



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Estimación biomecánica para Lumbar L5/S1 en el puesto de los operarios de noqueo del Camal Municipal de Pelileo utilizando redes neuronales artificiales”

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniera Industrial

Autor:

Barreno Gómez, Nathaly Graciela

Tutor:

MgSc. Manolo Alexander Córdova Suárez

Riobamba, Ecuador. 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Nathaly Graciela Barreno Gómez, con cédula de ciudadanía 0604219808, autor (a) (s) del trabajo de investigación titulado: “Estimación biomecánica para Lumbar L5/S1 en el puesto de los operarios de noqueo del Cama Municipal de Pelileo utilizando redes neuronales artificiales”, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a los 10 días del mes de octubre del 2024.



Nathaly Graciela Barreno Gómez

C.I: 0604219808

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Manolo Alexander Córdova Suárez catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: Estimación biomecánica para Lumbar L5/S1 en el puesto de los operarios de noqueo del Camal Municipal de Pelileo utilizando redes neuronales artificiales, bajo la autoría de Nathaly Graciela Barreno Gómez; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 7 días del mes de octubre de 2024.



Manolo Alexander Córdova Suárez

C.I: 1802842508

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Estimación biomecánica para Lumbar L5/S1 en el puesto de los operarios de noqueo del Camal Municipal de Pelileo utilizando redes neuronales artificiales** presentado por Nathaly Graciela Barreno Gómez, con cédula de identidad número 0604219808, bajo la tutoría de Mg. Manolo Alexander Córdova Suárez; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 10 de octubre del 2024.

Mgs. Fidel Ernesto Vallejo Gallardo
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO

PhD. Hidalgo Wilfrido Salazar Yépez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Mgs. Luis Stalin López Telenchana
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



CERTIFICACIÓN

Que, Barreno Gómez Nathaly Graciela con CC: 060421980-8, estudiante de la Carrera Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **“Estimación biomecánica para Lumbar L5/S1 en el puesto de los operarios de noqueo en el Camal Municipal de Pelileo utilizando redes neuronales”**, cumple con el 7%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio TURNITIN, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 10 de septiembre de 2024

Ing. Manolo Alexander Córdova Suárez, MsC.

TUTOR DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada a mis padres Henry y Beatriz que han sido los pilares fundamentales para seguir adelante; a mis hermanos Andrés, Henry y Josué por la colaboración, constancia, paciencia y comprensión que me han brindado a lo largo de este viaje académico. Este logro les dedico a cada uno de ustedes por ser mi pilar fundamental en mi vida personal y profesional.

Nathaly Graciela Barreno Gómez

AGRADECIMIENTO

Mi profundo agradecimiento a mis padres Henry y Beatriz por el apoyo incondicional a lo largo de mi vida universitaria, por su amor y todos los sacrificios que tuvieron que hacer para lograr mis objetivos. A mis hermanos Andrés, Henry y Josué por siempre estar al pendiente de mí y brindarme palabras de apoyo en mi vida personal y académica.

Un agradecimiento especial a mi tutor, el Ing. Manolo Córdova quien con su experiencia académica ha sido un guía muy importante para el desarrollo de esta investigación.

Así mismo quiero agradecer al Camal Municipal del Cantón Pelileo por abrirme sus puertas para llevar a cabo mi investigación, en especial al Ing. Ignacio León, quien fue un referente crucial para conocer más acerca del proceso de faenamiento.

De igual manera agradecer a la Universidad Nacional de Chimborazo por los conocimientos impartidos durante mis 4 años de estudio, a través de docentes excepcionales de los cuales he adquirido conocimientos invaluable.

Nathaly Graciela Barreno Gómez

ÍNDICE GENERAL;

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO.....	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL;	
ÍNDICE DE TABLAS.	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN.....	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	15
1. Planteamiento del problema.....	16
1.1 Formulación del problema	17
1.2 Justificación.....	18
1.3 Objetivos	19
1.3.1 Objetivo General	19
1.3.2 Objetivos Específicos	19
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.	20
2. Enfoque Teórico.....	20
2.1 Antecedentes.....	20
2.2 Fundamentación Teórica.....	21
2.2.1 Trastornos Musculoesqueléticos	21
2.2.2 Riesgos Psicosociales	21
2.2.3 Puesto de Trabajo.....	21

2.2.4	Ergonomía.....	21
2.2.5	Métodos de Evaluación Biomecánica	21
2.2.6	Método Bio-mec.....	22
2.2.7	Redes Neuronales Artificiales (RNA).....	24
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.		36
3.	Metodología	36
3.1	Tipo de Investigación.....	36
3.2	Diseño de Investigación	36
3.3	Técnicas de recolección de Datos.....	36
3.3.1	Hoja de recolección de datos	36
3.3.2	Entrevista.....	37
3.4	Población de estudio y tamaño de muestra	37
3.5	Hipótesis.....	37
3.6	Métodos de análisis, y procesamiento de datos.....	37
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		41
4.	Cálculos de la tensión y los momentos generados en cada articulación	41
4.1	Etapa1. Características cualitativas y cuantitativas necesarias para formar la red neuronal y estimar la carga máxima para Lumbar L5/S1 en el puesto de noqueo.....	41
4.2	Etapa 2. Modelo matemático basado en el Red Neuronal Artificial con retro propagación (RNA con RP) que estime el valor de la carga máxima admisible para Lumbar L5/S1 en el puesto de noqueo empleando el software MATLAB®.....	53
4.2.1	Pronóstico de la RNA.....	61
4.3	Etapa3. Comparación de los valores estimados de la carga máxima admisible en el puesto de noqueo con la Red Neuronal y los valores reales de referencia aplicando pruebas estadísticas.....	62
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES		68
5.	Conclusiones	68
6.	Recomendaciones	70

BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1	Operacionalización de la Variable de la RNA	37
Tabla 2	Operacionalización de la Variable de la carga admisible en BioMEC.....	38
Tabla 3	Resultados del porcentaje de la carga máxima soportable de la Lumbar L5/S1...	44
Tabla 4	Matriz de ingreso a MATLAB®	45
Tabla 5	Matriz completada con los 30 estudios biomecánicos.....	47
Tabla 6	Resultados del porcentaje estimado de la carga máxima soportable de la Lumbar L5/S1.....	60
Tabla 7	Resultado de la estimación de la carga admisible para Lumbar L5/S1	61
Tabla 8	Prueba de normalidad basados en los tiempos de cada estudio biomecánico.....	63
Tabla 9	Resultado de la Prueba Mann-Whitney	64
Tabla 10	Prueba de normalidad basados en los resultados de la carga admisible para Lumbar L5/S1	65
Tabla 11	Resultado Estadísticas de grupo	66
Tabla 12	Resultado de la prueba de muestras independientes.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Bípido inicial para el ingreso de ángulos y posturas en BIO-MEC	22
Figura 2	Resultado de la carga máxima admisible de cada articulación	23
Figura 3	Componentes de una neurona.....	25
Figura 4	Modelo de una neurona.....	25
Figura 5	Procesamiento de una red neuronal	26
Figura 6	Arquitectura unidireccional con tres capas de neurona.....	27
Figura 7	Modelo de RNA.....	28
Figura 8	Tipos de aprendizaje de una red neuronal	29
Figura 9	Funciones de activación más utilizadas de RNA.....	30
Figura 10	Red Backpropagation completamente interconectada	31
Figura 11	Función sigmoideal.....	33
Figura 12	Datos del trabajador	41
Figura 13	Datos de la evaluación.....	42
Figura 14	Definición de la postura del trabajador del puesto de noqueo.....	42
Figura 15	Porcentaje de la carga máxima soportable de cada articulación.....	43
Figura 16	Red Neuronal Artificial con retro propagación en MATLAB®.....	54
Figura 17	Entrenamiento de la red.....	55
Figura 18	Resultado del entrenamiento y ajuste a la RNA con RP	55
Figura 19	Resultado de validación del entrenamiento de la RNA.....	56
Figura 20	Resultado de la estimación del error con la RNA con RP.....	57
Figura 21	Regresión de la red.....	58
Figura 22	Ingreso de datos de cada estudio biomecánico recopilado.....	59
Figura 23	Programación mediante la función myNeuralNetworkFunction	59
Figura 24	Histograma relacionado a los resultados reales obtenidos	67
Figura 25	Histograma relacionado a los resultados estimados de la RNA	67

RESUMEN

Los trastornos musculoesqueléticos (TME) representan la primera causa por la cual los trabajadores deben ausentarse del trabajo debido a problemas relacionados con su salud. Estos TME están directamente vinculados a las condiciones biomecánicas deficientes. Esta investigación analiza la postura del trabajador del puesto de noqueo del Camal Municipal del Cantón Pelileo como condición inicial de comparación utilizando el software BioMEC. Se empezó recopilando información sobre: datos del trabajador; tiempo que ocupa en la jornada; duración de la jornada; fotografía sobre postura que adopta el trabajador en el puesto noqueo. Luego se establecieron las características cualitativas y cuantitativas necesarias para formar la red neuronal artificial (RNA) y estimar la carga máxima para Lumbar L5/S1, considerando la función sigmoide para la activación del algoritmo de retro propagación (RP). Finalmente se estimó la carga admisible para Lumbar L5/S1 con la RNA con RP diseñada en MATLAB® (versión R2021a, MathWorks Inc., Natick, MA, USA). Como resultado de la condición inicial se calculó una carga de L5/S1 de 599.46 % con el método BioMEC. Se encontró 4 características cualitativas y 37 características cuantitativas de la matriz de RNA. La RNA diseñada tiene 4 capas: a) la primera capa de entrada tiene 17 neuronas receptoras estáticas; b) la segunda capa tiene de 7 neuronas ocultas; c) la tercera capa es de suma y dispone 1 neurona dinámica y d) la capa final tiene 1 neurona de salida estática, la cual finalizó en 15 etapas de entrenamiento de la red neuronal. El porcentaje de error de estimación con RNA- RP para la carga L5/S1 es de 0.2863 %. La prueba de T-student de muestras independientes determina que los dos métodos brindan un resultado similar al estimar la carga admisible para Lumbar L5/S1.

Palabras claves: biomecánica, carga admisible L5/S1, estimación, red neuronal artificial.

ABSTRACT

Musculoskeletal disorders (MSDs) are the leading cause of worker absenteeism due to health-related issues, with these disorders closely linked to poor biomechanical conditions. This study evaluates the posture of workers at the knocking station of the Camal Municipal of Cantón Pelileo as an initial comparative condition using BioMEC software. Data collected included worker details, work duration, shift length, and photographic evidence of the worker's posture. Qualitative and quantitative characteristics were then established to form an artificial neural network (ANN) and estimate the maximum load on Lumbar L5/S1, employing a sigmoid function for the backpropagation algorithm. The allowable load on Lumbar L5/S1 was estimated using the ANN with backpropagation designed in MATLAB® (version R2021a, MathWorks Inc., Natick, MA, USA). The initial condition resulted in an estimated L5/S1 load of 599.46% using BioMEC. The ANN identified 4 qualitative and 37 quantitative characteristics, comprising 4 layers: a) an input layer with 19 static receptor neurons; b) a hidden layer with 16 neurons; c) a summation layer with 1 dynamic neuron; and d) an output layer with 1 static neuron, concluding with 20 training epochs. The error percentage of L5/S1 load estimation using the ANN-backpropagation method was 0.2863%. A T-test for independent samples indicates that both methods provide similar results in estimating the allowable load for Lumbar L5/S1.

Keywords: biomechanics, allowable L5/S1 load, estimation, artificial neural network.



Reviewed by:
MsC. Edison Damian Escudero
ENGLISH PROFESSOR
C.C.0601890593

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.

Los trastornos musculoesqueléticos (TME) son la primera causa de baja relacionada con las condiciones de trabajo, aunque no siempre se reconozca su origen laboral (Secretaría-General-Recursos-Humanos, 2018). La carga de trabajo físico sería el principal factor responsable de estas lesiones, aunque su íntima relación con riesgos psicosociales en el trabajo es también conocida (García et al., 2009). Los TME en las empresas de faenamiento de ganado vacuno son significativas (Romo et al., 2021). Por lo tanto, un conocimiento de nuevos métodos que aceleran el proceso de evolución de riesgos biomecánicos es imprescindible (Morales et al., 2019).

En la actualidad se puede utilizar inteligencia artificial en base a Redes Neuronales Artificiales (RNA) para evaluar los puestos de trabajo que involucren manejo de cargas estáticas (Celis, 2008). Son pocos los estudios relacionados al uso de RNA en la Ergonomía de puestos de trabajo (Romo et al., 2021). Una de las mejores respuestas con aplicación de RNA a la solución de problemas de Ingeniería es el algoritmo de Retro propagación (RP), que hace un autoaprendizaje y disminuye el error final en los cálculos (Bastidas, 2020)

Sin embargo, para aplicar el uso de una RNA con algoritmo de RP a la biomecánica de un puesto de trabajo se necesita conocer: a) Datos del trabajador; b) tiempo que ocupa en la jornada; c) duración de la jornada; d) postura que adopta el trabajador en el puesto; e) ángulos de articulación que involucra el trabajo; f) carga que maneja (Diego-Mas, José Antonio, 2015). Luego se debe elaborar la matriz de la RNA con RP como entrada para procesar en Matlab y entrenar a la RNA con RP para obtener los errores y curvas de aproximación (Chuquival et al., 2011).

En el Ecuador las actividades de faenamiento de ganado vacuno son considerados de alto riesgo ergonómico (Romo et al., 2021). Sin embargo, existe un puesto de trabajo que aparte del riesgo postural y exigencia de carga estática en su ejecución puede generar accidentes con efectos graves (Barrionuevo & Salazar, 2022). Este puesto se denomina Noqueo aquí el trabajador aplica una herramienta neumática para aturdir al ganado en posiciones peligrosas, provocando una caída accidentalmente o sufriendo golpes por el animal en una mala maniobra (S. Rodríguez, 2015)

Este trabajo determinará el uso de RNA con RP para calcular el error de resultado en las cargas máximas admisibles para Lumbar L5/S1 y comparar con los resultados del software BIO-MEC y tener un conocimiento de la factibilidad de su aplicación.

1. Planteamiento del problema

En la actualidad los camales son altamente tecnificados para el desarrollo del proceso de sacrificio de animales vivos y materias diversas, en este tipo de instalaciones es esencial comprender los factores que afectan al proceso, no solo para elegir la tecnología más apropiada, sino también para sugerir la mejor manera de manejar a los animales y las máquinas (Castillo & Cedeño, 2016). Además, es importante diseñar un reglamento y establecer medios necesarios para garantizar la seguridad de los trabajadores que realizan actividades con riesgo de lesiones físicas, la cual se ha enfocado tradicionalmente en los peligros físicos y del medio ambiente (Castillo & Cedeño, 2016). Estudios indican que los trabajadores que laboran en este tipo de procedimiento corren riesgo de sufrir alguna lesión física como: a) dolor lumbar; b) dolores de cuello y cabeza; c) desviaciones en la columna vertebral y d) fatiga mental, debido a la aplicación constante de fuerza y la ejecución de acciones repetitivas en el puesto de noqueo (Romo et al., 2021).

El camal municipal de Pelileo por su naturaleza tiene los siguientes problemas con los trabajadores: a) daños lumbares, b) problemas osteomusculares en articulaciones de extremidades inferiores reportados en el índice de morbilidad 2023 del Camal Municipal del Cantón Pelileo, c) caídas a distinto nivel por manipulación de cargas suspendidas en posiciones biomecánicas comprometidas y d) ausentismo laboral.

Los métodos utilizados para analizar cargas biomecánicas por lo general son costosos y llevan demasiado tiempo en evaluarse (Córdova et al., 2020). Por otro lado, existe la aplicación de RNA que evalúan los mismos datos, pero con inteligencia artificial y en menor tiempo (Bastidas, 2020). Por ello se pretende indagar la manera en la cual se pueda validar y optimizar los resultados de las redes neuronales para garantizar su aplicación a la práctica.

El análisis de las cargas biomecánicas cumple un papel fundamental en la comprensión de la mecánica del cuerpo humano y la evaluación de lesiones

musculoesqueléticas en las empresas de bienes o servicios del país (Belloch, 2002). Existen métodos que permiten llevar a cabo los análisis biomecánicos como: a) BioMEC y b) Fuerzas-EN1005-3 que permiten determinar las cargas estáticas que soportan las articulaciones del cuerpo cuando se ejecutan actividades en posiciones incómodas y sujetando cargas (Diego Mas. José Antonio, 2015). Sin embargo, su aplicación requiere de cálculos de fuerzas y momentos con ecuaciones que exigen un conocimiento específico de normas y ecuaciones empíricas, además, solicitan entradas extras que obliga al investigador a realizar una investigación del puesto de trabajo en campo (Larrañaga, 1997). Estas evaluaciones convencionales requieren del uso de instrumentos ergonómicos que son difíciles de conseguir y costosos. Algunos de ellos son: a) Antropómetro, b) Varilla curvas para antropómetro, c) Calibrador extensible, d) Compás deslizable y e) Cinta antropométrica (Navarrete et al., 2017).

Estudios modernos recomiendan la aplicación de RNA, inteligencia artificial para estimaciones de todo tipo de cálculo donde existan entradas y salidas definidas (Gómez. Julio et al., 2009). Aunque estas herramientas requieren del conocimiento de matemática biofísica para su aplicación se han desarrollado extensiones para programas como el MATLAB® (versión R2021a, MathWorks Inc., Natick, MA, USA) que ayudan con su ejecución de una manera sencilla (Ruiz & Basualdo, 2001). El uso de esta tecnología como alternativa para la evaluación de riesgos ergonómicos y biomecánicos tienen novedad científica ya que los resultados miden la factibilidad y el error de los resultados al comparar con los resultados reales (Pillapa et al., 2022).

1.1 Formulación del problema

¿El uso de RNA para estimar la carga admisible para Lumbar L5/S1 es más eficiente en términos de tiempo en comparación al método tradicional?

¿El método biomecánico que emplea RNA para determinar la carga admisible para Lumbar L5/S1 en puestos de trabajo es más eficiente en términos de tiempo en comparación con el método tradicional (BioMEC)?

1.2 Justificación

Existe una creciente necesidad de abordar problemas relacionados al campo de la biomecánica para controlar los trastornos osteomioarticulares que se producen al ejecutar tareas con exposición a manipulación de cargas estáticas en los puestos de trabajo (Zavala, 2019). Aunque el Decreto ejecutivo 2393 solicita las evaluaciones de riesgos laborales con métodos estandarizados y aprobados por la Organización Internacional del trabajo (OIT) es necesario comprobar las alternativas para evaluación de riesgos laborales con uso de RNA para acelerar el proceso de cálculo y bajar costos (Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, 2015). El uso de: a) instrumentos antropométricos, b) ecuaciones físicas para movimientos y torques y c) recursos humanos para la evaluación de campo en un estudio biomecánico complican el panorama para el técnico en Seguridad y Salud en el Trabajo de las empresas en el instante de aplicar alguna medida preventiva lo que conlleva a determinar medidas de actuación administrativas como pausas activas y capacitación que en el mayoría no son efectivas para eliminar los efectos de la ejecución de actividades ergonómicas peligrosas (Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2016).

Conocer la limitación del uso de RNA en el campo de la biomecánica de los puestos de trabajo requiere de un diseño de matriz de filas y columnas ordenadas con las variables de entrada y salida bien definidas para cada caso de estudio en el software MATLAB® (versión R2021a, MathWorks Inc., Natick, MA, USA), pero una vez definida servirá para replicar en casos similares (Pillapa et al., 2022). Al introducir la aplicación de RNA en el análisis biomecánico se muestra una oportunidad para resolver problemas en menor tiempo (De Moya et al., 1998). Esta nueva tecnología puede procesar grandes volúmenes de datos y tiene la posibilidad de brindar resultados en un plazo más corto (Buendía et al., 2007). Sin embargo, es necesario que este tipo de datos sean analizados por expertos para que los resultados sean precisos y confiables. Por ello el propósito de este trabajo es determinar el uso de RNA para calcular el error de resultado en las cargas máximas admisibles para Lumbar L5/S1 y comparar con los resultados del software BIO-MEC y tener un conocimiento de la factibilidad de su aplicación.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Estimar la carga máxima admisible para Lumbar L5/S1 en el puesto de los operarios de noqueo del Camal Municipal del Cantón San Pedro de Pelileo utilizando redes neuronales artificiales.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las características cualitativas y cuantitativas para formar la red neuronal para estimar la carga máxima para Lumbar L5/S1 en el puesto de noqueo.
- Elegir un modelo matemático basado en el Red Neuronal Artificial con retro propagación que estime el valor de la carga máxima admisible para Lumbar L5/S1 en el puesto de noqueo empleando el software MATLAB®.
- Comparar los valores estimados de la carga máxima admisible en el puesto de noqueo con la Red Neuronal y los valores reales de referencia aplicando pruebas estadísticas.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2. Enfoque Teórico

2.1 Antecedentes

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se han revisado archivos relacionados con la temática de Ergonomía, Decretos Ejecutivos y RNA, con el objetivo de obtener una extensa bibliografía que respalde y verifique la información presentada en este documento. A continuación, se exponen las investigaciones revisadas previamente:

En el trabajo titulado “Diseño ergonómico de prótesis de miembro inferior personalizados aplicando inteligencia artificial”, menciona en su conclusión que al utilizar RNA se logró un alto nivel de ajuste, esto significa que tuvo un éxito del 99%, es decir la RNA puede aplicarse para relaciones complejas que existan entre variables independientes y dependientes, el cual permite reducir el tiempo de producción y el costo de las prótesis (Pava et al., 2018).

Una nueva alternativa que se propone para analizar datos son las RNA, método que busca reducir costos y disminuir la complejidad de obtener resultados mediante cálculos matemáticos (Ponce, 2010). En el área de Ergonomía y Biomecánica no existen trabajos desarrollados en base a RNA. Sin embargo, en el trabajo titulado “Estimación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) en aguas residuales de las empresas de jeans de la ciudad de Pelileo utilizando redes neuronales artificiales” en sus conclusiones menciona que existe 0.8890% de error entre el valor real y el estimado (Pillapa et al., 2022).

En el trabajo de (Sánchez, 2022) con tema “Estimación de la humedad crítica para el secado de manzanas (*Pyrus malus*) utilizando redes neuronales artificiales” en sus conclusiones principales dice que la aplicación de RNA con RP para estimar la humedad crítica es factible dando errores de menos 2,5% del valor real y siendo una alternativa a los métodos experimentales disminuyendo el 99,8% de tiempo con esta alternativa.

2.2 Fundamentación Teórica

2.2.1 Trastornos Musculoesqueléticos

Se entiende por trastornos musculoesqueléticos hacen referencia a las lesiones y síntomas que afectan a cualquier parte del cuerpo y que tiene su origen por la exposición continua a una actividad, se enfocan en el aparato locomotor como son huesos y músculos, articulaciones, tendones, ligamentos, nervios y sistema vascular (Rodríguez & Villalba, 2021).

2.2.2 Riesgos Psicosociales

Se definen como los factores que surgen por diferentes aspectos del entorno y organización el trabajo, influyendo una incidencia en la salud de los trabajadores y en su desempeño laboral mediante mecanismos psicológicos y fisiológicos (Lecca et al., 2013).

2.2.3 Puesto de Trabajo

Espacio o lugar que ocupa un empleado para desarrollar sus actividades dentro de una empresa u organización, con el objetivo de aportar valor añadido a dicha organización, siguiendo reglas, procedimientos y metodologías establecidos (Melchor et al., 2019).

2.2.4 Ergonomía

Disciplina relacionada con la interacción entre el hombre y su puesto de trabajo, así como las herramientas que utiliza y el ambiente laboral en el cual se desarrolla, es decir se utiliza para determinar cómo diseñar o adaptar el lugar de trabajo al trabajador (Segovia & Macías, 2018).

2.2.5 Métodos de Evaluación Biomecánica

Los TME tienen su origen en la sobrecarga de las estructuras corporales del aparato locomotor, lo cual puede deberse a niveles excesivos de esfuerzos, así como la duración y la de la repetitividad de estos esfuerzos (Secretaría-General-Recursos-Humanos, 2018), por ello se proponen dos métodos para evaluar este tipo de riesgos como es: a) Fuerzas – EN10053, que evalúa el riesgo derivado de ejercer fuerzas según la capacidad de los trabajadores y b) Bio –Mec, que realiza evaluaciones biomecánicas de esfuerzos estáticos a partir de una postura adoptada, la carga y la frecuencia y duración de los esfuerzos (Diego-Mas, José Antonio, 2015).

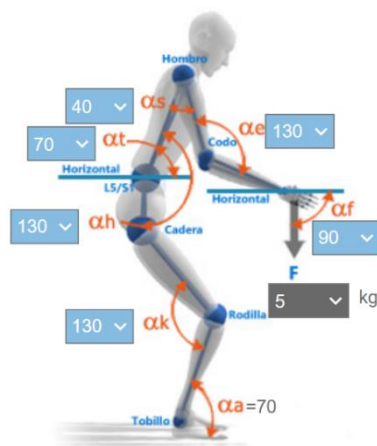
2.2.6 Método Bio-mec

El Análisis biomecánico es uno de los métodos más utilizados, en donde la herramienta BIO-mec, la cual fue desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia (Olaya et al., 2020), estudia el comportamiento de manera física calculando la carga estática postural recomendada y crítica para cada parte del cuerpo sujeta a tensión y torsión por la ejecución a las tareas de manera estática (Ferrerias, 2004).

El método Bio-Mec establece una analogía entre el sistema hombre-máquina, utiliza un bípedo como se muestra en la Figura 1, está compuesto por palancas y poleas para evaluar el esfuerzo de una posición dada en causar sobre carga en alguna estructura del aparato locomotor (Jaramillo & Londoño, 2020).

Figura 1

Bípedo inicial para el ingreso de ángulos y posturas en BIO-MEC



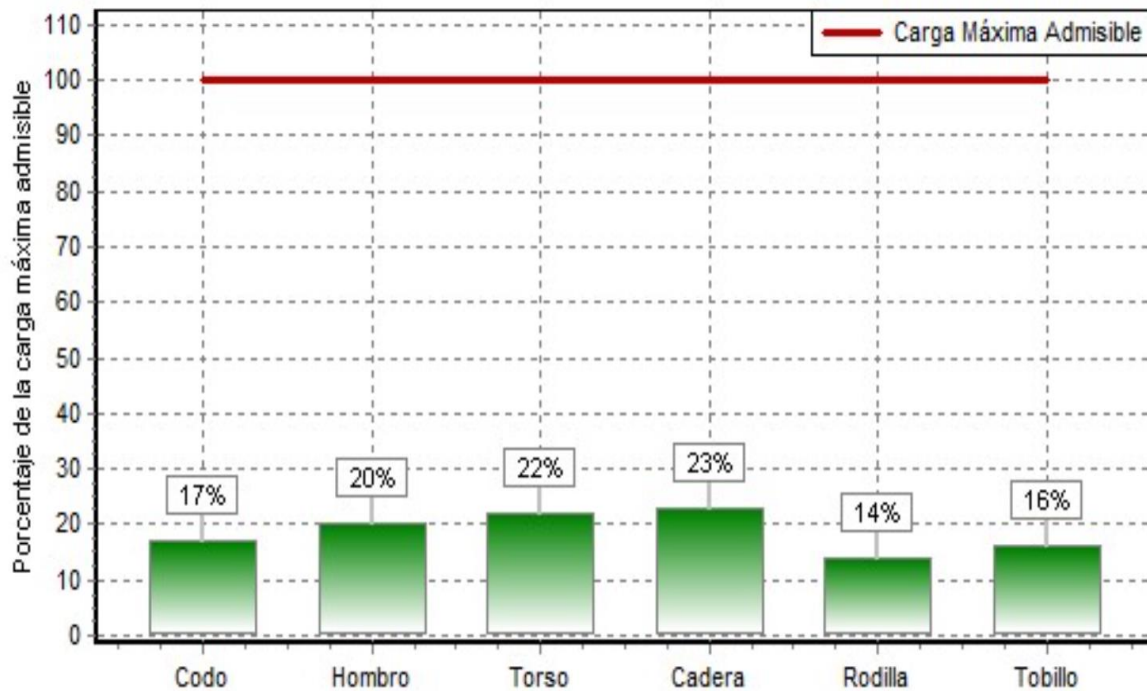
Nota: Tomado de Diego-Mas, Jose Antonio. Análisis biomecánico estático coplanar. Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. Disponible online: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/biomecanica/biomecanica-ayuda.php>

El BIO-mec realiza un estudio de dinámica y estática de fuerzas con el uso de ecuaciones de equilibrio para conocer: a) los momentos y b) las fuerzas de contrarresto de las cargas que sujetan los miembros del cuerpo divididos en secciones (Diego Mas. José Antonio, 2015). Para su aplicación requiere de datos propios del trabajador que ocupa el puesto de trabajo como: a) género, b) tipo de soporte de la carga, c) Peso del trabajador, d) estatura del trabajador, e) Tiempo de duración de la postura, f) repetitividad de la postura, g)

Ángulos entre segmentos, h) coeficiente de rozamiento calzado/suelo, h) percentil de protección (Diego-Mas, 2015).

Figura 2

Resultado de la carga máxima admisible de cada articulación



Nota: Tomado de Diego-Mas, Jose Antonio. Análisis biomecánico estático coplanar. Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. Disponible online: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/biomecanica/biomecanica-ayuda.php>

El BIO-mec como resultado brinda: el porcentaje de la carga máxima soportable alcanzado en cada articulación (Codo, hombro, torso, cadera, rodilla, tobillo) con una indicación de alarma al sobrepasar el límite recomendable (Diego-Mas, 2015a), además de calcular las cargas máximas, sobrecarga, riesgo para: a) codo, b) hombro, c) lumbar (L%/S1), d) cadera, e) rodilla, f) tobillo. Como último resultado arroja los pesos y longitud de los siguientes miembros: a) cabeza, b) cuello, c) tórax, d) abdomen, e) pelvis, f) brazo, g) antebrazo, h) mano, i) muslo, j) pierna, y k) pierna (Velasquí et al., 2021).

2.2.7 Redes Neuronales Artificiales (RNA)

Una Red Neuronal Artificial (RNA) se define como un sistema de computación compuesto por numerosos elementos simples y altamente interconectados, que procesan la información respondiendo dinámicamente a estímulos externos (Pino et al., 2001), la característica más destacada de las RNA es su capacidad de aprender a partir de un conjunto de patrones de entrenamientos, lo que significa que pueden encontrar un modelo que ajuste los datos (Salas, 2004).

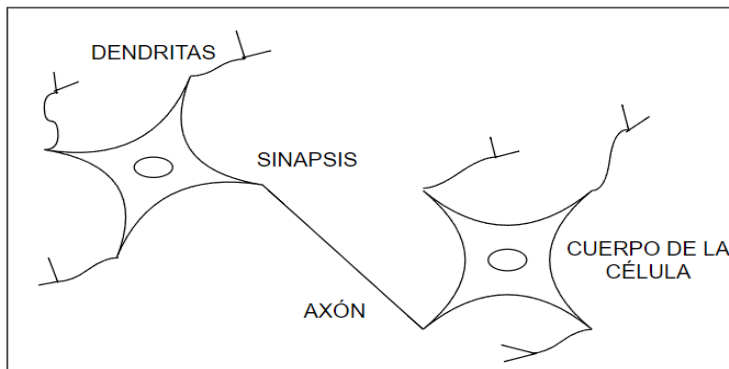
Las RNA se destacan por varias características fundamentales como: permite establecer una relación entre entradas y salidas inspiradas en el sistema nervioso y diferenciándose de la computación tradicional porque no utilizan algoritmos secuenciales. Funcionan de manera similar al cerebro humano, procesando la información en paralelo y teniendo la capacidad de aprender y generalizar situaciones no incluidas en procesos de entrenamiento (E. Serna, 2017).

2.2.7.1 Neurona Artificial

En las redes neuronales biológicas, la información se almacena en los puntos de contacto entre diferentes neuronas en el cerebro, conocidos como sinapsis. Dado que estos procesos cerebrales son muy eficientes, se ha intentado replicar la sinapsis en forma artificial, lo que ha llevado al desarrollo de la teoría de las RNA (Serna, 2017). Las neuronas tienen tres componentes principales, las cuales son denominadas dendritas, el cuerpo de la célula o soma y el axón (Larrañaga et al., 1997). El punto de conexión entre el axón de una célula y una dendrita (receptoras de la red) de otra célula se llama sinapsis (E. Serna, 2017).

Figura 3

Componentes de una neurona



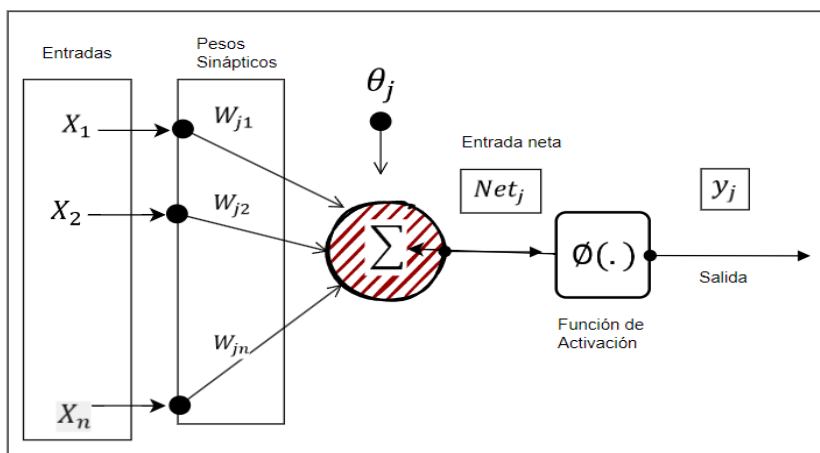
Nota: El grafico muestra los componentes de una neurona.

Las sinapsis son unidireccionales, es decir, la información fluye siempre en una sola dirección. Su naturaleza, ya sea excitadora o inhibitoria, influye en la importancia del input final que recibe el soma. Esta influencia se determina biológicamente mediante el aprendizaje (Flórez & Fernández, 2008).

Básicamente, se aplica un conjunto de entradas a la neurona, cada una representando la salida de otra neurona (Del Brío & Serrano, 1995). Cada entrada se multiplica por su "peso" o ponderación correspondiente, lo cual es análogo al grado de conexión de la sinapsis (Olabe, 1998).

Figura 4

Modelo de una neurona



Nota: La Figura 4 muestra el procesamiento de una neurona.

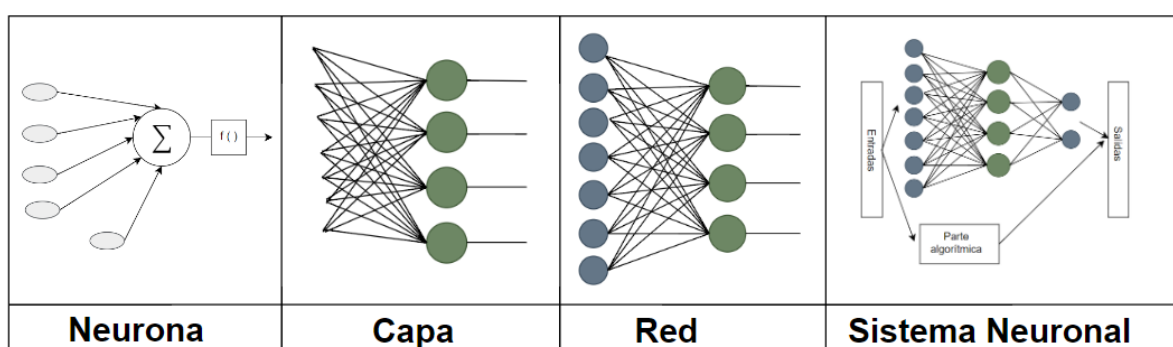
La actividad que una unidad de procesamiento o neurona artificial consiste en sumar los valores de las entradas (inputs) que recibe de otras unidades conectadas a ella, comparar esta cantidad con el valor umbral y, si lo iguala o supera, enviar activación o salida (output) a las unidades a las que esté conectada (Montaño, 2002). A una neurona artificial se le asigna un peso sináptico, un valor numérico puede cambiar durante la fase de entrenamiento, este peso hace que la red neural almacene información a partir de las entradas provenientes de otras neuronas, este procedimiento es similar al que ocurre en una neurona humana, conocido en medicina como sinapsis (E. Serna, 2017).

2.2.7.2 Arquitectura de las RNA

La arquitectura de una red neuronal se refiere a su la topología, estructura o patrón de conexionado de una red neuronal (Larranaga et al., 1997). Las RNA requieren entrenamiento previo, lo que implica presentar ejemplos en su capa de entrada para que la red se ajuste automáticamente según una regla de aprendizaje (Olabe, 1998a). La arquitectura de las RNA depende de cuatro parámetros principales: a) el número de capas del sistema; b) el número de neuronas por capa; c) el grado de conectividad entre las neuronas y d) el tipo de conexiones neuronales (Flórez & Fernández, 2008).

Figura 5

Procesamiento de una red neuronal



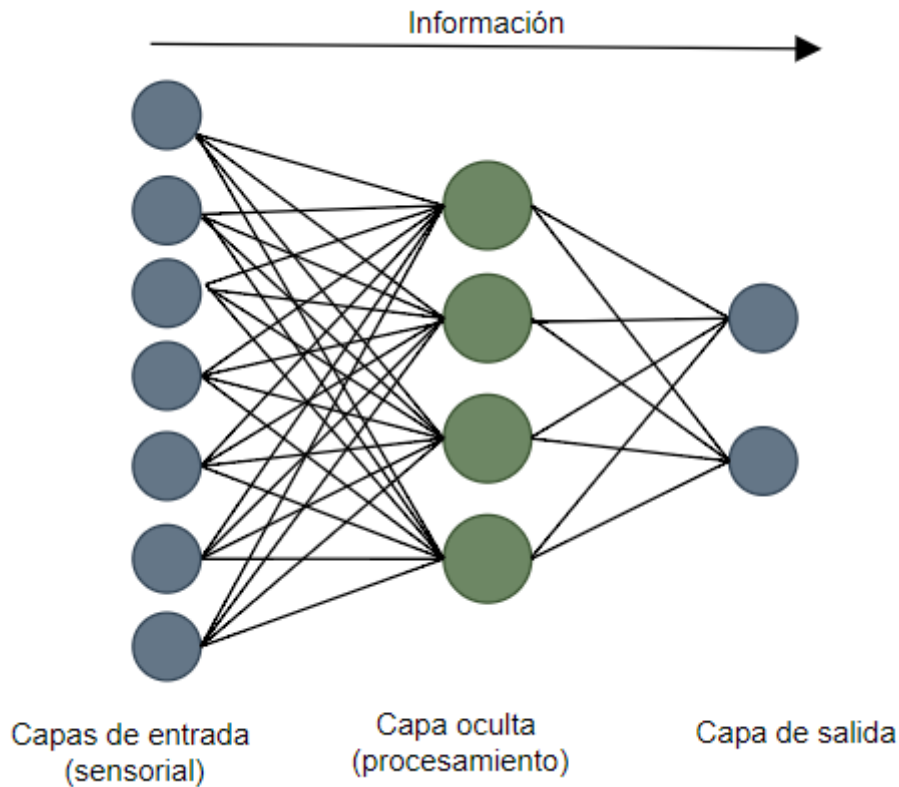
Nota: La figura 5 muestra el proceso de una red neuronal

Se componen de la siguiente manera: a) Capa de Entrada: Es quien recibe información del exterior; b) Capas ocultas: La cuáles están encargadas de realizar el trabajo de la red, es decir, transmiten señales fuera del sistema y c) Capa de Salida: Proporciona el

resultado del trabajo de la red al exterior y envía información hacia otras neuronas (Del Brío & Serrano, 1995).

Figura 6

Arquitectura unidireccional con tres capas de neurona



Nota: Arquitectura unidireccional con tres capas de neurona: una capa de entrada, una capa oculta y una capa de salida

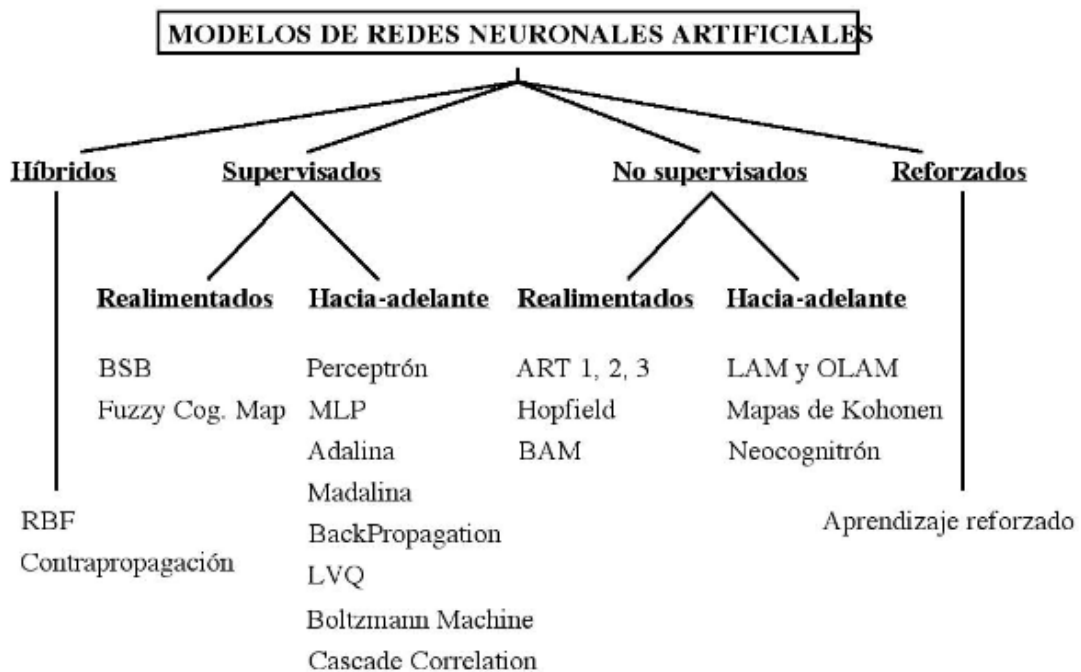
Una red neuronal está conformada por neuronas interconectadas y organizadas en tres capas, los datos entran a través de la “capa de entrada” (sensorial), que pasan a través de la “capa oculta” (procesamiento) y salen por la “capa de salida” (Supo, 2019). Cada neurona de la red actúa como una unidad de procesamiento de información que recibe información a través de las conexiones con las neuronas de la capa anterior (A. Serna et al., 2017).

2.2.7.2.1 Modos o dinámicos de operación: recuerdo y aprendizaje

Definidos los modelos de neurona y su patrón de conexionado, sobre la arquitectura resultante se definen dos dinámicas o modos de operación: el modo recuerdo o de ejecución, y el de aprendizaje o entrenamiento (Del Brío & Serrano, 1995).

Figura 7

Modelo de RNA



Nota: Extraído de (Del Brío & Serrano, 1995).

A) Modo de aprendizaje

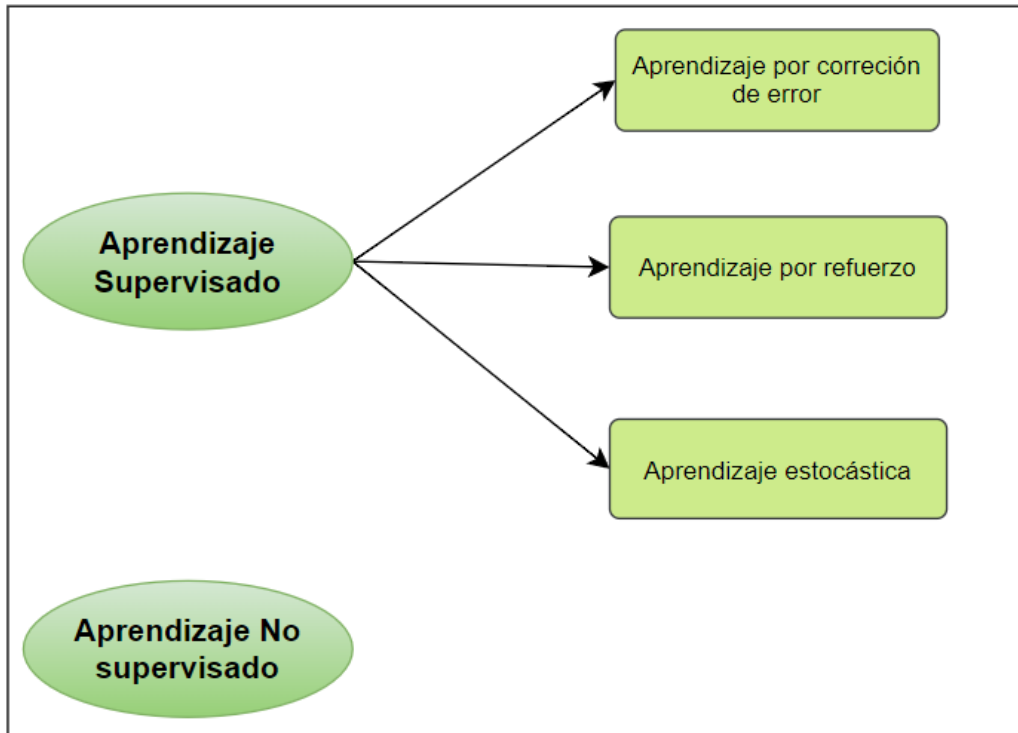
Existen dos tipos básicos de aprendizaje, el supervisado y el no supervisado:

- **Aprendizaje supervisado:** La red iterativamente ajusta sus pesos hasta que su salida tiende a ser la deseada, utilizando para ello información detallada del error que en cada paso comete (Del Brío & Serrano, 1995).

Tipos de aprendizaje de una RNA

Figura 8

Tipos de aprendizaje de una red neuronal



Nota: Se pueden tener tipos de aprendizaje supervisado y no supervisado y clasificados, siendo el aprendizaje supervisado el más utilizado dentro de las RNA. Extraído de (Acevedo et al., 2017)

- **Aprendizaje no supervisado o autoorganizado:** El sistema, por medio de la regla de aprendizaje definida, debe reconocer en ellos regularidades, extraer rasgos, estimar densidades de probabilidad o agruparlos según su similitud (Del Brío & Serrano, 1995).

Aunque la similitud es muy significativa se debe mencionar que las neuronas no necesitan ser programadas, sino que su aprendizaje se basa en función a estímulos muy diferente al procesamiento en serio típico de los computadores tradicionales (Goodin 2013).

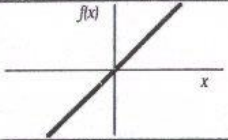
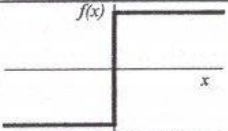
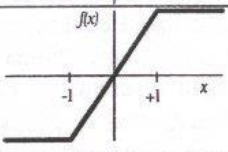
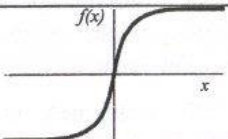
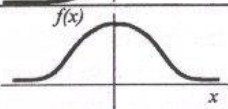
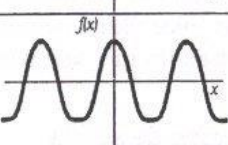
B) Modo recuerdo o de ejecución

Una vez el sistema ha sido entrenado, en la mayor parte de los modelos el aprendizaje se desconecta, los pesos y la estructura permanecen fijos, y la red neuronal queda dispuesta para procesar información, proporcionando una res-puesta ante un patrón o vector de entrada (Del Brío & Serrano, 1995).

En un modelo neuronal, la **Regla de Propagación** se debe disponer de una regla de propagación para combinar las salidas de cada neurona con las ponderaciones establecidas por el patrón de conexión, con eso se especifica la valoración de las entradas que recibe cada neurona (A. Serna et al., 2017).

Figura 9

Funciones de activación más utilizadas de RNA

	Función	Rango	Gráfica
Identidad	$y = x$	$[-\infty, +\infty]$	
Escalón	$y = \text{sign}(x)$ $y = H(x)$	$\{-1, +1\}$ $\{0, +1\}$	
Lineal a tramos	$y = \begin{cases} -1, & \text{si } x < -l \\ x, & \text{si } -l \leq x \leq +l \\ +1, & \text{si } x > +l \end{cases}$	$[-1, +1]$	
Sigmoidea	$y = \frac{1}{1+e^{-x}}$ $y = \text{tgh}(x)$	$[0, +1]$ $[-1, +1]$	
Gaussiana	$y = Ae^{-Bx^2}$	$[0, +1]$	
Sinusoidal	$y = A \text{sen}(\omega x + \varphi)$	$[-1, +1]$	

Las

Nota:

funciones de activación se escogen dependiendo del objetivo de entrenamiento de la red neuronal. Extraído de (Acevedo et al., 2017)

Con el valor obtenido con la regla de propagación, esta se filtra con de una función conocida como función de activación, a través de esta función se da la salida de la neurona (A. Serna et al., 2017).

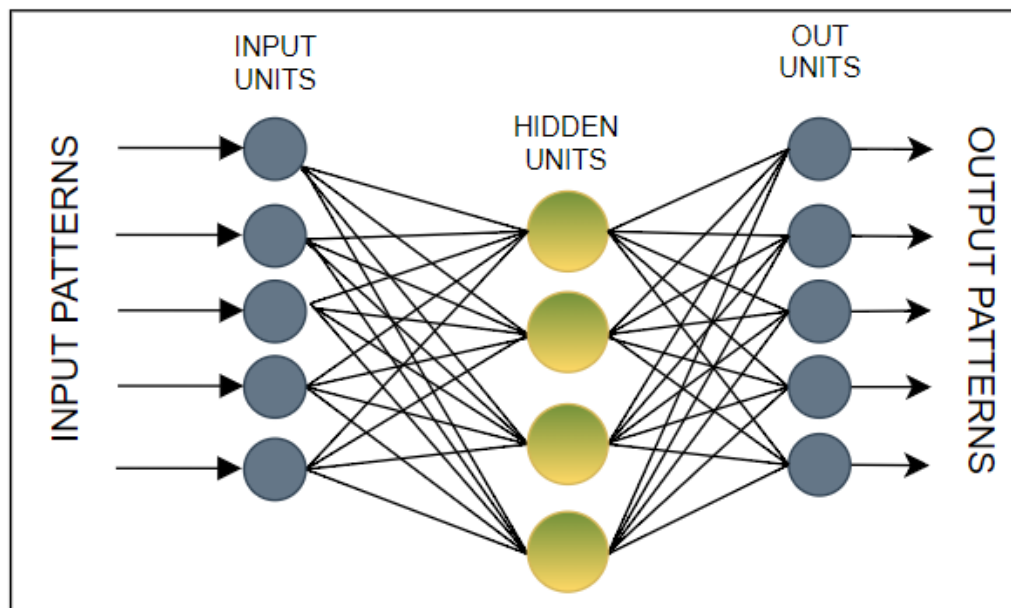
2.2.7.3 Modelo de RNA Back-propagation

La Backpropagation utiliza tres o más capas de unidades procesadoras. La Figura 10 muestra la topología backpropagation típica de tres capas como son: a) La capa inferior es la capa de entrada, y se caracteriza por ser la única capa cuyas unidades procesadoras reciben

entradas desde el exterior; sirven como puntos distribuidores, no realizan ninguna operación de cálculo; b) La siguiente capa superior es la capa oculta, y todas sus unidades procesadoras están interconectadas con la capa inferior y con la capa superior y c) la capa superior es la capa de salida que presenta la respuesta de la red (Olabe, 1998).

Figura 10

Red Backpropagation completamente interconectada



Nota: Extraído de (Olabe, 1998).

Algoritmo de entrenamiento

El algoritmo de aprendizaje backpropagation conlleva una fase de propagación hacia adelante y otra fase de propagación hacia atrás. Ambas fases se realizan por cada patrón presentado en la sesión de entrenamiento (Olabe, 1998).

A) Propagación hacia adelante

- Se inicia cuando se presenta un patrón en la capa de entrada de la red.
- Cada unidad de la entrada se corresponde con un elemento del vector patrón de entrada.
- Las unidades de entrada toman el valor de su correspondiente elemento del patrón de entrada y se calcula el valor de activación o nivel de salida de la primera capa.

- A continuación, las demás capas realizarán la fase de propagación hacia adelante que determina el nivel de activación de las otras capas.

La unidad procesadora j obtiene la cantidad S_j según la ecuación:

$$S_j = \sum_i a_i W_{ji}$$

Y genera la salida o nivel de activación según la ecuación:

$$Salida = f(S_j)$$

La función f es una función umbral genérica, entre las que cabe destacar la función Sigmoid y la función Hiperbólica.

El valor de la salida de la unidad j es enviado o transmitido a lo largo de todas las conexiones de salida de dicha unidad.

Conviene indicar que las unidades procesadoras de la capa de entrada no realizan ninguna operación de cálculo con sus entradas, ni operaciones con funciones umbrales, sólo asumen su salida como el valor del correspondiente elemento del vector de entrada.

Algunas redes backpropagation utilizan unidades llamadas bias como parte de cualquiera de las capas ocultas y de la capa de salida. Estas unidades presentan constantemente un nivel de activación de valor 1 (Del Brío & Serrano, 1995). Además, esta unidad está conectada a todas las unidades de la capa inmediatamente superior y los pesos asociados a dichas conexiones son ajustables en el proceso de entrenamiento (E. Serna, 2017). La utilización de esta unidad tiene un doble objetivo, mejorar las propiedades de convergencia de la red y ofrecer un nuevo efecto umbral sobre la unidad que opera (Pino et al., 2001).

B) Propagación hacia atrás

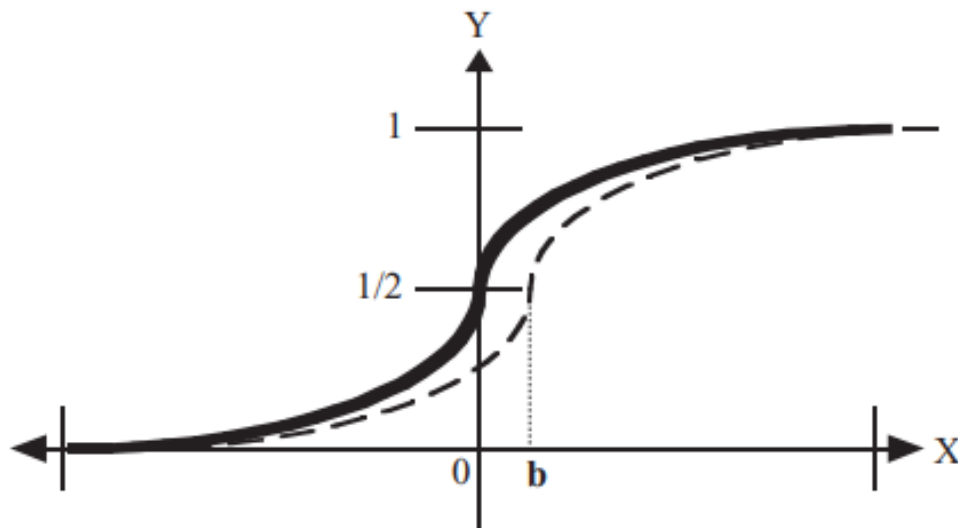
Una vez completado la fase de propagación hacia adelante se inicia la fase de corrección o fase de propagación hacia atrás (Chuquival et al., 2011). Los cálculos de las modificaciones de todos los pesos de las conexiones empiezan por la capa de salida y continua hacia atrás a través de todas las capas de la red hasta la capa de entrada (Ponce, 2010). Dentro de los tipos de ajuste de pesos se puede clasificar dos grupos, ajuste de unidades procesadoras de la capa de salida y ajuste de unidades procesadoras de las capas ocultas (Olabe, 1998).

2.2.7.3.1 Función sigmoideal

Con la función sigmoideal el valor dado por la función es cercano a uno de los valores asintóticos. Esto hace que, en la mayoría de los casos, el valor de salida esté comprendido en la zona alta o baja del sigmoide. De hecho, cuando la pendiente es elevada, esta función tiende a la función escalón. Sin embargo, la importancia de la función sigmoideal es que su derivada siempre es positiva y cercana a cero para los valores grandes positivos o negativos; además, toma su valor máximo cuando $x = 0$. Esto hace que se puedan utilizar reglas de aprendizaje definidas para las funciones escalón, con la ventaja, respecto a esta función, de que la derivada está definida en todo el intervalo (Ponce Cruz, 2011).

Figura 11

Función sigmoideal



Nota: Análisis de la función de activación sigmoideal.

Fuente: (Ponce Cruz, 2011)

2.2.7.3.2 Algoritmo de Levenberg-Marquardt

El algoritmo Levenberg-Marquardt se aplica principalmente a redes neuronales multicapa con un número grande de patrones ya que tiene la velocidad de convergencia del Error Cuadrado Medio (MSE, por sus siglas en inglés) más rápida hasta ahora, en problemas de aproximación de funciones a pesar de que su complejidad en cálculos es mayor, superando al Retropropagación (backpropagation) (Serna, E, 2019). Es una técnica que utiliza la llamada matriz Hessiana para mejorar la red en donde las entradas de esta matriz son las derivadas cuadráticas de la función de error con respecto a los pesos (Rodríguez et

al., 2011). Usa la metodología del algoritmo Retropropagación empleando los conceptos de la regla delta generalizada (generalized delta rule), la tasa de aprendizaje (learning rate), y el modo por lotes (batch mode), sólo que el gradiente se calcula mediante la matriz Jacobiana de los errores de las neuronas de salida (Serna, E, 2019).

2.2.7.4 Software MATLAB®

Es un entorno de computación y desarrollo de aplicaciones totalmente integrado orientado para llevar a cabo proyectos en donde se encuentren implicados elevados cálculos matemáticos y la visualización gráfica de los mismos (Plata Cheje, 2008).

2.2.7.4.1 El Lenguaje de Computación Técnica MATLAB®

Es un ambiente de computación técnica integrada que combina computación numérica, gráficos y visualización avanzada y un lenguaje de programación de alto nivel (Plata Cheje, 2008).

2.2.7.4.2 Características de MATLAB®

- Cálculos intensivos desde un punto de vista numérico.
- Gráficos y visualización avanzada.
- Lenguaje de alto nivel basado en vectores, arrays y matrices.
- Colección muy útil de funciones de aplicación.

2.2.7.4.3 RNA CON MATLAB® (versión R2021a, MathWorks Inc., Natick, MA, USA).

Utiliza una estructura única que nos dará acceso a todas las propiedades de la red neuronal, independientemente del tipo que esta sea, de manera que utilizando esta propiedad podremos modificar las entradas, capas, conexiones, pesos, etc (Aldama, 2018). De esta manera una vez configurada la red neuronal según nuestras necesidades invocaremos las funciones de manipulación de RNA disponibles en **MATLAB®** (versión R2021a, MathWorks Inc., Natick, MA, USA), (simulación, entrenamiento, inicialización, etc.), pasándole como parámetro la estructura de la red neuronal (Plata Cheje, 2008).

Net = network;

Si ejecutamos el comando anterior y visualizamos el contenido de la variable myNetwork se nos vitalizará la estructura mencionada, la cual se puede dividir en cinco secciones:

- a) **Arquitectura:** Define las características básicas de la red neuronal, número de entradas, capas, conexiones de bias, etc.
- b) **Subobjetos:** Contiene referencias a las subestructuras de la red neuronal, que nos permitirán configurar las propiedades de los distintos componentes que forman la red (capas, entradas, salidas, etc.).
- c) **Funciones:** Funciones principales de la red neuronal, utilizadas para ejecutar las operaciones de inicialización, entrenamiento o simulación.
- d) **Parámetros:** Configuración de los parámetros asociados a las funciones seleccionadas en el bloque de funciones.
- e) **Valores:** Aquí se definen las matrices con los valores de los pesos de entrada, conexiones entre capas y vías.

2.2.7.5 Error relativo

Es el cociente entre el error absoluto y el valor que consideramos como exacto (la media). Al igual que el error absoluto puede ser positivo o negativo porque puede se puede producir por exceso o por defecto y al contrario que él no viene acompañado de unidades (Rodríguez, 2020).

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_a}{\bar{X}}$$

De igual forma, se puede multiplicar por 100 obteniéndose así el tanto por ciento (%) de error.

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_a}{\bar{X}} * 100\%$$

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

3. Metodología

3.1 Tipo de Investigación.

Esta investigación es descriptiva, porque permitió predicciones rudimentarias, la clasificación de elementos y estructuras y analizó modelos de comportamiento, al establecer el error en el cálculo de carga admisible de la Lumbar L5/S1 aplicando RNA. Además, al ejecutar la RNA en el software MATLAB® (versión R2021a, MathWorks Inc., Natick, MA, USA) se realiza una investigación experimental ya que se realizó la manipulación de la variable Layer Size para el entrenamiento de la red, en la cual se analizó las tendencias y generó escenarios futuros para la toma de decisiones con el posible uso de nuevos métodos para cálculos biomecánicos.

3.2 Diseño de Investigación

Para el desarrollo de la investigación se seleccionó el diseño no experimental del tipo cuasiexperimental, ya que los grupos de trabajo no se manipularán y quedarán intactos, con esto se busca desarrollar una matriz de entrada con los elementos determinantes de una evaluación biomecánica de un puesto de trabajo para formar una RNA programada a través del software MATLAB® (versión R2021a, MathWorks Inc., Natick, MA, USA) y comprobar la factibilidad de su aplicación.

3.3 Técnicas de recolección de Datos

3.3.1 Hoja de recolección de datos

Se utilizó una hoja del método BioMEC para levantar la información correspondiente a los parámetros biomecánicos del puesto de trabajo analizado. Se desarrolló una matriz en Excel para recopilar datos de las RNA con los parámetros de entrada y salida que se requiere para analizar con el software MATLAB® (versión R2021a, MathWorks Inc., Natick, MA, USA). Para obtener esta información se utilizó la observación de campo ya que se acudió a las instalaciones del Camal Municipal del Cantón Pelileo.

3.3.2 Entrevista

Se realizo entrevistas a cada uno de los trabajadores del puesto de noqueo obteniendo como resultado la información personal como la edad, altura, peso, jornada laboral, posturas realizadas en el proceso, etc.

3.4 Población de estudio y tamaño de muestra

La población de estudio está constituida por los 30 estudios biomecánicos, es decir que se trabajó con 30 trabajadores expertos en la operación de noqueo. No existe muestra porque se trabajó con toda la población.

3.5 Hipótesis

El método biomecánico que emplea RNA para determinar la carga admisible para Lumbar L5/S1 es más eficiente en términos de tiempo en comparación con el método tradicional.

3.6 Métodos de análisis, y procesamiento de datos.

Tabla 1

Operacionalización de la Variable de la RNA

Variabl e	Conceptualizaci ón	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e Instrument os
RNA	Una red neuronal artificial es un esquema de computación capaz de encontrar un modelo que ajuste los datos.	a) Características de la RNA b) Modelo de RN c) Validación de la RNA	d) Número de características cuantitativas y cualitativas e) Número de modelo f) % error	Hoja de recolección de datos

Tabla 2

Operacionalización de la Variable de la carga admisible en BioMEC.

Variable	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e Instrumentos
Cálculo de la Carga admisible en Biomecánica	Para su aplicación requiere de datos propios del trabajador que ocupa el puesto de trabajo como: a) género, b) tipo de soporte de la carga, c) Peso del trabajador, d) estatura del trabajador, e) Tiempo de duración de la postura, f) repetitividad de la postura, g) Ángulos entre segmentos, h) coeficiente de rozamiento calzado/suelo, h) percentil de protección	a) Datos personales del trabajador. b) Ángulo de cada articulación de la postura del trabajador c) Porcentaje de carga admisible de cada articulación.	a) Características cualitativas y cuantitativas de cada trabajador. b) Posturas de cada trabajador al ejecutar la tarea. c) Porcentaje de carga admisible de Lumbar L5/S1	Software Ergonautas

La presente investigación se ejecutó de la siguiente manera:

- a) Mediante la observación directa se logró levantar información sobre como el trabajador ejecuta la operación en el puesto de noqueo del Camal Municipal del Cantón Pelileo.
- b) Se recopiló información sobre: datos del trabajador; tiempo que ocupa en la jornada; duración de la jornada; fotografía sobre postura que adopta el trabajador en el puesto; carga que maneja, en el puesto de los operarios de noqueo

c) Se realizaron 30 estudios biomecánicos para conocer la carga estática postural recomendada con la información recopilada, la misma que fue realizada en el software Ergonautas.

d) La información obtenida se colocó en una matriz donde las filas están representadas con variables codificadas representadas en letras mayúsculas incluyendo la variable de salida y en las columnas los 30 datos biomecánicos recolectados del software Ergonautas.

e) Para la determinación de las variables de entrada y la variable de salida se realiza una matriz de ingreso de datos en el software MATLAB® (versión R2021a, MathWorks Inc., Natick, MA, USA), para ello se requiere separar los datos de entrada, considerando los parámetros del método BioMEC en las filas de la matriz, los cuales se codificaron de la siguiente manera: (A) Duración de la jornada, (B) género, (C) edad, (D) soporte de la carga es realizada con dos manos, (E) peso del trabajador, (F) estatura del trabajador, (G) tiempo que adopta el trabajador es menos de una hora, (H) la postura analizada se repite más de una vez cada cinco minutos, (I) coeficiente de rozamiento, (J) porcentaje de la población protegida, (K) presión atmosférica, (L) humedad relativa, (M) temperatura seca del aire, (N) temperatura de globo, (Ñ) temperatura húmeda, (O) peso de la carga, (P) ángulo Codo α_e , (Q) ángulo hombro α_s , (R) ángulo Lumbar L5/S1 α_t , (S) ángulo cadera α_h , (T) ángulo rodilla α_k , (U) ángulo tobillo α_a , (V) ángulo muñeca α_f , (W) porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en el codo, (X) porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en el hombro, (Y) porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en la cadera, (Z) porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en la rodilla, (AA) porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en el tobillo, (BB) carga máxima recomendada para codo, (CC) carga máxima recomendada para hombro, (DD) carga máxima recomendada para Lumbar L5/S1, (EE) carga máxima recomendada para cadera, (FF) carga máxima recomendada para rodilla, (GG) carga máxima recomendada para tobillo, (HH) sobrecarga de codo, (II) sobrecarga de hombro, (JJ) sobrecarga de Lumbar L5/S1, (KK) sobrecarga de cadera, (LL) sobrecarga de rodilla, (MM) sobrecarga de tobillo y el dato de salida: (ZZ) porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en la Lumbar L5/S1 y en las columnas se ubican los 30 casos de estudio biomecánicos realizados.

f) Para estimar el valor de la salida (ZZ) se diseñó un modelo de RNA con algoritmo de RP. Los valores de entrada fueron tomados de los resultados obtenidos en el software Biom-mec.

g) Entrenamiento de la RNA con algoritmo de RP

h) Para conocer la eficacia del modelo utilizado se aplicó la prueba T-student de muestras independientes utilizando la herramienta SPSS, para comparar los valores estimados de la RNA con los valores reales.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de RNA en el análisis biomecánico se muestra una oportunidad para resolver problemas en menor tiempo. El propósito de este trabajo es determinar el uso de RNA para calcular el error de resultado en las cargas máximas admisibles para Lumbar L5/S1 y comparar con los resultados del software BIO-MEC.

4. Cálculos de la tensión y los momentos generados en cada articulación

4.1 Etapa1. Características cualitativas y cuantitativas necesarias para formar la red neuronal y estimar la carga máxima para Lumbar L5/S1 en el puesto de noqueo.

Una vez realizada las entrevistas respectivas se procedió a ingresar toda la información obtenida del Camal Municipal de Pelileo al software Ergonautas utilizando la herramienta BioMEC. Para obtener los datos de entrada se ingresó la información del trabajador como: a) Nombre del trabajador; b) Sexo; c) Edad; d) Antigüedad en el puesto; e) Tiempo que ocupa el puesto por jornada y f) la duración de su jornada laboral.

Figura 12

Datos del trabajador



The image shows a screenshot of a software interface titled "Datos del trabajador que ocupa el puesto". The interface contains several input fields for worker information:

Datos del trabajador que ocupa el puesto	
Nombre del trabajador	Javier Rivera
Sexo	<input checked="" type="radio"/> Hombre <input type="radio"/> Mujer
Edad	45
Antigüedad en el puesto	4 años
Tiempo que ocupa el puesto por jornada	8 horas
Duración de su jornada laboral	8 horas

En la Figura 12 se procede a llenar el soporte de la carga, la cual es realizada con dos manos, el peso del trabajador, la estatura de cada trabajador, el tiempo que el trabajador adopta la postura es menor a una hora, la postura analizada se repite cíclicamente más de una vez cada 5 minutos y como constante se mantiene el peso de la herramienta neumática (14.5 kg) y el coeficiente de rozamiento (0.5) en los 30 estudios biomecánicos.

Figura 13

Datos de la evaluación

Se procede a replicar la postura de cada trabajador del puesto de noqueo como se muestra en la Figura 13 para obtener los ángulos de inclinación. Luego automáticamente se generará el porcentaje admisible de carga de cada articulación.

Figura 14

Definición de la postura del trabajador del puesto de noqueo

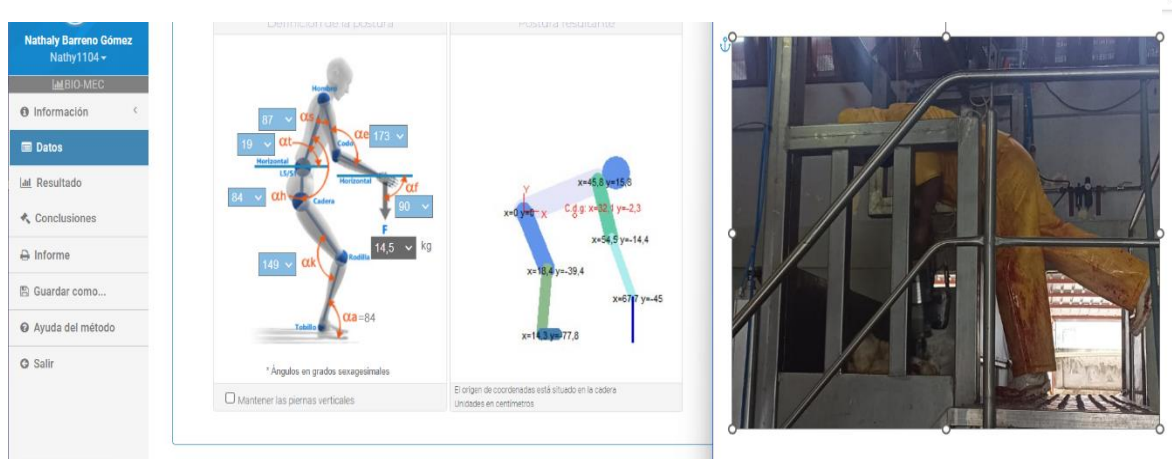
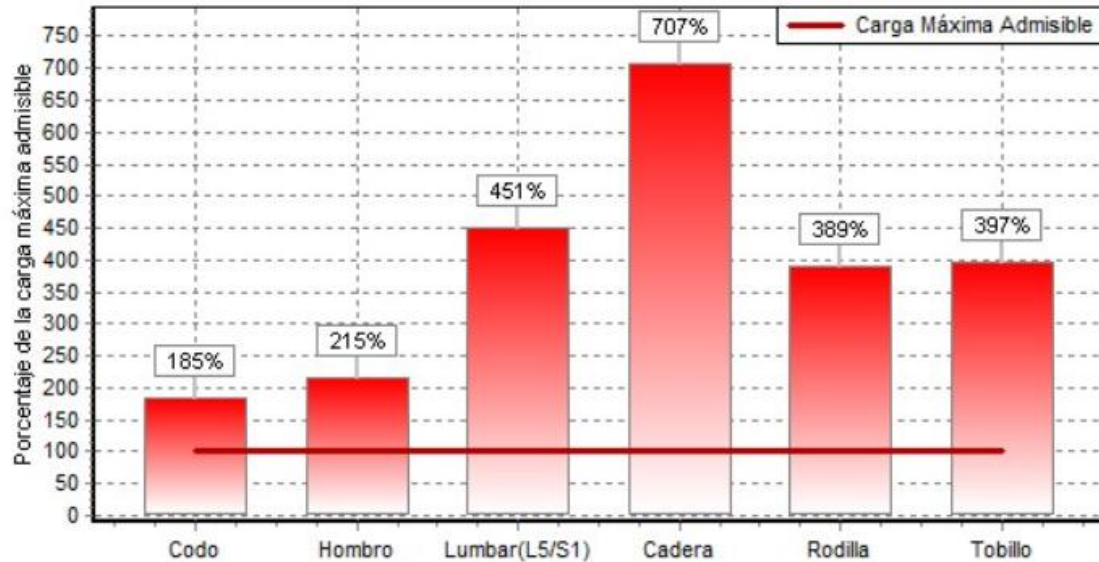


Figura 15

Porcentaje de la carga máxima soportable de cada articulación



Nota: Tomado de Diego-Mas, Jose Antonio. Análisis biomecánico estático coplanar. Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. Disponible online: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/biomecanica/biomecanica-ayuda.php>

Se debe tomar en cuenta que en este procedimiento esta realizado para 1 trabajador, por lo tanto, para completar la población de los 30 estudios biomecánicos que se escogió, se realizó el mismo procedimiento con los 29 estudios restantes.

Por último, se registra todos los porcentajes de la carga máxima soportable de la Lumbar L5/S1 y el tiempo que llevo realizar cada uno de los 30 estudios biomecánicos como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Resultados del porcentaje de la carga máxima soportable de la Lumbar L5/S1 utilizando el método tradicional BioMEC.

#	VALOR REAL	TIEMPO
% de la carga máxima soportable en la articulación L5/S1		
1	537	334
2	585	332
3	600	334
4	477	331
5	591	334
6	684	335
7	677	336
8	617	330
9	585	332
10	462	334
11	718	333
12	586	332
13	562	334
14	627	336
15	720	335
16	643	336
17	664	336
18	503	332
19	548	331
20	473	330
21	573	332
22	572	333
23	539	330
24	550	331
25	506	332
26	754	334
27	643	335
28	643	336
29	627	335
30	718	333

Finalmente, se procedió a realizar una matriz con su respectivo código como se muestra en la Tabla 4, en la cual consten las variables encontradas en cada parámetro y todos los datos recopilados de los 30 estudios biomecánicos (Ver Anexo 4).

Tabla 4

Matriz de ingreso a MATLAB®

PARÁMETRO	VARIABLE	CÓDIGO	1	2	*30
Datos del puesto de trabajo	Duración de la jornada	A			
	Género	B			
	Edad	C			
	Soporte de la carga es con dos manos	D			
	Peso del trabajador	E			
	Estatura del trabajador	F			
	El tiempo que adopta el trabajador es menos de una hora	G			
	La postura analizada se repite más de una vez cada 5 minutos	I			
	Coeficiente de rozamiento	J			
	Porcentaje de la población protegida	K			
Condiciones higrométricas	Presión atmosférica	L			
	Humedad relativa	M			
	Temperatura seca del aire	N			
	Temperatura de globo	O			
	Temperatura húmeda	P			
Carga	Q				
Ángulo de ejecución de la tarea	Peso de la carga	R			
	Ángulo Codo α_e	S			
	Ángulo Hombro α_s	T			
	Ángulo Lumbar L5/S1 α_t	U			
	Ángulo Cadera α_h	V			
	Ángulo Rodilla α_k	W			
	Ángulo Tobillo α_a	X			
Resultados de carga máxima soportable	Ángulo muñeca α_f	Y			
	Porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en el codo	Z			
	Porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en el hombro	AA			
	Porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en la cadera	BB			
	Porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en la rodilla	CC			
	Porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en el tobillo	DD			
Cargas máximas recomendadas	Carga máxima recomendada para codo	EE			
	Carga máxima recomendada para hombro	FF			

		Carga máxima recomendada para Lumbar L5/S1	GG HH
		Carga máxima recomendada para cadera	II
		Carga máxima recomendada para rodilla	JJ
		Carga máxima recomendada para tobillo	
Sobrecargas articulación	por	Sobrecarga de codo	KK
		Sobrecarga de hombro	LL
		Sobrecarga de Lumbar L5/S1	MM
		Sobrecarga de cadera	NN
		Sobrecarga de rodilla	OO
		Sobrecarga de tobillo	PP
Salida		Porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en la Lumbar L5/S1	ZZ

Nota: En la Tabla 4 está constituida por 8 parámetros generales, cada parámetro con sus respectivas variables, las cuales que se tomaron en cuenta para el ingreso al software MATLAB®.

La Tabla 5 hace referencia a todos los datos tomados en campo (Camal Municipal del Cantón Pelileo) y los datos obtenidos por el software Ergonautas utilizando el método de Análisis Biomecánico (BioMEC).

Tabla 5

Matriz completada con los 30 estudios biomecánicos

Código	Carga Máxima Unidades	N° EVALUACIONES (%)																													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	Duración Horas	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
C	Edad Años	45	45	43	44	40	40	41	42	46	42	47	48	45	45	50	52	49	47	51	44	46	48	50	51	47	49	52	53	45	47
E	Peso del Kg	70	74	74	69	68	68	71	67	73	73	76	78	80	75	73	75	74	65	78	65	77	76	79	80	68	72	76	70	74	78

F	Estatura Metros	I	Coficien	J	Porcentaj %	K	Presión Hpa	L	Humedad %	M	Temperat °C	N	Temperat °C
	1.68	0.5	90	1027	80	19.4	16.5	1.71	0.5	90	1023	84	17.18
	1.71	0.5	90	1025	81	19.7	17	1.73	0.5	90	1021	87	16.05
	1.74	0.5	90	1030	84	20.7	16	1.65	0.5	90	20.7	83	16.15
	1.65	0.5	90	1031	83	20.4	15	1.63	0.5	90	20.4	81	16.5
	1.73	0.5	90	1025	81	20.1	16.5	1.73	0.5	90	20.1	85	16.5
	1.69	0.5	90	1026	83	20	17	1.69	0.5	90	20	87	17.17
	1.73	0.5	90	1023	81	19.5	17.6	1.73	0.5	90	19.5	84	17.6
	1.75	0.5	90	1022	84	19.4	18	1.75	0.5	90	19.4	87	17.5
	1.68	0.5	90	1025	81	20.5	16.5	1.68	0.5	90	20.5	81	16.5
	1.66	0.5	90	1028	89	20.9	16	1.66	0.5	90	20.9	89	16.16
	1.7	0.5	90	1030	88	20.4	16	1.7	0.5	90	20.4	88	16.16
	1.71	0.5	90	1021	85	20.7	17.5	1.71	0.5	90	20.7	85	17.5
	1.7	0.5	90	1028	88	20	16.5	1.7	0.5	90	20	88	16.5
	1.69	0.5	90	1020	81	20.1	15.65	1.69	0.5	90	20.1	81	15.65
	1.67	0.5	90	1024	84	19.3	16.5	1.67	0.5	90	19.3	84	16.5
	1.68	0.5	90	1023	80	20.1	17.5	1.68	0.5	90	20.1	80	17.5
	1.68	0.5	90	1027	84	20.3	18.5	1.68	0.5	90	20.3	84	18.5
	1.71	0.5	90	1030	82	20.1	16.5	1.71	0.5	90	20.1	82	16.5
	1.64	0.5	90	1031	88	20.3	17.5	1.64	0.5	90	20.3	88	17.5
	1.73	0.5	90	1028	86	19.8	16.9	1.73	0.5	90	19.8	86	16.9
	1.7	0.5	90	1029	84	20.2	16.5	1.7	0.5	90	20.2	84	16.5
	1.64	0.5	90	1028	87	20.2	16.42	1.64	0.5	90	20.2	87	16.42
	1.66	0.5	90	1025	88	20.4	16.25	1.66	0.5	90	20.4	88	16.25
	1.65	0.5	90	1026	85	20.21	17.3	1.65	0.5	90	20.21	85	17.3
	1.75	0.5	90	1025	84	20.8	16.5	1.75	0.5	90	20.8	84	16.5
	1.73	0.5	90	1021	83	20.3	17.6	1.73	0.5	90	20.3	83	17.6
	1.7	0.5	90	1031	82	20.7	16.84	1.7	0.5	90	20.7	82	16.84
	1.72	0.5	90	1030	81	21.1	17.21	1.72	0.5	90	21.1	81	17.21

N	Temperat °C	O	Peso de la Kg	P	Ángulo	Q	Ángulo	R	Ángulo	S	Ángulo	T	Ángulo																	
9	10	9.5	10.2	10.5	10.7	9.2	9.4	9.7	9.5	10.1	9.2	9.5	10.2	9.8	10	10.2	10.4	10.6	10.5	10.7	10.2	10.1	9.8	9.7	9.6	10.5	10.4	10.6	10.8	
14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	
170	173	180	161	157	180	179	150	165	163	151	148	152	154	163	168	163	164	172	175	172	164	171	171	174	164	161	168	168	154	151
64	64	64	53	60	78	76	55	75	72	53	50	48	54	64	67	60	57	60	65	66	53	56	60	57	59	67	67	54	53	
48	40	49	46	46	42	40	40	45	43	48	51	47	49	43	55	54	51	55	48	51	45	49	53	51	55	55	55	49	48	
118	118	127	126	121	118	119	123	122	124	127	125	125	120	122	127	132	129	134	119	126	124	125	133	129	133	127	127	120	127	
162	160	163	170	168	166	166	166	163	170	171	154	151	150	156	150	156	165	170	164	165	164	170	165	156	150	150	150	150	171	

U	Ángulo	92	81	85	90	88	90	87	93	92	84	92	80	73	79	88	78	78	87	91	90	89	86	88	91	87	79	78	78	79	92
V	Ángulo	90	90	90	90	90	90	90	85	88	89	90	87	94	76	80	94	82	93	86	94	86	89	94	86	93	83	94	94	76	90
W	Porcentaj %	22 1	15 3	17 3	18 1	24 5	23 1	20 2	19 8	20 0	17 7	26 4	24 3	23 4	16 8	16 8	31 5	25 3	24 3	20 3	22 5	21 8	16 0	19 6	20 3	24 3	25 5	31 5	31 5	16 8	26 4
X	Porcentaj %	27 1	17 8	23 3	17 9	27 0	31 1	26 8	20 8	30 6	30 5	27 1	26 8	18 9	26 8	26 0	38 3	33 0	25 7	28 7	25 3	30 8	16 4	19 7	28 7	25 7	34 0	38 3	38 3	26 8	27 1
Y	Porcentaj %	72 3	89 3	75 5	60 8	74 2	97 1	98 6	83 7	60 4	76 5	92 4	73 3	76 7	81 1	97 3	76 5	74 5	59 8	59 3	62 8	68 2	78 7	72 0	59 3	59 6	74 8	76 5	76 5	81 1	92 4
Z	Porcentaj %	35 4	56 7	48 6	43 3	54 8	59 0	68 1	60 7	58 2	48 3	54 5	40 4	48 1	34 4	56 9	46 7	49 3	43 9	39 5	36 3	41 1	49 1	40 9	39 5	44 0	49 6	46 7	46 7	34 4	54 5
A A	Porcentaj %	34 9	82 5	66 9	51 0	68 9	66 7	91 3	65 9	66 7	65 0	59 4	59 0	69 6	41 9	63 7	71 4	70 2	55 6	41 3	40 2	43 6	68 2	52 1	41 3	55 7	70 9	71 4	71 4	41 9	59 4

B B	Carga Kg	6.5 5	9.4 8	8.3 8	8.0 2	5.9 1	6.2 9	7.1 7	7.3 3	53 0	8.5 6	5.4 9	5.9 6	6.2	8.6 2	8.6 4	4.6	5.7 4	5.9 8	7.1 5	6.4 3	6.6 6	9.0 3	7.4	7.1 5	5.9 9	5.7 8	4.6	4.6	8.6 2	5.4 9
C C	Carga Kg	5.3 5	8.1 5	6.2 3	8.0 8	5.3 6	4.6 7	5.4 1	6.9 9	5.0 4	6.4	5.3 5	5.4 1	7.6 6	5.4 2	5.5 7	3.7 9	4.3 9	5.6 3	5.0 6	5.7 3	4.7	8.8 2	7.3 7	5.0 6	5.6 4	4.5 5	3.7 9	3.7 9	5.4 2	5.3 5
D D	Carga Kg	2.7	2.4 8	2.4 2	3.0 4	2.4 5	2.1 2	2.1 4	2.3 5	3.1	3.5 6	2.0 2	2.4 7	2.5 8	2.3 1	2.0 1	2.2 5	2.1 8	2.8 8	2.6 5	3.0 6	2.5 3	2.5 4	2.6 9	2.6 1	2.8 9	2.4 5	2.2 5	2.2 5	2.3 1	2.0 2
E E	Carga Kg	2.0 1	1.6 2	1.9 2	2.3 8	1.9 5	1.4 9	1.4 7	1.7 3	1.8 3	2.2 2	1.5 7	1.9 8	1.8 9	1.7 9	1.4 9	1.8 9	1.9 5	2.4 3	2.4 4	2.3 1	2.1 3	1.8 4	2.0 1	2.4 4	2.4 4	2.1	1.8 9	1.8 9	1.7 9	1.5 7
F F	Carga Kg	4.0 9	2.4 5	2.9 9	3.3 5	2.6 5	2.4 6	2.1 3	2.3 9	2.5 1	2.4 8	2.6 6	3.5 9	3.0 1	4.2 1	2.5 5	3.1 1	2.9 4	3.3	3.6 8	3.9 9	3.5 3	2.9 6	3.5 4	3.6 8	3.4	3.4 8	3.1 1	3.1 1	4.2 1	2.6 6
G G	Carga Kg	4.1 5	1.4 6	2.1 7	2.8 4	2.1	2.1 8	1.5 9	2.2	2.7 3	2.5 4	2.4 4	2.4 6	2.0 8	3.4 6	2.2 8	2.0 3	2.0 6	2.6 1	3.5 1	3.6	3.3 3	2.1 3	2.7 8	3.5 1	2.6 2	2.2 5	2.0 3	2.0 3	3.4 6	2.4 4
H H	Sobrecarg Kg	7.9 5	5.0 2	6.1 2	6.4 8	8.5 9	8.2 1	7.3 3	7.1 7	6.3	6.2 4	9.0 1	8.5 4	8.3	5.8 8	5.8 6	9.9	8.7 6	8.5 2	7.3 5	8.0 7	7.8 4	5.4 7	7.1	7.3 5	8.5 3	8.7 6	9.9	9.9	5.8 8	9.0 1

II	Sobrecarg	Kg	9.1 5	6.3 5	8.2 7	6.4 2	9.1 4	9.8 3	9.0 9	7.5 1	8.5 7	8.3 7	9.1 5	9.0 9	6.8 4	9.0 8	8.9 3	10. 71	10. 11	8.8 7	9.4 4	8.7 7	9.8	5.6 8	7.1 3	9.4 6	8.8 8	10. 45	10. 71	10. 71	9.0 8	9.1 5
JJ	Sobrecarg	Kg	11. 8	12. 02	12. 08	11. 46	12. 05	12. 38	12. 36	12. 15	12. 02	11. 49	12. 48	12. 03	11. 92	12. 19	12. 49	12. 25	12. 32	11. 62	11. 85	11. 44	11. 97	11. 96	11. 81	11. 85	11. 63	12. 34	12. 25	12. 25	12. 19	12. 48
K K	Sobrecarg	Kg	12. 49	12. 88	12. 58	12. 12	12. 55	13. 01	13. 03	12. 77	12. 48	12. 76	12. 93	12. 52	12. 61	12. 71	13. 01	12. 61	12. 55	12. 07	12. 06	12. 19	12. 37	12. 66	12. 49	12. 04	12. 08	12. 66	12. 61	12. 61	12. 71	12. 93
L L	Sobrecarg	Kg	10. 41	12. 05	11. 51	11. 15	11. 85	12. 04	12. 37	12. 11	12. 25	11. 74	11. 84	10. 91	11. 49	10. 29	11. 95	11. 39	11. 56	11. 2	10. 82	10. 51	10. 97	11. 54	10. 96	10. 76	12. 49	11. 78	11. 39	11. 39	10. 29	11. 84
M M	Sobrecarg	Kg	10. 35	13. 04	12. 33	11. 66	12. 4	12. 32	12. 91	12. 3	11. 45	12. 16	12. 06	12. 04	12. 42	11. 04	12. 22	12. 47	12. 44	11. 89	10. 99	10. 9	11. 17	12. 37	11. 72	10. 99	11. 9	12. 44	12. 47	12. 47	11. 04	12. 06
Z Z	Porcentaj	%	53 7	58 5	60 0	47 7	59 1	68 4	67 7	61 7	58 5	46 2	71 8	58 6	56 2	62 7	72 0	64 3	66 4	50 3	54 8	47 3	57 3	57 2	53 9	55 0	50 6	75 4	64 3	64 3	62 7	71 8

Nota: La Tabla 5 muestra una matriz donde las filas están representadas con variables codificadas representadas en letras mayúsculas incluyendo la variable de salida y en las columnas los 30 datos biomecánicos recolectados del software Ergonautas

4.2 Etapa 2. Modelo matemático basado en el Red Neuronal Artificial con retro propagación (RNA con RP) que estime el valor de la carga máxima admisible para Lumbar L5/S1 en el puesto de noqueo empleando el software MATLAB®.

Para estimar el valor de salida ZZ (porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en la Lumbar L5/S1) se realizó una RNA con un algoritmo de RP, los valores de entrada se tomaron del análisis biomecánico como son los datos del trabajador, condiciones higrométricas, ángulos de ejecución de la tarea, resultados de la carga máxima soportable, cargas máximas recomendadas y las sobrecargas por articulación. Luego se realizó la creación de las variables en Workspace, es decir las entradas y salidas que se recopilaron anteriormente, en este caso las entradas están definidas por 19 columnas y 30 filas (Ver Anexo 5), en cambio la salida solo es una de cada estudio biomecánico (Ver Anexo 6).

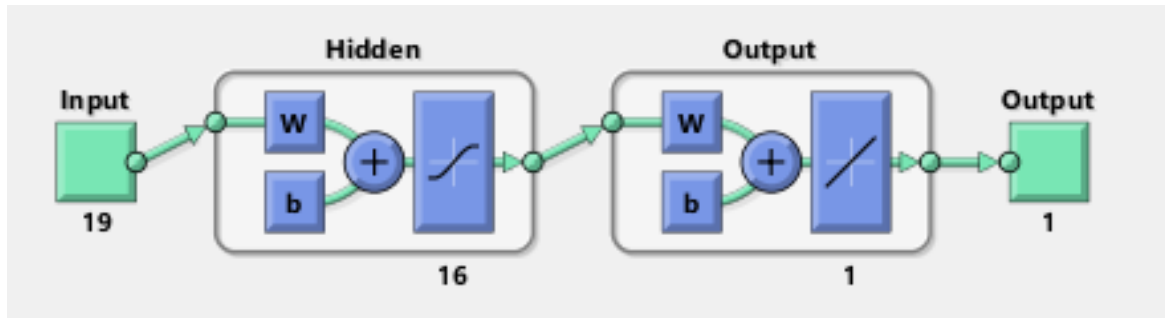
Una vez ingresadas las entradas y salidas, se escribe la línea de comandos la función *nstart*, el cual nos abrirá una pequeña pantalla en donde se eligió el punto de acceso (Fitting), porque se desea realizar una regresión casi lineal (Ver Anexo 7). El software nos arroja una representación de una RNA en el software MATLAB® (versión R2021a, MathWorks Inc., Natick, MA, USA). Para que la RNA se complemente con los datos ingresados se debe importar, mediante el ícono *Import*, luego se seleccionara la opción *Import Data from the network* para colocar las entradas (19x30) y salidas (1x30) como corresponde (Ver Anexo 8). Una vez realizado el procedimiento el software arrojará el diseño de la RNA Feed Forward Backpropagación actualizada.

Para realizar el proceso de Retropropagación de la RNA se utilizó el algoritmo de Levenberg-Marquardt para acelerar el proceso y diseñar el aprendizaje a través de segundas derivadas. Rápidamente se ajusta el peso para evitar cálculos matriciales.

En la figura 16 incluye el diseño de la RNA con RP para estimar la carga admisible para Lumbar L5/S1. Se aprecia cuatro capas, donde en la primera capa de entrada tiene 19 neuronas receptoras estáticas, en la segunda capa que es oculta dispone de 16 neuronas, la tercera capa es de suma y dispone una neurona dinámica, la capa de salida contiene la variable de respuesta.

Figura 16

Red Neuronal Artificial con retro propagación en MATLAB®.



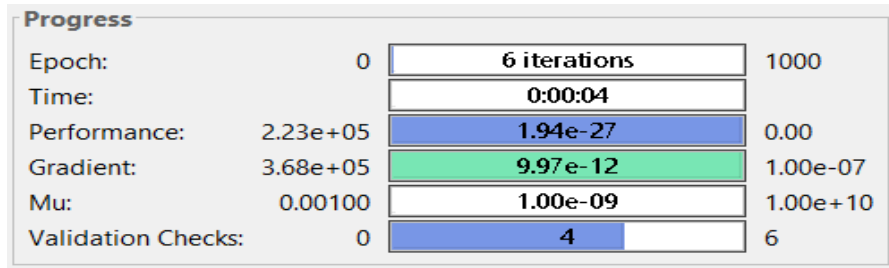
Nota: Descripción del diseño de la red utilizada para la estimación de error de la carga máxima admisible para Lumbar L5/S1.

Luego para empezar el entrenamiento se realiza varias pruebas a la red neuronal, la cual nos va a permitir obtener los mejores resultados hasta obtener un valor de error mínimo cercano a $1e^{-07}$ en cada intervalo de entrenamiento., en este caso la red neuronal que mejor resultados arrojaron es la que se colocó en el Layer Size de 16 y al hacer click en TRAIN el software nos arrojó automáticamente que el Stopped value de 6 como se muestra en la figura 17.

La figura 17 muestra el progreso del entrenamiento de la red dando a conocer las Épocas, las cuales significan las vueltas que hizo el algoritmo de retro propagación para entrenar a la red neuronal, es decir cuantas veces tuvo que estar colocando datos a la red neuronal para calcular los pesos, también muestra el tiempo que se demoró en entrenar la red, por otro lado se encuentra el Performance que está relacionado con el error, es decir entre más cercano este a 0 es mejor, el gradiente es como fue bajando el error, el Mu es un remanente del gradiente, es decir cuánto es el error, teniendo en cuenta que siempre debe ser cercano a cero y finalmente muestra que se validó con 6 pasadas, es decir que de las 6 pasadas que se hizo para que la red aprendiera se validó solo con 5 que es el 15% de todas las entradas.

Figura 17

Entrenamiento de la red

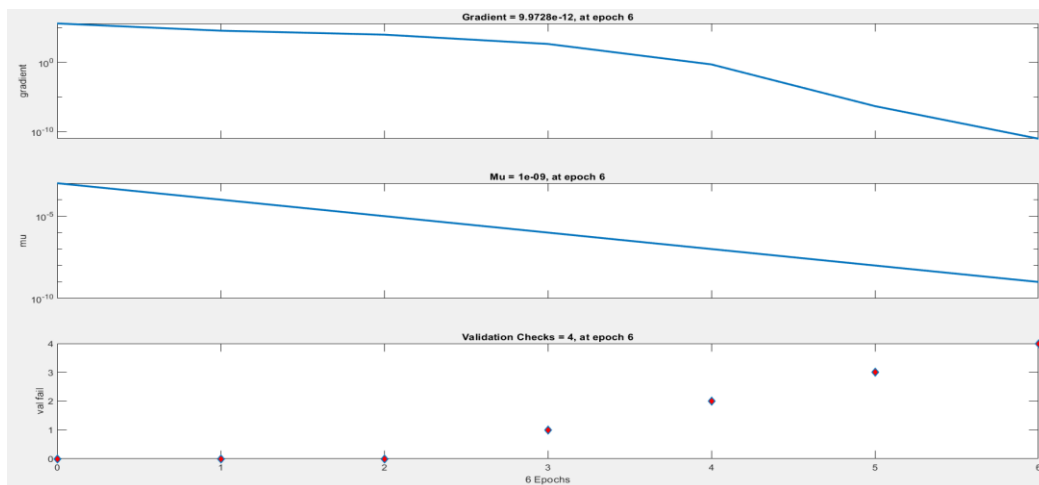


Nota: Resultados de la validación del entrenamiento de la RNA a través de la curva de entrenamiento y las épocas totales que la programación de la RNA con RP ejecuta para estimar la carga admisible para Lumbar L5/S1. A medida que aumenta el número de épocas, el gradiente de error tiende a cero, es decir que no existe mayor dispersión de datos.

En la figura 18 se observa el entrenamiento de la RNA que genera el MATLAB®, también se observa la captura de la curva de entrenamiento y el comportamiento casi lineal para los datos de análisis que la programación de la RNA con RP ejecuta para estimar la carga admisible para Lumbar L5/S1 que genera el software MATLAB®. Además, se observa la captura del resultado de las curvas de estimación del error. De color azul se observa el error, de color rojo se observa el remanente del gradiente y por último muestra la validación.

Figura 18

Resultado del entrenamiento y ajuste a la RNA con RP

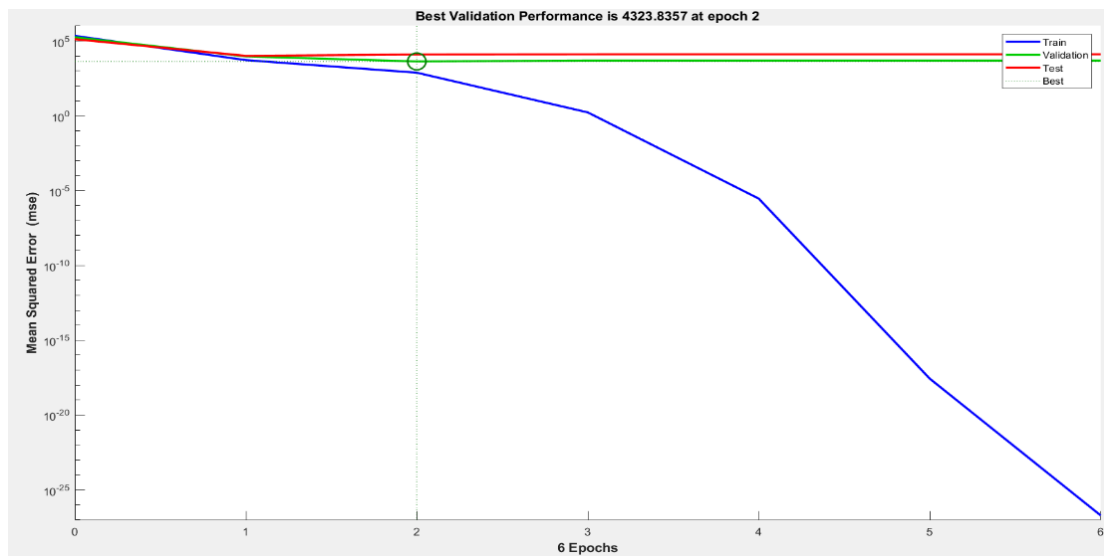


Nota: Entrenamiento 6 épocas, el gradiente de error tiende a 0.

En la figura 19 se muestra los resultados de la estimación del cálculo del error en la estimación de la carga admisible para Lumbar L5/S1 con los datos de 30 estudios biomecánicos, en el cual se obtuvo como mejor MSE en la iteración 2 con un valor de 4323.8357.

Figura 19

Resultado de validación del entrenamiento de la RNA

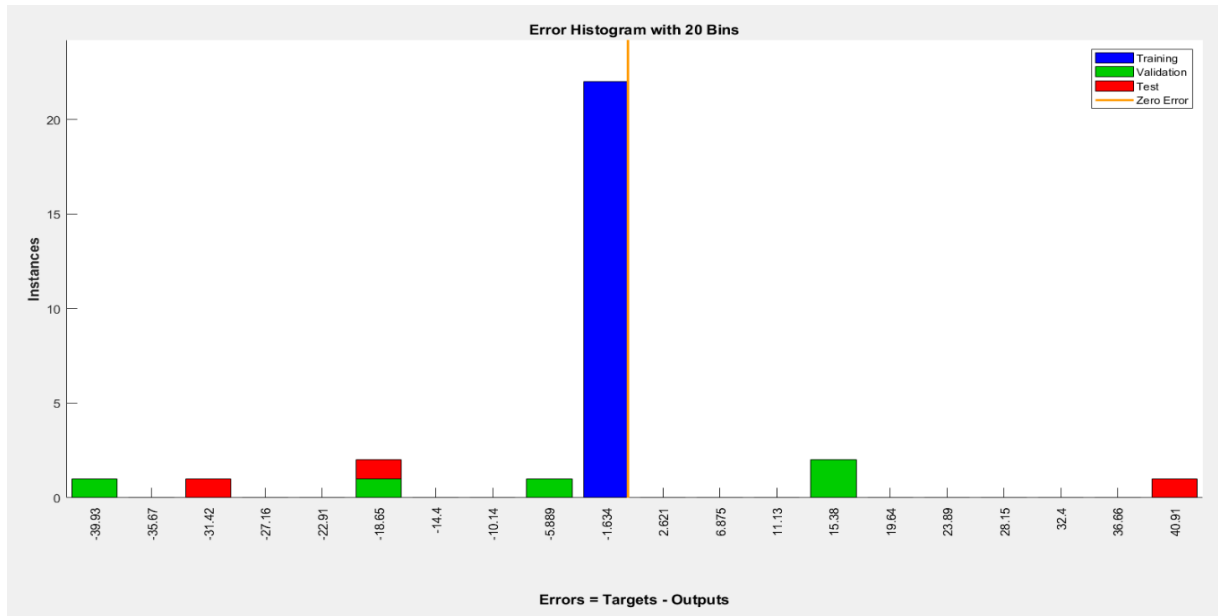


Nota: Se observan que la línea VALIDATION representada por el color verde y la línea TEST representada por el color rojo muestran valores de error cercanos a cero, es decir que no existe una gran dispersión de datos, por lo tanto, existe congruencia en los datos de entrenamiento, es decir que la RNA con RP estima de manera casi certera valores de la carga admisible para Lumbar L5/S1.

La figura 20 muestra el error de histograma con una magnitud de 20 bins.

Figura 20

Resultado de la estimación del error con la RNA con RP

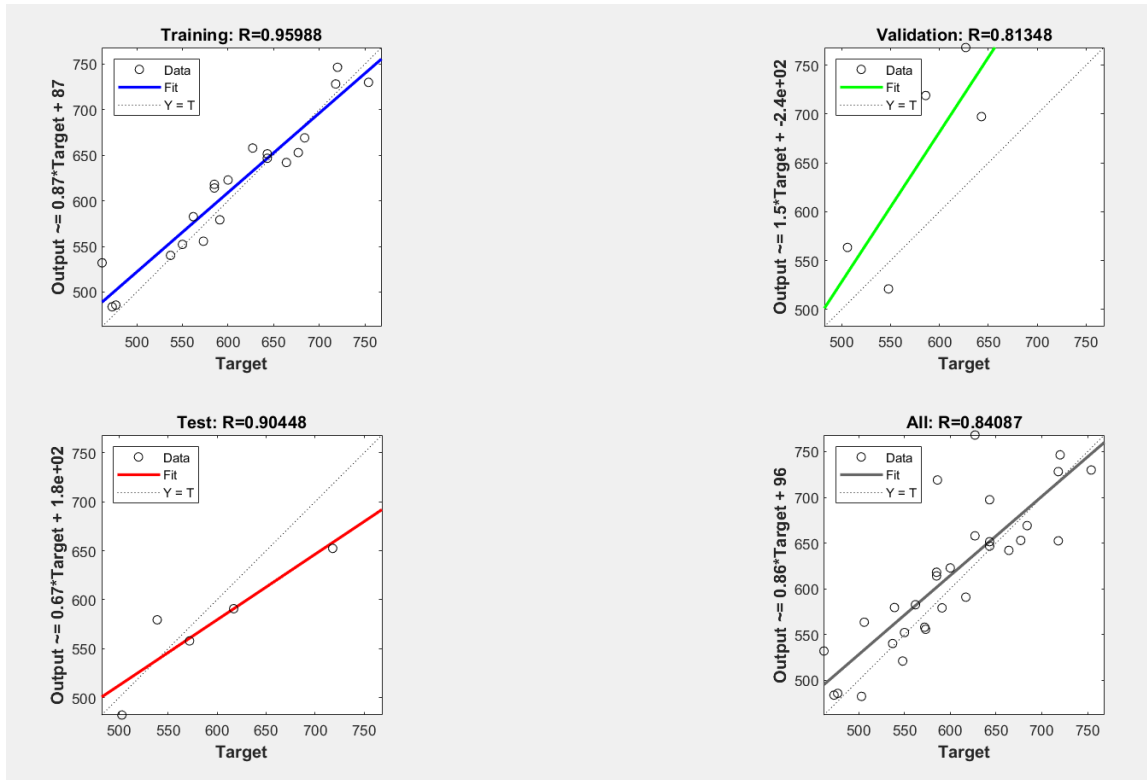


Nota: Se observa un histograma de error con 20 rectángulos (bins) de las fases de Training, Validation y Test de la red. Los errores representan una distribución normal, es decir que se encuentran cercanos a cero.

En la figura 21 se muestra 4 gráficas de regresión que la red ha construido. Estas gráficas muestran la correlación que existe entre el dato objetivo y los proporcionados a la red.

Figura 21

Regresión de la red



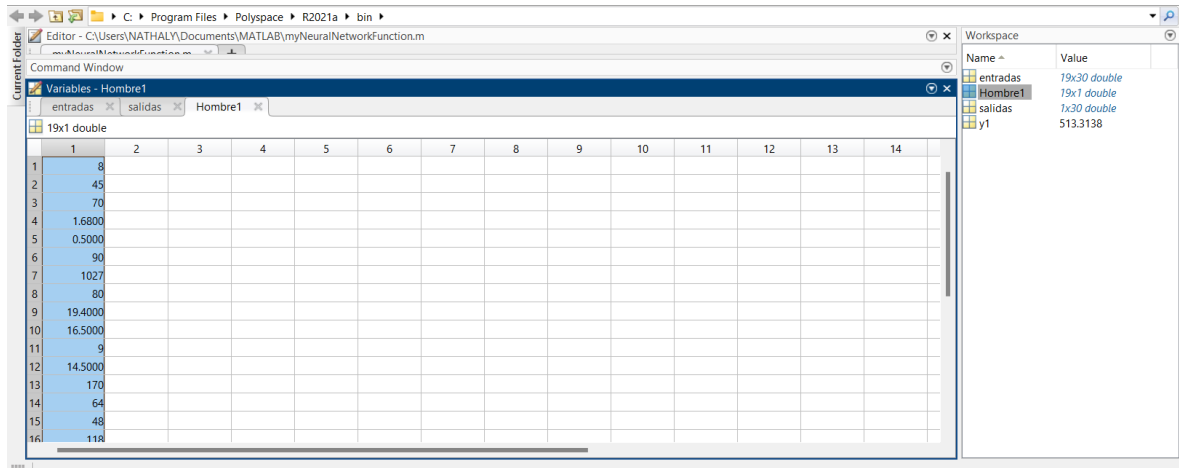
Nota: El valor de regresión en la gráfica Training es 0.95988; de Validation es 0.81348 y el Test tiene un valor de regresión 0.90448, estos resultados nos muestran que el entrenamiento de la red obtuvo valores cercanos a 1, es decir que hace referencia a una correlación perfecta.

Una vez elegida ya la RNA que se acerca más a los valores de 0.001 se procede a exportar los datos generados en la RNA creando así *myNeuralNetworFunction* que permitirá hallar cada uno de los valores calculados para estimar la carga admisible solicitada en esta investigación.

Luego se procede a crear una variable que identifique a cada estudio para después ingresar cada uno de los datos recopilados en campo y en el software Ergonautas como se muestra en la figura 21.

Figura 22

Ingreso de datos de cada estudio biomecánico recopilado

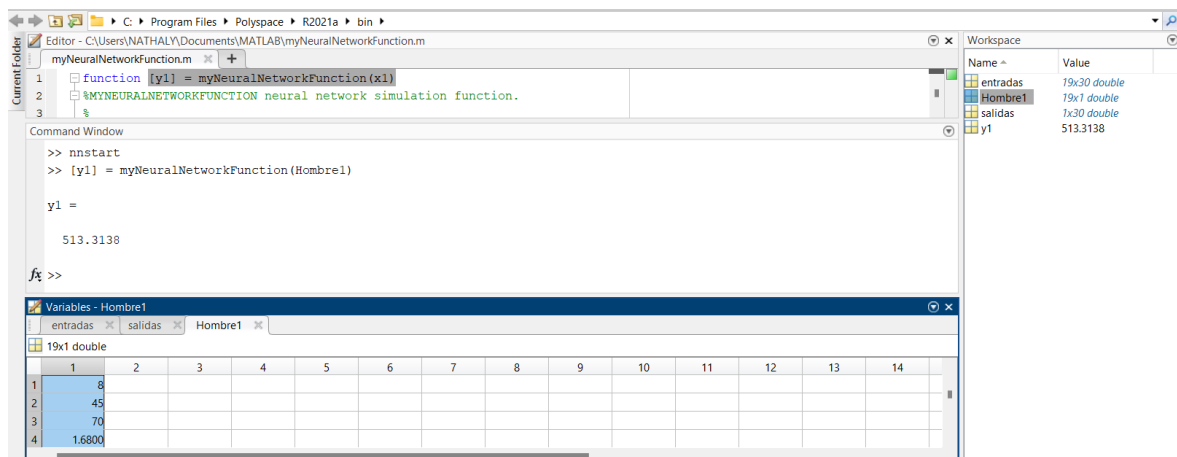


El siguiente paso consiste en la programación de cada estudio biomecánico, es decir que la función *myNeuralNetworkFunction* (Ver Anexo 9) va a calcular el valor estimado de la carga admisible para Lumbar L5/S1.

La Figura 22 muestra como la función realiza su trabajo automáticamente arrojando el valor estimado que la RNA entrenó. El mismo proceso se realizó con los datos de los 29 estudios restantes.

Figura 23

Programación mediante la función myNeuralNetworkFunction



En la Tabla 5 se refleja el resultado del porcentaje estimado de la carga máxima admisible para Lumbar L5/S1 obtenido en MATLAB® con sus respectivos tiempos.

Tabla 6

Resultados del porcentaje estimado de la carga máxima soportable de la Lumbar L5/S1 en el software MATLAB®.

#	VALOR ESTIMADO % de la carga máxima soportable en la articulación L5/S1	TIEMPO
1	513.3138	32
2	658.7245	33
3	616.3503	30
4	446.5326	34
5	552.4594	33
6	755.4654	32
7	679.8727	31
8	589.8417	33
9	610.2321	32
10	466.3356	34
11	724.4738	31
12	762.5344	33
13	547.7098	34
14	719.6254	33
15	728.1992	31
16	645.6397	30
17	614.9872	31
18	470.6477	30
19	566.0292	33
20	509.8727	33
21	587.5796	32
22	575.2568	31
23	605.9162	32
24	575.0812	33
25	525.3474	31
26	762.2552	30
27	774.6122	32
28	552.0482	33
29	537.9423	32
30	729.4018	30

4.2.1 Pronóstico de la RNA

En la Tabla 6 presenta resultados de estimación de la carga admisible para Lumbar L5/S1 con valores de error menos del 30% en los 30 estudios biomecánicos analizados lo que infiere que la RNA con RP estima muy bien este tipo de datos.

Tabla 7

Recopilación de los resultados obtenidos en el software Ergonautas y en MATLAB®.

#	VALOR REAL % de la carga máxima soportable en la articulación L5/S1	TIEMPO	VALOR ESTIMADO % de la carga máxima soportable en la articulación L5/S1	TIEMPO	ERROR %
1	537	334	513.3138	32	4.41
2	585	332	658.7245	33	12.60
3	600	334	616.3503	30	2.72
4	477	331	446.5326	34	6.38
5	591	334	552.4594	33	6.52
6	684	335	755.4654	32	10.44
7	677	336	679.8727	31	0.42
8	617	330	589.8417	33	4.40
9	585	332	610.2321	32	4.31
10	462	334	466.3356	34	0.93
11	718	333	724.4738	31	0.901
12	586	332	762.5344	33	30.12
13	562	334	547.7098	34	2.54
14	627	336	719.6254	33	14.77
15	720	335	728.1992	31	1.13
16	643	336	645.6397	30	0.410
17	664	336	614.9872	31	7.38
18	503	332	470.6477	30	6.43
19	548	331	566.0292	33	3.29

20	473	330	509.8727	33	7.79
21	573	332	587.5796	32	2.72
22	572	333	575.2568	31	0.56
23	539	330	605.9162	32	12.41
24	550	331	575.0812	33	4.56
25	506	332	525.3474	31	3.82
26	754	334	762.2552	30	1.09
27	643	335	774.6122	32	20.4
28	643	336	552.0482	33	14.14
29	627	335	537.9423	32	14.20
30	718	333	729.4018	30	1.58

Nota: El número de columnas representa los 30 estudios biomecánicos. Además, se muestran los valores reales del porcentaje de la carga máxima soportable en la articulación L5/S1 obtenidos en el software Ergonautas mediante el análisis biomecánico y los valores estimados de la carga máxima soportable en la articulación L5/S1 obtenidos a través del software MATLAB®. La última columna representa el porcentaje de error relativo el cual se obtuvo de la diferencia entre un valor real y uno estimado, dividida por la magnitud del valor real por 100%.

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Etapa3. Comparación de los valores estimados de la carga máxima admisible en el puesto de noqueo con la Red Neuronal y los valores reales de referencia aplicando pruebas estadísticas

Para calcular la eficacia del modelo como método de estimación del error de la Carga admisible para Lumbar L5/S1. Se aplicó la prueba T-student de muestras independientes utilizando la herramienta informática SPSS, para comparar los valores estimados de la RNA con los valores reales estadísticamente y para comparar el tiempo que tarda en obtener estos resultados se utilizó la prueba Mann-Whitney. Para ello se ingresó el tiempo que tardó en realizarse los 30 estudios biomecánicos con el método tradicional (BioMec) y después el tiempo que tardó el método moderno en obtener la carga admisible de los 30 estudios biomecánicos.

Hipótesis:

El método biomecánico que emplea RNA para determinar la carga admisible para Lumbar L5/S1 es más eficiente en términos de tiempo en comparación con el método tradicional.

Formulación del problema:

¿El uso de RNA para estimar la carga admisible para Lumbar L5/S1 es más eficiente en términos de tiempo en comparación al método tradicional?

Prueba de normalidad

H_i = los datos no provienen de una distribución normal

H_o = los datos provienen de una distribución normal

Tabla 8

Prueba de normalidad basados en los tiempos de cada estudio biomecánico

	Pruebas de normalidad			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
TIEMPO.TRADICIONAL	,147	30	,098	,927	30	,041
TIEMPO.MODERNO	,192	30	,006	,906	30	,012

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: La Tabla 7 muestra el resultado realizado en el software SPSS, en el cual se toma en cuenta el **SIG BILATERAL = 0.041** de Shapiro-Wilk porque la prueba se realizó con menos de 50 muestras (30 estudios biomecánicos). Siendo el sig bilateral menor a 0.05; rechazo H_o y acepto H_i , es decir que los datos no provienen de una distribución normal, por lo tanto, se recomienda utilizar estadística no paramétrica como la prueba de Mann-Whitney.

Una vez concluido que los datos no provienen de una distribución normal, se procede agrupar los 60 tiempos de los estudios biomecánicos en una sola columna denominada Prueba 2, teniendo en cuenta que 30 tiempos pertenecen al método tradicional (1) y el restante a los tiempos realizados con RNA (2). Este procedimiento es necesario para realizar la prueba no paramétrica de 2 muestras independientes (Ver Anexo 10).

H_i = El método utilizado mediante RNA es más eficiente en términos de tiempo en comparación con el método tradicional.

H_o = El método utilizado mediante RNA no es más eficiente en términos de tiempo en comparación con el método tradicional.

H_i : RNA = método tradicional

H_o : RNA \neq método tradicional

Tabla 9

Resultado de la Prueba Mann-Whitney

Estadísticos de prueba^a

PRUEBA2

U de Mann-Whitney	,000
W de Wilcoxon	465,000
Z	-6,685
Sig. asin. (bilateral)	,000

a. Variable de agrupación: GRUPO2

Nota: La Tabla 8 muestra el resultado realizado en el software SPSS, en el cual se obtuvo un **SIG BILATERAL = 0.000**, siendo este menor a 0.05, nos arrojó que existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula. Es decir que este resultado confirma que el método utilizado mediante RNA es más eficiente en términos de tiempo en comparación con el método tradicional.

Luego se ingresó los resultados de los estudios biomecánicos con el valor real obtenido de la carga admisible para Lumbar L5/S1 y 30 resultados de estudios obtenidos mediante las RNA para obtener la prueba de normalidad y verificar que los datos provengan de una distribución normal (Ver Anexo 13).

Hipótesis:

La estimación biomecánica para Lumbar L5/S1 del Camal Municipal del Cantón Pelileo con el uso de RNA genera un resultado similar frente al método tradicional.

Formulación del problema:

¿El uso de RNA para estimar la carga admisible para Lumbar L5/S1 brindan un resultado diferente al método tradicional?

Prueba de normalidad

H_i = los datos no provienen de una distribución normal

H_o = los datos provienen de una distribución normal

Tabla 10

Prueba de normalidad basados en los resultados de la carga admisible para Lumbar L5/S1

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
VALOR.REAL	,077	30	,200*	,977	30	,747
VALOR.ESTIM ADO	,099	30	,200*	,969	30	,499

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: La Tabla 9 muestra el resultado realizado en el software SPSS, en el cual se toma en cuenta el **SIG BILATERAL = 0.747** de Shapiro-Wilk porque la prueba se realizó con menos de 50 muestras (30 estudios biomecánicos). Siendo el sig bilateral mayor a 0.05; acepto H_o y rechazo H_i , es decir que los datos provienen de una distribución normal, por lo tanto, se recomienda utilizar estadísticos de comparación de medias.

Una vez concluido que los datos provienen de una distribución normal, se procede agrupar los 60 estudios biomecánicos en una sola columna denominada Prueba, teniendo en cuenta que 30 estudios pertenecen al método tradicional (1) y el restante a los estudios realizados con RNA (2). Este procedimiento es necesario para realizar la prueba T-student con muestras independientes (Ver Anexo 14).

Formulación de hipótesis

La media de:

$$H_i: RNA \neq \text{método tradicional} (U_1 \neq U_2)$$

$$H_o: RNA = \text{método tradicional} (U_1 = U_2)$$

Tabla 11

Resultado Estadísticas de grupo

Estadísticas de grupo

	grupo	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
PRUEB	valor real	30	599,4667	77,78296	14,20116
A	valor estimado	30	592,4953	78,66110	14,36149

Nota: La Tabla 10 se observa las muestras (N) ingresadas encontradas de al software SPSS, las medias encontradas cada uno de los métodos ingresados, la desviación estándar y la media de errores estándar.

Tabla 12

Resultado de la prueba de muestras independientes

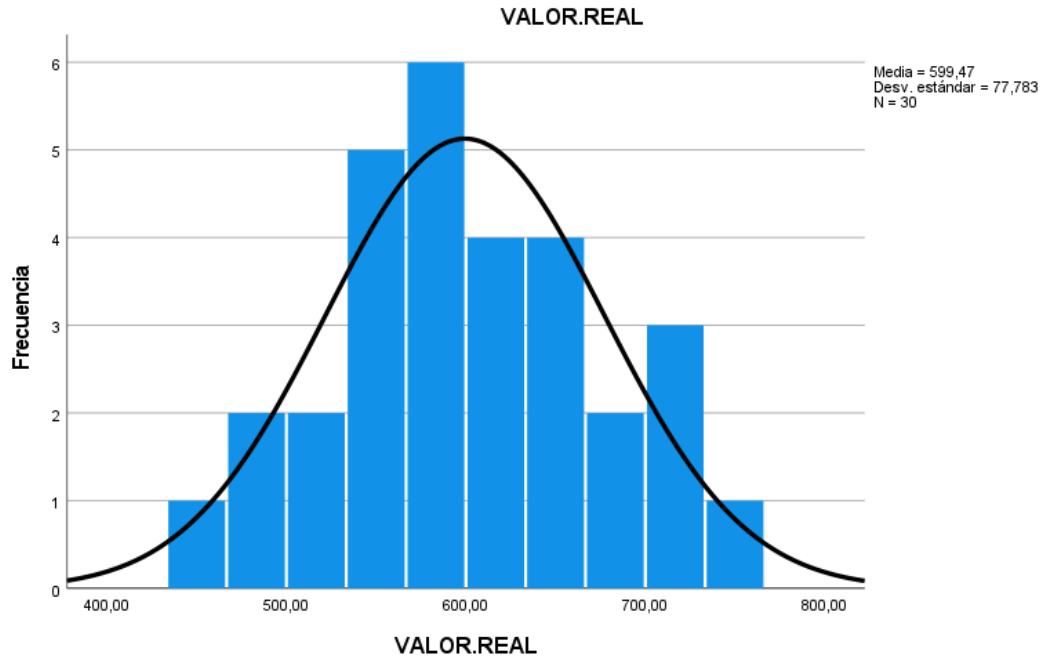
Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
PRUEB A	Se asumen varianzas iguales	,041	,839	,345	58	,734	6,97141	20,19716	-33,45760	47,40042
	No se asumen varianzas iguales			,345	57,993	,734	6,97141	20,19716	-33,45770	47,40052

Nota: En la Tabla 11 se muestra que el **SIG BILATERAL = 0.731** y por lo tanto es menor a 0.05, es decir que se acepta H_0 y se rechaza H_i , por lo tanto, se concluye que los dos métodos brindan un resultado similar al estimar la carga admisible para Lumbar L5/S1.

Figura 24

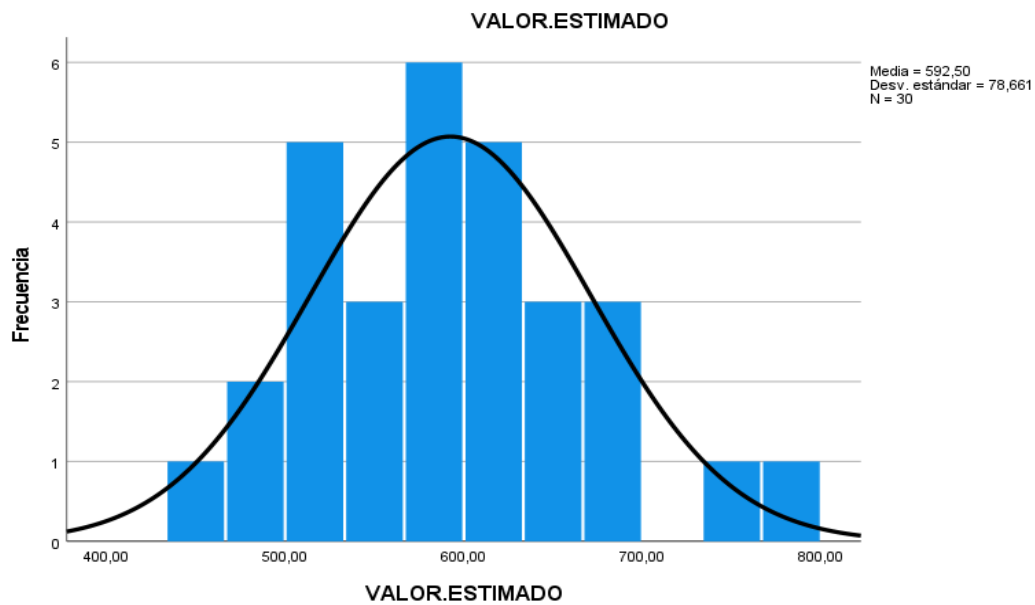
Histograma relacionado a los resultados reales obtenidos



Fuente: Obtenido del software SPSS

Figura 25

Histograma relacionado a los resultados estimados de la RNA



Fuente: Obtenido del software SPSS

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5. Conclusiones

Para la matriz de red neuronal de estimación biomecánica de Lumbar L5/S1 en el puesto de noqueo se determinó 4 características cualitativas: a) género; b) soporte de la carga con dos manos; c) el tiempo que adopta el trabajador en menos de una hora y d) la postura analizada se repite cada 5 minutos y 37 características cuantitativas: a) duración de la jornada; b) edad; c) peso del trabajador; d) estatura del trabajador; e) coeficiente de rozamiento; f) Porcentaje de la población protegida; g) presión atmosférica; h) humedad relativa; i) temperatura seca del aire; j) temperatura de globo; k) temperatura húmeda; l) peso de la carga; m) ángulo de codo; n) ángulo hombro; ñ) ángulo Lumbar L5/S1; o) ángulo de cadera; p) ángulo rodilla; q) ángulo tobillo; r) ángulo muñeca; s) porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en el codo; t) porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en el hombro; u) porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en la cadera; v) porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en la rodilla; w) porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en el tobillo; x) carga máxima recomendada para codo; y) carga máxima recomendada para hombro; z) carga máxima recomendada para Lumbar L5/S1; aa) carga máxima recomendada para cadera; bb) carga máxima recomendada para rodilla; cc) carga máxima recomendada para tobillo; ee) sobrecarga de codo; ff) sobrecarga de hombro; gg) sobrecarga de Lumbar L5/S1; hh) sobrecarga de cadera; ii) sobrecarga de rodilla; jj) sobrecarga de tobillo; Porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en la Lumbar L5/S1. Además, se identificó 8 dimensiones agrupadas de la siguiente manera: a) datos del puesto de trabajo; b) condiciones higrométricas; c) carga; ángulo de ejecución de la tarea, d) resultados de carga máxima soportable, e) cargas máximas recomendadas, sobrecargas por articulación y f) salida.

Para el caso del Camal Municipal del Cantón Pelileo se diseñó la red neuronal artificial para estimar la carga admisible de la Lumbar L5/S1 en el software MATLAB®, utilizando como mejor alternativa: la RNA-RP con el algoritmo Levenberg-Marquardt el cual se obtuvo como resultado 4 capas: a) la primera capa de entrada tiene 19 neuronas receptoras estáticas; b) la segunda capa que es oculta dispone de 16 neuronas ocultas; c) la tercera capa es de suma y dispone 1 neurona dinámica y d) la capa final dispone de 1 neurona

de salida estática, con errores de cálculo menos del 6.95% , la cual finalizo en 50 etapas de entrenamiento de la red neuronal.

Con la prueba Mann-Whitney de muestras independientes se comparó el tiempo que se demoró cada método en obtener los resultados de estimación biomecánica llegando a concluir con un sig bilateral de 0.000 que el método utilizado mediante RNA es más eficiente en términos de tiempo en comparación con el método tradicional. Por otro lado se comparó los valores estimados de la carga máxima admisible en el puesto de noqueo con la Red Neuronal Artificial y los valores reales de referencia aplicando prueba T-student de muestras independientes obteniendo como resultado un sig bilateral igual a 0.734, es decir, que la hipótesis del investigador se acepta, llegando a concluir que con las medias iguales, no estadísticamente diferentes, se afirma que los dos métodos brindan un resultado similar al estimar la carga admisible para Lumbar L5/S1.

6. Recomendaciones

Se deben tomar datos del puesto de noqueo del Camal Municipal del Cantón Pelileo en condiciones máximas en períodos más largos (jornadas completas) y con el mismo trabajador para conocer la afectación del mismo individuo y no solo del puesto.

Se recomienda seguir esta investigación realizando la evaluación biomecánica con visión artificial y comparar los resultados con esta investigación.

Se sugiere comparar los resultados obtenidos en la investigación con el modelo de Redes de Profundidad Extrema (ELM – Extreme Learning Machines).

Se recomienda utilizar el algoritmo genético en la configuración de la red neuronal para obtener resultados más exactos de la carga admisible para Lumbar L5/S1.

Además, se recomienda utilizar gráficos de dispersión y líneas de tendencia para visualizar la precisión de las estimaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, E., Serna, Alexia, & Serna, E. (2017). *DESARROLLO E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA. Capítulo 10. Principios y características de las redes neuronales artificiales*. (Editorial IAI). <http://fundacioniai.org>
- Aldama, S. (2018). *ESTUDIO COMPARATIVO DE HERRAMIENTAS PARA REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA): WEKA, MATLAB Y NEUROSOLUTIONS*. 22–30.
- Barrionuevo, C., & Salazar, E. (2022). *EVALUACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO ERGONÓMICOS DE LA EMPRESA PURA PECHUGA EN EL ÁREA DE FAENADO DE POLLOS UBICADO EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA- BAÑOS DE AGUA SANTA*.
- Bastidas, E. john. (2020). *ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE AMONIACO EN GALPONES AVÍCOLAS, USANDO UN MODELO NEURONAL ARTIFICIAL*.
- Belloch, S. L. (2002). *EL ANÁLISIS BIOMECÁNICO EN NATACIÓN*.
- Buendía, E., Vargas, E., Leyva, Á., & Terrazas, S. (2007). APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES Y TÉCNICAS SIG PARA LA PREDICCIÓN DE COBERTURAS FORESTALES APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURONAL NETWORKS AND GIS TECHNIQUES IN THE PREDICTION OF FOREST COVERS. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 8(1), 31–37.
- Castillo, T., & Cedeño, M. (2016). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES PARA EL CAMAL DEL GAD MUNICIPAL DE RIOBAMBA*.
- Celis, J. A. (2008). *ARQUITECTURA INTELIGENTE BASADA EN LÓGICA RECONFIGURABLE APLICADA A REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA LA CLASIFICACIÓN DE INFORMACIÓN TESIS DOCTORAL*.
- Chuquival, S., Galindos, J., Maquera, S., Palza, E., & Mamani, Guillermo. (2011). Modelo de redes neuronales para mejorar el pronóstico del comportamiento del alumno en el cumplimiento del pago de sus armadas, concernientes a un crédito aprobado por el área de finanzas Alumnos de la Universidad Peruana Unión. *Revista de Business Intelligence*.
- Córdova, M., Tapia, L., Zambrano, Z., & Muquinche, J. (2020). Diseño biomecánico del puesto de trabajo de noqueo en el faenamamiento de ganado. *ConcienciaDigital*, 3(3.2), 6–17. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i3.2.1398>

- De Moya, F., Víctor, A., Solana, H., & Guerrero Bote, V. (n.d.). *La aplicación de Redes Neuronales Artificiales (RNA): a la recuperación de la información.*
- Del Brío, B. M., & Serrano, C. (1995). *Fundamentos de las redes neuronales artificiales: hardware y software.*
- Diego-Mas, J. A. (2015a). *Análisis biomecánico estático coplanar.*
<https://www.ergonautas.upv.es/metodos/biomecanica/biomecanica-ayuda.php>
- Diego-Mas, J. A. (2015b). *Biomecánica - Esfuerzos Estáticos Coplanares.*
<https://www.ergonautas.upv.es/metodos/biomecanica/biomecanica-ayuda.php>
- Ferreras, A. (2004). *Análisis Ergonómico De Puestos De Trabajo En El Sector De Calzado.* 42, 27–30.
- Flórez, R., & Fernández, J. M. (2008). Las Redes Neuronales Artificiales: Aspectos generales. *Las Redes Neuronales Artificiales Fundamentos*, 16–17.
https://books.google.com/books/about/Las_Red_Neuronales_Artificiales.html?hl=es&id=X0uLwi1Ap4QC
- Gómez. Julio, de Armas, M., Monteagudo, J., & Ramos, F. (2009). *DIAGNÓSTICO DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA DE TURBINAS DE CONTRAPRESIÓN APLICANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES.*
- García, A. M., Gadea, R., Sevilla, M. J., Genís, S., & Ronda, E. (2009). COLABORACIÓN ESPECIAL ERGONOMÍA PARTICIPATIVA: EMPODERAMIENTO DE LOS TRABAJADORES PARA LA PREVENCIÓN DE TRASTORNOS MUSCULOESQUELÉTICOS. In *Rev Esp Salud Pública* (Vol. 83).
- Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2016). *RIESGOS DE TRASTORNOS MUSCULOESQUELÉTICOS ASOCIADOS A LA CARGA FÍSICA EN PUESTOS.*
<http://publicacionesoficiales.boe.es>
- INSTITUTO ECUATORIANO DE SEGURIDAD SOCIAL. (2015). *DECRETO EJECUTIVO 2393 REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES Y MEJORAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO.*
- Jaramillo, S., & Londoño, E. (2020). *PROPUESTA DE UN MÉTODO DE APOYO A LA ERGONOMÍA PARA EL SECTOR FLORICULTOR, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS Y TECNOLOGÍAS. ESTEBAN LONDOÑO PÉREZ.*
- Larranaga, P. (1997). *Tema 8. Redes Neuronales.*
<https://www.researchgate.net/publication/268291232>

- Larranaga, P., Iñaki Inza, & Moujahid Abdelmalik. (1997). *Tema 8. Redes Neuronales*.
<https://www.researchgate.net/publication/268291232>
- Lecca, E., Guevara, L., & Cachay, O. (2013). *Riesgos psicosociales Producción y Gestión Riesgos psicosociales*. <http://idontec.blogia.com/>
- Melchor, A., Tutoras, G., Ester, :, Tarradellas, G., Eugenia, M., Griñón, B., En Gestión, G., & Pública, A. (2019). *ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE LOS PUESTOS DE TRABAJO DEL PERSONAL DE INFORMACIÓN Y SERVICIOS DE LA FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS*.
- Montaño, J. J. (2002). *Redes Neuronales Artificiales aplicadas al Análisis de Datos*.
- Morales, L., Ramón, M., Collantes, S., & Aldás, D. (2019). Riesgo ergonómico por levantamiento de cargas. Caso de estudio “Talleres de mantenimiento vehicular de maquinaria pesada.” *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 6(1), 17–26.
<https://doi.org/10.26423/rctu.v6i1.328>
- Navarrete, B., José, F., & Evelin, E. (2017). PRUEBA PILOTO: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS PARA RECOPIRAR DATA ANTROPOMÉTRICA CON FINES ERGONÓMICOS VALIDATION OF INSTRUMENTS AND PROCEDURES TO COLLECT ANTHROPOMETRIC DATA FOR ERGONOMIC PURPOSES. In *Ingeniería y Sociedad UC* (Vol. 12, Issue 1).
- Olabe, X. B. (1998a). *REDES NEURONALES ARTIFICIALES Y SUS APLICACIONES*.
- Olabe, X. B. (1998b). *REDES NEURONALES ARTIFICIALES Y SUS APLICACIONES: TEMA 5. RED BACKPROPAGATION*.
- Olaya, N., Soto, I., Ciro, K., & Rodríguez, P. (2020, August 14). *Biomechanics of the dorsolumbar region during manual patient handling*.
<https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/innovacionsalud/article/view/3711/4697>
- Pava, N., Hernández, L., Beltrán, J., Pava, J., Moreno, P., González, A., Raya, O., & Mcnaught, C. (2018). Diseño ergonómico de prótesis de miembro inferior personalizadas aplicando inteligencia artificial. In *Dyna (Spain)* (Vol. 93, Issue 1, p. 20). Publicaciones Dyna Sl. <https://doi.org/10.6036/8663>
- Pillapa, Y., Córdova, M., & Cabrera, D. (2022). Estimación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) en aguas residuales de las empresas de jeans de la ciudad de Pelileo utilizando redes neuronales artificiales. *ConcienciaDigital*, 5(3.1), 406–423.
<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i3.1.2320>

- Pino, Raúl., Abajo, N., & Gómez, Alberto. (2001). *Introducción a la inteligencia artificial : Sistemas expertos, redes neuronales artificiales y computación evolutiva*.
https://books.google.com/books/about/Introducci%C3%B3n_a_la_inteligencia_artifici.html?hl=es&id=RKqLMCw3IUkC
- Plata Cheje, R. W. (2008). Matlab & Redes Neuronales. *Revista de Información, Tecnología y Sociedad*, 96.
- Ponce Cruz, P. (2011). *Inteligencia Artificial. Con Aplicaciones a la Ingeniería*.
www.FreeLibros.me
- Ponce, P. (2010, August 10). *Inteligencia artificial: con aplicaciones a la ingeniería*.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=9ENzEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=Una+nueva+alternativa+que+se+propone+para+analizar+datos+son+las+RNA,+m%C3%A9todo+que+busca+reducir+costos+y+disminuir+la+complejidad+de+obtener+resultados+mediante+c%C3%A1lculos+matem%C3%A1ticos.+&ots=3Ir4Pk0h6q&sig=-2hCzt9CEDeD20vO7D8cVnZ-Nv0#v=onepage&q&f=false>
- Rodríguez, A., & Villalba, M. (2021). *Trastornos musculoesqueléticos en docentes de Colombia bajo la modalidad de educación presencial, monografía de compilación*.
www.unipamplona.edu.co
- Rodríguez, S. (2015). *EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LOS PROCESOS DE FAENAMIENTO DE GANADO BOVINO DEL CAMAL MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL*.
- Rodriguez, V., Garzón, J., & López, J. (2011). "Control neuronal por modelo inverso de un servosistema usando algoritmos de aprendizaje Levenberg-Marquardt y Bayesiano.
- Romo, M., Córdova, M., & Villacres, E. (2021). Prevención de trastornos osteomioarticulares en el puesto de eviscerado en un Camal Municipal. Caso de la Ciudad de Ambato. *Anatomía Digital*, 4(3.1), 87–97.
<https://doi.org/10.33262/anatomiadigital.v4i3.1.1863>
- Ruiz, C. A., & Basualdo, M. S. (2001). *Cátedra: Informática Aplicada a la Ingeniería de Procesos-Orientación I Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones*.
- Salas, R. (2004). *Redes Neuronales Artificiales*.
<https://www.researchgate.net/publication/266882116>
- Sanchez, V. (2022). *Estimación de la humedad crítica para el secado de manzanas (Pyrus malus) utilizando redes neuronales artificiales*.

- Secretaría-General-Recursos-Humanos. (2018). Manual de prevención de trastornos musculoesqueléticos. In *Instituto de Cerámica y Vidrio - Ministerio de Ciencia e Innovación España* (Vol. 1).
- Segovia, S., & Macías, A. (2018). LA ERGONOMÍA EN EL EJERCICIO PROFESIONAL DEL SECRETARIADO EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ. *Caribeña de Ciencias Sociales*, abril.
- Serna, A., Acevedo Eder, & Serna, E. (2017). *DESARROLLO E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA: Capítulo 9. Principios de la Inteligencia Artificial en las Ciencias Computacionales* (Editorial IAI). <http://fundacioniai.org>
- Serna, E. (2017). *DESARROLLO E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA* (Editorial IAI). <http://fundacioniai.org>
- Serna, E. (2019). *DESARROLLO E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3387679>
- Supo, R. (2019). "DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA EL REGISTRO E IDENTIFICACIÓN DE LOS CANES POR MEDIO DE LA HUELLA DE LA TRUFA Y REDES NEURONALES ARTIFICIALES".
- Velasteguí, R., Córdova, M., & Villacres, E. (2021). Covid-19, diseño biomecánico del puesto de auxiliar de enfermería. Caso del hospital: Universidad Técnica particular de Loja. *Anatomía Digital*, 4(3.1), 6–17. <https://doi.org/10.33262/anatomiadigital.v4i3.1.1850>
- Zavala, O. (2019). *MOLESTIAS MUSCULO ESQUELÉTICAS MUSCULOSKELETAL DISCOMFORT AND EVALUATION OF NURSE WORKING POSTURE IN SURGERY: A PILOT STUDY*.

ANEXOS

Anexo 1

Reconocimiento del puesto de los operarios de noqueo



Anexo 2

Recopilación de datos personales de cada trabajador que ejecuta la tarea de noqueo



Anexo 3

Posturas adoptadas de los operarios del puesto de noqueo





Anexo 4

Matriz de recopilación de datos y resultados obtenidos de la carga admisible mediante el software Ergonautas.

A	B	C	N° EVALUACIONES (%)																														
			D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	
1	Carga Maxima admisible		Unidades																														
2			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
3		Nombre	Hombre		Hombre		Hombre		Hombre		Hombre		Hombre		Hombre		Hombre		Hombre		Hombre		Hombre		Hombre		Hombre		Hombre		Hombre		
4	A	Duración de la jornada	45	45	43	44	40	40	41	42	46	42	47	48	45	45	50	52	49	47	51	44	46	48	50	51	47	49	52	53	45	47	
5	B	Genero	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	Hombre	
6	C	Edad	45	45	43	44	40	40	41	42	46	42	47	48	45	45	50	52	49	47	51	44	46	48	50	51	47	49	52	53	45	47	
7	D	Apoyo de la carga en con dos manos	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
8	E	Peso del trabajador	70	74	74	69	68	68	71	67	73	73	75	78	80	75	73	75	74	65	78	65	77	75	79	80	68	72	76	70	74	78	
9	F	Estatura del trabajador	1.68	1.71	1.71	1.64	1.65	1.73	1.69	1.73	1.7	1.75	1.68	1.66	1.71	1.71	1.71	1.69	1.67	1.68	1.68	1.71	1.64	1.73	1.7	1.64	1.66	1.65	1.70	1.73	1.7	1.72	
10	G	El tiempo que adopta el trabajador es menor de una hora	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
11	H	La postura analizada se repite mas de una vez cada 5 minutos	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
12	I	Coefficiente de recuperación	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
13	J	Porcentaje de la población prototipo	%	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	
14	K	Humedad atmosférica	Hum	60.03	61.13	61.56	79.54	80.54	80.43	79.33	79.51	79.13	79.56	80.09	80.11	80.42	80.35	79.23	79.05	80.03	80.84	80.78	80.42	80.31	80.38	80.31	80.31	80.11	79.71	79.61	80.07	80.07	
15	L	Humedad relativa	%	60.03	61.13	61.56	79.54	80.54	80.43	79.33	79.51	79.13	79.56	80.09	80.11	80.42	80.35	79.23	79.05	80.03	80.84	80.78	80.42	80.31	80.38	80.31	80.31	80.11	79.71	79.61	80.07	80.07	
16	M	Temperatura seca del aire	°C	19.4	18.7	20.4	20.7	20.4	20.1	20	19.5	19.4	20	20.5	20.9	20.4	20.7	20	20.1	19.3	20.1	20.1	20.1	20.1	19.4	20.2	20.2	20.4	21	20.8	20.3	20.7	21.1
17	N	Temperatura de globo	°C	28.4	26.83	27.4	27.74	28.33	28.44	29.17	28.73	27.33	28.94	28.38	29.04	28.03	28.44	28.17	27.64	27.59	28.89	28.84	27.63	27.88	28.14	27.98	28.94	28.33	28.71	27.56	28.93	28.08	
18	O	Temperatura de bulbo húmedo	°C	17.03	17.7	18.33	17.06	17.05	17.56	18.04	18.12	17.4	18.02	18.11	17.15	17.84	17.72	18.02	18.17	17.37	17.12	17.65	18.02	17.09	18.89	18.54	17.72	17.68	17.88	18.05	18.31	18.42	17.87
19	P	Peso de la carga	Kg	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	
20	Q	Angulo Codo de	°	170	174	180	163	157	180	179	190	180	183	183	183	184	184	183	184	183	184	183	184	183	184	183	184	183	184	183	184	183	
21	R	Angulo Hombros	°	54	64	64	53	60	78	78	55	70	70	59	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
22	S	Angulo Lumbal L5/S1	°	48	40	49	49	46	46	42	40	40	45	44	44	41	47	49	43	55	54	51	55	48	51	51	55	55	55	49	48	48	
23	T	Angulo Cadera	°	119	118	127	126	128	119	123	123	123	123	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	
24	U	Angulo Rodilla	°	162	160	163	170	168	166	166	166	161	170	170	164	161	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	
25	V	Angulo Muñeca	°	92	81	85	80	88	80	87	83	82	84	82	84	82	84	82	84	82	84	82	84	82	84	82	84	82	84	82	84	82	84
26	W	Porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en el codo	%	221	153	173	181	245	231	202	168	200	177	264	243	224	169	168	312	343	303	225	218	160	196	203	343	355	315	116	104	264	
27	X	Porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en el hombro	%	271	178	233	179	270	311	268	208	300	300	272	208	183	204	290	383	320	287	253	308	164	197	287	257	340	383	268	211	824	
28	Y	Porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en la cadera	%	723	893	755	668	742	971	985	837	604	765	824	733	767	811	973	765	745	598	593	628	682	789	720	593	596	748	765	765	811	824
29	Z	Porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en el rodillo	%	354	557	488	433	548	580	681	607	583	483	548	483	483	548	483	548	483	548	483	548	483	548	483	548	483	548	483	548	483	
30	AA	Porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en el tobillo	%	349	825	669	510	689	607	913	609	607	690	607	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	
31	BB	Carga máxima recomendada para codo	Kg	6.55	9.48	8.38	8.02	5.91	6.29	7.17	7.73	6.80	8.56	5.49	5.96	6.2	8.62	8.64	8.6	3.74	5.98	7.15	6.43	6.66	6.03	7.4	7.15	5.99	5.78	4.6	4.6	8.62	5.49
32	CC	Carga máxima recomendada para hombro	Kg	5.39	8.15	6.23	8.08	5.40	6.69	5.41	6.99	5.04	6.5	5.35	5.45	7.66	2.62	2.67	3.76	3.36	5.83	5.06	5.78	4.7	8.84	7.37	5.06	5.64	4.59	3.79	4.79	5.42	3.35
33	DD	Carga máxima recomendada para lumbal L5/S1	Kg	2.7	2.48	2.42	3.94	2.45	2.32	2.14	2.35	3.1	3.56	2.03	2.47	2.58	2.31	2.01	2.25	2.18	3.88	3.45	3.86	2.53	2.54	3.69	3.65	3.89	2.45	2.25	2.35	2.31	2.02
34	EE	Carga máxima recomendada para cadera	Kg	2.01	1.62	1.82	2.38	1.95	1.49	1.47	1.73	1.83	2.22	1.57	1.88	1.89	1.79	1.49	1.89	1.95	2.43	2.44	2.31	2.13	1.84	2.04	2.44	2.41	2.1	1.89	1.89	1.79	1.57
35	FF	Carga máxima recomendada para rodilla	Kg	4.69	2.45	3.99	3.35	2.46	2.13	2.39	2.51	2.48	2.66	3.09	3.01	4.21	2.55	3.15	3.94	3.3	5.68	3.99	3.53	3.96	3.54	3.68	3.4	3.48	3.11	3.11	4.21	2.66	
36	GG	Carga máxima recomendada para tobillo	Kg	4.15	1.46	2.17	2.84	2.1	2.18	1.59	2.2	2.78	2.54	2.44	2.46	2.68	1.46	2.28	2.83	2.86	3.61	3.51	1.6	3.33	3.13	2.98	3.51	2.62	2.25	2.03	3.66	2.44	
37	HH	Subcarga de codo	Kg	7.95	5.02	6.12	6.48	8.59	8.31	7.33	7.17	5.3	6.24	9.01	8.54	8.3	5.88	5.86	8.9	8.76	8.52	7.35	8.07	7.84	5.47	7.1	7.35	8.53	8.76	9.9	9.9	5.88	9.01
38	I	Subcarga de hombro	Kg	8.15	6.35	8.27	6.42	9.14	8.83	9.09	7.51	8.57	8.37	8.15	8.09	8.64	8.08	8.59	10.73	10.11	8.87	8.44	8.77	9.8	5.68	7.13	9.46	8.88	10.45	10.71	10.71	8.08	9.15
39	J	Subcarga de lumbal L5/S1	Kg	11.8	12.02	12.08	11.46	12.05	12.38	12.16	12.15	12.02	12.49	12.48	12.03	12.93	12.39	12.49	12.35	12.33	11.62	11.85	11.44	12.17	11.86	11.81	11.85	11.63	12.34	12.35	12.35	12.19	12.48
40	KK	Subcarga de cadera	Kg	12.49	12.28	12.58	12.12	12.05	12.01	12.03	12.77	12.78	12.20	12.93	12.51	12.61	12.71	11.01	12.01	12.00	12.07	12.00	12.39	12.37	12.00	12.49	12.04	12.06	12.05	12.61	12.71	12.93	12.48
41	LL	Subcarga de rodilla	Kg	10.41	12.05	11.51	11.15	11.85	12.04	12.37	12.31	11.74	11.84	10.91	11.49	10.29	11.95	11.39	11.56	11.12	10.82	10.51	10.97	11.54	10.86	10.78	10.49	11.78	11.39	11.39	10.29	11.84	
42	MM	Subcarga de tobillo	Kg	10.35	13.04	12.33	11.66	12.34	12.33	12.91	12.31	11.45	11.45	12.15	12.05	12.96	12.42	11.84	12.22	12.47	12.46	11.89	10.99	10.93	11.17	11.73	10.93	11.9	12.44	12.47	11.04	12.05	11.84
43	ZZ	Porcentaje de la carga máxima soportable alcanzada en la lumbal L5/S1	%	537	585	600	477	591	684	677	617	585	462	718	585	561	621	720	643	660	503	548	473	573	539	550	506	754	643	643	627	718	

Anexo 5

Ingreso de las entradas en MATLAB®.

The screenshot shows the MATLAB R2022a interface. The 'Editor - myNeuralNetworkFunction.m' window displays a 17x30 double matrix named 'Entradas'. The matrix contains numerical values for each cell. The 'Workspace' window shows 'Entradas' as a 17x30 double. The 'Command Window' is empty.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	70	74	74	69	68	68	71	67	73	73	76	78	80	75	
2	1.6800	1.7100	1.7100	1.6400	1.6500	1.7300	1.6900	1.7300	1.7000	1.7500	1.6800	1.6600	1.7000	1.7100	1.70
3	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.50
4	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	
5	1027	1025	1021	1030	1031	1025	1026	1023	1022	1025	1025	1028	1030	1021	10
6	80.0300	81.1300	81.5600	79.5400	80.5400	80.2300	79.2300	79.5100	79.1300	79.5600	80.0900	80.1200	80.4200	80.3600	79.23
7	19.4000	19.7000	20.4000	20.7000	20.4000	20.1000	20	19.5000	19.4000	20	20.5000	20.9000	20.4000	20.7000	
8	26.8000	26.4300	27.4000	27.7400	28.3300	28.4400	29.1700	28.7100	27.2300	28.0400	26.4800	29.0400	29.0200	28.4100	29.17
9	17.0200	17.7000	18.2300	17.0600	17.0500	17.5600	18.0400	18.1200	17.4000	18.0200	18.1300	17.1500	17.8400	17.7000	18.02
10	14.5000	14.5000	14.5000	14.5000	14.5000	14.5000	14.5000	14.5000	14.5000	14.5000	14.5000	14.5000	14.5000	14.5000	14.50
11	170	173	180	161	157	180	179	150	165	163	151	148	152	154	1
12	64	64	64	53	60	78	76	55	75	72	53	50	48	54	
13	48	40	49	46	46	42	40	40	45	43	48	51	47	49	
14	118	118	127	126	128	118	119	123	122	124	127	125	125	120	1
15	162	160	163	170	168	166	166	166	163	170	171	154	151	150	1
16	92	81	85	90	88	90	87	93	92	84	92	80	73	79	
17	90	90	90	90	90	90	90	85	88	89	90	87	94	76	
18															
19															

Anexo 6

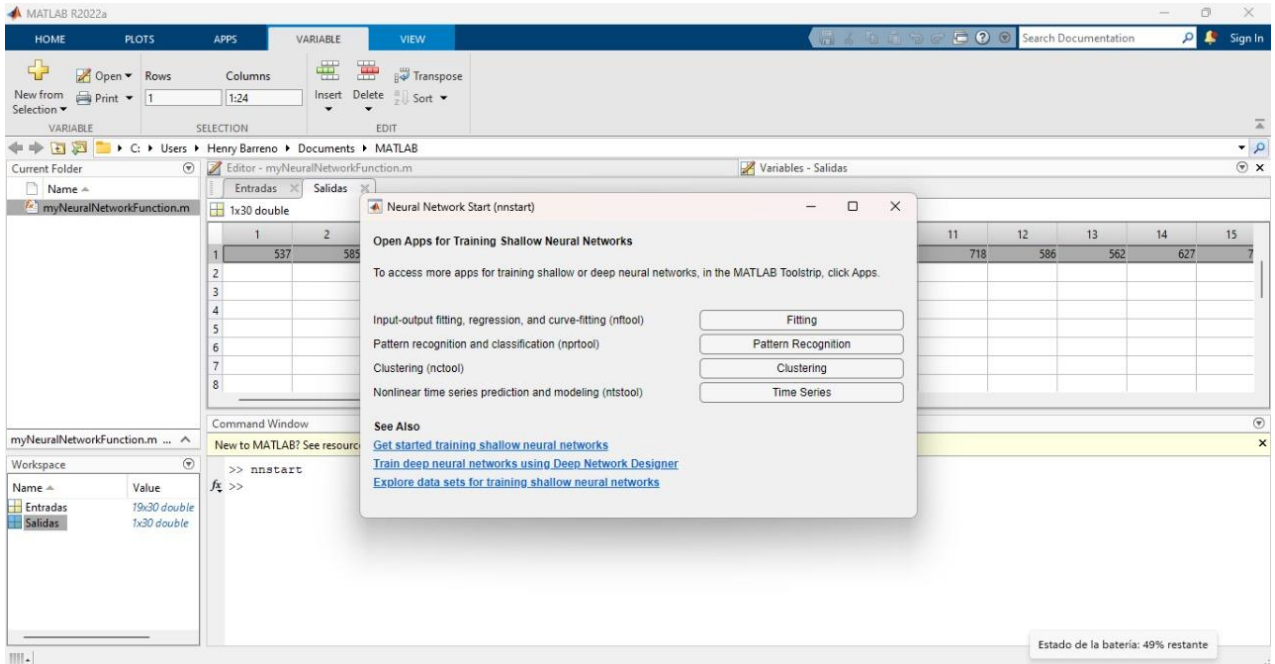
Ingreso de la salida en MATLAB®.

The screenshot shows the MATLAB R2022a interface. The 'Editor - myNeuralNetworkFunction.m' window displays a 1x30 double matrix named 'Salidas'. The matrix contains numerical values for each cell. The 'Workspace' window shows 'Salidas' as a 1x30 double and 'Entradas' as a 17x30 double. The 'Command Window' is empty.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	537	585	600	477	591	684	677	617	585	462	718	586	562	627	7
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															

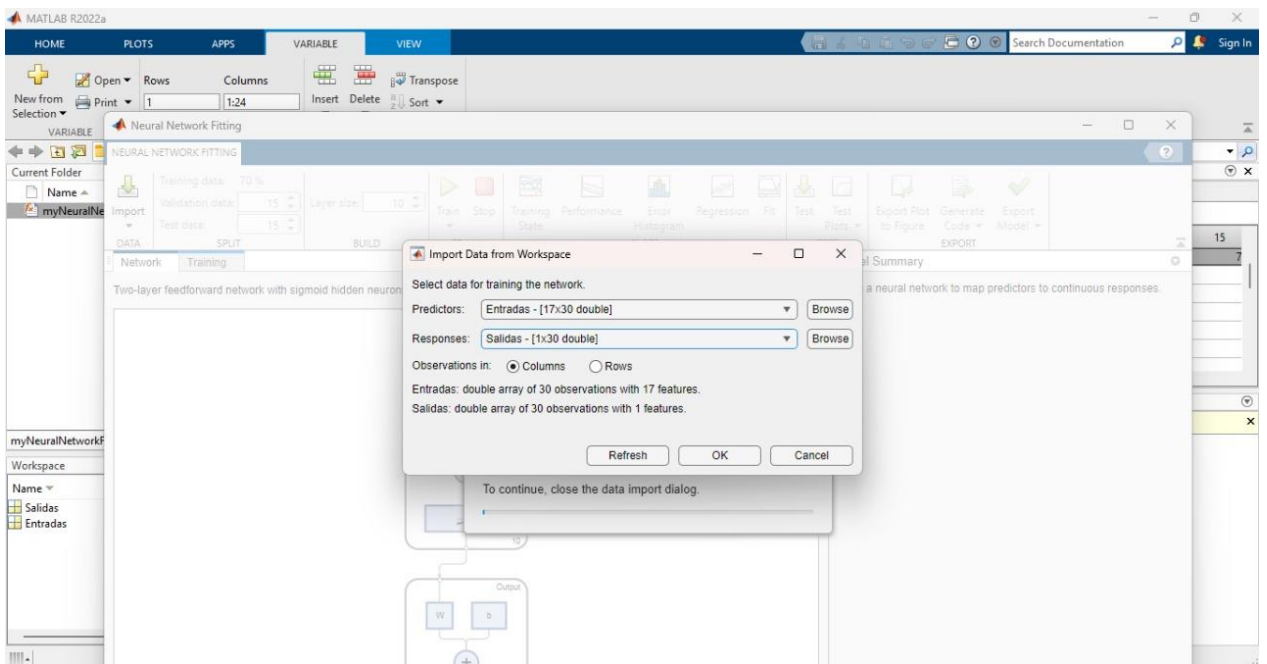
Anexo 7

Programación realizada mediante la herramienta *nnstart*



Anexo 8

Diseño de la RNA con Retro propagación de acuerdo a las entradas y salida ingresadas en MATLAB®.



Anexo 9

Programación en MATLAB®.

myNeuralNetworkFunction_RNA.m

```
1 function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,~,~)
2 %MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
3 %
4 % Auto-generated by MATLAB, 16-May-2024 18:04:09.
5 %
6 % [Y] = myNeuralNetworkFunction(X,~,~) takes these arguments:
7 %
8 % X = 1xTS cell, 1 inputs over TS timesteps
9 % Each X{1,ts} = 17xQ matrix, input #1 at timestep ts.
10 %
11 % and returns:
12 % Y = 1xTS cell of 1 outputs over TS timesteps.
13 % Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep ts.
14 %
15 % where Q is number of samples (or series) and TS is the number of timesteps.
16
17 %#ok<*RPMT0>
18
19 % ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====
20
21 % Input 1
22 x1_step1.keep = [1 2 5 6 7 8 9 11 12 13 14 15 16 17];
23 x1_step2.xoffset = [65;1.64;1020;79.13;19.3;26.43;17.02;148;48;40;118;150;73;76];
24 x1_step2.gain = [0.133333333333333;18.1818181818182;0.1818181818182;0.82304526748971;1.11111111111111;0.689655172413793;1.06951871657754;0.0625;0.0666666666666667;0.133333333333333;0.125;0.0952380952380952;0.1;0.111111111111111];
25 x1_step2.ymin = -1;
26
27 % Layer 1
28 b1 = [-1.1376204633735664817;1.1819213939232733335;-0.1970440358078058285;0.25670066585558209971;0.53724915643052784109;1.8084315485666193624;-1.6006318362939053745];
29 Iw1_1 = [-0.34827235991221477951 -0.2703306735876708773 -0.43044173100574201207 -0.38030282126064174353 0.22960873706005993644 -0.099230211246271765591 0.32474348056754109848 0.80721320541874341803 -0.53009379510381859912 0.61546558356301683812 0.067404411394730578966 0.5549623497321628518 0.41086454461061083787 0.30461446234230410424;-0.21777106865475343023 -0.25062174395110820013 0.088359974554771292254 -0.74681110236083736442 -0.19143409233522726276 -0.
```

Anexo 10

Ingreso de los 30 tiempos tomados del método tradicional y los 30 tiempos del método moderno.

*Sin titulo4 [ConjuntoDatos1] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana

13 :

	LOR.E MADO	PRUEBA	grupo	TIEMPO. TRADICIONAL	TIEMPO. MODERNO	PRUEBA 2	GRUPO2	var
10	465,05	462,00	1,00	334,00	34,00	334,00	1,00	
11	529,84	718,00	1,00	333,00	31,00	333,00	1,00	
12	743,64	586,00	1,00	332,00	33,00	332,00	1,00	
13	600,60	562,00	1,00	334,00	34,00	334,00	1,00	
14	679,01	627,00	1,00	336,00	33,00	336,00	1,00	
15	646,05	720,00	1,00	335,00	31,00	335,00	1,00	
16	623,73	643,00	1,00	336,00	30,00	336,00	1,00	
17	697,91	664,00	1,00	336,00	31,00	336,00	1,00	
18	580,65	503,00	1,00	332,00	30,00	332,00	1,00	
19	664,98	548,00	1,00	331,00	33,00	331,00	1,00	
20	475,43	473,00	1,00	330,00	33,00	330,00	1,00	
21	599,59	573,00	1,00	332,00	32,00	332,00	1,00	
22	536,99	572,00	1,00	333,00	31,00	333,00	1,00	
23	487,01	539,00	1,00	330,00	32,00	330,00	1,00	
24	601,41	550,00	1,00	331,00	33,00	331,00	1,00	
25	596,69	506,00	1,00	332,00	31,00	332,00	1,00	
26	797,86	754,00	1,00	334,00	30,00	334,00	1,00	
27	560,85	643,00	1,00	335,00	32,00	335,00	1,00	
28	612,70	643,00	1,00	336,00	33,00	336,00	1,00	
29	636,37	627,00	1,00	335,00	32,00	335,00	1,00	
30	512,42	718,00	1,00	333,00	30,00	333,00	1,00	
31	.	527,51	2,00	.	.	32,00	2,00	
32	.	518,45	2,00	.	.	33,00	2,00	
33	.	568,03	2,00	.	.	30,00	2,00	
34	.	576,35	2,00	.	.	34,00	2,00	

Vista de datos Vista de variables

Anexo 11

Programación de la prueba Mann-Whitney.

The screenshot shows the IBM SPSS Statistics interface. The main window displays a data table with columns 'LOR.E MADO', 'PRUEBA', and 'grupo'. The 'Análisis de potencia' menu is open, and the 'Pruebas no paramétricas' option is selected. The 'Muestras independientes...' submenu is also open, showing various non-parametric tests. The '2 muestras independientes...' option is highlighted.

	LOR.E MADO	PRUEBA	grupo
10	465,05	462,00	1,00
11	529,84	718,00	1,00
12	743,64	586,00	1,00
13	600,60	562,00	1,00
14	679,01	627,00	1,00
15	646,05	720,00	1,00
16	623,73	643,00	1,00
17	697,91	664,00	1,00
18	580,65	503,00	1,00
19	664,98	548,00	1,00
20	475,43	473,00	1,00
21	599,59	573,00	1,00
22	536,99	572,00	1,00
23	487,01	539,00	1,00
24	601,41	550,00	1,00
25	596,69	506,00	1,00
26	797,86	754,00	1,00
27	560,85	643,00	1,00
28	612,70	643,00	1,00
29	636,37	627,00	1,00
30	512,42	718,00	1,00
31	.	527,51	2,00
32	.	518,45	2,00
33	.	568,03	2,00
34	.	576,35	2,00

Anexo 12

Programación de la prueba Mann-Whitney para dos muestras independientes

*Sin título4 [ConjuntoDatos1] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

18 :

	LOR.E MADO	PRUEBA	grupo	TIEMPO. TRADICI ONAL	TIEMPO. MODERN O	PRUEBA 2	GRUPO2	var	var	var
10	465,05	462,00	1,00	334,00	34,00	334,00	1,00			
11	529,84	718,00	1,00	333,00	31,00	333,00	1,00			
12	743,64	586,00	1,00	332,00	33,00	332,00	1,00			
13	600,60	562,00	1,00	334,00	34,00	334,00	1,00			
14	679,01	627,00	1,00	336,00	33,00	336,00	1,00			
15	646,05	720,00	1,00							
16	623,73	643,00	1,00							
17	697,91	664,00	1,00							
18	580,65	503,00	1,00							
19	664,98	548,00	1,00							
20	475,43	473,00	1,00							
21	599,59	573,00	1,00							
22	536,99	572,00	1,00							
23	487,01	539,00	1,00							
24	601,41	550,00	1,00							
25	596,69	506,00	1,00							
26	797,86	754,00	1,00							
27	560,85	643,00	1,00							
28	612,70	643,00	1,00							
29	636,37	627,00	1,00							
30	512,42	718,00	1,00							
31	.	527,51	2,00			32,00	2,00			

Pruebas para dos muestras independientes

Lista Variables de prueba:
PRUEBA2

Variable de agrupación:
GRUPO2(1 2)

Definir grupos...

Tipo de prueba

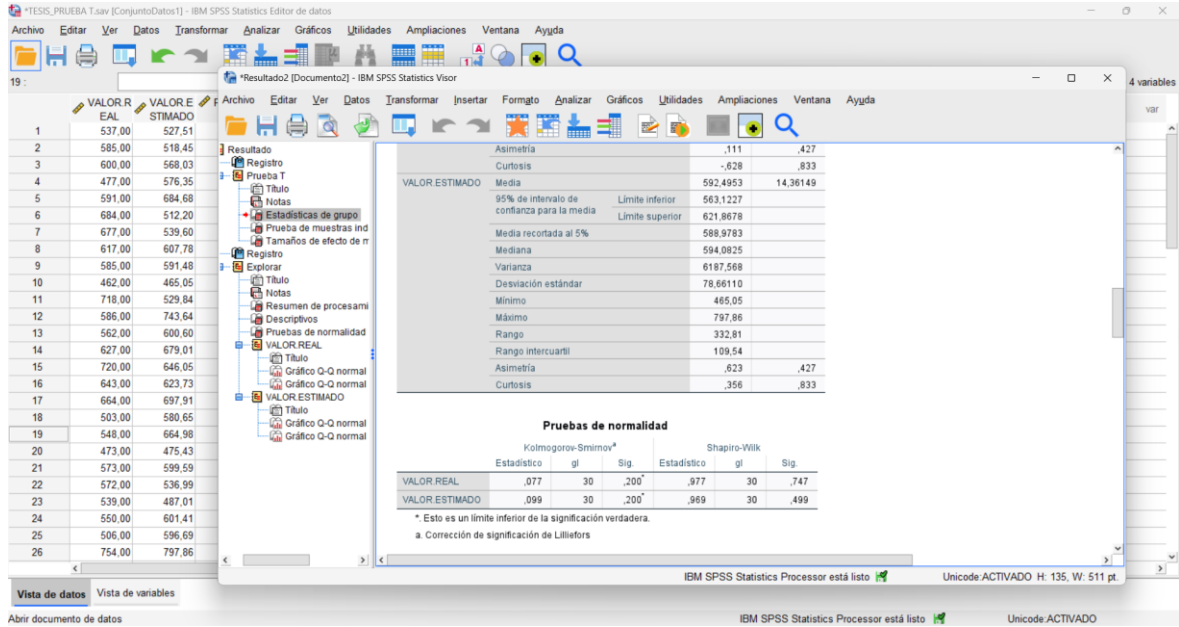
U de Mann-Whitney Z de Kolmogorov-Smirnov

Reacciones extremas de Moses Rachas de Wald-Wolfowitz

Aceptar Pegar Restablecer Cancelar Ayuda

Anexo 13

Resultados de la prueba de normalidad en el software SPSS entre el valor real y el valor estimado.



Anexo 14

Resultados de la prueba T-student para muestras independientes

