, nocturno, etc.), el ritmo de trabajo y las pausas.

Todo ello, teniendo en cuenta las variaciones del organismo humano en el tiempo. Una buena distribución del trabajo y del descanso en el marco del tiempo biológico, tiene como consecuencia, además de un mayor grado de satisfacción por parte del trabajador, un mayor rendimiento, que se plasma en una disminución de los errores y un aumento de la calidad del trabajo realizado.

3.5 Ergonomía Participativa

La Ergonomía Participativa es una adaptación de la gestión participativa donde los trabajadores en conjunto con el ergónomo evalúan los sistemas de trabajo. Tiene como ventaja que los trabajadores podrán detectar con mayor facilidad los problemas de los sistemas de trabajo.

Una de las definiciones de Ergonomía Participativa es la que da Haines y Wilson (1998) que la definen como “una estrategia que involucra a las personas en la planificación y control de una parte significativa de su trabajo, con el suficiente conocimiento y capacidad para influir sobre los procesos y sus resultados con el objetivo de conseguir metas específicas, asociadas al control de problemas de Ergonomía”. La Ergonomía Participativa busca la participación de las personas afectadas en la búsqueda de las soluciones.

El elemento central y común que comparten todas las experiencias de intervención en Ergonomía Participativa es la constitución de un grupo de trabajo en el seno de la empresa con la participación de los distintos actores, y que será el protagonista en la propuesta de las acciones preventivas necesarias. Otras funciones de este grupo, dentro y fuera de la empresa, más o menos compartidas con otros participantes, son el diagnóstico y evaluación de las situaciones de riesgo y/o daño y el seguimiento de la implantación de las medidas propuestas y su evaluación (García, et al. 2009).

Existen varios métodos de Ergonomía Participativa, un ejemplo de ellos que utiliza Pinto-Retamal, (2015) el cual se divide en 5 etapas: Análisis de empresa, Evaluación de riesgos

ergonómicos, Construcción del plan de acción, Ejecución del plan de acción y Verificación de medidas de control. Esto se puede ver en la tabla 3.3.

Tabla 3.3

Proceso de diseño participativo, adaptado por Vink et al. (2005) y Kuijt- Evers (2006)

1.- Preparación	Se informa a las partes interesadas sobre el proyecto de cambio planificado y sus objetivos generales. Las partes interesadas pueden incluir usuarios finales, administración, diseñadores, especialistas, operadores, personal de mantenimiento, etc. Se discute la estrategia general sobre cómo involucrarse y convertir sus comentarios en una solución.
2.- Análisis de tareas, trabajo y salud	Se establece una línea de base para el diseño mediante el estudio de las prácticas, necesidades, problemas y soluciones actuales en el contexto del lugar de trabajo. Esto se puede lograr mediante observaciones, entrevistas (grupales o individuales), simulación o cuestionarios. El propósito aquí no es influir, sino estudiar cómo se hacen las cosas.
3.- Selección de mejoras y diseño	Se crea una especificación de requisitos para resolver los problemas identificados y satisfacer las necesidades identificadas. Esto debería basarse en los requisitos y deseos de los usuarios. Esta es una buena etapa para involucrar a los usuarios en un proceso participativo, permitiéndoles participar en un foro donde puedan sugerir ideas y mejoras. Cuando se ha recopilado esta información, se pueden probar y realizar nuevas ideas de diseño. Una buena forma de hacer posible una mayor participación es construir modelos de las nuevas propuestas de diseño, ya sea en formato 2D o 3D, para que los participantes se relacionen con las discusiones.
4.- Estudio piloto con las mejoras	Esta es la etapa en la que se efectúan las pruebas sobre la base de los modelos de diseño: se pueden probar en el contexto del lugar de trabajo real y existente, en un entorno "clínico" para desviar la atención de los detalles que no deberían ser objeto de análisis. retroalimentación, o una mezcla entre estos entornos.
5.- Implementación	Después de una o más iteraciones de los pasos 3 a 4, el nuevo diseño se puede implementar en su contexto real. Los participantes están informados y educados sobre las implicaciones de introducir el nuevo diseño.
6.-Evaluación	Luego de un período de ajuste en el que los usuarios finales se acostumbran a la nueva solución, se puede realizar una evaluación para determinar si el bienestar y el desempeño del sistema han aumentado en comparación con la línea de base establecida en el paso 2. Si se considera necesario, esta evaluación participativa puede convertirse en la base para nuevas mejoras.

Nota: Fuente: (Berlin & Adams, 2017) (p. 118)

En la tabla podemos concluir que en la Ergonomía participativa se forma un equipo o comité encargado de realizar el planteamiento del problema, análisis, propuestas de mejoras, implementación y evaluación de los resultados obtenidos.

3.6 Cuestionarios para evaluaciones ergonómicas

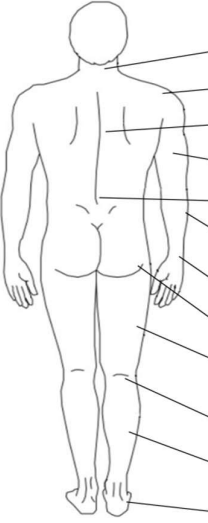
Existe una gran variedad de cuestionarios que se utilizan para recolectar datos para evaluar las molestias, los síntomas y los dolores que experimentan los trabajadores a causa de los trastornos musculoesqueléticos. También existen cuestionarios de recolección de datos para evaluaciones Macroergonómicas

Los cuestionarios de malestar musculoesquelético de Cornell CMDQ (por sus siglas en inglés) fue desarrollado por el profesor Alan Hedge y Alumnos de Ergonomía de la Universidad de Cornell se emplea para detectar cuáles son las principales molestias, dolores y malestares que sufren los trabajadores durante el transcurso de la semana. Responde a la pregunta qué tan frecuente ha sufrido dolor en la última semana, las zonas donde lo ha experimentado, la intensidad de este dolor y si interfiere con su trabajo (Çakıt, 2019).

Existen varias versiones del CMDQ tales como la versión masculina, femenina, mano derecha y mano izquierda. En la figura 3.5 observamos la versión masculina y en la figura 3.6 la versión de la mano derecha.

Figura 3.5
Cuestionario musculoesquelético de Cornell versión masculina

El siguiente diagrama muestra la posición aproximada de las partes del cuerpo a las que se hace referencia en el cuestionario. Responda marcando la casilla correspondiente.



		Durante la última semana de trabajo, ¿Con que frecuencia experimentó molestias, dolor y/o incomodidad en:					Si experimentó molestia, dolor o incomodidad, ¿Qué tan incómodo fue?			Si experimentó molestia, dolor o incomodidad, ¿Esto interfirió con su capacidad de trabajo?		
		Nunca	1-2 veces por semana	3-4 veces por semana	Todos los días	Varias veces al día	Levemente incómodo	Moderadamente incómodo	muy incómodo	No interfirió	interfirió poco	interfirió mucho
Cuello		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Hombro	derecho	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
	Izquierdo	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Espalda	dorsal	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Brazo	derecho	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
	Izquierdo	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Espalda	lumbar	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Antebrazo	derecho	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
	Izquierdo	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Mano/ Muñeca	derecho	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
	Izquierdo	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Cadera/Gluteos		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Muslo	derecho	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
	Izquierdo	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Rodilla	derecho	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
	Izquierdo	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Pierna baja	derecho	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
	Izquierdo	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Pie/ tobillo	derecho	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
	Izquierdo	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Nota: Fuente: (Cuergo: *musculoskeletal discomfort questionnaires*, s. f.)

Figura 3.6

Cuestionario musculoesquelético de Cornell versión mano derecha

Las áreas sombreadas en los diagramas a continuación muestran la posición de las partes del cuerpo a las que se hace referencia en el

	Durante la última semana de trabajo, ¿Con que frecuencia experimentó molestias, dolor y/o incomodidad en:					Si experimentó molestia, dolor o incomodidad, ¿Qué tan incómodo fue?			Si experimentó molestia, dolor o incomodidad, ¿Esto interfirió con su capacidad de trabajo?		
	Nunca	1-2 veces por semana	3-4 veces por semana	Todos los días	Varias veces al día	Levemente incómodo	Moderadamente incómodo	Muy incómodo	No interfirió	Interfirió poco	Interfirió mucho
Área A (Área sombreada)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Área B (Área sombreada)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Área C (Área sombreada)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Área D (Área sombreada)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Área E (Área sombreada)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Área F (Área sombreada)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Nota: Fuente: (Cuervo: *musculoskeletal discomfort questionnaires*, s. f.)

En el cuestionario se realizan 3 preguntas relacionadas con la frecuencia en que se experimenta el dolor, con que tan incómodo es el dolor y que tanto interfiere con la capacidad de realizar el trabajo.

Para poder evaluar el nivel de malestar del trabajador se multiplican los valores de frecuencia de dolor, intensidad de dolor e interferencia con el trabajo. En la tabla 3.4 vemos las puntuaciones del cuestionario de malestar musculoesquelético de Cornell.

Tabla 3.4

Puntuaciones del cuestionario de malestar musculoesquelético de Cornell

Frecuencia de dolor	Intensidad de dolor	Interferencia con el trabajo
Nunca = 0	Poco incómodo = 1	Para nada = 1
1-2 veces / semana = 1.5	Moderadamente incómodo = 2	ligeramente interferido = 2
3-4 veces / semana = 3.5	Muy incómodo = 3	sustancialmente interferido = 3
Todos los días = 5		
Varias veces al día = 10		

Nota: Fuente: (Çakıt, 2019)

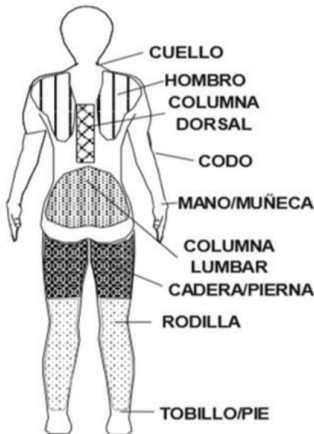
Los valores de la tabla se multiplican para poder determinar el nivel de riesgo. Si un trabajador tiene una frecuencia de 3 veces por semana, la intensidad de dolor es moderadamente incomodo y esto interfirió ligeramente con su dolor, al multiplicarlos valores $3.5 \times 2 \times 2$ se obtiene una puntuación de malestar de 14. El valor máximo es de 90 y el mínimo de 0.

Otro cuestionario para detectar los trastornos musculoesqueléticos es el Cuestionario Nórdico. Yona et al. (2020) menciona que, el cuestionario nórdico musculoesquelético es una herramienta del área de la salud ocupacional para evaluar dolor en 9 partes diferentes del cuerpo: El cuello, hombros, codos, muñecas, dorsal, lumbar, caderas, rodillas y tobillos. Las preguntas del cuestionario son acerca de los padecimientos, dolores y malestares sufridos en los últimos 12 meses, último mes, última semana y el último día. También si el trabajador ha sido hospitalizado, ido al doctor, hecho estudios, recibido algún tratamiento o terapia relacionado con los problemas musculoesqueléticos.

En la figura 3.7, figura 3.8 y figura 3.9 observamos el formato del cuestionario nórdico.

Figura 3.7
Ejemplo de Cuestionario Nórdico Parte 1

CUESTIONARIO ACERCA DE PROBLEMAS EN LOS ORGANOS DE LA LOCOMOCIÓN				
Fecha consulta: _____	Sexo: F _____ M _____	Año nacimiento: _____	Peso: _____	Talla: _____
¿Cuánto tiempo lleva realizando el mismo tipo de trabajo? Años: _____ Meses: _____				
En promedio, ¿cuántas horas a la semana trabaja? Horas: _____				
PROBLEMAS EN EL APARATO LOCOMOTOR				
Para ser respondido por todos				
¿En algún momento durante los últimos 12 meses, ha tenido problemas (dolor, molestias, disconfort) en:				
Cuello	No ☐	Si ☐		
Hombro	No ☐	Si ☐	Izq. ☐	Der. ☐
Codo	No ☐	Si ☐	Izq. ☐	Der. ☐
Muñeca	No ☐	Si ☐	Izq. ☐	Der. ☐
Espalda alta (región dorsal)	No ☐	Si ☐		
Espalda baja (región lumbar)	No ☐	Si ☐		
Una o ambas caderas / piernas	No ☐	Si ☐		
Una o ambas rodillas	No ☐	Si ☐		
Uno o ambos tobillos / pies	No ☐	Si ☐		



Nota: Fuente: Instituto de salud pública de Chile (Ibacache Araya, 2020) (p.5).

Figura 3.8
Ejemplo de Cuestionario Nórdico Parte 2

PROBLEMAS EN EL APARATO LOCOMOTOR	
Para ser respondido solo por aquellos que han presentado problemas durante los últimos 12 meses	
¿En algún momento durante los últimos 12 meses ha tenido impedimento para hacer su trabajo normal (en casa o fuera de casa) debido a sus molestias?	¿Ha tenido problemas en cualquier momento de estos últimos 7 días?
No ☐ Si ☐	No ☐ Si ☐
No ☐ Si ☐	No ☐ Si ☐
No ☐ Si ☐	No ☐ Si ☐
No ☐ Si ☐	No ☐ Si ☐
No ☐ Si ☐	No ☐ Si ☐
No ☐ Si ☐	No ☐ Si ☐
No ☐ Si ☐	No ☐ Si ☐
No ☐ Si ☐	No ☐ Si ☐
No ☐ Si ☐	No ☐ Si ☐

Nota: Fuente: Instituto de salud pública de Chile (Ibacache Araya, 2020) (p.6).

Figura 3.9
Ejemplo de Cuestionario Nórdico Parte 3

PROBLEMAS EN LA COLUMNA LUMBAR (Espalda baja)	
1. ¿Alguna vez ha tenido problemas en la parte baja de la espalda (molestias, dolor o discomfort)?	No ☐ Si ☐
Si respondió "NO" a la pregunta 1, entonces NO responda las preguntas 2 a la 8	
2. ¿Ha sido hospitalizado por problemas en la parte baja de la espalda?	No ☐ Si ☐
3. ¿Alguna vez ha tenido que cambiar de trabajo o deberes debido a problemas en la espalda baja?	No ☐ Si ☐
4. ¿Cuál es el tiempo total que ha tenido problemas en la espalda baja durante los últimos 12 meses?	☐ 0 días ☐ 1 - 7 días ☐ 8 - 30 días ☐ Más de 30 días ☐ Todos los días
Si usted respondió "0 días" en la pregunta 4, entonces NO responda las preguntas 5 a la 8	
5. ¿Los problemas de la parte baja de la espalda le han hecho reducir su actividad durante los últimos 12 meses? a) ¿Actividad laboral (en casa o fuera de casa)? b) ¿Actividad de ocio?	No ☐ Si ☐ No ☐ Si ☐
6. ¿Cuál es el tiempo total que los problemas de espalda baja le han impedido hacer su trabajo normal (en casa o fuera de casa) durante los últimos 12 meses?	☐ 0 días ☐ 1 - 7 días ☐ 8 - 30 días ☐ Más de 30 días
7. ¿Ha sido atendido por un médico, fisioterapeuta u otra persona por problemas en la parte baja de la espalda durante los últimos 12 meses?	No ☐ Si ☐
8. ¿Ha tenido problemas de espalda baja en algún momento durante los últimos 7 días?	No ☐ Si ☐

Nota: Fuente: Instituto de salud pública de Chile (Ibacache Araya, 2020) (p.7)

Además de los cuestionarios para las evaluaciones de los trastornos musculoesqueléticos, existen otros tipos de cuestionarios que se utilizan para las evaluaciones Macroergonómicas. Realyvásquez-Vargas et al. (2018) menciona que la Encuesta Organizacional Macroergonómico MOQS (por sus siglas en inglés) desarrollado por Carayon y Hoonakker (2001) es un método Macroergonómico cualitativo de recolección de datos de varios aspectos de los sistemas de trabajo tales como: tareas, condiciones organizacionales, aspectos ambientales, herramientas y tecnologías, características individuales, calidad de vida laboral, estrés físico y psicológico, salud física y psicológica, desempeño y actitudes, que ayuda a identificar los síntomas de los problemas de diseño en los sistemas de trabajo y proporciona sugerencias de mejora.

El MOQS no es una encuesta estandarizada o preestablecida, más bien es un método para desarrollar, gestionar y administrar una encuesta Macroergonómica. Por lo tanto, al momento de diseñar una encuesta MOQS es importante definir los objetivos o el propósito, establecer los conceptos a estudiar y las preguntas que se pueden hacer para medirlo. El desarrollo de los MOQS se realiza en cinco pasos: Conceptualización, operacionalización, fuentes de cuestionario, construcción del cuestionario y prueba previa del cuestionario. Elementos necesarios para MOQS: definir las variables a evaluar, formular varias preguntas para cada concepto para obtener una encuesta válida y confiable, hacer una prueba previa de la encuesta para identificar errores, definir una escala para medir los ítems, definir diferentes formas de administrar la encuesta, definir la muestra potencial y el período de administración. Las ventajas de los MOQS es la recolección de grandes cantidades de datos estructurados para medir, analizar y comparar a bajo costo y a corto plazo.

3.7 Checklist para evaluar áreas de trabajo

El Checklist NIOSH es un cuestionario utilizado para evaluar las áreas de trabajo, las herramientas y las actividades de manera rápida. Consiste en llenar un formato con preguntas de

si y no aplicados a trabajadores, tanto hombre como a mujeres. De esa manera poder recolectar los datos para posteriormente analizarlos y evaluarlos (Pandey, K., & Vats, A. 2017). En la tabla 3.5 vemos un ejemplo del checklist de NIOSH.

Tabla 3.5
Ejemplo del checklist de NIOSH

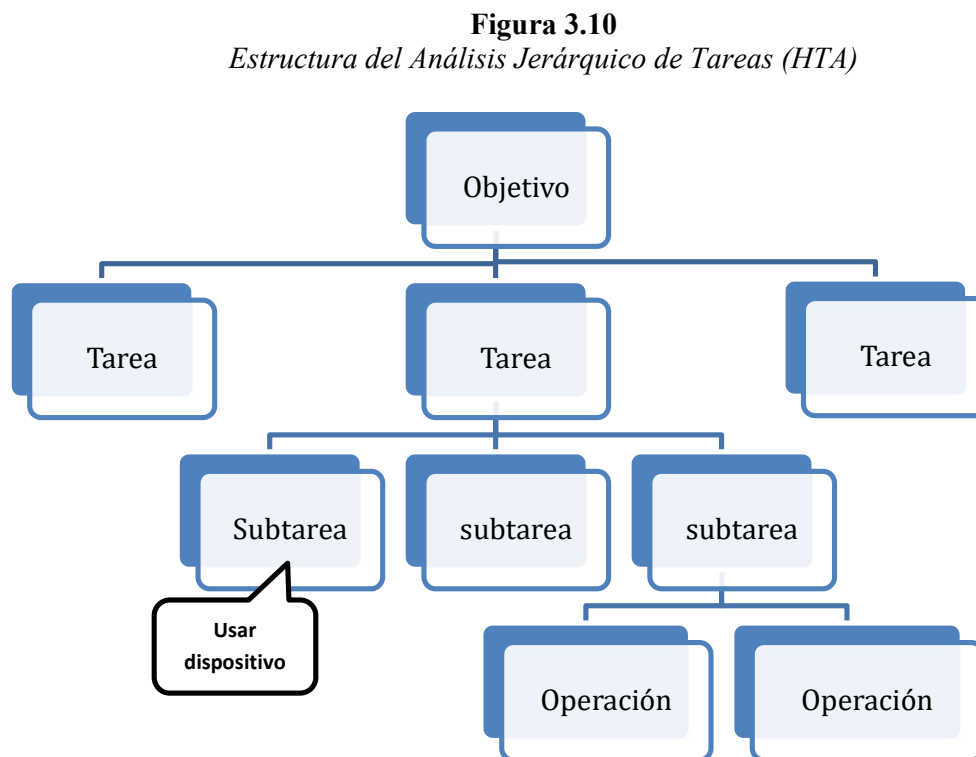
Checklist NIOSH
1. ¿Los pesos de las cargas que deben levantarse son considerados aceptables por la fuerza laboral?
2. ¿Se mueven los materiales a distancias mínimas?
3. ¿Se minimiza la distancia entre la carga del objeto y el cuerpo?
4. ¿Están niveladas las superficies para caminar?
lo suficientemente ancho?
¿limpio y seco?
5. ¿Son fáciles de agarrar los objetos?
¿Estable?
¿Puede sostenerse sin resbalar?
6. ¿Hay asideros en estos objetos?
7. Cuando sea necesario, ¿los guantes le quedan bien?
8. ¿Se usa el calzado adecuado?
9. ¿Hay suficiente espacio para maniobrar?
10. ¿Se utilizan ayudas mecánicas siempre que sea posible?
11. ¿Las superficies de trabajo son ajustables a las mejores alturas de manipulación?
12. ¿Se evita la manipulación de materiales:
¿Movimientos por debajo de la altura de los nudillos y por encima de la altura de los hombros?
¿Carga muscular estática?
¿Movimientos bruscos durante la manipulación?
¿Torciendo la cintura?
¿Alcance extendido?
13. ¿Hay ayuda disponible para levantamientos pesados o incómodos?
14. ¿Se evitan las altas tasas de repetición mediante la rotación de puestos?
auto-ritmo?
suficientes pausas?
15. ¿Se reducen o eliminan las fuerzas de empuje o tracción?

Nota: Formato de elaboración propia.

Como observamos en la tabla anterior es que las preguntas de este checklist están enfocadas en el manejo de cargas, en la manera que se realizan los levantamientos, empujes y tracciones, además, evalúa el área de trabajo y los posibles riesgos.

3.8 Análisis Jerárquico de Tareas (HTA) para analizar procesos y tareas

Berlin & Adams (2017) menciona que, el análisis de tareas jerárquicas (HTA por sus siglas en inglés, Hierarchical Task Analysis) es un método de análisis ergonómico que da una extensa descripción de todas las tareas de manera jerárquica de tal modo que se puedan cumplir el objetivo general. Sirve para analizar todas las tareas y necesarias para poder cumplir con el objetivo principal. En la figura 3.10 se nos muestra una estructura de HTA.



Nota. Fuente: (Berlin & Adams, 2017) (p.133)

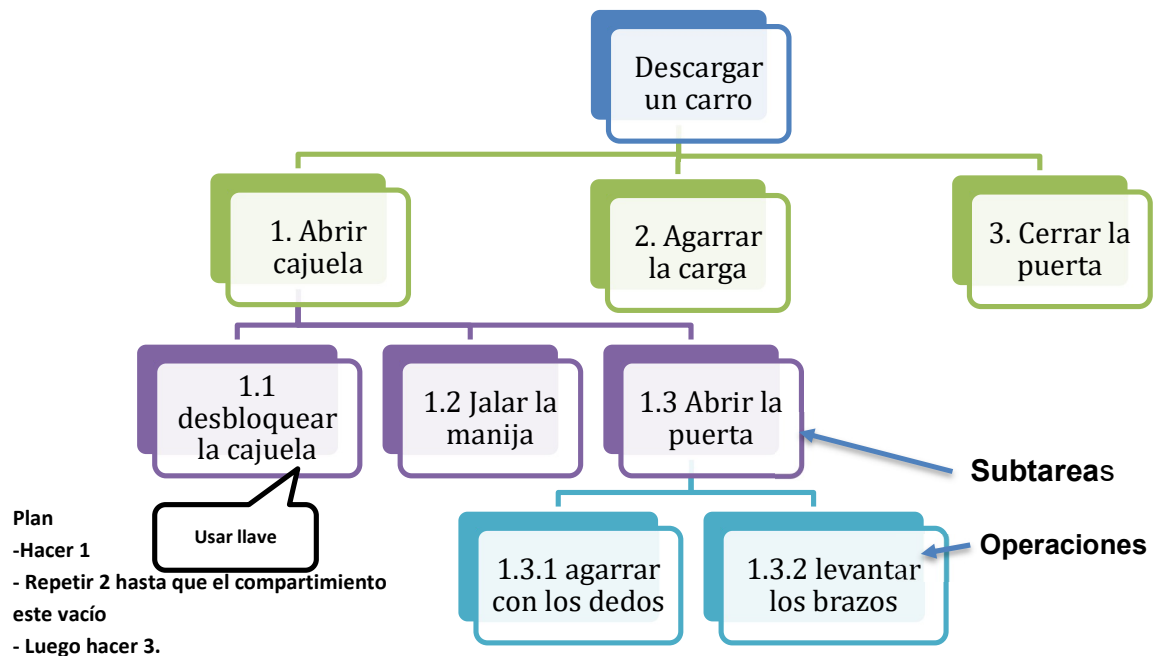
Pasos para el HTA descritos por Stanton (2006) (citados por Berlin & Adams, 2017) (p. 133-134) son los siguientes:

1. Definir el propósito del análisis. Por ejemplo, diseño de sistemas, desarrollo de especificaciones de personal, análisis de carga de trabajo, etc.
2. Definir los límites de la descripción del sistema tales como personas y equipo se considerarán en el análisis.
3. Obtener distintas fuentes de información sobre el sistema a analizar. Para asegurar y validar la precisión del HTA; se puede incluir distintos métodos tales como la observación, entrevistas, consulta de expertos, manuales, simulación, etc.
4. Describir los objetivos y subobjetivos del sistema. Pueden responder a las preguntas ¿Qué se debe hacer? ¿Con qué estándar de desempeño? ¿En qué condiciones?
5. Mantener el número de subobjetivos inmediatos bajo cualquier objetivo superior en un número pequeño (con el objetivo de 3 a 10). Son apropiadas alrededor de 3 a 10 subobjetivos; en caso de haber más, el analista debe considerar si algunos de estos pueden agruparse en un objetivo superior para aclarar la descripción general de la tarea
6. Vincular los objetivos con los subobjetivos y describir las condiciones en las que se activan los subobjetivos. formular los planes para conducir la secuencia y las iteraciones entre los subobjetivos especificados. Los planes indican qué condiciones desencadenan un subobjetivo, cuándo se cumple el propósito y se debe dar el siguiente paso.
7. Deje de volver a describir los subobjetivos cuando considere que el análisis es adecuado para su propósito. El nivel de descripción depende del propósito del análisis, por lo que cuándo detenerse depende del analista, y ciertamente es más fácil si se sabe quién usará la información y cómo.
8. Intente verificar el análisis con expertos en la materia. La verificación con expertos es importante para asegurarse de que el analista haya interpretado correctamente los objetivos y las operaciones del sistema y pueda agregar el beneficio de transferir la propiedad del análisis a los expertos.

9. Esté preparado para revisar el análisis. Es necesario se debe volver a revisar y hacer varias iteraciones para que el HTA sea preciso.

El HTA se puede aplicar a un gran número de tareas. En la figura 3.11 vemos un ejemplo de HTA de descarga de un automóvil.

Figura 3.11
Ejemplo del Análisis Jerárquico de Tareas (HTA)



Nota. Fuente: (Berlin & Adams, 2017) (p. 134)

Aunque el HTA es una herramienta muy útil para entender los procesos de producción de manera gráfica, quedará fuera del alcance de este proyecto, pero será útil en futuros proyectos o bien en réplicas del proceso.

3.9 Métodos ergonómicos

3.9.1 Método Suzanne Rodgers

Evalúa la fatiga muscular al realizar una tarea específica, establece el riesgo de presentar trastornos musculoesqueléticos por esfuerzos acumulativos, mediante el análisis de seis grupos

principales del cuerpo (cuello/hombros, espalda, brazos/codos, muñecas/dedos, piernas/rodillas y tobillos/pies/dedos), otorga una calificación a cada uno y, determina cuál es el nivel de urgencia respecto a la implementación de medidas de control, que puede ser extremadamente alto, alto o moderado (De la Vega B.E., 2005) (Ciprés-Hernández y Chávez-Esquivel, 2019). En la figura 3.12 observamos un ejemplo del método de Suzanne Rodgers.

Figura 3.12
Ejemplo de análisis Suzanne Rodgers

Niveles de esfuerzo				Calificaciones				
Si es un esfuerzo que la mayoría no puede hacer califique con 4								
Parte del cuerpo	Ligero (1)	Moderado (2)	Fuerte (3)	Esfuerzo	Duración	Frecuencia	Calificación	
Cuello	Cabeza girada parcialmente a un lado, hacia atrás o ligeramente adelante.	Cabeza girada a un lado. Cabeza completamente hacia atrás. Cabeza hacia delante unos 20 grados	Igual que en moderado, pero con fuerza o peso. Cabeza estirada hacia delante.	2	3	2	232	
Hombros	Brazos ligeramente despegados; Brazos extendidos sobre algún apoyo.	Brazos despegados del cuerpo, sin apoyo. Trabajar por encima de la cabeza.	Ejercer fuerzas o sostener peso con las manos despegadas del cuerpo o por encima de la cabeza	Der	2	3	4	234
				Izq	2	3	2	232
Espalda	Doblada a un lado o inclinada. Espalda arqueada	Inclinada hacia delante, sin peso. Elevar cargas pesadas cerca del cuerpo. Trabajar por encima de la cabeza.	Subir cargas o ejercer fuerza con la espalda girada. Fuerza elevada o carga mientras se está inclinado.	2	3	2	232	
Brazos/Codos	Brazos despegados del cuerpo, sin carga. Elevar cargas ligeras cerca del cuerpo.	Girar el brazo mientras se hace una fuerza moderada.	Ejercer fuerzas grandes con rotación. Elevar cargas con los brazos extendidos.	Der	1	3	4	134
				Izq	1	3	3	133
Manos/Dedos/Muñecas	Fuerzas o pesos leves que se cogen junto al cuerpo. Muñecas derechas. Agarre cómodo.	Mangos demasiado anchos o estrechos. Ángulos moderados en la muñeca, especialmente de flexión. Uso de guantes con fuerza moderada.	Agarre punzante. Ángulos grandes de giro en la muñeca. Superficies deslizantes.	Der	3	1	4	314
				Izq	3	1	4	314
Piernas/Rodillas/Tobillos/Pies/Dedos	Permanecer de pie. Andar sin inclinarse o girarse. Peso repartido entre ambos pies.	Inclinación hacia delante. Inclinarse sobre una mesa. Peso sobre un solo lado. Pivotar mientras se ejerce fuerza.	Ejercer fuerzas grandes empujando o elevando cargas. Agacharse mientras se ejerce una fuerza.	Der	2	3	1	231
				Izq	2	3	1	231
Duración continua de esfuerzo	Menor a 6 segundos (1)	Entre 6 y 20 segundos (2)	Entre 20 y 30 segundos (3)	Mayor a 30 segundos (4)				
Esfuerzos por minuto	Menos de 1 por minuto (1)	Entre 1 y 5 por minuto (2)	Entre 6 y 15 por minuto (3)	Mayor a 15 por minuto (4)				

Nota: Fuente: (Ciprés-Hernández y Chávez-Esquivel, 2019).

En la figura 3.12 podemos observar los niveles de esfuerzo y su valor numérico: ligero (1), moderado (2) y fuerte (3). También observamos la duración continua de esfuerzo junto con

sus puntuaciones entre paréntesis: menor a 6 segundos (1), entre 6 y 20 segundos (2), entre 20 y 30 segundos (3) y mayor a 30 segundos (4). Además, se observan la cantidad de esfuerzos por minuto los cuales son: menos de 1 por minuto (1), entre 1 y 5 por minuto (2), entre 6 y 15 por minuto (3) y mayor a 15 por minuto (4). Cualquier nivel de esfuerzo, duración y frecuencia de esfuerzos por encima de los 3 niveles representa un muy alto riesgo y se califica con un 4. En la sección de calificaciones se ponen los valores según sea el nivel de esfuerzo, duración continua de esfuerzo y esfuerzos por minuto. La calificación final será la combinación de los 3 factores y el nivel de riesgo y severidad Rodgers se obtendrá de la tabla 3.6.

Tabla 3.6

Nivel de riesgo y severidad del método Suzanne Rogers

Combinaciones de severidad (Esfuerzo, duración y frecuencia)			
Baja (B) (severidad=2)	Moderada (M) (severidad=5)	Alta (A) (severidad=7)	Muy Alta (10)
111	123	223	323
112	132	313	331
113	213	321	332
211	222	322	333
121	231	233	4, x,x
212	232		x,4,x
311	312		x,x,4
122			
131			
221			

Nota: Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.6 se observa los niveles de riesgo muy alta, alta moderada y baja. También muestra la severidad que va desde un valor de 2 hasta 10. Los niveles de riesgo se obtienen a través de la calificación dada en el análisis.

3.9.2 Método Checklist Ocra

Checklist OCRA para la evaluación de la repetitividad de movimientos. OCRA (Occupational Repetitive Actions) es un método que se centra en evaluar los riesgos las extremidades superiores. Para realizar el método OCRA se calcula el valor del Índice Checklist OCRA (ICKL) sumando 5 factores por el multiplicador de duración (MD). Los cinco factores

son: el factor de recuperación (FR), factor de frecuencia (FF), factor de fuerza (FFz), factor de posturas y movimientos (FP), factor de riesgos adicionales (FC).

Ecuación 3.1

valor del Índice Checklist OCRA

$$ICKL = (FR + FF + FFz + FP + FC) \cdot MD$$

Antes de realizar el cálculo del ICKL es necesario conocer el Tiempo Neto de Trabajo Repetitivo (TNTR) y el Tiempo Neto del Ciclo de trabajo (TNC).

El TNTR es el tiempo que duran las actividades repetitivas. Se calcula restando el tiempo de la jornada (DT) en minutos, menos el tiempo de las actividades no repetitivas (TNR), las pausas que se realizan mientras el trabajador está en su puesto de trabajo (P) y tiempo de la comida (A).

Ecuación 3.2

Tiempo que duran las actividades repetitivas

$$TNTR = DT - [TNR + P + A]$$

Primero se calcula TNTR y después el Tiempo Neto del Ciclo de trabajo (TNC). El TNC es el tiempo de ciclo de trabajo considerando sólo las tareas repetitivas realizadas en el puesto. Se calcula multiplicando TNTR por sesenta, entre el número de ciclos que se realiza en el puesto de trabajo (NC).

Ecuación 3.3

Tiempo de ciclo de trabajo

$$TNC = 60 \cdot TNTR / NC$$

Una vez calculado TNTR y TNC se procede a obtener los factores para calcular ICKL.

3.9.3 Método RULA y REBA

RULA (Rapid Upper Limb Assessment) (Berlin & Adams, 2017):

“RULA y REBA son dos métodos similares que se pueden utilizar para detectar e identificar rápidamente las posiciones dañinas. RULA es más adecuado para el trabajo intensivo de manos y brazos, ya que se desarrolló para estudiar el trabajo de montaje sentado en la industria de confitería textil, mientras que REBA cubre el trabajo intensivo de cuerpo entero, como era

desarrollado en un contexto hospitalario-sanitario. Ambos métodos se enfocan en una postura específica que ocurre durante las tareas laborales. Esta postura generalmente se identifica a través de observaciones y discusiones con el trabajador. Generalmente, las posturas que ocurren con frecuencia duran un período de tiempo prolongado, involucran grandes fuerzas o actividad muscular, causan malestar o se consideran extremas son las típicamente seleccionadas para el análisis. Durante una evaluación, se observa toda la tarea y se identifican las posturas clave de interés. Estos puntos de datos se pueden capturar visualmente (por ejemplo, filmar, fotografiar y observar), lo que permite calcular una puntuación RULA utilizando el formulario de evaluación RULA. Para las condiciones que se considera que empeoran la situación, se agregan puntos de “penalización” adicionales. La puntuación final se utiliza como una indicación para mostrar qué tan pronto es necesario hacer algo con respecto a la postura observada. En un análisis RULA, se consideran las posiciones de seis regiones corporales diferentes: brazo, antebrazo, muñecas, cuello, tronco (parte superior del torso) y piernas. Con base en las desviaciones de cada parte del cuerpo de la posición "neutral", el peso de cualquier carga y la naturaleza de los movimientos (estáticos o dinámicos), se calcula una puntuación general. Esta puntuación final entre 1 y 7 corresponde a una clasificación que indica al analista si la postura presenta un riesgo de lesión. Es posible realizar un análisis RULA dentro del software de simulación; a pesar de ser más antiguo que REBA, RULA se encuentra más comúnmente como una herramienta de evaluación en software de simulación. REBA es un método similar para evaluar las posturas corporales durante las tareas laborales, pero a diferencia de RULA, se centra en el trabajo intensivo de todo el cuerpo. De manera similar a RULA, se analiza una postura específica que ocurre durante la tarea de trabajo para proporcionar una puntuación general. Un análisis de REBA considera las mismas seis regiones corporales que RULA, pero va un paso más allá al tener también en cuenta los acoplamientos y agarres. Se agregan puntos para las condiciones que empeoran la naturaleza de la postura, y también se pueden restar puntos si algo contribuye a disminuir el impacto de

carga de la postura (como las posturas asistidas por gravedad). La puntuación final entre 1 y 15 se calcula utilizando el formulario de evaluación REBA”. (p.143-146)

3.9.4 Método WERA

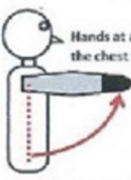
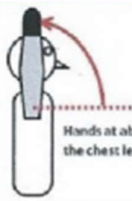
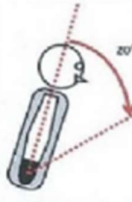
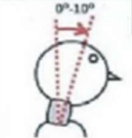
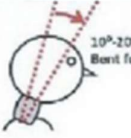
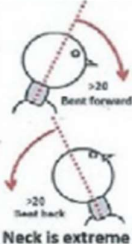
WERA (Workplace Ergonomic Risk Assessment) (Ramaganesh et al., 2021):

“La Evaluación de Riesgos Ergonómicos en el Lugar de Trabajo (WERA), que es una técnica de recodificación y Monitoreo utilizada para modificar la forma de monitorear las actividades empleadas para los factores de manipulación manual relacionados con los Trastornos Musculoesqueléticos Relacionados con el Trabajo (WMSD). El método de la herramienta WERA indica que los 6 factores de las consecuencias del manejo manual incluyen el desempeño de la actitud, los comportamientos continuos de los trabajadores, los factores obligatorios, las actividades de agitación, la fatiga continua y el tiempo de trabajo realizado en las cinco regiones principales del cuerpo (hombro, muñeca, espalda, cuello y pierna). Tiene un sistema de puntuación y niveles de actividad que orientan el nivel de riesgo y la necesidad de acción para realizar evaluaciones más detalladas. Esta herramienta ha sido probada en su confiabilidad, validez y usabilidad durante el proceso de desarrollo” (p.7792)

En la figura 3.13 y figura 3.14 observamos el formato estándar de evaluación de riesgos en el trabajo WERA la cual tiene 9 factores de riesgo físicos. En la figura 3.13 observamos los primeros cinco factores de riesgo de este formato, que evalúa los hombros, las muñecas, la espalda, el cuello y las piernas. Se le da el nivel de riesgo bajo, medio o alto, dependiendo de la postura y el tiempo de descanso. Los otros 4 factores se observan en la figura 3.14, los cuales son: el esfuerzo, las vibraciones, el estrés por contacto y la duración de la tarea. El nivel de riesgo ergonómico depende de que tan pesada es la carga, la postura, tiempo de exposición a las vibraciones; como se utiliza la herramienta, si utilizan guantes que cubran toda la mano, guantes con los dedos descubiertos o sin guantes; y el tiempo de duración de la actividad. Al final se suman todos los puntos en el nivel de acción, el cual puede ser: bajo, medio o alto.

Figura 3.13

Formato estándar de Evaluación de Riesgos Ergonómicos en el Trabajo WERA Parte 1

PHYSICAL RISK FACTOR		RISK LEVEL			SCORING SYSTEM																				
		LOW	MEDIUM	HIGH																					
1. Shoulder	1a. Posture	 Hands at about the waist level Shoulders in neutral position	 Hands at about the chest level Shoulder is moderate bent up	 Hands at above the chest level Shoulder is extreme bent up	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">1a. POSTURE</th> </tr> <tr> <th>Risk Level</th> <th>LOW</th> <th>MED</th> <th>HIGH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1b. REPETITION LOW</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>MED</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>HIGH</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table> Score 1	1a. POSTURE				Risk Level	LOW	MED	HIGH	1b. REPETITION LOW	2	3	4	MED	3	4	5	HIGH	4	5	6
	1a. POSTURE																								
Risk Level	LOW	MED	HIGH																						
1b. REPETITION LOW	2	3	4																						
MED	3	4	5																						
HIGH	4	5	6																						
1b. Repetition	Light movement with more pauses	Moderate movement with some pauses	Heavy movement with no rest																						
2. Wrist	2a. Posture	 Wrists in a neutral position	 Wrists are moderate bent up or bent down	 Wrists are extreme bent up or bent down with twisting	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">2a. POSTURE</th> </tr> <tr> <th>Risk Level</th> <th>LOW</th> <th>MED</th> <th>HIGH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2b. REPETITION LOW</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>MED</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>HIGH</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table> Score 2	2a. POSTURE				Risk Level	LOW	MED	HIGH	2b. REPETITION LOW	2	3	4	MED	3	4	5	HIGH	4	5	6
	2a. POSTURE																								
Risk Level	LOW	MED	HIGH																						
2b. REPETITION LOW	2	3	4																						
MED	3	4	5																						
HIGH	4	5	6																						
2b. Repetition	0-10 times per minute	11-20 times per minute	Over 20 times per minute																						
3. Back	3a. Posture	 Back in neutral position	 Back is moderate bent forward	 Back is extreme bent forward	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">3a. POSTURE</th> </tr> <tr> <th>Risk Level</th> <th>LOW</th> <th>MED</th> <th>HIGH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3b. REPETITION LOW</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>MED</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>HIGH</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table> Score 3	3a. POSTURE				Risk Level	LOW	MED	HIGH	3b. REPETITION LOW	2	3	4	MED	3	4	5	HIGH	4	5	6
	3a. POSTURE																								
Risk Level	LOW	MED	HIGH																						
3b. REPETITION LOW	2	3	4																						
MED	3	4	5																						
HIGH	4	5	6																						
3b. Repetition	0-3 times per minute	4-8 times per minute	9-12 times per minute																						
4. Neck	4a. Posture	 Neck in neutral position with little bent forward	 Neck is moderate bent forward	 Neck is extreme bent forward or bent back	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">4a. POSTURE</th> </tr> <tr> <th>Risk Level</th> <th>LOW</th> <th>MED</th> <th>HIGH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4b. REPETITION LOW</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>MED</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>HIGH</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table> Score 4	4a. POSTURE				Risk Level	LOW	MED	HIGH	4b. REPETITION LOW	2	3	4	MED	3	4	5	HIGH	4	5	6
	4a. POSTURE																								
Risk Level	LOW	MED	HIGH																						
4b. REPETITION LOW	2	3	4																						
MED	3	4	5																						
HIGH	4	5	6																						
4b. Repetition	Light movement with more pauses	Moderate movement with some pauses	Heavy movement with no rest																						
5. Leg	5a. Posture	 Legs in neutral position OR sitting with feet are flat on floor / foot rest.	 Legs are moderate bent forward OR sitting with feet are bent on floor	 Legs are extreme bent forward OR sitting with feet do not touch floor.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">5a. POSTURE</th> </tr> <tr> <th>Risk Level</th> <th>LOW</th> <th>MED</th> <th>HIGH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5. DURATION LOW</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>MED</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>HIGH</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table> Score 5	5a. POSTURE				Risk Level	LOW	MED	HIGH	5. DURATION LOW	2	3	4	MED	3	4	5	HIGH	4	5	6
	5a. POSTURE																								
Risk Level	LOW	MED	HIGH																						
5. DURATION LOW	2	3	4																						
MED	3	4	5																						
HIGH	4	5	6																						

Nota: Fuente: (Ramaganesh et al., 2021) (p. 7794)

Figura 3.14

Formato estándar de Evaluación de Riesgos Ergonómicos en el Trabajo WERA Parte 2

PHYSICAL RISK FACTOR		RISK LEVEL			SCORING SYSTEM																				
		LOW	MEDIUM	HIGH																					
6. Forceful	Lifting the load	 Lifting the load 0-5kg	 Lifting the load 5-10kg	 Lifting the load more than 10kg	<table border="1"> <tr><th colspan="4">6. FORCEFUL</th></tr> <tr> <th>Risk Level</th> <th>LOW</th> <th>MED</th> <th>HIGH</th> </tr> <tr> <td>LOW</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>MED</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>HIGH</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> </table> Score 6	6. FORCEFUL				Risk Level	LOW	MED	HIGH	LOW	2	3	4	MED	3	4	5	HIGH	4	5	6
6. FORCEFUL																									
Risk Level	LOW	MED	HIGH																						
LOW	2	3	4																						
MED	3	4	5																						
HIGH	4	5	6																						
7. Vibration	Using of vibration tool	 Never used of vibration tool OR Used vibration tool < 1hrs per day	 Occasional used of vibration tool WITH 1-4hrs per day	 Constant used of vibration tool WITH >4hrs per day	<table border="1"> <tr><th colspan="4">7. VIBRATION</th></tr> <tr> <th>Risk Level</th> <th>LOW</th> <th>MED</th> <th>HIGH</th> </tr> <tr> <td>LOW</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>MED</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>HIGH</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> </table> Score 7	7. VIBRATION				Risk Level	LOW	MED	HIGH	LOW	2	3	4	MED	3	4	5	HIGH	4	5	6
7. VIBRATION																									
Risk Level	LOW	MED	HIGH																						
LOW	2	3	4																						
MED	3	4	5																						
HIGH	4	5	6																						
8. Contact stress	Using of tool handle Or wearing hand gloves	 Soft/round shape of tool handle OR Using a full cover of hand gloves	 Hard/sharp shape of tool handle OR Using a half cover of hand gloves	 No/Without of tool handle OR Never used hand gloves	<table border="1"> <tr><th colspan="4">8. CONTACT STRESS</th></tr> <tr> <th>Risk Level</th> <th>LOW</th> <th>MED</th> <th>HIGH</th> </tr> <tr> <td>LOW</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>MED</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>HIGH</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> </table> Score 8	8. CONTACT STRESS				Risk Level	LOW	MED	HIGH	LOW	2	3	4	MED	3	4	5	HIGH	4	5	6
8. CONTACT STRESS																									
Risk Level	LOW	MED	HIGH																						
LOW	2	3	4																						
MED	3	4	5																						
HIGH	4	5	6																						
9. Task duration	Task-hr/day	 < 2hrs per day	 2-4hrs per day	 > 4hrs per day	<table border="1"> <tr><th colspan="4">9. TASK DURATION</th></tr> <tr> <th>Risk Level</th> <th>LOW</th> <th>MED</th> <th>HIGH</th> </tr> <tr> <td>LOW</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>MED</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>HIGH</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> </table> Score 9	9. TASK DURATION				Risk Level	LOW	MED	HIGH	LOW	2	3	4	MED	3	4	5	HIGH	4	5	6
9. TASK DURATION																									
Risk Level	LOW	MED	HIGH																						
LOW	2	3	4																						
MED	3	4	5																						
HIGH	4	5	6																						
FINAL SCORE																									
Job/Task : _____ Date : _____ Observer : _____		<table border="1"> <tr><th colspan="4">Action Level</th></tr> <tr> <th>Risk Level</th> <th>Final Score</th> <th>Action</th> <th>Tick (✓)</th> </tr> <tr> <td>LOW</td> <td>18-27</td> <td>Task is acceptable</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>MED</td> <td>28-44</td> <td>Task is need to further investigate & required change</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>HIGH</td> <td>45-54</td> <td>Task is not accepted, immediately change</td> <td>☐</td> </tr> </table>			Action Level				Risk Level	Final Score	Action	Tick (✓)	LOW	18-27	Task is acceptable	☐	MED	28-44	Task is need to further investigate & required change	☐	HIGH	45-54	Task is not accepted, immediately change	☐	
Action Level																									
Risk Level	Final Score	Action	Tick (✓)																						
LOW	18-27	Task is acceptable	☐																						
MED	28-44	Task is need to further investigate & required change	☐																						
HIGH	45-54	Task is not accepted, immediately change	☐																						

based on WERA: An observational tool develop to investigate the physical risk factor associated with WMSDs,
Mohd Nasrull Abdul Rahman, Mat Rebi Abdul Rani and Jafril Mohd Rohani, Journal of Human Ergology, 2011, 40(2), 19-36

Nota: Fuente: (Ramaganesh et al., 2021) (p. 7794)

3.10 Estadística descriptiva y ANOVA

Pulido, (2020) (p.145-166) nos presenta la estadística descriptiva que se divide en medidas de tendencia central y medidas de dispersión.

Las medidas de tendencia central son aquellos valores en los cuales los datos o las mediciones de una variable se agrupan o se concentran. Estas medidas son la media, la mediana y la moda.

La media es el valor promedio o media aritmética que se obtiene al sumar los valores y dividirlos entre el número de datos. En la ecuación 3.4 vemos la fórmula de la media donde n es el número de datos y x es el valor de cada dato.

Ecuación 3.4
Fórmula de la media

$$\bar{x} = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

Nota: fuente: (Pulido, 2020)

La mediana es el dato central de una lista de datos. Se obtiene ordenando todos los valores de menor a mayor, después se divide entre dos el número total de datos más uno si la cantidad de datos es impar; si la cantidad de datos es par, se dividen la cantidad de datos entre dos. En la Ecuación 3.5 se muestra la fórmula para la mediana para conjunto de datos impar y par.

Ecuación 3.5
Fórmula de la mediana

$$\text{Impar } \hat{x} = \frac{n+1}{2}, \quad \text{par } \hat{x} = \frac{n}{2}$$

Nota: Fuente: elaboración propia

Por último, la moda es la medida de tendencia central de un conjunto de datos que representa al valor que más se repite.

Las medidas de dispersión son aquellas que nos indican qué tan dispersos están los datos o que tanta variación existe entre ellos. Estas medidas son la desviación estándar, la varianza y el rango.

La desviación estándar nos indica que tan dispersos están los datos con respecto a la media. Se calcula con la fórmula mostrada en la Ecuación 3.6.

Ecuación 3.6
Fórmula de la desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Nota: Fuente: (Pulido, 2020)

La varianza es el cuadrado de la desviación estándar. Se calcula elevando al cuadrado el resultado obtenido de la desviación estándar. La fórmula de la varianza la podemos ver en la Ecuación 3.7.

Ecuación 3.7
Fórmula de la varianza

$$s^2 = \frac{\sum (x_i - \underline{x})^2}{n - 1}$$

Nota: Fuente: elaboración propia.

El rango es la diferencia entre el valor más grande y el más chico de un conjunto de datos. La fórmula del rango la vemos en la Ecuación 3.8.

Ecuación 3.8
Fórmula del Rango

$$Rango = Valor_{Máximo} - Valor_{Mínimo}$$

Nota: Fuente: elaboración propia

Triola, (2017) define el análisis de varianza o ANOVA como:

“Un método para probar la igualdad de tres o más medias poblacionales mediante el análisis de varianzas muestrales. El análisis de varianza de un factor se utiliza con datos categorizados con un factor (o tratamiento), por lo que hay una característica que se usa para separar los datos muestrales en diferentes categorías” (p. 569).

Pulido, (2012) nos dice que “el análisis de varianza (ANOVA) es la técnica central en el análisis de datos experimentales”, cuyo objetivo es probar la hipótesis de la igualdad de los tratamientos con respecto a la media. De esta manera se plantea la hipótesis nula H_0 y la hipótesis alternativa H_1 .

Los tratamientos se refieren a cada uno de los grupos de análisis, a las muestras de cada una de las diferentes poblaciones. En la tabla 3.7 muestra los tratamientos diferentes desde T_1 hasta T_k , donde k es el número de tratamientos.

Tabla 3.7
Tabla de tratamientos

Tratamientos				
T_1	T_2	T_3	...	T_k
Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	...	Y_{k1}
Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	...	Y_{k2}
Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}	...	Y_{k3}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
Y_{1n_1}	Y_{2n_2}	Y_{3n_3}	...	Y_{kn_k}

Nota: Fuente: (Pulido, 2012)

Para poder corroborar la hipótesis nula y alternativa es necesario utilizar el estadístico F la cual debe ser comparada con el valor obtenido en la tabla de puntos críticos de distribución F encontradas en el apéndice A. En la tabla 3.8 se muestra cómo se construye la tabla ANOVA y las fórmulas y datos que necesitas para calcular F_0 .

Tabla 3.8
Tabla ANOVA

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	Valor- p
Tratamientos	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_{i\cdot}^2}{n_i} - \frac{Y_{\cdot\cdot}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
Error	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
Total	$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{\cdot\cdot}^2}{N}$	$N - 1$			

Nota: Fuente: (Pulido, 2012)

Para aceptar la hipótesis nula de que todas las medias de los distintos tratamientos son iguales, F_0 debe ser mayor a el valor de F en la tabla 3.9 de distribución F.

Tabla 3.9
Puntos críticos al 5% de la distribución F, $P(X > x) = 0.05$

v ₂	Grados de libertad v ₁																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88	242.98	243.91	244.69	245.36	245.95	246.46	246.92	247.32	247.69	248.01
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43	19.43	19.44	19.44	19.44	19.45
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70	8.69	8.68	8.67	8.67	8.66
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86	5.84	5.83	5.82	5.81	5.80
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62	4.60	4.59	4.58	4.57	4.56
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94	3.92	3.91	3.90	3.88	3.87
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51	3.49	3.48	3.47	3.46	3.44
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22	3.20	3.19	3.17	3.16	3.15
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01	2.99	2.97	2.96	2.95	2.94
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85	2.83	2.81	2.80	2.79	2.77
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72	2.70	2.69	2.67	2.66	2.65
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62	2.60	2.58	2.57	2.56	2.54
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53	2.51	2.50	2.48	2.47	2.46
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46	2.44	2.43	2.41	2.40	2.39
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40	2.38	2.37	2.35	2.34	2.33
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35	2.33	2.32	2.30	2.29	2.28
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31	2.29	2.27	2.26	2.24	2.23

Nota: Fuente: Elaboración propia. Vea apéndice A

2.11 Normativa asociado a procesos de arneses.

El IPC/WHMA-A-620 es un estándar desarrollado por la asociación manufacturera de arneses eléctricos WHMA (por sus siglas en inglés) donde se establecen los requisitos y aceptabilidad de cables y mazos de cables o arneses eléctricos (Ipc/whma-a-620 | wiring harness manufacturer's association, s. f.).

El IPC puede ser utilizado como documento independiente para la compra de productos; sin embargo, no especifica la frecuencia de inspecciones en proceso o la frecuencia de inspecciones del producto final. El IPC describe los materiales, métodos, pruebas y criterios de aceptación para la producción de interconexiones crimpadas, mecánicamente aseguradas o soldadas y las actividades de ensamble relacionadas que estén asociadas con ensambles de cables y arneses eléctricos.

El objetivo del IPC es emplear la metodología de control de procesos para asegurar niveles de calidad consistentes durante la fabricación de los productos. Se puede emplear cualquier método de producción de ensambles conforme a los requerimientos de aceptabilidad del IPC. Tanto el fabricante como el usuario de los productos deben estar de acuerdo cuáles de las revisiones del IPC son válidas, así como la clase a la que pertenece el producto. El usuario evaluar y especificar a qué clase pertenece su producto, en caso de no hacerlo el fabricante puede hacerlo. Las especificaciones de aceptación de los productos deben basarse en documentación, ya sea, planos, especificaciones, contratos, estándares y/o documentos de referencia.

El IPC utiliza tres clasificaciones de productos: clase 1, clase 2 y clase 3.

La clase 1 se refiere a productos electrónicos en general que incluye productos adecuados para aplicaciones donde el mayor requisito es la función del ensamble completo.

La clase 2 se refiere a productos electrónicos de servicio dedicado que incluye productos de los cuales se requiere un funcionamiento continuo y una vida útil extendida y para los que un

servicio ininterrumpido es deseable pero no crítico. Típicamente el entorno de uso final no causaría fallos.

La clase 3 se refiere a productos electrónicos de alto rendimiento/entornos severos que incluye productos para los que un funcionamiento continuo o funcionamiento a demanda sean críticos, el equipo inoperativo no sea tolerable, el entorno de uso final pueda ser inusualmente duro y el equipo tenga que funcionar cuando se le requiera como en sistemas de soporte de vida y otros sistemas críticos. Para las industrias aeroespaciales y automotrices la clasificación de los arneses y cables de acuerdo con el IPC es clase 3.

Las tolerancias que maneja en cada uno de los procesos son más rigurosas en las inspecciones, las pruebas eléctricas y mecánicas. Un ejemplo de pruebas eléctricas son las pruebas de continuidad, de HIPOT o dieléctrica. De pruebas mecánicas existen las pruebas de jalón que se utilizan para medir la resistencia del crimpado de contactos. Las inspecciones se pueden hacer de manera visual y con instrumentos de medición tales como micrómetros, vernier, microscopios, etc.

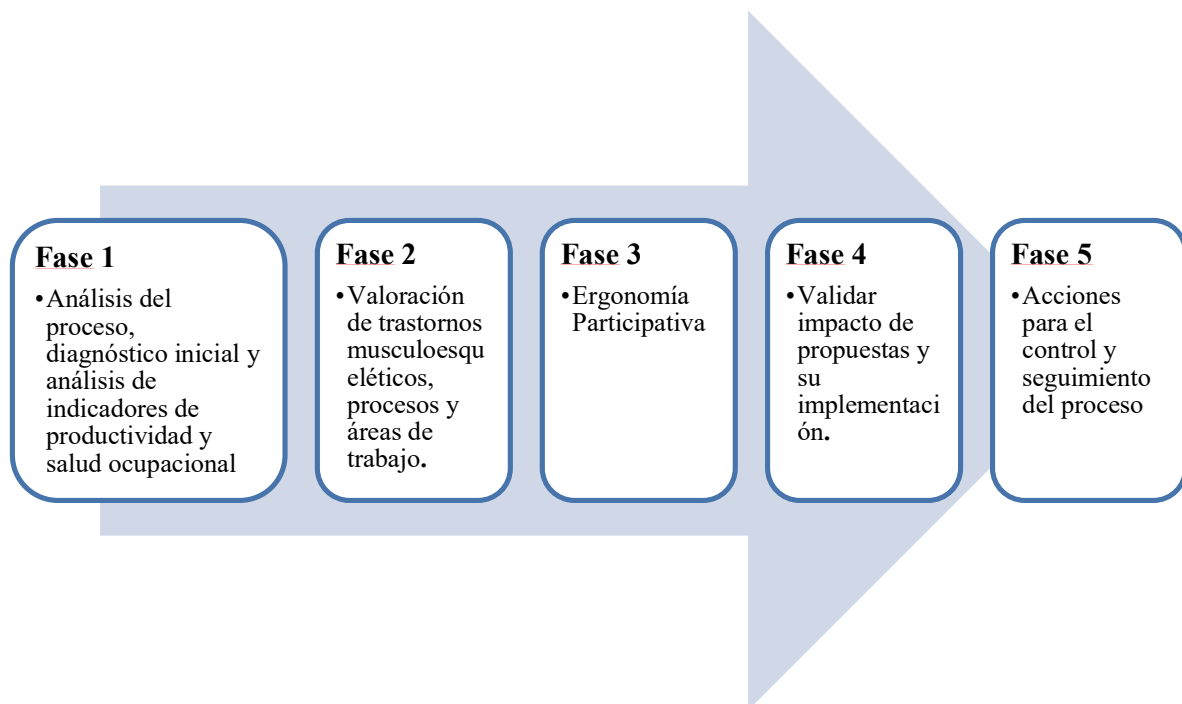
Una de las normas de gestión de calidad de la industria manufacturera aeroespacial es la AS9100 o EN9100:2018/AS9100D de NQA que está basada en ISO 9001 Hernández, J. y Carrillo, J. (2018). Muchas de las industrias aeroespaciales requieren estar certificados en AS9100 para poder vender los productos. Las auditorías de AS9100 verifican que se estén siguiendo los procesos estipulados por la empresa y que toda la documentación sea llenada correctamente. Además de la norma AS9100 las industrias aeroespaciales se certifican en Nadcap (National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program). Esta norma tiene un apartado para las pruebas y los productos electrónicos.

Capítulo 4

Metodología

Este capítulo trata acerca de la metodología que se desarrollará en el capítulo 4 Caso de Estudio, la cual, consiste 5 fases en las que se recaba información histórica en cuestiones de salud ocupacional y problemáticas que afectan a la producción, se realizan cuestionarios, se hacen evaluaciones ergonómicas, se emplea la ergonomía participativa, se obtienen propuestas de mejora y se implementan. Esta metodología busca mejorar las líneas de producción sin afectar la salud del trabajador, reduciendo los riesgos musculoesqueléticos y eliminando desperdicios. En la figura 4.1 se observa cada una de las fases de la metodología.

Figura 4.1
Fases de la metodología



Nota: Fuente elaboración propia

La descripción de cada una de las 5 fases será desarrollada en los siguientes apartados.

4.1 Recopilación de Información

La fase 1 consiste en delimitar el área, la familia de arneses y el arnés representativo de la familia donde se va a realizar el proyecto, conocer los procesos y el historial de productividad y problemáticas de salud ocupacional. Además, en esta fase se busca formar un equipo o comité encargado de realizar el análisis ergonómico.

Se recaba información por medio de entrevistas al personal involucrado en la operación, trabajadores de servicios médicos, ingenieros de mejora de líneas de producción, seguridad e higiene, los encargados de ergonomía de la empresa. La información que se recaba son datos de productividad, calidad y salud ocupacional. También, saber las problemáticas de la empresa y personal como el ausentismo, la rotación, las enfermedades de trabajos y los riesgos ergonómicos, incapacidades, la baja en la producción y calidad.

En los registros de servicios médicos de los últimos 4 años, donde se busca información de los trastornos musculoesqueléticos, así como las enfermedades laborales de los trabajadores. De esta información se obtiene por medio de gráficas de Pareto y estadística descriptiva, cuáles son líneas de producción más afectadas en la salud y los posibles riesgos Ergonómicos. También buscar en los registros de producción para conocer el histórico de la productividad.

Para conocer el proceso se realizará un análisis del proceso por medio de un VSM de estado presente. El VSM de estado presente se delimitará desde que entra el material a producción hasta que sale de producción. El VSM de estado presente se utiliza para mapear los procesos, es decir, conocer el estado actual de proceso productivo del producto o familia de productos. Lo primero que se debe conocer es el flujo del arnés, por cuales procesos pasa, sus tiempos de ciclo de cada proceso, así como la cantidad de trabajadores de cada estación de trabajo.

4.2 Diagnóstico y Valoración

En la fase 2 consistirá en valoración diagnóstica de los problemas musculoesqueléticos por medio del cuestionario Nórdico o Cornell, además, la valoración ergonómica mediante los métodos OCRA y Rodgers.

Los cuestionarios se realizarán a varios trabajadores de las diferentes líneas y estaciones de trabajo, en donde se le realizaran preguntas de los malestares, dolores, incomodidad que experimentan y han experimentado en la última semana y los últimos 12 meses. De los cuestionarios se podrán obtener que proceso causa más dolor, que parte del cuerpo es la más afectada y si hay una correlación entre los malestares experimentados y el proceso. Uno de estos cuestionarios es el cuestionario nórdico, el cual fue utilizada por distintos autores de la tabla 2.3 del apartado 2.2 del capítulo 2, también, se describe en el apartado 3.6 del capítulo 3 como una herramienta de salud ocupacional que se utiliza para recabar información de los padecimientos, molestias y dolores de 9 secciones del cuerpo.

Otro cuestionario musculoesquelético que se utilizará es el cuestionario Cornell, que a diferencia del cuestionario nórdico este tiene nivel de dolor y tiene varios formatos como se ve en la figura 3.5 y tabla 3.4 de la sección 3.6 del capítulo 3. En el cuestionario Cornell solo se analiza los dolores padecidos de la última semana.

Para la valoración ergonómica de las líneas de trabajo y las operaciones se utilizará el método OCRA Checklist para analizar factores de repeticiones, descansos, esfuerzos, posturas y otros factores. También se utilizará el método Suzanne Rodgers para evaluar la fatiga muscular en manos, brazos y hombros. Para estas valoraciones es necesario apoyarse de videos y fotos de cada proceso del arnés, tomando las capturas de distintos ángulos, tomas abiertas y cerradas, asegurándose de tener suficiente material para un análisis completo.

4.3 Análisis de Propuestas

La fase 3 se utiliza la Ergonomía Participativa, que consiste en tener reuniones con el comité de Ergonomía para encontrar soluciones a las problemáticas de la estación y los procesos críticos en el aspecto Ergonómico.

Antes de realizar el análisis de las propuestas se hace recorridos a las líneas de trabajo junto con el comité de Ergonomía. Se realiza observación del proceso y cada miembro anota las oportunidades de mejora que va encontrando. De los videos obtenidos y el diagnóstico y valoración de la fase anterior también se pueden observar las oportunidades de mejora.

Una vez obtenido los resultados del análisis ergonómico e identificado las áreas de oportunidad de las estaciones de trabajo se tienen reuniones con el equipo de ergonomía y los trabajadores donde se presentan las oportunidades de mejora. Esta reunión tiene el fin de que se obtengan propuestas de soluciones. No se debe descartar ninguna propuesta en esta fase, se debe anotar todas las propuestas hechas por los participantes del comité y los trabajadores de las líneas de producción donde se realizarán las mejoras.

4.4 Impacto de las mejora e implementación

La fase 4 consiste en primero hacer el análisis y selección de las mejores propuestas.

Después de tener la lluvia de ideas en las reuniones con el comité de Ergonomía se analiza cuáles de las mejoras tienen mayor impacto y cuáles pueden ser viables. Se analiza una por una las propuestas y el equipo decide si tiene un gran impacto la mejora de la estación de trabajo, evalúa su complejidad, si es viable, si se puede cumplir.

Una vez seleccionadas las mejoras se realiza el VSM de estado futuro donde se incluyen todas las mejoras seleccionadas y los tiempos estimados de la línea de producción.

Se elaborará el plan de implementación donde se estipula los tiempos en que se implementaran las mejoras. Después se realizará la implementación de las propuestas con mayor

impacto y se tienen sesiones con el comité para revisar el avance de la mejora, de esta forma se asegura que sea implementada.

4.5 Análisis de resultados y Propuesta de control

La fase 5 consiste en el análisis de los resultados viendo el impacto que tuvo tanto en productividad como en el bienestar laboral. La manera de verificar los datos es revisando aspectos de la productividad y la salud ocupacional. Se revisará que los métricos de productividad desde que se implementó las mejoras hasta la fecha. Se compararán los métricos de productividad estadísticamente mediante el ANOVA y estadística descriptiva, buscando si hubo variación estadística un cambio en la productividad, si es la misma, si aumento o disminuyo.

Se realizarán cuestionarios Nórdico o Cornell en las líneas de trabajo donde se realizaron las mejoras para valorar mejora en el bienestar laboral, para ver si hubo reducción en los síntomas de trastorno musculoesqueléticos. De igual modo se valorará las líneas de trabajo y los procesos mediante los métodos OCRA Checklist y Rodgers. Se analizarán los datos obtenidos con estadísticos descriptivos, Gráficas de Pareto y se comparará con los datos obtenidos en la fase 2

Se elaborará el VSM de estado actual para el análisis del impacto que tuvo las mejoras. Se tomará los tiempos de ciclo nuevos y los tiempos de cada proceso, además se para comparar con los VSM de la fase 1 y la fase 4.

Capítulo 5

Caso de estudio

5.1 Antecedentes de la empresa

Se seleccionó la empresa Furukawa que fue fundada por Ichibei Furukawa en 1884. Inició operaciones en Mexicali en 1997. Esta empresa del ramo automotriz cuenta con productos tales como arneses, caja de fusibles, conectores, terminales, partes para la activación de la bolsa de aire y otros controles del volante del automóvil. (FURMEX, 2021)

Furukawa tiene áreas de trabajo distribuidas según el tipo de producto que produce, entre las principales se encuentra el área de SRC donde fabrican el control del volante del automóvil, y el área de arneses donde fabrican el cableado eléctrico de los automóviles. Otras áreas son las de moldeo y fabricación de caja de fusibles.

5.2 Procesos de ensamble

Existen diversas formas, tamaños, materiales en los arneses que fabrica la empresa, pero los procesos de armados de arneses son similares entre los diferentes productos. Entre los principales procesos se encuentran la corte de cable, crimpado, soldadura, inserción de contactos, el pre encintado, encintado, prueba eléctrica e inspección. Los procesos de corte de cable, crimpado, soldadura y prueba eléctrica son procesos realizados con máquinas, donde el trabajador hacer la preparación para que la máquina produzca y recibir el material o producto. Por otra parte, los

procesos de inserción de contactos, pre encintado y encintado son procesos totalmente de carga manual.

El corte de cable y el crimpado del cable son procesos que se hacen fuera de las líneas de producción, ya que se realizan en máquinas automatizadas. Los cables producidos en las estaciones de corte y crimpado de cable se distribuyen a las líneas de producción, donde se realiza el armado de los arneses.

El armado de los arneses dentro de las líneas de producción se realiza en flujo continuo de pieza en pieza, es decir, que se fabrica un arnés a la vez. Por lo general, cada estación de trabajo es ocupada por un trabajador, salvo en algunas estaciones donde hay un encintado muy largo donde hay dos operadores trabajando en la misma estación. Algunos procesos se dividen en varias estaciones de trabajo, como es el caso de algunas líneas donde tienen hasta 7 estaciones de inserción.

5.3 Identificación del proceso crítico

Se analizó el registro de casos ergonómicos en el cual se obtuvieron hallazgos relacionados con las problemáticas musculoesqueléticas.

En la tabla 5.1 se observan los casos Ergonómicos del 2018 al 2020

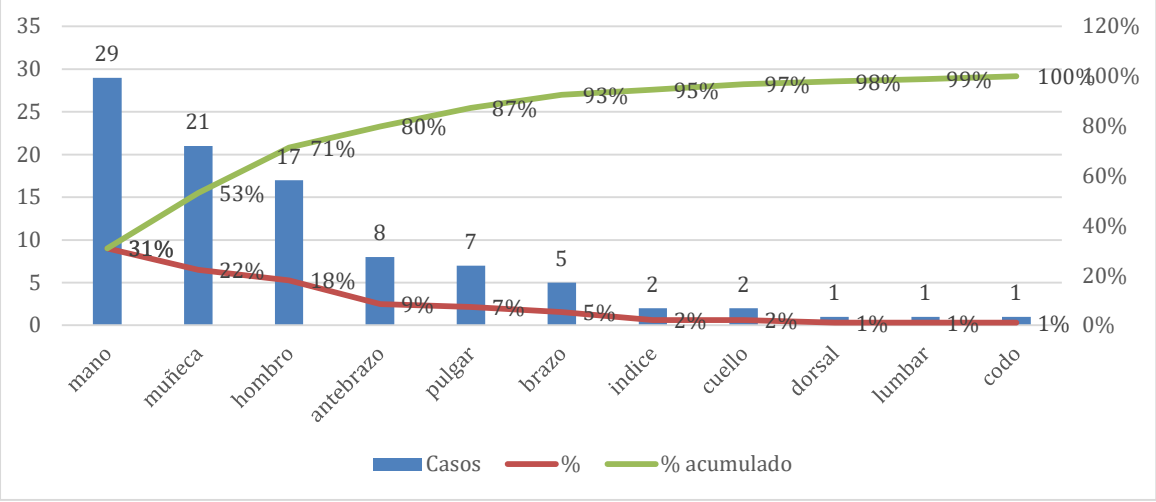
Tabla 5.1 Casos Ergonómicos del 2018 al 2020									
Año	Total	Área			Sexo		Turno		
		Arneses	SRC	otros	Mujer	Hombre	1	2	3
2018	56	33	17	6	40	16	39	16	1
2019	68	38	19	11	53	15	51	14	3
2020	29	15	10	4	25	4	14	14	1
Total	153	86	46	21	118	35	104	44	5
		56%	30%	14%	77%	23%	68%	29%	3%

Nota: Datos del registro de casos Ergonómicos Furukawa

En la tabla podemos observar que la mayoría de los casos son del área arneses, con un 56% de los casos. También el 77% de los casos son padecidos por las mujeres, contra un 23%

de los hombres. En la figura 5.1 observamos una gráfica de Pareto donde se muestran los casos Ergonómicos por parte del cuerpo.

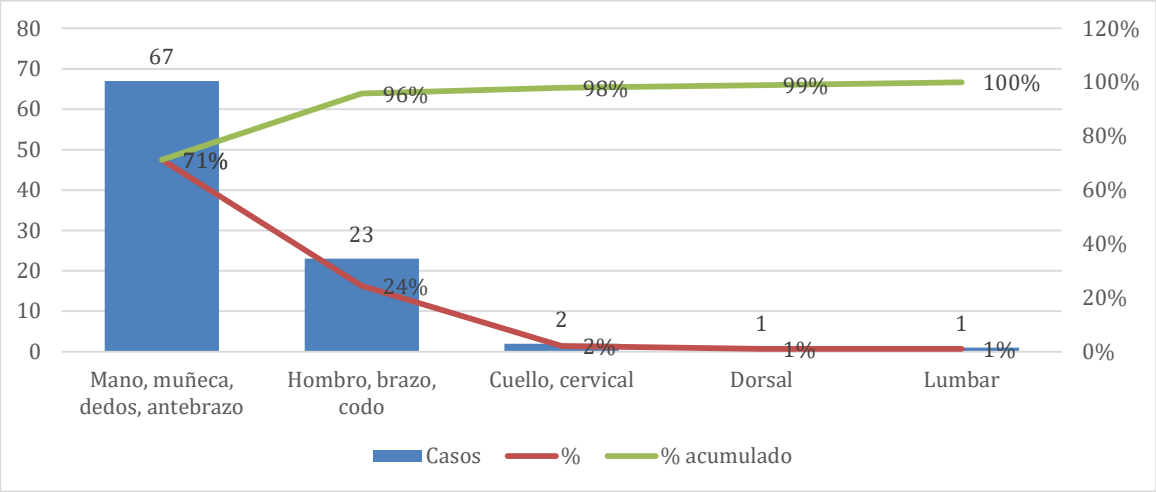
Figura 5.1
Casos Ergonómicos por parte del cuerpo



Nota: Datos del registro de casos Ergonómicos Furukawa del área de arneses.

En la figura se ve que la zona del cuerpo más afectada es la mano y la muñeca, con un 31% y 22% respectivamente. En la figura 5.2 se ve por grupos.

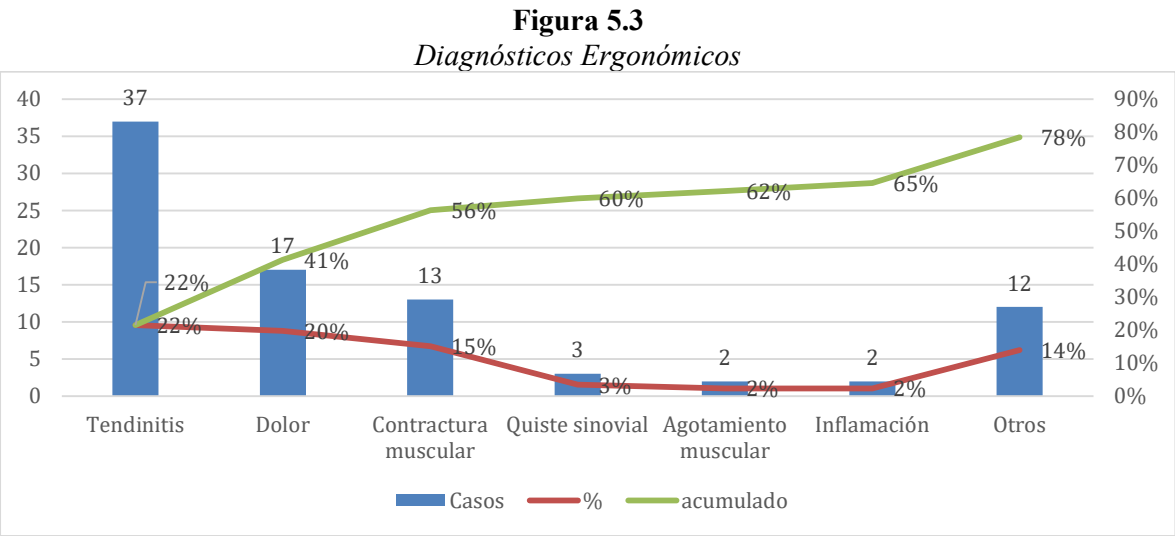
Figura 5.2
Casos Ergonómicos por parte del cuerpo



Nota: Datos del registro de casos Ergonómicos Furukawa del área de arneses.

En la figura 5.2 vemos que el 96% de los casos son en las extremidades superiores. Las manos, muñecas, dedos y antebrazo representan el 71% de los casos. Por otra parte, los

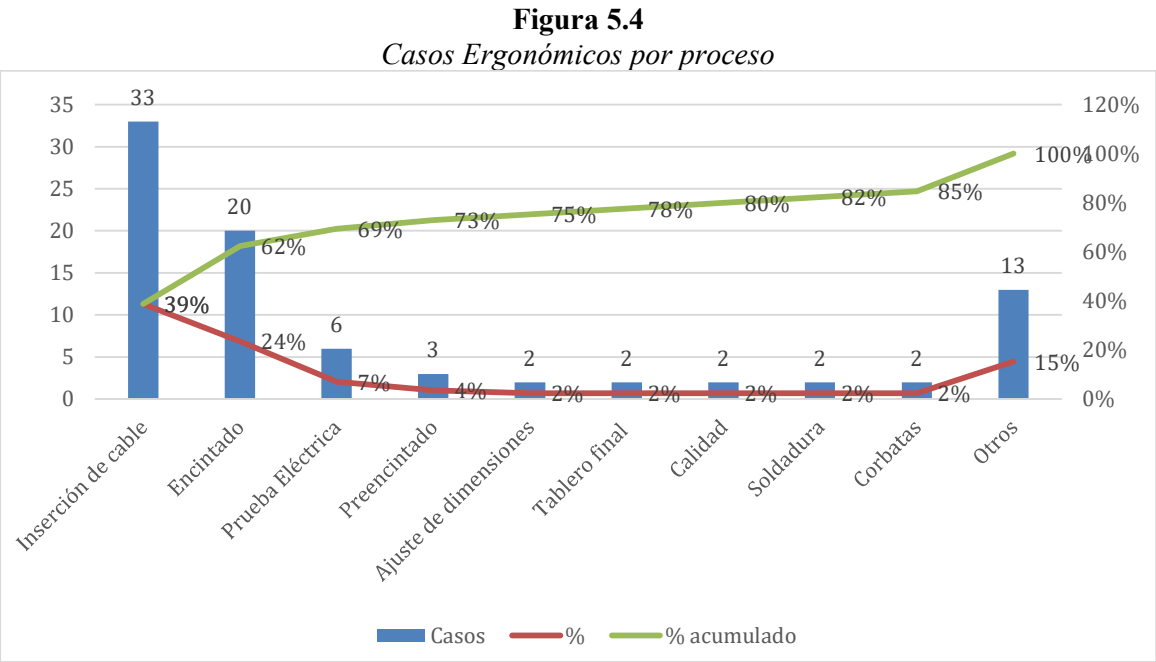
diagnósticos encontrados en el reporte los vemos en la figura 5.3.



Nota: Datos del registro de casos Ergonómicos Furukawa del área de arneses.

La tendinitis es el principal padecimiento entre los trabajadores, con un 22% de los casos.

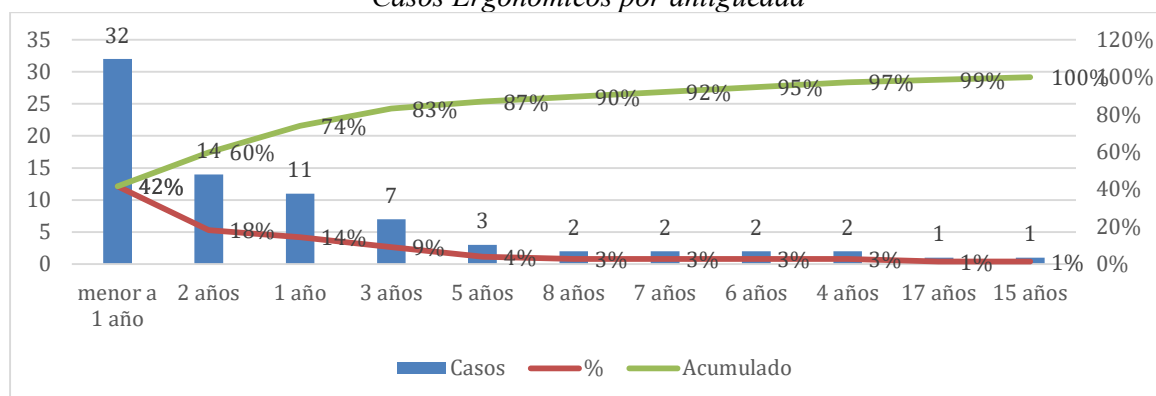
En la figura 5.4 encontramos los casos ergonómicos según el proceso.



Nota: Datos del registro de casos Ergonómicos Furukawa del área de arneses.

El proceso con más casos es la inserción de cable con el 39% de los casos, seguido del encintado con el 24%.

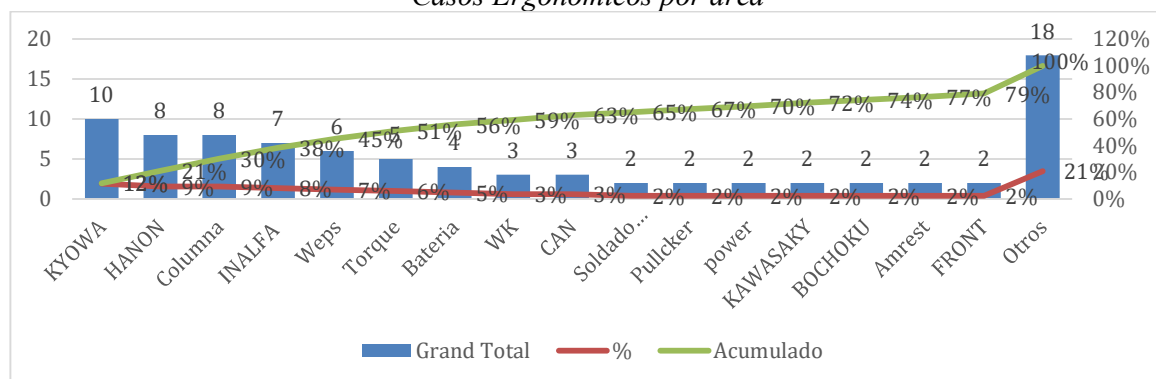
Figura 5.5
Casos Ergonómicos por antigüedad



Nota: Datos del registro de casos Ergonómicos Furukawa del área de arneses.

En la gráfica se observa que los trabajadores con más casos Ergonómicos son los de menor a 1 año de antigüedad, con un 42% de los casos, seguido de los de 2 años de antigüedad y 1 año de antigüedad. El 83% de los casos son de una antigüedad menor a 3 años.

Figura 5.6
Casos Ergonómicos por área



Nota: Datos del registro de casos Ergonómicos Furukawa del área de arneses.

En la gráfica se observa que las áreas con más casos son Kyowa, Hanon, Columna, e Inalfa, con un 38% de los casos.

5.4 Validación de la metodología

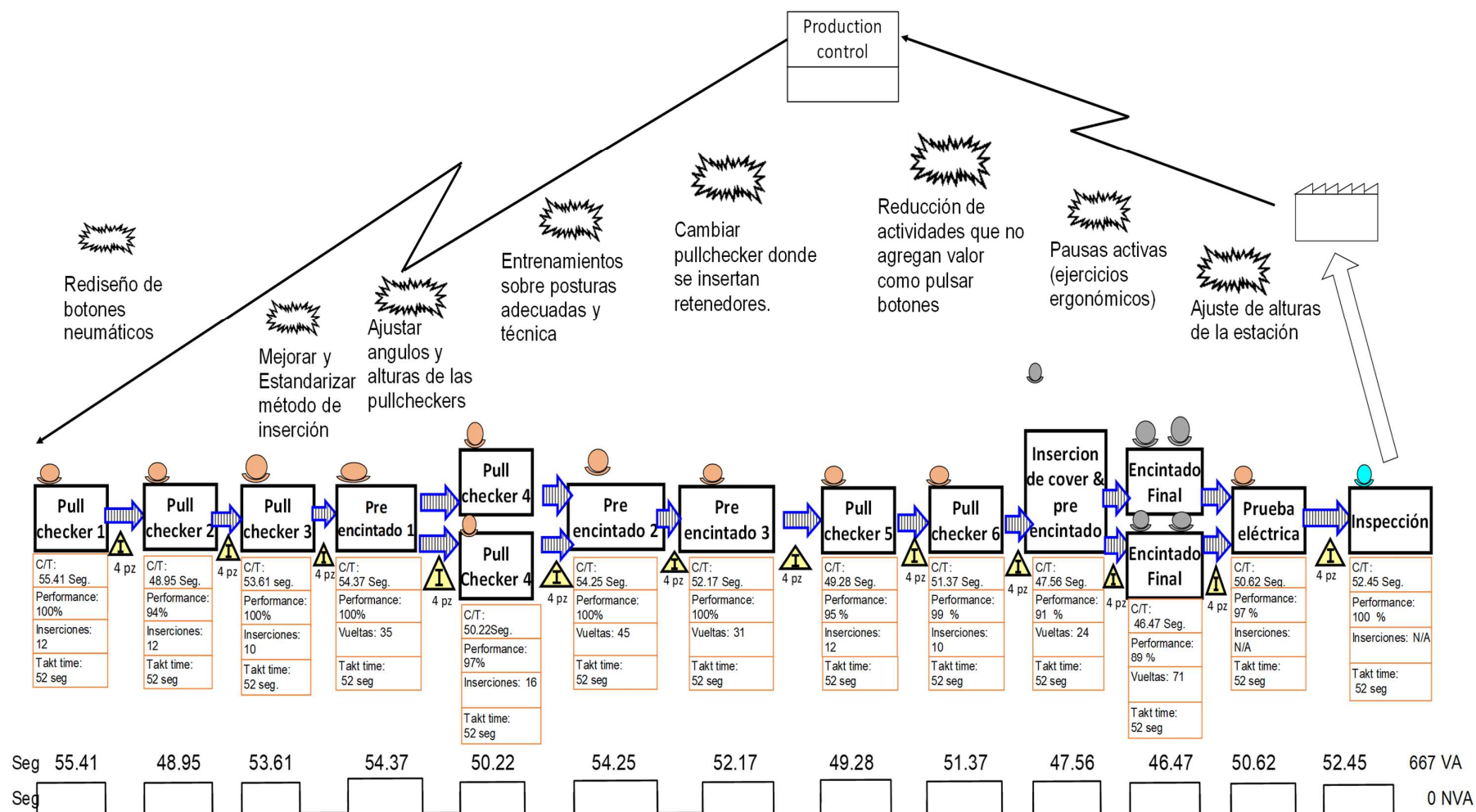
Retomando el capítulo 4 de metodología se verán las fases aplicadas al caso de estudio véase figura 4.1. Se abordarán cada una de las fases vistas en el capítulo 4 aplicados en la empresa además de las herramientas de Lean Manufacturin y la metodología de la Ergonomía

5.4.1 Fase 1

En base al análisis del reporte de incidentes Ergonómicos de servicios médicos se definió, en conjunto con el comité, la línea para realizar el análisis a las estaciones de trabajo, con especial enfoque en los procesos críticos. La evaluación se llevará a cabo en una de las líneas Hanon o Inalfa. En la figura 5.7 vemos el diagrama de la línea Hanon.

En la figura 5.7 observamos que está compuesta por 15 estaciones, con un total de 18 trabajadores contando al líder de la línea que es el operador 18. El trabajador 17 es el inspector de calidad y el 16 prueba eléctrica. Las demás estaciones de trabajo se realizan inserciones de cable (pullchecker), preencintados, encintados. En la figura 5.8 vemos el VSM actual de la línea.

Figura 5.8
VSM de la línea Hanon 1



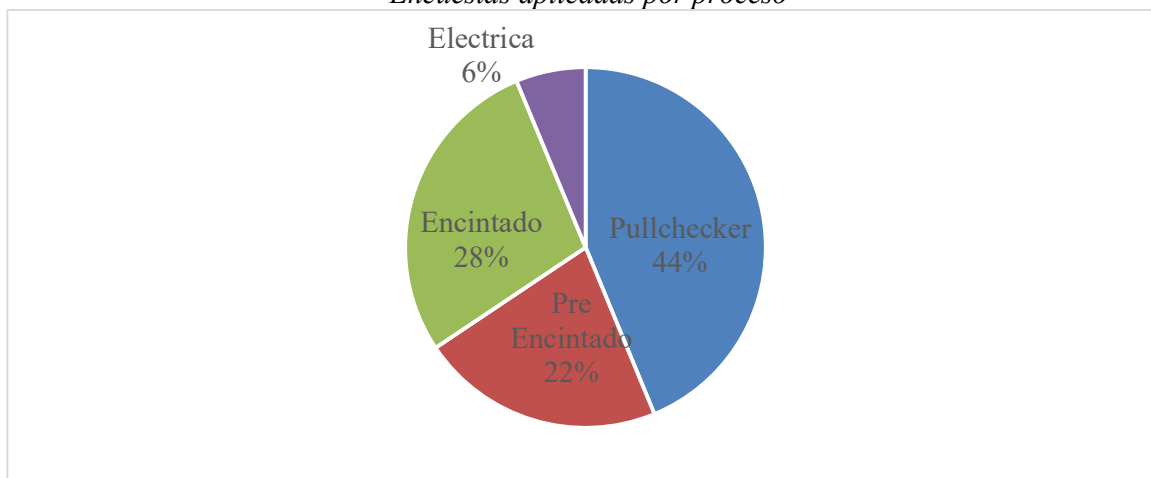
Nota: Fuente: Elaboración propia.

En el VSM se puede observar el flujo que sigue el arnés y cada uno de los procesos. Hay 7 estaciones de inserción de cable (pullchecker), 4 de preencintado y 2 de encintado final, además de la prueba eléctrica e inspección. El VSM tiene los datos de los tiempos de ciclo, Takt time, número de inserciones y número de vueltas en el encintado. En promedio el tiempo de ciclo de cada estación es de 51.28 segundos y el Takt time de 52 segundos. Además, el VSM muestra oportunidades de mejoras entre las cuales están el rediseño de la estación, implementación de pullchecker neumáticas, entrenamientos de posturas, entre otras.

5.4.2 Fase 2

En la fase 2 del proyecto se realizó la encuesta Cornell, el análisis ergonómico Rodgers y OCRA Checklist. Del cuestionario Cornell se obtuvo resultados de los trastornos musculoesqueléticos que padecen los trabajadores. En la figura 5.9 se ve los encuestados por proceso.

Figura 5.9
Encuestas aplicadas por proceso

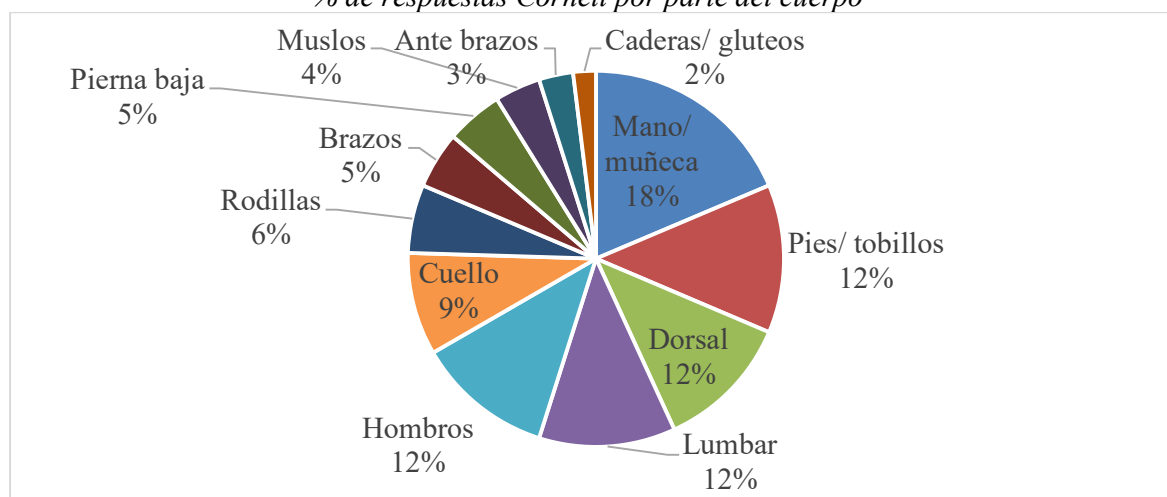


Nota: Fuente: Elaboración Propia

Fueron encuestados 32 trabajadores en el cual el 44% de los trabajadores realizan la inserción de cable en el pullchecker, el 22% preencintado, 28% encintado y un 6% prueba eléctrica. En la figura 5.10 podemos ver las respuestas dadas por los trabajadores con respecto a las molestias presentadas en cada parte del cuerpo.

Figura 5.10

% de respuestas Cornell por parte del cuerpo

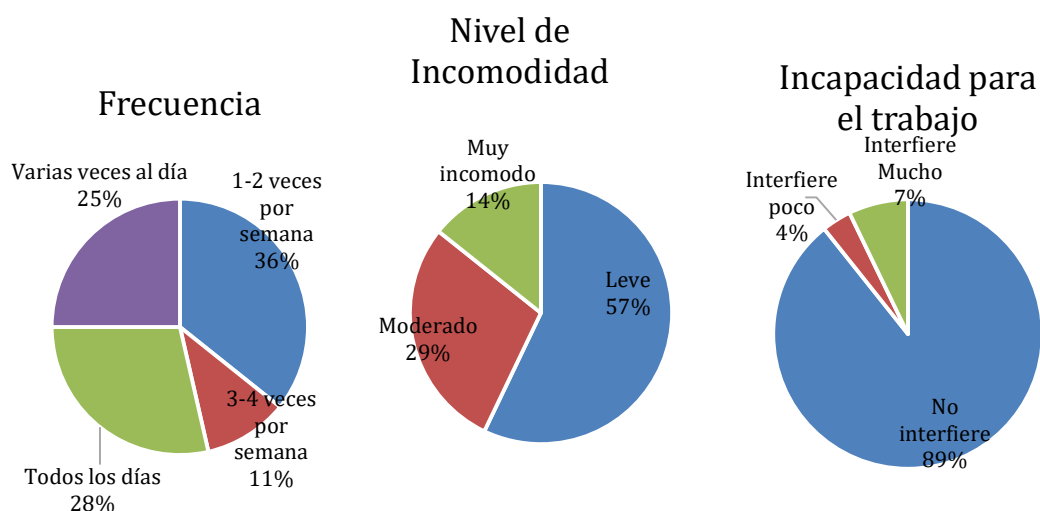


Nota: Fuente: Elaboración Propia

Los trabajadores de la línea Hanon experimentan molestias principalmente en las manos/muñecas en un 18%, seguido de los pies/tobillos, dorsal, lumbar y hombros. El 38% en extremidades superiores, 29% en extremidades inferiores y 33% en espalda y cuello. El cuestionario Cornell cuenta con tres preguntas principales para cada parte del cuerpo como se ve en la figura 5.11

Figura 5.11

Proporción de niveles de frecuencia, incomodidad e incapacidad Cornell



Nota: Fuente: Elaboración Propia

La gráfica de frecuencia muestra que el 36% de los trabajadores respondieron que

experimentaban molestias entre 1 y 2 veces por semana, el 11% entre 3 a 4 veces por semana, el 28% todos los días y el 25% experimentan molestias varias veces al día. El 57% experimenta un nivel de incomodidad leve, el 29% moderado y el 14% muy incómodo. La mayoría de los trabajadores pueden seguir trabajando aun con molestias, el 89% respondió que las molestias no interfieren con su trabajo, el 4% interfiere poco y el 7% interfiere mucho. De las respuestas obtenidas se obtuvo el nivel de riesgo Cornell, el cual se obtiene de la multiplicación de los tres factores que se ven en el apartado 3.6 del capítulo de marco teórico. Se obtuvo la media de riesgo por cada sección del cuerpo, la cual se muestra en la tabla 5.2.

Tabla 5.2
Nivel Promedio de riesgo Cornell

Sección del Cuerpo	Conteo	Nivel promedio de Riesgo Cornell
Manos/Muñeca	25	13.88
Pies	19	7.68
Antebrazos	6	22.7
Brazos	9	14.94
Hombros	22	4.95
Cuello	8	10.75
Lumbar	12	4.208
Pierna	10	4.7
Muslos	7	5.71
Dorsal	12	3.083
Cadera	2	2.25

Nota: Fuente: Elaboración Propia

En la tabla se observa tres columnas: Sección del cuerpo, Conteo y nivel promedio de riesgo Cornell. La columna de conteo representa cuantas respuestas dieron los trabajadores en cada sección del cuerpo, y el nivel promedio de riesgo Cornell se obtuvo de sacar el promedio de los niveles de riesgo Cornell de cada sección del cuerpo. Se observa que las manos/muñecas tienen mayor frecuencia con 25 respuestas, seguido de hombros con 22 y pies con 19 respuestas. Por otra parte, el nivel promedio de riesgo Cornell más alto fue antebrazos con 22.7 (aunque tiene una frecuencia baja de 6 respuestas), seguido de brazos 14.94 y muñecas con 13.88.

En esta fase se realizaron evaluaciones ergonómicas Rodgers y Ocrá checklist que nos ayudaron también a valorar el riesgo Ergonómico como se ve en el capítulo 3 sección 3.9. El

primer método aplicado es el Rodgers, el cual se realizó en cada una de las estaciones de la línea Hanon. Se evaluó los niveles de esfuerzos, la duración y la frecuencia de los esfuerzos de cada uno de los grupos musculares mostrados en la figura 3.12 y la tabla 3.6 del capítulo 3. En la figura 5.12 se muestra la evaluación realizada en las manos/dedos/muñecas de la estación pullchecker 3.

Figura 5.12
Análisis Rodgers de la estación pullchecker 3 en manos/dedos/muñecas

Niveles de esfuerzo					Calificaciones				
Parte del cuerpo	Ligero (1)	Moderado (2)	Fuerte (3)		Esfuerzo	Duración	Frecuencia	Calificación	severidad
Manos/ Dedos/ Muñecas	Fuerzas o pesos leves que se cogen junto al cuerpo. Muñecas derechas. Agarre cómodo.	Mangos demasiado anchos o estrechos. Ángulos moderados en la muñeca, especialmente de flexión. Uso de guantes con fuerza moderada.	Agarre punzante. Ángulos grandes de giro en la muñeca. Superficies deslizantes.	Der	2	1	2	212	5
				Izq	2	1	4	214	10
Duración continua de esfuerzo	Menor a 6 segundos (1)	Entre 6 y 20 segundos (2)	Entre 20 y 30 segundos (3)		Mayor a 30 segundos (4)				
Esfuerzos por minuto	Menos de 1 por minuto (1)	Entre 1 y 5 por minuto (2)	Entre 6 y 15 por minuto (3)		Mayor a 15 por minuto (4)				

Nota: Fuente: Elaboración Propia

En la figura 5.12 observamos que el nivel de esfuerzo es moderado debido a los ángulos moderados de la muñeca, especialmente en flexión, por lo que se le da un valor 2. La duración continua de cada esfuerzo es muy corta, de menos de 6 segundos, por lo que se le da un valor de 1 en la calificación. Por otra parte, la frecuencia de esfuerzos por minuto es mayor a 15, con una calificación de 4, esto representa un riesgo muy alto por lo que la prioridad en este caso en específico es la reducción de movimientos de la mano. Las calificaciones antes mencionadas se realizaron en base a la figura 3.12 y tabla 3.6 como ya se mencionó. Este proceso se compone

de 10 inserciones de cable, 5 inserciones de conectores, 2 cerrados de conector y 5 liberaciones de conector, los que nos da un total de 22 movimientos con el mismo grupo muscular del cuerpo. Los resultados de las estaciones de la línea Hanon las vemos en la tabla 5.3.

Tabla 5.3
Resultados Rodgers línea Hanon 1

Estación	Proceso	Cuello	Hombro Derecho	Hombro Izquierdo	Espalda	Brazo/ Codo derecho	Brazo/ Codo Izquierdo	Mano/ Dedos/ Muñeca Derecha	Mano/ Dedo/ Muñeca Izquierda	Pierna/ Rodilla/ Tobillo/ Pie/ Dedo Derecha	Pierna/ Rodilla/ Tobillo/ Pie/ Dedos Izquierda
1	Pullchecker 1	5	2	2	2	2	2	7	2	5	5
2	Pullchecker 2	5	2	2	2	2	2	7	2	5	5
3	Pullchecker 3	5	2	2	2	2	2	5	10	5	5
4	Preencintado 1	10	2	10	2	2	10	2	10	2	2
5	Pullchecker 4	5	2	2	2	2	5	10	2	5	5
6	Pullchecker 4	10	2	2	2	2	2	10	2	2	2
7	Preencintado 2	10	2	2	2	10	2	10	2	5	5
8	Preencintado 3	5	2	2	2	2	2	10	10	5	5
9	Pullchecker 5	5	2	2	2	2	2	10	2	5	5
10	Pullchecker 6	5	2	2	2	2	2	7	2	5	5
11	Inserción de cover y preencintado	5	2	2	2	2	2	10	10	5	5
12	Encintado Final 1	5	10	5	5	10	5	10	10	5	5
13	Encintado Final 2	5	10	5	5	10	5	10	10	5	5
14	Prueba electrica	5	5	5	2	5	5	2	2	5	5
15	Inspección	5	2	2	2	2	2	2	2	5	5

Nota: Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 5.3 observamos los resultados obtenidos en cada una de las estaciones de trabajo de la línea Hanon 1. Aunque en la mayoría de las estaciones de trabajo vemos una concentración de valor de severidad 10, que representa un nivel de riesgo muy alto, en las manos/dedos/muñeca, también hay otras partes del cuerpo que tienen valores de severidad de 10 como los son: el cuello, hombros y codos, como lo es en el caso del preencintado 1 y 2, pullchecker 4 y encintado final 1 y 2. En la figura 5.4 se observa los resultados máximos del método Rodgers por estación de trabajo.

Tabla 5.4
Nivel máximo de riesgo Rodgers por proceso

Estación	Proceso	Nivel de riesgo maximo Rodgers
1	Pullchecker 1	7
2	Pullchecker 2	7
3	Pullchecker 3	10
4	Preencintado 1	10
5	Pullchecker 4	10
6	Pullchecker 4	10
7	Preencintado 2	10
8	Preencintado 3	10
9	Pullchecker 5	10
10	Pullchecker 6	7
11	Inserción de cover y preencintado	10
12	Encintado Final 1	10
13	Encintado Final 2	10
14	Prueba electrica	5
15	Inspección	5

Nota: Fuente: Elaboración Propia

Como vemos en la tabla 5.4, los niveles más altos de riesgo son 10 con un código de color en negro, seguidos por 7, con código de color rojo, que representan alto riesgo, después 5, en amarillo, que representa un riesgo moderado. Tanto los procesos de pullchecker y encintado son los procesos de más alto riesgo debido a que tienen más de 15 movimientos repetitivos por minuto. Las partes del cuerpo más afectadas del cuerpo se ven en la tabla 5.5.

Tabla 5.5
Nivel promedio de riesgo Rodgers por parte del cuerpo

Parte del cuerpo	Nivel promedio de riesgo Rodger
Cuello	6.0
Hombro Derecho	3.3
Hombro Izquierdo	3.1
Espalda	2.4
Brazo/ Codo derecho	3.8
Brazo/ Codo Izquierdo	3.3
Mano/Dedos/Muñeca Derecha	7.5
Mano/Dedo/Muñeca Izquierda	5.2
Pierna/Rodilla/Tobillo/Pie/Dedo Derecha	4.6
Pierna/Rodilla/Tobillo/Pie/Dedos Izquierda	4.6

Nota: Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 5.5 se observa que la parte del cuerpo más afectada en la línea es la mano

derecha, con un nivel promedio de riesgo Rodgers de 7.5, seguido del cuello con 6.0. La mayor parte de los procesos de fabricación de arnés se realizan con las manos con una alta repetitividad de movimientos. En la tabla 5.6 obtuvo un índice integrador entre los valores promedios de los cuestionarios Cornell y el método ergonómico Rodgers con el fin de comparar las molestias que experimentan los trabajadores y el análisis realizado en el método Rodgers.

Tabla 5.6
Índice integrador Cornell/Rodgers

Parte del cuerpo	Nivel promedio de riesgo Rodger	Nivel promedio de Riesgo Cornell	Índice integrador Rodgers/Cornell
Cuello	6.0	10.75	64.5
Hombros	3.2	4.95	15.84
Espalda	2.4	3.65	8.63
Brazos/Codos/Antebrazos	3.6	18.82	67.752
Manos	6.3	13.88	87.444
Pies	4.6	7.69	35.374

Nota: Fuente: Elaboración Propia

La tabla 5.6 muestra el índice integrador Rodger/Cornell, el cual se obtuvo multiplicando los niveles promedios de riesgo Cornell y Rodgers. Se promediaron los valores de la parte del cuerpo izquierda y derecha, es decir, se promedió el valor de los brazos/codos/antebrazos derecha e izquierda, el valor de la mano derecha e izquierda, el valor del pie derecho e izquierdo, el valor del hombro derecho e izquierdo, así como la lumbar, la dorsal y la espalda. Este índice integrador Rodgers/Cornell nos ayuda a darnos cuenta cual es la sección del cuerpo que más está afectada tanto de la perspectiva del trabajador, como la perspectiva del que hace el análisis Rodgers. Los resultados del índice integrador muestran que las manos son las principales partes del cuerpo que deben ser atendidas, ya que tienen un valor de 87.44, seguido de brazos/codos/antebrazos con 67.75 y el cuello con 64.5. Los esfuerzos deben estar dirigidos en reducir el riesgo de las extremidades superiores, principalmente todas las actividades realizadas con las manos.

A fin de hacer un comparativo se trabajó con el método Ocr Checklist para evaluar el riesgo visto la sección 3.9 del capítulo 3. En la tabla 5.6 se observa los resultados de cada una de las estaciones de trabajo junto con sus niveles de riesgo y recomendaciones.

Tabla 5.6
Método Ocra Checklist de la línea Hanon

Estación	Proceso	Resultado Izquierda	Resultado Derecha	Nivel de riesgo	Recomendación
1	Pullchecker 1	13.8	17.4		
2	Pullchecker 2	13.8	17.4		
3	Pullchecker 3	15	13.8		
4	Preencintado 1	18.6	11.4		
5	Pullchecker 4	13.8	15		
6	Pullchecker 4	13.8	15	Inaceptable Medio	Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento
7	Preencintado 2	11.4	18.6		
8	Preencintado 3	15	15		
9	Pullchecker 5	13.8	15		
10	Pullchecker 6	13.8	15		
11	Inserción de cover y preencintado	13.8	15		
12	Encintado Final 1	35.4	35.4	Inaceptable Alto	
13	Encintado Final 2	35.4	35.4		
14	Prueba electrica	11.4	11.4	Inaceptable leve	
15	Inspección	9	9	Incierto	Se recomienda un nuevo análisis o mejora del puesto

Nota: Fuente: Elaboración Propia

Los niveles de riesgo, como se muestra en la tabla 5.6, son en su mayoría Inaceptables. Las estaciones 13 y 14, de encintado final, son las estaciones mayor riesgo debido a que el encintado es más largo, por lo que los trabajadores realizan más movimientos en estas estaciones. Las demás estaciones tienen un nivel inaceptable (salvo la estación 15) en las cuales se recomienda realizar mejoras en los puestos de trabajo, supervisión médica y entrenamiento.

Haciendo un comparativo entre los metodos Rodgers y Ocra Checklist; se evalúa que las estaciones entre la tabla 5.4 y 5.6 las estaciones de trabajo de más riesgo son los encintados finales, preencintados y pullcheckers, con niveles de riesgo muy alto e inaceptable. Tanto el

estudio Cornell, como los dos métodos de evaluación ergonómica Rodgers y Ocra Checklist, nos revelan que es necesario mejorar las estaciones de trabajo y los procesos para reducir el alto riesgo ergonómico.

5.4.3 Fase 3

En esta fase se aplicó la Ergonomía Participativa en conjunto con el comité y los trabajadores, en el cual se realizaron recorridos a la línea de producción (gemba) para poder observar el proceso y las oportunidades de mejora ergonómicas. Primero se tuvieron reuniones con el comité para discutir las actividades a realizar en las cuales una de ellas era realizar un recorrido (gemba) a la línea de producción y ver que es lo que estaba sucediendo, de este modo, saber cuáles son las oportunidades de mejora. También, poder identificar los riesgos ergonómicos y las molestias que experimentan los trabajadores.

Durante el recorrido se observó cada una de las actividades con detenimiento. Se observó la forma en que realizaban las operaciones, cuales movimientos y posturas estaban forzadas. Se les preguntó a los trabajadores, como parte de las estrategias de la Ergonomía Participativa, cuáles eran sus principales molestias, que parte del proceso se les dificultaba más y oportunidades de mejora. Algunos trabajadores mencionaron que los resortes de algunas fixturas estaban muy duros, lo que les provocaba molestias en las manos. Se muestra en la figura 5.13 el proceso manual para sujetar y liberar conectores.

Figura 5.13
Método manual para sujetar y liberar conectores



Nota: Estaciones de trabajo pullchecker Furukawa México, Línea Hanon 1

En la figura 5.13 se muestra el proceso manual para sujetar y liberar los conectores del arnés. Una de las propuestas que surgieron del recorrido fue cambiar el método manual de sujeción y liberación de conectores, por un método neumático como se muestra en la figura 5.14

Figura 5.14
Método neumático para sujetar y liberar conectores



Nota: Estaciones de trabajo pullchecker Furukawa México

La figura 5.14 muestra el método neumático, el cual consiste en un sistema de válvula tipo switch o pulsador y un actuador neumático conectado en paralelo, que, al momento de activar la válvula, todos los pullcheckers sujetan el conector al mismo tiempo y al momento de desactivar la válvula, todos los pullcheckers liberan el conector al mismo tiempo. En la tabla 5.7 se muestra la diferencia de movimientos entre el método manual y el método neumático de sujeción y liberación de conectores.

Tabla 5.7
Método manual contra método neumático

Estación	Cantidad de Pullcheckers	Pulsaciones Método manual	Pulsaciones Método neumático	Diferencia	% De mejora
Pullchecker 1	3	6	2	4	67%
Pullchecker 2	3	6	2	4	67%
Pullchecker 3	5	12	3	9	75%
Pullchecker 4	6	12	2	10	83%
Pullchecker 5	3	6	2	4	67%
Pullchecker 6	2	4	2	2	50%

Nota: Fuente: Elaboración Propia

Ambos métodos mostrados en la tabla 5.7 tienen una diferencia significativa en la cantidad de movimientos que varía dependiendo el número de pullcheckers, con un 68.2% en promedio de mejora, también impactando directamente en el ámbito económico. Entre más

pullcheckers tenga una estación, mayor será el impacto que tiene el método neumático sobre el método manual, siendo la estación pullchecker 4 sea el de mayor % de mejora proyectada con un 83% seguida de la estación Pullchecker 3 con un 75%.

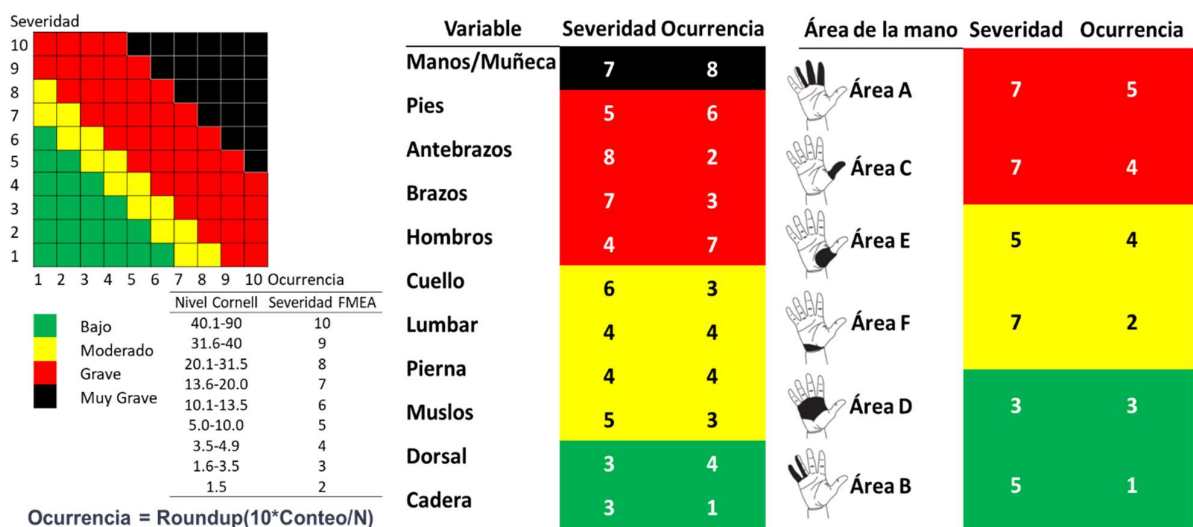
En promedio las estaciones de pullchecker realizan 20 movimientos entre las inserciones y los métodos manuales de inserciones de conectores en la fixtura. Al aplicar el método neumático en todas las estaciones se estima que el promedio de movimientos será 14, lo cual representa una mejora global del 30%. Al aplicar el método automatizado a todas las estaciones se estima el 30% de productividad, por ende, el 30% de impacto económico en promedio.

5.4.4 Fase 4

En la fase 4 se analizó el impacto de las mejoras en la productividad y la ergonomía. Además, que tan complejo es la implementación de la mejora, como impacta a la reducción de trastornos musculoesqueléticos, así como a que parte del cuerpo impacta la mejora.

Para determinar el impacto que hay en las distintas regiones del cuerpo se implementó un FMEA basado en el nivel de riesgo promedio Cornell y el número de respuestas de cada parte del cuerpo como se vio en la tabla 5.2. En la figura 5.15 se observa los resultados del FMEA con códigos de colores para identificar las secciones del cuerpo con mayor riesgo.

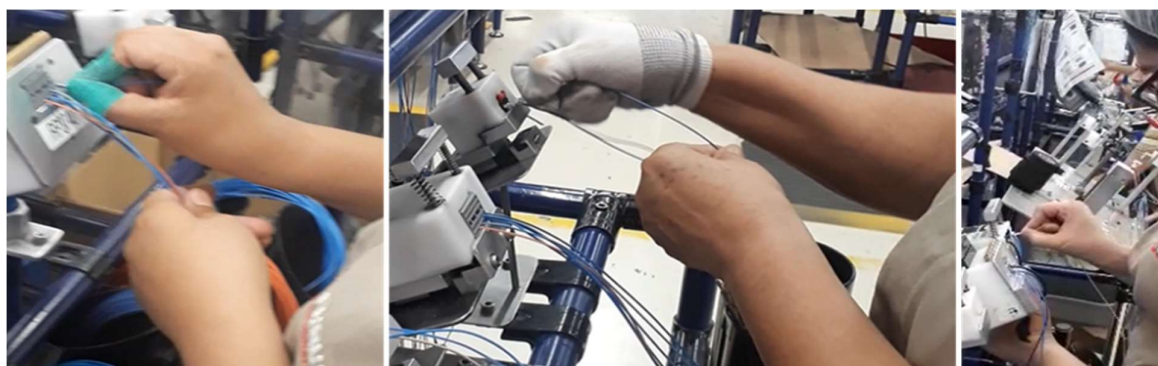
Figura 5.15
FMEA Hanon 1



Nota: Fuente: Elaboración Propia

En la figura 5.15, la zona con un mayor riesgo son las manos/muñecas, seguido de los pies, antebrazos, brazos y hombros. Para el área de la mano, las áreas A y B son las de alto riesgo, seguido de las áreas E y F. Estas áreas de las manos son muy utilizadas, sobre todo en el pullchecker porque la inserción de cable la realizan con pinzamientos finos, las cuales involucran estas áreas de la mano. Un ejemplo de esto se observa en la figura 5.16.

Figura 5.16
Pinzamientos finos de la estación de pullchecker



Nota: Estaciones de trabajo pullchecker Furukawa México, Línea Hanon 1

En la figura 5.16 se observa a distintas trabajadoras realizando la inserción de cable. Es evidente que utilizan principalmente los dedos índice y pulgar. Existe una relación fuerte entre la imagen y el resultado del FMEA la sección de la mano en donde el área A y C son las zonas de la mano con mayor riesgo con el constante pinzamiento que realiza el trabajador.

Para poder determinar cuáles son las mejores propuestas de mejoras a implementar se evalúa el impacto que tiene tanto en bienestar laboral como en la mejora y optimización del proceso de armado de arneses. Se hace énfasis las propuestas de mejora que ayuden a reducir los riesgos ergonómicos más altos, de da prioridad a las partes del cuerpo más afectadas. También, cuales propuestas impactan directamente en el tiempo de ciclo, ya que al reducir el tiempo de ciclo se puede tener impacto en la recuperación del trabajador. Además, cuales mejoras tienen impacto en la reducción de movimientos, impacto económico directo e impacto ergonómico. En la tabla 5.8 se muestran las propuestas de mejoras, su impacto tanto económico como en que parte del cuerpo ayuda la mejora, complejidad y si ayuda a la reducción de tiempos de ciclo (TC)

y reducción de movimientos.

Tabla 5.8

Mejoras y su impacto

Propuesta	Parte del cuerpo que impacta	Impacto movimientos y TC	Complejidad de implementación	Impacto Económico Directo
Ejercicios ergonómicos y señalización para realizarlos	General	No	Fácil	No
Cambiar sistema manual de sujeción y liberación de arneses por un sistema neumático	Mano, brazos, hombros, antebrazo	Si	Media	Si
Facilitar ajuste de las bases de pulchecker a las trabajadoras	Mano, brazos, hombros, antebrazo, cuello, espalda	No	Media	No
Banco antifatiga	Pies, piernas, espalda, cuello	no	Muy Fácil	No
Estandarización de tiempos de ciclo (datos atípicos)	N/A	Si	Media	Si
Estandarización de procesos (instrucciones de trabajo)	General	Si	Media	Si
Entrenamientos a trabajadores de riesgos ergonómicos.	General	No	Media	No
Comprar guantes para el preencintado vertical.	Mano	No	Muy Fácil	No

Nota: Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 5.8 muestra 8 mejoras, las cuales en su mayoría tienen un impacto ergonómico. Tres de las mejoras son impactan en general, tres impactan en las extremidades superiores, de las cuales tres impactan directamente en la mano. Las propuestas de: Cambiar sistema manual de sujeción y liberación de arneses por un sistema neumático, Estandarización de tiempos de ciclo (datos atípicos) y Estandarización de procesos (instrucciones de trabajo), impactan directamente en el tiempo de ciclo y reducción de movimientos, por ende, impacto económico. Dos son de complejidad muy fácil, una de complejidad fácil y 5 de complejidad media.

Se vio la viabilidad que tienen estas propuestas de mejora en reuniones con la empresa.

Las propuestas que son viables son el cambio de método de inserción de conector manual a neumático, aplicar los ejercicios ergonómicos y la señalización por medio de un sistema de altavoz (por medio de Andon de Lean Manufacturing), la estandarización de tiempos de ciclo y la estandarización de los procesos (ayudas visuales). La compra de guantes para proteger la mano y bancos antifatiga quedan fuera por políticas de la compañía en esta etapa.

Una de las propuestas que serán implementadas es la del sistema neumático para sujetar y liberar conectores. Esta mejora se realizará de manera parcial, en la estación 3 de pullchecker. En esta estación además de tener el sistema manual para sujetar y liberar conectores, cuenta con un sistema manual para cerrar el conector como se ve en la figura 5.17.

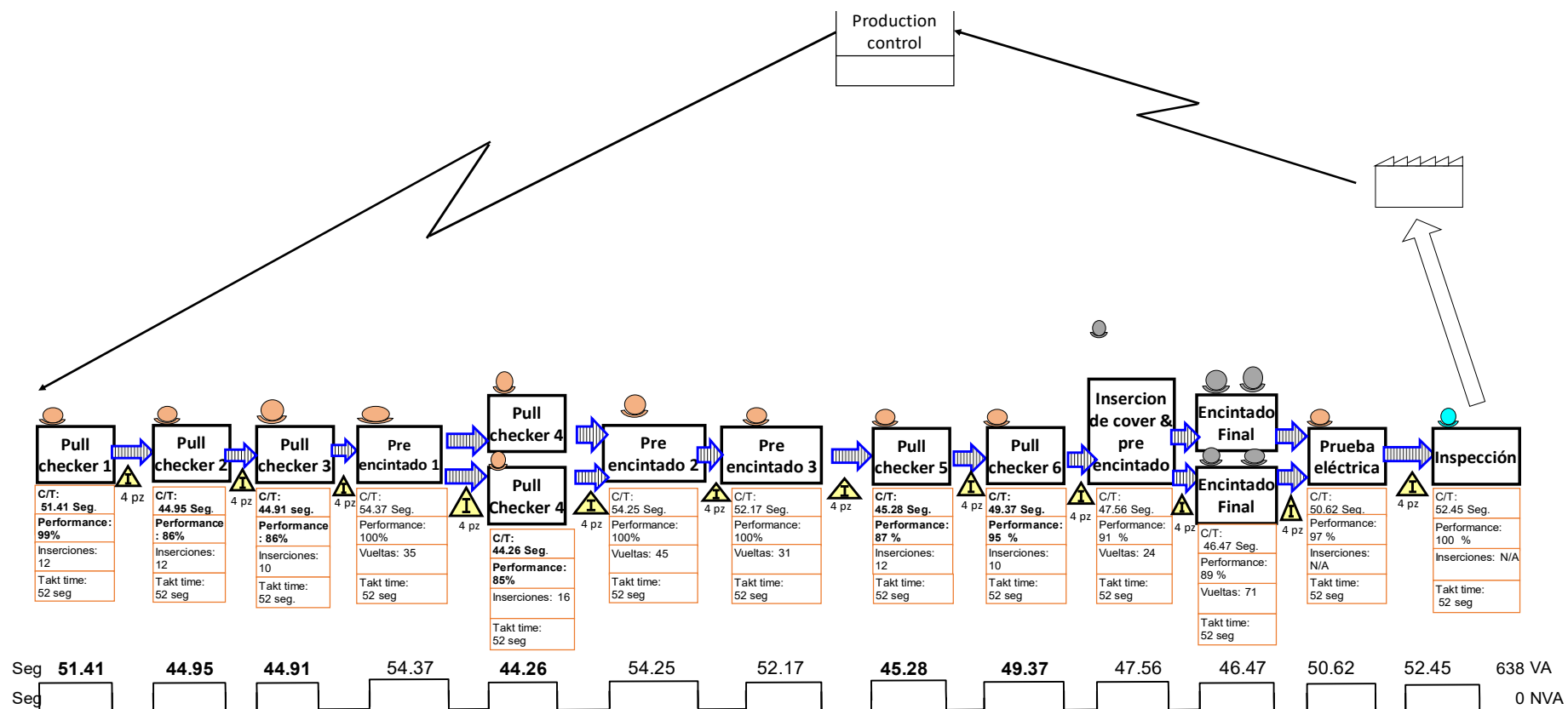
Figura 5.17
Sistema manual de cierre de conector



Nota: Estaciones de trabajo pullchecker Furukawa México, Línea Hanon 1

En la figura 5.17 se muestra como la trabajadora acciona manualmente el mecanismo para cerrar el conector, el cual consiste en un vástago y resorte. En esta estación se realizan 570 piezas por turno, los cuales se cierran 4 conectores (dos con la mano derecha y dos con la izquierda), con un total de 1140 movimientos por turno de cada mano. Como se vio en la tabla 4.4 de la fase 3, el sistema manual para la estación 3 es de 12 movimientos por pieza al aplicar el sistema neumático solo en el solo se reducirían 2 movimientos que representa el 17% de reducción. Para ver como serían los cambios en las estaciones se realizó el VSM de estado futuro que se muestra en la figura 5.18.

Figura 5.18
VSM futuro de la línea Hanon 1



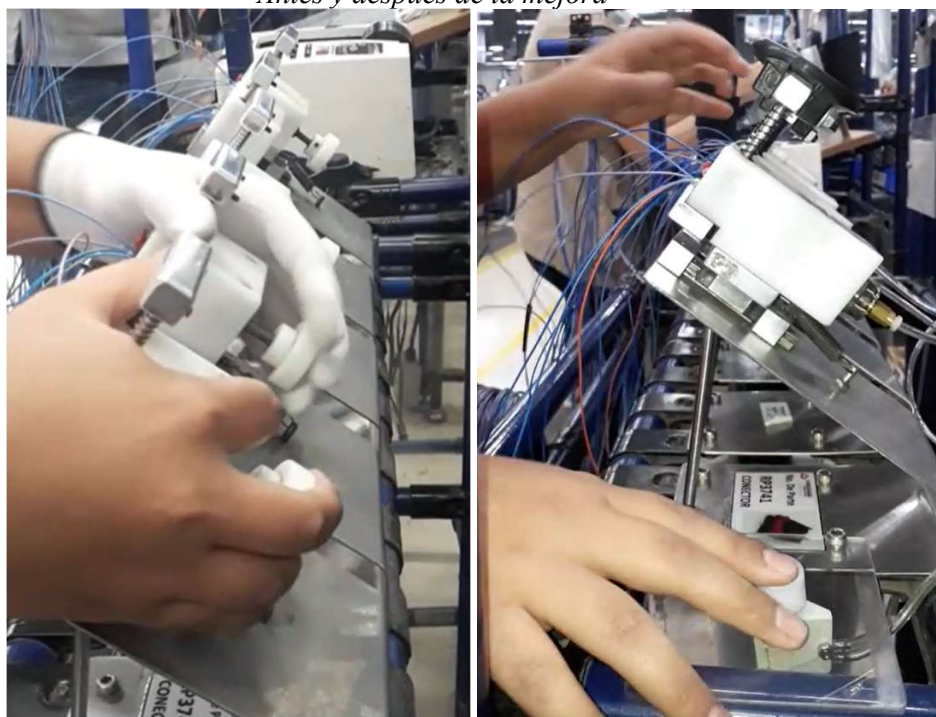
Nota: Fuente: Elaboración Propia

Este VSM representa los cambios que se realizaran a todos los pullcheckers. Comparado con el VSM actual, hay una reducción en tiempo de ciclo y la utilización (performance en inglés). En el VSM actual de la figura 4.8 tanto el tiempo de ciclo como la utilización en las estaciones de pullchecker 1 y 3, excedían el del estándar con 55.41 y 53.61 respectivamente. En el VSM futuro todos los tiempos de ciclo están por debajo del estándar con 51.41 y 44.91 respectivamente.

5.4.5 Fase 5

En la fase 5 se tomaron acciones para el control y seguimiento del proceso. Para esta fase es necesario dar los entrenamientos de las mejoras realizadas para que puedan mantenerse, comparar los resultados del antes y después de la mejora del método neumático de sujeción y liberación de conectores. Esta mejora se realizó de manera parcial, se aplicó en el un sistema neumático para cerrar 4 conectores. En la figura 5.19 se muestra el antes y el después del proceso de cerrado de conector.

Figura 5.19
Antes y después de la mejora



Nota: Fuente: Elaboración Propia

En la figura 5.19 se observa cómo era el proceso de cerrado de conector antes y después de la mejora. Antes se realizaba el proceso de cerrado de conector manualmente con ambas manos y actualmente se realiza todos los cierres con un solo botón. Se realizó un estudio ANOVA, como se muestra en la tabla 5.9, para comparar los resultados del antes y después de la mejora.

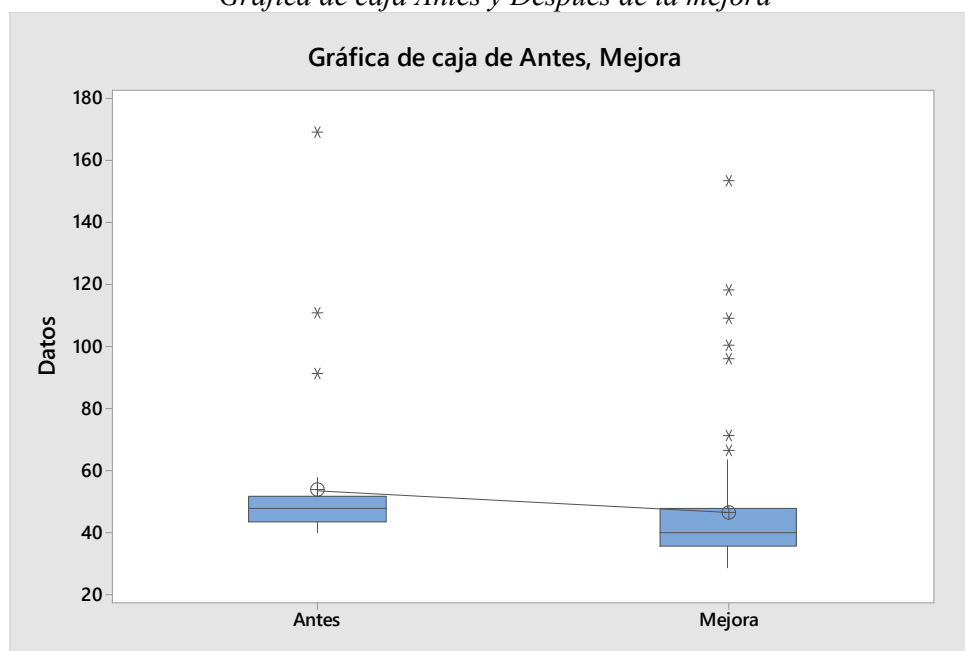
Tabla 5.9
Análisis de Varianza del antes y después de la mejora

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	1310	1310.3	2.80	0.097
Error	115	53730	467.2		
Total	116	55041			

Nota: Fuente: Elaboración Propia

El estudio muestra que no hay una variación en los tiempos significativamente, ya que la media el valor de p es mayor a alfa de 0.05. Mientras se realizaba el muestreo de los tiempos se observó que la trabajadora realizaba mayor numero pausas ya que solo puede acumular un máximo de cuatro piezas en fila, el proceso en si es más rápido. En la figura 5.20 se muestra las gráficas de caja del antes y el de la mejora.

Figura 5.20
Gráfica de caja Antes y Después de la mejora



Nota: Fuente: Elaboración Propia

En la figura 5.20 muestra el antes y el después. La media y la mediana caja del antes es mayor que la de la mejora, aunque en ambas hay datos atípicos, los cuales son los causantes de que no se ven cambios en el resultado del ANOVA. Se realizó un segundo ANOVA con dos muestras de tiempos de dos días diferentes de la mejora el cual se ve en la tabla 5.10.

Tabla 5.10

ANOVA del antes, muestra 1 y 2 de la mejora

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	4122	5.51%	4122	2060.8	3.35	0.039
Error	115	70726	94.49%	70726	615.0		
Total	117	74847	100.00%				

Nota: Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 5.10 tuvo como resultado que hay diferencia en al menos una de las 3 muestras, ya que el valor p es menor a 0.05. La figura 5.21 donde se muestran las gráficas de las dos muestras de tiempos de ciclo de la mejora y antes de la mejora.

Figura 5.21

Gráfica de caja Pullchecker 3 antes, muestra 1 y muestra 2



Nota: Fuente: Elaboración Propia

En una de las muestras no se hubo tantos datos atípicos ya que no hubo tantas pausas con

respecto a la otra donde el proceso siguiente había un cuello de botella. Se ve un cambio en la media, es decir si hubo mejora en el tiempo de ciclo en una de las muestras. La tabla 5.11 muestra la prueba LSD de Fisher para ver cuál de las muestras es diferente al antes.

Tabla 5.11
Prueba LSD de Fisher de la mejora

Factor	N	Media	Agrupación
pullchecker 3 mejora 2da captura	40	54.76	A
Pullchecker 3 antes atipicos	38	53.61	A
pullchecker 3 mejora	40	41.75	B

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la tabla 5.11 se observa que en una de las muestras hay diferencia estadística con respecto con el antes de la mejora y en la otra muestra no hay diferencias significativas. Con todos los datos y la entrevista a la trabajadora se observa que hay una mejora tanto en el tiempo del proceso, en la reducción de movimientos y en la reducción de síntomas de trastornos musculoesqueléticos, ya que ella comenta que siente mejoría en los síntomas. Lo que no ha cambiado es el número de piezas que realiza debido a que las mejoras solo fueron implementadas de manera parcial.

5.5 Resultados y acciones de seguimiento

En este apartado se verán de manera resumida los resultados que se obtuvieron al aplicar la metodología propuesta en la línea Hanon 1 de la empresa Furukawa, como se ve en la figura 3.1 del capítulo 3 de Metodología. También se verán las recomendaciones hechas a la empresa y las acciones de seguimiento. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5.12, la cual aborda las propuestas implementadas, así como las propuestas pendientes, también el impacto social (bienestar laboral), el impacto en la productividad y el impacto económico. Hay resultados tanto cualitativos como cuantitativos, los cuales se obtuvieron mediante entrevistas y encuestas, así como observación, grabación de video y toma de tiempos.

Tabla 5.12
Tabla de Resultados

	Resultados
Propuestas Implementadas	Automatización parcial de una estación de trabajo (método neumático).
Propuestas Pendientes	Dar a trabajadoras la llave para ajustes de las bases pullchecker y encintado. Pausas activas y señalización (ANDON). Estandarización de Procesos (Instrucciones de trabajo). Estandarización de datos atípicos.
Impacto Social (Bienestar Laboral)	La trabajadora de la estación modificada experimento una mejoría en reducción de trastornos musculoesqueléticos. El proceso se mejoró.
Impacto en Productividad	Reducción de tiempo (de 54 hasta 41 segundos en promedio) y movimientos (de 20 a 14 movimientos en promedio). Cantidad de piezas producidas es igual debido a que solo se mejoró una estación.
Impacto Económico	Se estima 30% de mejora del proceso al terminar todas las mejoras. Se estima reducción costos por enfermedades laborales.

Nota: Fuente: Elaboración Propia

La tabla 5.12 muestra los resultados obtenidos en la aplicación de la metodología de manera resumida. Se aplicó una de las mejoras propuestas la cual tuvo resultados positivos en reducción de tiempos de ciclo y reducción de síntomas de trastornos musculoesqueléticos ya que se redujeron movimientos realizados.

Del análisis realizado se sugieren varias recomendaciones para la empresa las cuales ayudaran a mitigar el alto riesgo a la salud que representa las actividades que realizan los trabajadores. Para reducir el riesgo que implica las actividades repetitivas de manera inmediata en aquellas estaciones que en el análisis Rodgers salió en negro como se vio en la figura 5.3, mientras se realizan las mejoras de automatización en la estación se recomienda reducir la carga de trabajo balanceando la línea agregando otro trabajador en las líneas críticas, de tal modo de que la cantidad de movimientos realizados por minuto sea menor a 15. En promedio en las estaciones de pullchecker se realizan 12 inserciones y 8 pulsaciones del método manual para insertar y liberar conectores, un total de 20 movimientos por arnés en promedio con el mismo grupo muscular. El estándar es de 570 piezas por turno, esto nos da 11400 movimientos por turno

1341.2 movimientos por hora, 22 movimientos por minuto. Para que un trabajador no esté en muy alto riesgo de trastornos musculoesqueléticos, la cantidad máxima de arneses que debe realizar un trabajador es de 388 piezas. De esta manera la cantidad de movimientos será de menos de 15 por minuto, y como se ve en el método Rodgers al realizar más de 15 movimientos por minuto de un mismo grupo muscular representa un muy alto riesgo. Con el método neumático la cantidad de pulsaciones es de 2 por arnés en promedio como se ve en la tabla 5.7, sumado con la cantidad de inserciones promedio, un trabajador realizará 14 movimientos por arnés. El estándar es de 570 piezas por turno, la cantidad de movimientos por turno sería de 7980 movimientos, 938.8 movimientos por hora y 15.6 por minuto. El máximo de arneses que un trabajador debe realizar para que no exista riesgo muy alto sería de 548 piezas por turno con el método neumático. La cantidad de piezas que puede realizar el trabajador en la simulación con el método neumático representa un aumento del 30% de productividad.

Se realizó un estudio de simulación de procesos por computadora en el cual se dan dos alternativas, la primera es la automatización (el método neumático) y la segunda el balanceo de línea donde se le quita la restricción del trabajo en proceso (WIP, por sus siglas en inglés), basándonos en los análisis presentados en la sección 5.4 fase 3. Donde la variable de interés para evaluar los resultados es la productividad (piezas por turno). La tabla 5.13 es un ANOVA de las dos alternativas y la producción real.

Tabla 5.13
Análisis de Varianza Real, Alternativa 1 y Alternativa 2

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	163243	81621.3	4136.21	0.000
Error	12	237	19.7		
Total	14	163479			

Nota: Fuente: Elaboración propia

La tabla 5.13 nos muestra que al menos una de las alternativas es diferente, ya que el valor de p es menor a 0.005, ya que el nivel de significancia es del 95%. Es decir, al menos una de las alternativas mejoró el estado actual. En la tabla 4.14 muestra la prueba LSD de Fisher, la

cual nos ayuda a ver cuál de las alternativas es diferente.

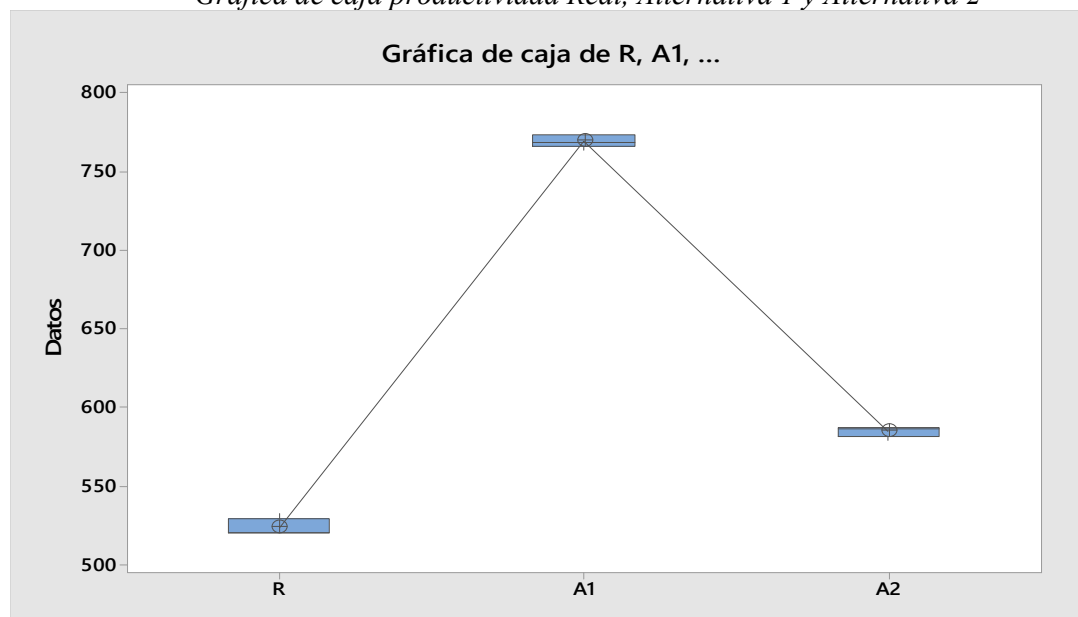
Tabla 5.14
Prueba LSD de Fisher Real, Alternativa 1 y Alternativa 2

Factor	N	Media	Agrupación
A1	5	769.60	A
A2	5	585.20	B
R	5	524.20	C

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

La tabla 5.14 muestra que todas las alternativas son diferentes a la realidad. La alternativa uno tiene un mayor aumento en las piezas producidas diarias, con una media de 769.60 piezas por turno (incremento del 47%), mientras que la alternativa dos es de 585.20 piezas por turno (incremento de 31%). La figura 5.22 muestra la graficas de caja de las alternativas uno y dos y la productividad real.

Figura 5.22
Gráfica de caja productividad Real, Alternativa 1 y Alternativa 2



Nota: Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 5.22 al automatizar toda la línea se logra un incremento estimado en la productividad del 47% y en la alternativa 2 un incremento de productividad del 21%. La mejor alternativa es la automatización de la línea de producción.

Capítulo 5

Discusión

Como se vio en la tabla 2.1 del capítulo 2, al aplicar la metodología se pudo corroborar las argumentaciones que tienen distintos autores como Vinoth Kumar et al. (2020), Khani Jazani et al. (2018), Tortorella et al. (2020) y Zare et al. (2016) acerca de los beneficios que tiene la integración de la ergonomía dentro de la filosofía de Lean Manufacturing, como lo son: incremento de productividad, calidad y las mejoras en las condiciones de trabajo. En el proyecto se alcanzó una mejora en aspectos de productividad y disminución en la prevalencia de síntomas de trastornos musculoesqueléticos cuando se realizó la mejora en la estación de trabajo Pullchecker 3, como se vio en el capítulo anterior. Por otra parte, las problemáticas observadas durante el análisis realizado en el capítulo anterior concuerdan con las problemáticas que mencionan los autores Rampasso et al. (2017), Cirjaliu & Draghici (2016) y Brannmark y Hakansson (2012) (Citado por Brito et al., 2019), en relación con el aumento de trastornos musculoesqueléticos y lesiones debido principalmente a los factores de riesgo de movimientos repetitivos y monótonos. En el caso de estudio se encontró que el principal factor de riesgo son los movimientos repetitivos, lo que causaba que los trabajadores experimentaran molestias principalmente en las manos.

En el caso de las enfermedades de trabajo más comunes que se vieron en el apartado 2.2 los autores Pandey, K., & Vats, A. (2017), Diez-Caballero et al. (2020), Chu et al. (2021) mencionan que los principales factores de riesgo de los trabajos de alta carga manual son: la carga, la frecuencia y la postura. El 75% de los autores de la tabla 2.3 mencionaron que la frecuencia es el mayor factor de riesgo y 88% de los autores mencionaron que la parte más afectada eran los hombros seguido de las manos con un 63% de los autores. En el caso de esta

investigación, los estudios realizados en Furukawa muestran que la frecuencia fue el mayor factor de riesgo, seguido de las posturas. La parte del cuerpo más afectada del cuerpo fueron las manos, seguido de los pies, antebrazos, brazos y hombros, como se vio en la figura 5.15 del FMEA. Esto se debe a que las estaciones estudiadas tienen una demanda alta y la carga para el trabajador excede la cantidad de movimientos que puede realizar.

Tanto Burgess-Limerick, (2018) como Van Eerd et al., (2021), nos hablan de los efectos positivos de la Ergonomía Participativa, como lo son mejores soluciones, mejora de la comunicación y la identificación de los riesgos. En el caso de estudio, se vio que el comité de ergonómica acertó en las mejoras que se plantearon debido a que se atendieron sugerencias que los trabajadores externaron al hacer recorridos a la línea de trabajo Hanon 1. La participación de los trabajadores ayudo a darse cuenta de que los movimientos repetitivos son los principales riesgos que en la línea Hanon. Contrario a lo que argumentaba Sundstrup et al. (2020), que solo en los trabajos de oficina o costura la Ergonomía Participativa tuvo efectividad en la reducción de los trastornos musculoesqueléticos, en el caso de estudio si tuvo reducción en los síntomas en la estación donde se realizaron los cambios. Nobrega et al., (2017) nos argumentan que las limitaciones para los programas de Ergonomía Participativa son los despidos, la rotación de personal y las aprobaciones altamente burocráticas de las gerencias. En el caso de estudio nos encontramos que la salida de la empresa de algunos miembros del comité y algunas políticas de la empresa limitó la implementación de algunas mejoras.

Realyvásquez-Vargas et al. (2018) y Reiman et al. (2021) mencionan que la Ergonomía Participativa tanto Microergonómica como Macroergonómicamente ayudan al desarrollo de la organización, el análisis Microergonómico de la Ergonomía Participativa ayuda a comprender mejor los procesos productivos, mientras que el Macroergonómico los sistemas. En el caso de estudio se analizó como las operaciones realizadas en las estaciones de trabajo afectan la salud, el cual se considera como un enfoque Microergonómico, así mismo, los horarios de descanso y

las pausas activas, consideradas en el enfoque Macroergonómico, benefician al trabajador en el descanso y recuperación. Se integraron aspectos de la Microergonomía en las propuestas de mejora, como los son los cambios a la estación de trabajo, también aspectos de la Macroergonomía como lo son ajustar los horarios de descanso y pausas activas. Miguez et al. (2018), Jarebrant et al., (2016) y Dos Santos & Dos Santos Nunes (2017) son de los pocos autores que abordaron la Ergonomía Participativa y Lean Manufacturing consiguiendo resultados en mejoras en la salud del trabajador y procesos más productivos. La Ergonomía Participativa integrada dentro del sistema Lean tiene un efecto positivo en la mejora, ya que al buscar la salud del trabajador y la mejora de los procesos se dan mejores soluciones que si solo se enfoca en la producción o en la salud.

En relación con la dificultad para la automatización total de los procesos de arneses como lo mencionan Trommnau et al. (2019) y Román Ibáñez et al., (2021), para el caso de estudio al buscar alternativas para el proceso manual se encontraron restricciones para su automatización por las operaciones tan complejas, como lo son las inserciones en las pullchecker y los encintados. Así mismo, y en relación con el tamaño de los arneses, su forma y su flexibilidad, se dificulta automatizar este proceso a través del uso de las encintadoras automáticas, lo cual confirma lo establecido por los autores antes mencionados. Fue posible hacer cambios en la automatización de las fixturas de los pullchecker para reducir movimientos y tiempos de preparación, pero no cambios totales. Como la fabricación de arneses eléctricos es mayormente de carga manual existe alto riesgo de lesiones debido principalmente a la alta repetitividad de los procesos y a las posturas como mencionan Sugiono et al., (2019), Hendricks (2019) y Gualtieri et al. (2020). El uso de la ergonomía dentro del procesos de arneses fue esencial para darse cuenta cual es el mayor riesgo y así realizar cambios.

Aunque no hay mucha literatura el integrar la Ergonomía Participativa y Lean Manufacturing fue de gran ayuda para la mejora de los procesos, porque se enfocan las mejoras

en la mejor condición del trabajador sin afectar a la productividad. Además, algunas propuestas mejoran ambos aspectos: productividad y salud.

Al momento de aplicar la metodología hubo varios retos y aspectos importantes. El seleccionar donde aplicar el proyecto y delimitar las líneas para realizar cada una de las fases fue el primer reto. Para solucionar eso se tuvo que observar durante un tiempo los procesos y realizar entrevistas a supervisores, ingenieros del departamento de mejora, ingenieros del departamento de ingeniería, ingenieros de seguridad e higiene, guías de línea, enfermería y recursos humanos. De estas entrevistas se fueron vislumbrando cuales eran los posibles caminos para seguir, cuáles eran las principales áreas afectadas y las principales problemáticas. Cuando se realizó el análisis de la bitácora de problemas ergonómicos de servicios médicos concordaron los datos obtenidos en con las entrevistas realizadas. Es muy importante que para poder realizar esta investigación se definieran los procesos críticos y el área donde se va a aplicar la metodología, así como contar con el apoyo e interés de la gerencia y de los demás empleados entrevistados ya que son ellos quienes conocen los procesos y sus principales problemáticas.

La gerencia del departamento de seguridad e higiene estuvo muy involucrada en el proyecto. Gracias al apoyo que se tuvo de parte de la gerencia se logró realizar todas las fases del proyecto. Fue gracias a la gerencia que se pudo lograr convocar a cada uno de los integrantes que participaron en el desarrollo de este proyecto. El acceso a la información crítica, así como la participación del departamento de servicios médicos, el enlace con los demás ingenieros y lideres de los distintos departamentos, el poder acceder a los procesos de fabricación se dio gracias al interés de la gerencia en mejorar el impacto social (bienestar laboral). Además, la gerencia tuvo gran impacto en la formación del comité de ergonomía, ya que fue la que convocó a cada uno de los integrantes y se fueron agendando cada una de las reuniones.

Contar con un equipo o comité de ergonomía fue de gran ayuda para el análisis y las propuestas de mejora, en especial cuando este equipo está familiarizado con los procesos de la

línea de producción. Al momento de hacer los recorridos a la línea de producción se logró detectar las oportunidades de mejora donde salieron las propuestas de la automatización, estandarización del método de inserción teniendo cuidado especial con las posiciones forzadas de la mano y el rediseño de la estación para poder ajustar las bases donde se realiza la inserción en la estación de pullchecker.

Durante el proyecto hubo varias limitaciones que dificultaron la ejecución de las fases del proyecto. Hay que tomar en cuenta el tiempo y la periodicidad de las reuniones. Definir el tiempo de las reuniones y cada cuando se van a realizar estas reuniones puede afectar la participación de los integrantes del comité, ya que, al estar formados por ingenieros, supervisores y líderes de distintas áreas, los cuales tienen otros proyectos y actividades que les impide asistir a las reuniones. Además, si las reuniones se realizan muy seguidas, sin haber un avance significativo en el proyecto, los miembros del comité pueden perder interés en el proyecto. Otras limitantes fueron la renuncia de los miembros claves del comité, atrasando así el proyecto. También, la falta del análisis del impacto económico es una limitante, ya que los miembros al no ver cuánto puede ser el ahorro de las mejoras, no pueden justificar con sus gerentes y directivos el tiempo que le van a invertir en el proyecto. Para todo proyecto es importante estimar cual es el impacto económico, de esta manera tener el apoyo de los directivos, gerentes y los distintos empleados involucrados.

Cada herramienta y método de Lean Manufacturing y Ergonomía tuvieron su particular aporte durante la aplicación de las fases de la metodología para llegar a la mejora de la línea de producción. Las encuestas Cornell, los métodos Ergonómicos Rodgers y Ocra Checklist, así como el Índice Integrador Rodgers/Cornell obtenido en la fase 2, nos ayudaron a corroborar cuales son las principales problemáticas y cuál es el enfoque que deben seguir las propuestas. Además, el FMEA fue basado en las encuestas Cornell, nos ayudó a ver cuál es la parte de del cuerpo que se le debe dar prioridad. En base a esto las propuestas deben estar enfocadas en reducir

los riesgos de la zona del cuerpo más afectada, que el caso de Furukawa fueron las manos. El principal factor de riesgo son los movimientos repetitivos que se tienen a lo largo de toda la jornada. Fue prioridad que todas las mejoras estuvieran orientadas a la reducción de los movimientos repetitivos. Se busco aquellas propuestas que no afecten a la productividad, también, aquellas con una dificultad media y baja. Hubo unas propuestas que tenían impacto social (Mejora del bienestar laboral), pero por políticas de la empresa quedaron fuera de las posibilidades de implementar. Las propuestas de mejora que se aplicaron quedaron a criterio de la empresa.

La propuesta mayor impacto social (bienestar laboral) y económico (Productividad) Fue la semiautomatización de los procesos. Esta mejora se enfocó en reducir los movimientos del proceso, logrando minimizar lo más posible los movimientos del trabajador. Esto sumado a dividir los procesos de tal forma que los trabajadores no realicen más de 15 movimientos por minuto con la mano para evitar molestias musculoesqueléticas. Al corroborar los cambios en la estación se vio una mejora tanto en el tiempo de ciclo como en la reducción de molestias en la trabajadora que realizaba la operación de pullchecker 3.

El impacto económico se verá reflejado a medida que implementen las mejoras. Por una parte, al optimizar el proceso de armado de arnés tomando en cuenta la cantidad de movimientos que realiza el trabajador se logra que el proceso sea más eficiente, por ende, esto redunda en mejora de la productividad pudiendo hacer más piezas con menos esfuerzo, y así cumpliendo con el estándar de producción sin dañar al trabajador. Por otra parte, al reducir los trastornos musculoesqueléticos que los trabajadores experimentan, se reduce los costos que generan las incapacidades y la prima de riesgo que la empresa paga al IMSS (Instituto Mexicano del Seguro Social). Al reducir las enfermedades de trabajo se reducen el porcentaje que debe pagar la empresa al IMSS, ya que uno de los factores muy importantes para el cálculo de la prima de riesgo son las incapacidades por enfermedades de trabajo al igual que los accidentes de trabajo.

Es importante que las mejoras y puntos clave queden establecidas en las normativas, es decir, una vez realizados los cambios, quede como regla escrita en los procedimientos que para el diseño de las estaciones de trabajo se realicen estas mejoras. Para que así, no quede en el olvido el trabajo realizado en este proyecto y esto sirva a su vez para el control de las mejoras.

Es importante dar seguimiento a las propuestas para lograr la optimización de la línea de producción. Primero es terminar la automatización de toda la línea, agregar un horario para realizar pausas activas y los ANDON que indique cuando hacer las pausas activas. Después estandarizar los procesos, estandarizar los tiempos, estandarizar movimientos y cuál debe ser el criterio que deben cumplir las estaciones de trabajos. Aunque las líneas de trabajo que se analizaron tenían la opción de modificar las medidas, distancias y ángulos de las bases de las fixturas de pullchecker, se necesita llamar al técnico de mantenimiento para que realice estos ajustes, lo cual genera un tiempo de espera. Todos estos ajustes son importantes para reducir los riesgos por posiciones inadecuadas, ya que los trabajadores tienen distintas medidas antropométricas. La propuesta de facilitar la herramienta la modificación es muy importante tenerla a la mano para que la trabajadora no tenga posiciones inadecuadas al momento de realizar su trabajo.

Capítulo 6

Conclusiones y Recomendaciones

Derivado de lo anterior, se obtuvieron varias conclusiones. Existe una fuerte relación entre la Ergonomía Participativa y Lean Manufacturing, en especial con kaizen, ya que se necesita la participación de los trabajadores y un equipo para realizar los proyectos de mejora. Tanto la ergonomía Participativa como Lean Manufacturing buscan la mejora continua, la mejora de los procesos y, al enfocar los esfuerzos en mejorar el bienestar laboral también se consigue mejorar la productividad. La Ergonomía Participativa ayuda a mejorar los procesos mediante dos aspectos: la detección de riesgos y las propuestas de mejora. La participación de los trabajadores es esencial para la detección de riesgos, ya que ellos son los que manifiestan sus molestias musculoesqueléticas, mientras el comité, en conjunto con los trabajadores buscan soluciones para poder eliminar o reducir los riesgos ergonómicos. El Índice integrador de bienestar laboral y el FMEA basado en el Cornell, son métodos basados en la Ergonomía Participativa, ya que es indispensable la participación de los trabajadores, además, ayudan a identificar que partes del cuerpo tienen mayor riesgo, y así enfocar propuestas de mejoras a reducir los riesgos que afectan esas partes del cuerpo.

En el momento en que el proyecto de mejora se enfoca en reducir los problemas de salud ocupacional se logran mejorar los procesos a tal grado de optimizarlos sin perjudicar la salud del trabajador. Los proyectos de mejora enfocados en mejorar en la salud del trabajador, es decir los que tienen un impacto social, también pueden mejorar la productividad cuando se enfocan en la optimización del proceso. Los rediseños de las estaciones de arneses enfocados en las medidas antropométricas, así como el reducir actividades repetitivas debe ser una de las prioridades del

comité de ergonomía o el equipo de mejoras, ya que el armado de arneses eléctricos de automóviles tiene una gran demanda de producción, por lo tanto, una gran carga manual que impacta en la salud del trabajador. La automatización o semi-automatización es de las mejores propuestas de mejora para reducir el número de movimientos realizados durante toda la jornada laboral, pero se debe tomar en cuenta el número de piezas realizadas máximo que pueda fabricar un trabajador para que el riesgo no sea alto, el cual debe de ser de menos de 15 movimientos por minuto (según el método Rodgers). Se deben cuidar las posiciones en que el trabajador realiza su proceso, por eso es importante que se puedan modificar las bases de las fixturas también, de esta manera se baje el riesgo aún más.

No todas las propuestas de mejorar ayudan a la reducción de los tiempos de producción directamente como lo es el uso de equipo de protección, las pausas activas o las sillas ergonómicas, pero ayudan a mejorar la salud del trabajador permitiendo que trabajen más confortables y reduciendo tanto la carga física y la carga mental (como lo es en el caso de las pausas activas). Esto puede ser un factor para reducir la rotación laboral, ya que el trabajador al tener un trabajo más confortable permanece en la empresa. Aunque existen otros motivos que están fuera del alcance de esta investigación, pero sería muy interesante su estudio.

La estandarización de procesos y de estaciones de trabajo ayuda a replicar este estudio en toda área de arneses. Es importante que para futuros líneas de producción se tome en cuenta los cambios sugeridos en esta investigación porque al ser un nuevo proyecto facilita una inversión. Los directivos prefieren invertir en un proyecto nuevo que invertir en cambios sustanciales a las estaciones de trabajo. Esto se debe a que los automóviles van cambiando los diseños rápidamente haciendo obsoletos los modelos de arneses. Por ende, las líneas de producción pueden estar vigentes de entre 3 a 5 años, después de este tiempo la demanda de producción baja hasta que ya no exista demanda y la línea de producción desaparezca. Se recomienda que quede establecido en los procedimientos de ingeniería estas mejoras, es importante que queden estandarizados los

cambios realizados en este proyecto para que replique desde un inicio en las estaciones de trabajo. A las estaciones que siguen vigentes es importante darle seguimiento e ir mejorando continuamente para que no sean de alto riesgo para los trabajadores.

Esta metodología puede ser replicada en las otras estaciones de trabajo de otras líneas de producción de arneses donde tienen sus particulares problemáticos otros tipos de procesos donde además de los factores de riesgo biomecánicos existen riesgos ambientales como los son el ruido y la luz. El comité de ergonomía puede realizar el análisis de las problemáticas y generar propuestas de mejora que logren mitigar los factores de riesgo, así mejorar el bienestar laboral teniendo impacto tanto económico como impacto social.

Referencias

Azadeh, A., Shabanpour, N., Soltanpour Gharibdousti, M., & Nasirian, B. (2016). Optimization of supply chain based on macro ergonomics criteria: A case study in gas transmission unit. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 43, 332-351.
<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2016.05.024>

Berlin, C., & Adams, C. (2017). *Production ergonomics: Designing work systems to support optimal human performance*. Ubiquity Press. <https://doi.org/10.5334/bbe>

Bernardes, J. M., Ruiz-Frutos, C., Moro, A. R. P., & Dias, A. (2021). A low-cost and efficient participatory ergonomic intervention to reduce the burden of work-related musculoskeletal disorders in an industrially developing country: an experience report. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 27(2), 452-459.
<https://doi.org/10.1080/10803548.2019.1577045>

Brandt, M., Madeleine, P., Ajslev, J. Z. N., Jakobsen, M. D., Samani, A., Sundstrup, E., Kines, P., & Andersen, L. L. (2015). Participatory intervention with objectively measured physical risk factors for musculoskeletal disorders in the construction industry: Study protocol for a cluster randomized controlled trial. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 16(1), 302.
<https://doi.org/10.1186/s12891-015-0758-0>

Brito, M. F., Ramos, A. L., Carneiro, P., & Gonçalves, M. A. (2017). Ergonomic design intervention in a coating production area. In *Occupational Safety and Hygiene V* (pp. 305-310). CRC Press.

Brito, M. F., Ramos, A. L., Carneiro, P., & Gonçalves, M. A. (2019). Ergonomic analysis in Lean Manufacturing and industry 4. 0—A systematic review. En A. C. Alves, F.-J. Kahlen, S. Flumerfelt, & A. B. Siriban-Manalang (Eds.), *Lean Engineering for Global Development* (pp. 95-127). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-13515-7_4

Brito, M., Vale, M., Leão, J., Ferreira, L. P., Silva, F. J. G., & Gonçalves, M. A. (2020). Lean and Ergonomics decision support tool assessment in a plastic packaging company. *Procedia Manufacturing*, 51, 613-619. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.086>

Broday, E. E. (2021). Participatory Ergonomics in the context of Industry 4.0: A literature review. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 22(2), 237-250. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2020.1801886>

Burgess-Limerick, R. (2018). Participatory ergonomics: Evidence and implementation lessons. *Applied Ergonomics*, 68, 289-293. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.12.009>

Çakıt, E. (2019). Ergonomic risk assessment using cornell musculoskeletal discomfort questionnaire in a grocery store. *Ergonomics International Journal*, 3(6). <https://doi.org/10.23880/EOIJ-16000222>

Cano-Carrasco, A., Vásquez-Torres, M. del C., González-Valenzuela, E., & Bellizia-Guzmán, H. (2019). Implementación de la manufactura esbelta en una línea de arneses eléctricos automotrices. *Revista de Operaciones Tecnológicas*, 21-29. <https://doi.org/10.35429/JTO.2019.9.3.21.29>

Christy, V. (2019). Ergonomics and employee engagement. *International journal of mechanical engineering and technology (IJMET)*, 10(2), 105-109.

Chu, P.-C., Wang, T.-G., & Guo, Y. L. (2021). Work-related and personal factors in shoulder disorders among electronics workers: Findings from an electronics enterprise in Taiwan. *BMC Public Health*, 21(1), 1525. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-11572-4>

Ciprés Hernández, A. M., & Chávez Esquivel, G. (2019). Detección de los factores que afectan el bienestar de los trabajadores mediante la utilización de métodos de análisis ergonómicos en área de producto terminado. *Ergonomía, Investigación Y Desarrollo*, 1(3), 75-86. Recuperado a partir de http://revistas.udec.cl/index.php/Ergonomia_Investigacion/article/view/1349

Cirjaliu, B., & Draghici, A. (2016). Ergonomic issues in Lean Manufacturing. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 221, 105-110. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.095>

Cuergo: Musculoskeletal discomfort questionnaires. (s. f.). Recuperado 9 de noviembre de 2021, de <https://ergo.human.cornell.edu/ahmsquest.html>

Diego-Mas, J. A. (2015). Evaluación del riesgo por movimientos repetitivos mediante el Check List Ocra. *Ergonautas*, Universidad Politécnica de Valencia.

Dos Santos, Z. G., Vieira, L., & Balbinotti, G. (2015). Lean Manufacturing and ergonomic working conditions in the automotive industry. *Procedia Manufacturing*, 3, 5947-5954. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.687>

Dos Santos, E. F., & Dos Santos Nunes, L. (2017). Methodology of risk analysis to health and occupational safety integrated for the principles of Lean Manufacturing. En R. H. M. Goossens (Ed.), *Advances in Social & Occupational Ergonomics* (pp. 349-353). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41688-5_32

Escaida Villalobos, I., Jara Valdés, P., & Letzkus Palavecino, M. (2016). Mejora de procesos productivos mediante Lean Manufacturing. <https://repositorio.utem.cl/handle/30081993/992>

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Hernández Chavarria, J., Carrillo, J., & El Colegio de la Frontera Norte. (2018). Possibilities of Mexican SMEs insertion in the aerospace industry value chain, the Baja California case. *Estudios Fronterizos*, 19. <https://doi.org/10.21670/ref.1802002>

García Alcaraz, J. L., Martínez Hernández, F. A., Olguín Tiznado, J. E., Realyvásquez Vargas, A., Jiménez Macías, E., & Javierre Lardies, C. (2021). Effect of quality Lean Manufacturing tools on commercial benefits gained by mexican maquiladoras. *Mathematics*, 9(9), 971. <https://doi.org/10.3390/math9090971>

García, A. M., Gadea, R., Sevilla, M. J., Genís, S., & Ronda, E. (2009). Ergonomía Participativa: Empoderamiento de los trabajadores para la prevención de trastornos musculoesqueléticos. *Revista Española de Salud Pública*, 83, 509-518. <https://doi.org/10.1590/S1135-57272009000400003>

Gisbert Soler, V. (2015). Lean Manufacturing. Qué es y qué no es, errores en su aplicación e interpretación más usuales. 3C Tecnología. Glosas De Innovación Aplicadas a La Pyme, 4(1), 42-52. <http://ojs.3ciencias.com/index.php/3c-tecnologia/article/view/250>

Grupo de trabajo de IPC (7-31f) del Subcomité de Aseguramiento de Producto (7-30) y el Comité de Guías Técnicas de la Industria de WHMA (ITGC) (2017), IPC/WHMA-A-620C SP: Requisitos y Aceptabilidad de Cables y Mazos de Cables (Gregor, Trad.)

Gualtieri, L., Palomba, I., Merati, F. A., Rauch, E., & Vidoni, R. (2020). Design of Human-Centered Collaborative Assembly Workstations for the Improvement of Operators' Physical Ergonomics and Production Efficiency: A Case Study. Sustainability, 12(9), 3606. <https://doi.org/10.3390/su12093606>

Health and Safety Executive. (2002). Upper limb disorders in the workplace. HSE Books.

Heisler, P., Utsch, D., Kuhn, M., & Franke, J. (2021). Optimization of wire harness assembly using human–robot-collaboration. Procedia CIRP, 97, 260-265. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.235>

Haines, H., & Wilson, J. R. (1998). Development of a framework for participatory ergonomics (No. 174). Sudbury: HSE Books.

Hamja, A., Maalouf, M., & Hasle, P. (2019). The effect of Lean on occupational health and safety and productivity in the garment industry – a literature review. Production & Manufacturing Research, 7(1), 316-334. <https://doi.org/10.1080/21693277.2019.1620652>

Hasheminejad, N., Choobineh, A., Mostafavi, R., Tahernejad, S., & Rostami, M. (2021). Prevalence of musculoskeletal disorders, ergonomics risk assessment and implementation of participatory ergonomics program for pistachio farm workers. *La Medicina Del Lavoro | Work, Environment and Health*, 112(4), 292-305. <https://doi.org/10.23749/mdl.v112i4.11343>

Heisler, P., Utsch, D., Kuhn, M., & Franke, J. (2021). Optimization of wire harness assembly using human-robot-collaboration. *Procedia CIRP*, 97, 260-265. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.235>

Hendricks, A. A. (2019). Evaluation of ergonomic stress factors at Company XYZ (Doctoral dissertation, University of Wisconsin-Stout).

Hosono, A., Page, J., & Shimada, G. (2020). Overview. En A. Hosono, J. Page, & G. Shimada (Eds.), *Workers, Managers, Productivity: Kaizen in Developing Countries* (pp. 1-27). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0364-1_1

Ibacache Araya, J. (2020, junio 3). Nota Técnica N°79 Cuestionario Nórdico Estandarizado de Percepción de Síntomas Músculo Esqueléticos; Instituto de salud pública de Chile. <https://www.ispch.cl/?s=PERCEPCI%C3%93N+DE+S%C3%8DNTOMAS+M%C3%9ASCU LO+ESQUEL%C3%89TICOS>
<https://www.ispch.cl/sites/default/files/NTPercepcionSintomasME01-03062020A.pdf>

Ipc/whma-a-620 | wiring harness manufacturer's association. (s. f.). Recuperado 11 de noviembre de 2021, de <https://whma.org/ipc-whma-a-620/?lang=es>

Jacobs, R.B.C.Y.F. R. (2018). Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros (15th Edición). McGraw-Hill Interamericana.

<https://uabc.vitalsource.com/books/9781456261900>

Jarebrant, C., Winkel, J., Hanse, J. J., Mathiassen, S. E., & Öjmertz, B. (2016). Ergovsm: A tool for integrating value stream mapping and ergonomics in manufacturing. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 26(2), 191-204.

<https://doi.org/10.1002/hfm.20622>

Kalteh, H. O., Salesi, M., Cousins, R., & Mokarami, H. (2020). Assessing safety culture in a gas refinery complex: Development of a tool using a sociotechnical work systems and macroergonomics approach. *Safety Science*, 132, 104969.

<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104969>

Kester, J., Stranski, M., Johnson, T., Knight, T., Ruder, D., Guan, X., & Aft, L. (2013). A Lean look at ergonomics. *Industrial Engineer*, 45(3), 28-32.

Khani Jazani, R., Salehi Sahlabadi, A., & Mousavi, S. S. (2018). Relationship between Lean Manufacturing and ergonomics. En S. Trzcielinski (Ed.), *Advances in Ergonomics of Manufacturing: Managing the Enterprise of the Future* (Vol. 606, pp. 162-166). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60474-9_15

Kobayashi, M., Hirano, Y., & Higashi, M. (2014). Optimization of assembly processes of an automobile wire harness. *Computer-Aided Design and Applications*, 11(3), 305-311.

<https://doi.org/10.1080/16864360.2014.863500>

Kroemer Elbert, K. E., Kroemer, H. B., & Kroemer Hoffman, A. D. (2018). Introducing ergonomics and human factors engineering. En *Ergonomics* (pp. xiii-xviii). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813296-8.00024-4>

Mallam, S. C., Lundh, M., & MacKinnon, S. N. (2017). Integrating participatory practices in ship design and construction. *Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications*, 25(2), 4-11. <https://doi.org/10.1177/1064804616684406>

Marcela Solís-Quinteros, M., Zayas-Márquez, C., Alfredo Ávila-López, L., & Carrillo-Gutierrez, T. (2021). Lean Manufacturing as a strategy for continuous improvement in organizations. En *Lean Manufacturing* [Working Title]. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.96427>

Mejias-Herrera, S. H. (2018). Las herramientas de intervención ergonómica: consideraciones conceptuales y experiencias prácticas en Cuba y Brazil. *Ingenieria Industrial*, 39(1), 3–14.

Método de las 5S. (2016, junio 23). Prevencionar. <https://prevencionar.com/2016/06/23/metodo-las-5s/>

Miguez, S. A., Filho, J. F. A. G., Faustino, J. E., & Gonçalves, A. A. (2018). A successful ergonomic solution based on Lean Manufacturing and participatory ergonomics. En R. S. Goonetilleke & W. Karwowski (Eds.), *Advances in Physical Ergonomics and Human Factors* (Vol. 602, pp. 245-257). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60825-9_27

Nguyen, H. G., Kuhn, M., & Franke, J. (2021). Manufacturing automation for automotive wiring harnesses. *Procedia CIRP*, 97, 379-384. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.254>

Nobrega, S., Kernan, L., Plaku-Alakbarova, B., Robertson, M., Warren, N., & Henning, R. (2017). Field tests of a participatory ergonomics toolkit for Total Worker Health. *Applied Ergonomics*, 60, 366-379. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.12.007>

NOM-036-1-STPS-2018, (23 de noviembre de 2018), Diario oficial de la federación, México, Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

Pandey, K., & Vats, A. (2017). Reduction of ergonomic risk factors in brick units through workstation, task and tool analysis checklist. *Indian Journal of Health & Wellbeing*, 8(6), 436–440.

Pinto Retamal, R. (2015). Programa de Ergonomía Participativa para la prevención de trastornos musculoesqueléticos: Aplicación en una empresa del Sector Industrial. *Ciencia & trabajo*, 17(53), 128-136.

Pulido, H. G. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* (3rd Edición). McGraw-Hill Interamericana. <https://uabc.vitalsource.com/books/9781456205836>

Pulido, H. G. (2020). *Calidad y productividad* (5th Edición). McGraw-Hill Interamericana. <https://uabc.vitalsource.com/books/9781456279615>

Ramaganesh, M., Jayasuriyan, R., Rajpradeesh, T., Bathrinath, S., & Manikandan, R. (2021). Ergonomics hazard analysis techniques- A technical review. *Materials Today: Proceedings*, 46, 7789-7797. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.329>

Rampasso, I. S., Anholon, R., Gonçalves Quelhas, O. L., & Filho, W. L. (2017). Primary problems associated with the health and welfare of employees observed when implementing Lean Manufacturing projects. *Work*, 58(3), 263-275. <https://doi.org/10.3233/WOR-172632>

Realyvásquez-Vargas, A., Maldonado-Macías, A. A., & García-Alcaraz, J. L. (2018). Macroergonomic methods for manufacturing systems evaluation. En A. Realyvásquez Vargas, A. A. Maldonado-Macias, & J. L. García-Alcaraz, *Macroergonomics for Manufacturing Systems* (pp. 21-34). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68684-4_3

Reiman, A., Kaivo-oja, J., Parviainen, E., Takala, E.-P., & Lauraeus, T. (2021). Human factors and ergonomics in manufacturing in the industry 4.0 context – A scoping review. *Technology in Society*, 65, 101572. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101572>

Rodriguez Diez-Caballero, B., Alfonso-Beltrán, J., Bautista, I. J., & Barrios, C. (2020). Occupational risk factors for shoulder chronic tendinous pathology in the Spanish automotive manufacturing sector: A case-control study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 21(1), 818. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03801-5>

Román Ibáñez, V., Pujol, F. A., García Ortega, S., & Sanz Perpiñán, J. M. (2021). Collaborative robotics in wire harnesses spot taping process. *Computers in Industry*, 125, 103370. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103370>

Sakthi Nagaraj, T., Jeyapaul, R., Vimal, K. E. K., & Mathiyazhagan, K. (2019). Integration of human factors and ergonomics into Lean implementation: Ergonomic-value stream map approach in the textile industry. *Production Planning & Control*, 30(15), 1265-1282. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1612109>

Selamat, M. N., Mohd, R. H., Mukapit, M., Aziz, S. F. A., & Omar, N. H. (2021). A review on participatory ergonomic approaches: What ‘participants’ mean to the organization? *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 11(8), 612-627.

SPIEGEL, M. (2014). *Probabilidad y estadística schaum*. MCGRAW-HILL.

Sugiono, S., Budiprasetya, A., & Efranto, R. (2019). Reducing musculoskeletal disorder (Msd) risk of wiring harness workstation using workplace ergonomic risk assessment (Wera) method. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 27(4), 536-551. <https://doi.org/10.22630/PNIKS.2018.27.4.50>

Tappin, D. C., Vitalis, A., & Bentley, T. A. (2016). The application of an industry level participatory ergonomics approach in developing MSD interventions. *Applied Ergonomics*, 52, 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.07.007>

Tortorella, G. L., Vergara, L. G. L., & Ferreira, E. P. (2017). Lean Manufacturing implementation: an assessment method with regards to socio-technical and ergonomics practices adoption. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 89(9-12), 3407-3418.

Tortorella, G., Cómbita-Niño, J., Monsalvo-Buelvas, J., Vidal-Pacheco, L., & Herrera-Fontalvo, Z. (2020). Design of a methodology to incorporate Lean Manufacturing tools in risk management, to reduce work accidents at service companies. *Procedia Computer Science*, 177, 276-283. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.10.038>

Triola, M. F. (2017). *Estadística* (12th Edición). Pearson HispanoAmerica Contenido. <https://uabc.vitalsource.com/books/9786073243773>

Trommnau, J., Kühnle, J., Siegert, J., Inderka, R., & Bauernhansl, T. (2019). Overview of the state of the art in the production process of automotive wire harnesses, current research and future trends. *Procedia CIRP*, 81, 387-392. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.067>

Van Eerd, D., D'Elia, T., Ferron, E. M., Robson, L., & Amick, B. (2021). Implementation of participatory organizational change in long term care to improve safety. *Journal of Safety Research*, 78, 9-18. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2021.05.002>

Vinoth Kumar, H., Annamalai, S., & Bagathsingh, N. (2020). Impact of Lean implementation from the ergonomics view: A research article. *Materials Today: Proceedings*, S2214785320352032. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.113>

Wilhelm, M., Manghisi, V. M., Uva, A., Fiorentino, M., Bräutigam, V., Engelmann, B., & Schmitt, J. (2021). ErgoTakt: A novel approach of human-centered balancing of manual assembly lines. *Procedia CIRP*, 97, 354-360. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.250>

Yang, S. T., Park, M. H., & Jeong, B. Y. (2020). Types of manual materials handling (Mmh) and occupational incidents and musculoskeletal disorders (Msds) in motor vehicle parts manufacturing (Mvpm) industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 77, 102954.
<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.102954>

Zare, M., Croq, M., Hossein-Arabi, F., Brunet, R., & Roquelaure, Y. (2016). Does ergonomics improve product quality and reduce costs? A review article: ergonomics and product quality. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 26(2), 205-223.
<https://doi.org/10.1002/hfm.20623>

Apéndice A

Tabla A1
Distribucion F 95% de confiabilidad

V ₂	Grados de libertad v ₁																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88	242.98	243.91	244.69	245.36	245.95	246.46	246.92	247.32	247.69	248.01
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43	19.43	19.44	19.44	19.44	19.45
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70	8.69	8.68	8.67	8.67	8.66
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86	5.84	5.83	5.82	5.81	5.80
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62	4.60	4.59	4.58	4.57	4.56
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94	3.92	3.91	3.90	3.88	3.87
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51	3.49	3.48	3.47	3.46	3.44
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22	3.20	3.19	3.17	3.16	3.15
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01	2.99	2.97	2.96	2.95	2.94
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85	2.83	2.81	2.80	2.79	2.77
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72	2.70	2.69	2.67	2.66	2.65
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62	2.60	2.58	2.57	2.56	2.54
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53	2.51	2.50	2.48	2.47	2.46
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46	2.44	2.43	2.41	2.40	2.39
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40	2.38	2.37	2.35	2.34	2.33
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35	2.33	2.32	2.30	2.29	2.28
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31	2.29	2.27	2.26	2.24	2.23
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27	2.25	2.23	2.22	2.20	2.19
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.21	2.20	2.18	2.17	2.16
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18	2.17	2.15	2.14	2.12
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09	2.07	2.05	2.04	2.02	2.01
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01	1.99	1.98	1.96	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92	1.90	1.89	1.87	1.85	1.84
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03	1.99	1.95	1.92	1.89	1.87	1.85	1.83	1.81	1.80	1.78
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.89	1.86	1.84	1.82	1.80	1.78	1.76	1.75
70	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.02	1.97	1.93	1.89	1.86	1.84	1.81	1.79	1.77	1.75	1.74	1.72
80	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.21	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.84	1.82	1.79	1.77	1.75	1.73	1.72	1.70
90	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32	2.20	2.11	2.04	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.80	1.78	1.76	1.74	1.72	1.70	1.69
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77	1.75	1.73	1.71	1.69	1.68
200	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26	2.14	2.06	1.98	1.93	1.88	1.84	1.80	1.77	1.74	1.72	1.69	1.67	1.66	1.64	1.62
500	3.86	3.01	2.62	2.39	2.23	2.12	2.03	1.96	1.90	1.85	1.81	1.77	1.74	1.71	1.69	1.66	1.64	1.62	1.61	1.59
1000	3.85	3.00	2.61	2.38	2.22	2.11	2.02	1.95	1.89	1.84	1.80	1.76	1.73	1.70	1.68	1.65	1.63	1.61	1.60	1.58

Nota: Los datos se obtuvieron de la función de google spreadsheet F.INV.RT(probabilidad, grados_libertad1, grados_libertad2). Fuente: Elaboración propia