

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL POR MEDIO DE IOT PARA LA MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS SOBRE EL NIVEL DE RIESGO ERGONÓMICO DE TRABAJADORES DEL SECTOR METALMECÁNICO

MARÍA ELENA ARAUJO JULIO

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2020**

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL POR MEDIO DE IOT PARA LA MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS SOBRE EL NIVEL DE RIESGO ERGONÓMICO DE LOS TRABAJADORES DEL SECTOR METALMECÁNICO

MARÍA ELENA ARAUJO JULIO

**Trabajo de grado presentado para optar
al título de Ingeniería de Telecomunicaciones**

**Director
JESÚS AUGUSTO GUZMÁN LOZANO**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2020**

TABLA DE CONTENIDO

1.		142.
		183.
	213.1 Objetivo general	21
3.2	Objetivos específicos	21
4.	224.1 Modelos de simulación para evaluar el riesgo ergonómico	22
4.2	Herramientas de evaluación ergonómica mediante el uso del IOT	24
5.	285.1 Ergonomía	28
5.2	Riesgos ergonómicos en el sector metalmeccánico	31
5.3	Métodos para la evaluación ergonómica	34
	5.3.1 Repetitividad	34
	5.3.1.1 OCRA.	34
	5.3.1.2 Job Strain Index (JSI).	38
	5.3.2 Carga postural	39
	5.3.3 ¿Por qué la elección de los métodos OCRA, JSI y RULA?	40
5.4	¿Qué es Internet de las Cosas IOT?	42
	5.4.1 Requisitos mínimos de comunicación de los dispositivos conectados mediante IOT	44
	5.4.2 ¿Qué aplicaciones funcionan con IOT?	45
5.5	Base de datos	47
	5.5.1 Características de las bases de datos	47
	5.5.2 Ventajas y desventajas de las bases de datos	48
	5.5.3 Tipos de bases de datos	49
	5.5.4 Modelos de base de datos	50
	5.5.4.1 Base de datos relacionales.	50
	5.5.4.2 Modelo de base de datos entidad-relación.	51
5.6	Concepto de interfaz gráfica de usuario	53
6.	496.1 Tipo de investigación	55
6.2	Métodos	56
	6.2.1 Método OCRA.	56

	4
6.2.2 Método JSI (Job Strain Index)	61
6.2.3 Método RULA.	64
6.3 Alcance	73
6.4 Diseño de la investigación	74
6.4.1 Planificación	74
6.4.2 Diseño	80
6.5 Recolección y análisis de datos	81
7.647.1 Diseño de dispositivo ergonómico para la recolección de datos con trabajadores del sector metalmecánico	82
7.1.1 <i>Funcionamiento del dispositivo</i>	82
7.1.2 <i>Materiales para el dispositivo ergonómico</i>	83
7.1.3 <i>Selección y Funcionamiento de la Tarjeta (NodeMCU)</i>	84
7.1.4 <i>Características principales de la NodeMCU</i>	88
7.1.5 Acceso a los pines de NodeMCU	88
7.1.8 Selección del sensor	92
7.1.9 Esquema del montaje.	93
7.1.10 Diseño del prototipo	94
7.1.11 Pruebas realizadas con el sensor	95
7.1.12 Análisis y Pruebas	96
7.2 Modelo de base de datos para el almacenamiento de datos ergonómicos: movimientos y posturas de los miembros superiores	97
7.2.1 Diseño conceptual	98
7.2.2 Diseño lógico	101
7.2.3 Diseño del modelo físico	103
7.3 Diseño de algoritmo para el análisis del nivel de riesgo de los miembros superiores	105
7.4 Prototipo de la interfaz gráfica para el análisis de los datos	145
8.	140
	CONCLUSIONES
	161
RECOMENDACIONES	164
BIBLIOGRAFÍA	165
ANEXO	169

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Riesgos relacionados con el proceso operativo en el sector metalmecánico.	32
Tabla 2. Factores de riesgo ergonómico en el sector metalmecánico y su nivel de impacto.	33
Tabla 3. Ventajas y desventajas del modelo OCRA.	36
Tabla 4. Acciones técnicas del método OCRA.	56
Tabla 5. Puntuación del hombro (PHo).	58
Tabla 6. Puntuación del codo (PCo).	58
Tabla 7. Puntuación de la muñeca (PMu).	58
Tabla 8. Puntuación de la mano (PMa).	59
Tabla 9. Puntuación de los movimientos estereotipados (PEs).	59
Tabla 10. Nivel de riesgo, acción recomendada e índice OCRA equivalente.	59
Tabla 11. Intensidad del esfuerzo: Estimación de la fuerza requerida para realizar la tarea.	61
Tabla 12. Cálculo de la duración del esfuerzo.	61
Tabla 13. Esfuerzo por minuto: Número total de esfuerzos o acciones similares realizados por cada minuto de trabajo (frecuencia de acciones).	62
Tabla 14. Postura Mano / Muñeca: Se refiere a la posición anatómica de la muñeca o de la mano con respecto a la postura neutral.	62
Tabla 15. Velocidad o ritmo de trabajo: Este factor se tiene en cuenta para analizar el impacto que tiene el no permitir que los músculos se relajen adecuadamente.	63
Tabla 16. Duración de la tarea: Tiempo total de exposición al riesgo.	63
Tabla 17. Puntuación del brazo.	66
Tabla 18. Modificación de la puntuación del brazo	67
Tabla 19. Puntuación del antebrazo.	68
Tabla 20. Modificación de la puntuación del antebrazo.	69
Tabla 21. Puntuación de la muñeca.	70
Tabla 22. Modificación de la puntuación de la muñeca.	71
Tabla 23. Puntuación del giro de la muñeca.	72
Tabla 24. Distribución de roles y funciones de acuerdo con metodología SCRUM.	74
Tabla 25. Elementos que constituyen el diseño del dispositivo.	93
Tabla 26. Direcciones de memoria de la NodeMCU y pines.	94
Tabla 27. Tipo de dato que incluye la BD de la entidad “Usuario”.	102

Tabla 28. Tipo de dato que incluye la BD de la entidad “Movimientos Brutos”.	102
Tabla 29. Tabla de valoración e intensidad del esfuerzo de acuerdo con la escala de Borg.	114
Tabla 30. Multiplicadores de la intensidad del esfuerzo.	115
Tabla 31. Valoración del porcentaje del esfuerzo por minuto.	119
Tabla 32. Multiplicadores del esfuerzo por minuto.	121
Tabla 33. Valoración postura mano-muñeca.	123
Tabla 34. Multiplicador mano-muñeca.	124
Tabla 35. Valoración de la duración del esfuerzo.	127
Tabla 36. Multiplicadores de la duración del esfuerzo.	129
Tabla 37. Valoración de la duración de la tarea.	134
Tabla 38. Multiplicadores de la duración de la tarea.	135
Tabla 39. Valoración de la velocidad del esfuerzo.	138
Tabla 40. Multiplicadores de la velocidad del esfuerzo.	139

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Oportunidades que genera el IOT.	43
Figura 2. Descripción técnica de IOT.	44
Figura 3. Bases de datos.	47
Figura 4. Partes de las bases de datos relacionales.	51
Figura 5. Modelo de BD Relacional.	51
Figura 6. Diagrama de entidad.	52
Figura 7. Diagrama de atributos.	53
Figura 8. Diagrama de relación.	54
Figura 9. Movimientos repetitivos analizados mediante el método JSI.	60
Figura 10. Fórmula para calcular la puntuación de riesgo según Método JSI.	61
Figura 11. Clasificación según su puntuación de riesgo (Método JSI).	64
Figura 12. Ángulos evaluados de las extremidades superiores evaluados mediante el método RULA.	65
Figura 13. Ángulos generados por los brazos.	66
Figura 14. Movimientos que permiten una modificación a la puntuación del brazo.	67
Figura 15. Eje de antebrazo.	68
Figura 16. Movimientos que permiten una modificación a la puntuación del antebrazo.	69
Figura 17. Ángulos generados por la muñeca.	70
Figura 18. Movimientos que permiten una modificación a la puntuación de la muñeca.	71
Figura 19. Giro de la muñeca.	72
Figura 20. Etapa 1 de acuerdo con la metodología SCRUM.	75
Figura 21. Etapas 2 y 3 de acuerdo con la metodología SCRUM.	76
Figura 22. Etapa 4 de acuerdo con la metodología SCRUM.	77
Figura 23. Diagrama de etapa 5 y final del diagrama de la metodología.	78
Figura 24. Circuito del dispositivo.	79
Figura 25. Tarjetas de programación.	83
Figura 26. Esquema general de placa NodeMCU.	84
Figura 27. Placas de desarrollo.	85
Figura 28. Diagrama de pines de la NodeMC.	87
Figura 29. Placa NodeMCU con el puerto USB.	88

Figura 30. Conexión NodeMCU y sensor mpu6050.	89
Figura 31. Chip Wi-Fi ESP 8266.	90
Figura 32. Conexión desde el sensor.	92
Figura 33. Conexión sensor y NodeMCU.	92
Figura 34. Primer bosquejo del diseño de la conexión de los 3 sensores y la NodeMCU.	95
Figura 35. Fases de Diseño de un BD.	97
Figura 36. Diseño del modelo conceptual de la BD.	98
Figura 37. Notación PK del modelo lógico de la BD.	100
Figura 38. Diseño del modelo lógico de la BD.	101
Figura 39. Diseño del modelo físico de la BD.	103
Figura 40. Primera parte del algoritmo: Diagrama de actividades.	104
Figura 41. Conexión del sistema: Diagrama de actividades.	105
Figura 42. Conexión de la base de datos: Diagrama de actividades.	106
Figura 43. Verificación de credenciales: Diagrama de actividades.	107
Figura 44. Segunda parte del algoritmo: Diagrama de actividades.	108
Figura 45. Tercera parte del algoritmo: Diagrama de actividades (a).	108
Figura 46. Tercera parte del algoritmo: Diagrama de actividades (b).	109
Figura 47. Cuarta parte del algoritmo: Diagrama de actividades.	110
Figura 48. Quinta parte del algoritmo: Diagrama de actividades.	111
Figura 49. Sexta parte del algoritmo: Diagrama de actividades.	112
Figura 50. Testeo o detección del movimiento.	113
Figura 51. Cálculo de la valoración de la intensidad del esfuerzo.	114
Figura 52. Cálculo del multiplicador de intensidad del esfuerzo.	116
Figura 53. Esfuerzo por minuto.	118
Figura 54. Cálculo de la valoración del esfuerzo por minuto.	119
Figura 55. Cálculo de los multiplicadores de esfuerzo por minuto.	120
Figura 56. Cálculo de la valoración de la postura mano/muñeca.	122
Figura 57. Cálculo de los multiplicadores de la postura mano/muñeca.	125
Figura 58. Porcentaje de duración del esfuerzo.	126
Figura 59. Cálculo de la valoración de la duración del esfuerzo.	127
Figura 60. Cálculo de los multiplicadores de la duración del esfuerzo.	128

Figura 61. Conversion de milisegundos a horas.	130
Figura 62. Conversión a horas.	131
Figura 63. Calculo de la valoración de la duracion de la tareas.	133
Figura 64. Calculo de los multiplicadores de la duracion de la tarea.	135
Figura 65. Velocidad del esfuerzo.	137
Figura 66. Calculo de la valoración de la velocidad del esfuerzo.	138
Figura 67. Calculo de los multiplicadores de la velocidad del esfuerzo.	139
Figura 68. Calculo del nivel de riesgo.	141
Figura 69. Login del usuario registrado.	142
Figura 70. Menú de inicio.	143
Figura 71. Creación de un nuevo usuario.	144
Figura 72. Crear o asignar rol predeterminado.	145
Figura 73. Roles predeterminados.	145
Figura 74. Consulta de antecedentes.	146
Figura 75. Descarga de antecedentes médicos.	147
Figura 76. Conexión con el dispositivo.	148
Figura 77. Visualización de datos.	149
Figura 78. Gráfica de datos.	150
Figura 79. Visualización de datos.	150
Figura 80. Datos numéricos (en bruto).	151

RESUMEN

Los riesgos ergonómicos constituyen un factor de gran importancia dentro de la gestión de la seguridad y salud en el trabajo. Su identificación en el contexto organizacional ha derivado de las molestias que han presentado los trabajadores como parte del desarrollo de sus funciones en el tiempo y la prevención cada vez ha ganado la atención de los empleadores integrándose como eje central de los sistemas de gestión en seguridad y salud en el trabajo. No obstante, los planes de prevención se han establecido de manera mayormente subjetiva valorando las condiciones del puesto, por ello, el objetivo de la investigación consiste en diseñar un sistema de monitoreo en tiempo real por medio de IOT para la medición y análisis de datos sobre el nivel de riesgo ergonómico de trabajadores del sector metalmeccánico, fortaleciendo así la prevención y las acciones encaminadas al bienestar del empleado y de la empresa en general. En esta intención se diseñó el prototipo de un dispositivo ergonómico el cual se encargará de la recolección de datos para realizar el análisis continuo de los movimientos que desempeñan los trabajadores al realizar sus tareas. El análisis de los datos se realizó aplicando el método JSI (Job Strain Index), no obstante, se cuantificaron algunos aspectos cualitativos que considera dicho método, lo cual brinda mayor asertividad al procedimiento de medición y convierte el dispositivo en una herramienta eficaz para disminuir el porcentaje de error que se produce por las apreciaciones subjetivas del evaluador. Se concluye que los riesgos ergonómicos pueden ser atendidos por medio de la implementación de la tecnología como la basada en IoT, a bajo costo y con alto impacto positivo en la eficiencia de los procesos y el bienestar del recurso humano de una organización.

Palabras clave: ergonomía, JSI, IOT, sector metalmeccánico, SGSST

ABSTRACT

Ergonomic risks are a very important factor in the management of health and safety at work. Its identification in the organizational context has derived from the annoyances that workers have presented as part of the development of their functions over time and prevention has increasingly gained the attention of employers, integrating it as a central axis of the safety and security management systems. health at work. However, prevention plans have been established in a mostly subjective way, assessing the conditions of the position, therefore, the objective of the research is to design a real-time monitoring system through IOT for the measurement and analysis of data on the level of ergonomic risk of workers in the metalworking sector, thus strengthening prevention and actions aimed at the well-being of the employee and the company in general. With this intention, the prototype of an ergonomic device was designed which will be in charge of collecting data to carry out the continuous analysis of the movements carried out by workers when carrying out their tasks. The data analysis was carried out by applying the JSI (Job Strain Index) method, however, some qualitative aspects considered by said method were quantified, which provides greater assertiveness to the measurement procedure and makes the device an effective tool to reduce the percentage of error that is produced by the subjective appraisals of the evaluator. It is concluded that ergonomic risks can be addressed through the implementation of technology such as that based on IoT, at low cost and with a high positive impact on the efficiency of processes and the well-being of an organization's human resources.

Keywords: Ergonomics, JSI, IOT, metalworking sector, SGSST

INTRODUCCIÓN

JSI (Job Strain Index) es un método que permite evaluar movimientos repetitivos que realizan las personas en la mano-muñeca, lo anterior con el fin de identificar el índice de riesgo que conlleve a desarrollar lesiones o desórdenes músculo esqueléticos. Este método se enfoca únicamente en el estudio de los miembros superiores del cuerpo humano, el cual se evalúa considerando 6 variables, algunas de las cuales se califican mediante un criterio cualitativo o subjetivo y otras mediante un criterio cuantitativo o numérico, no obstante, las 6 variables son cuantificables y consideradas en la ecuación final que calcula el índice de riesgo del trabajo.

Dicho método se emplea en el documento para identificar movimientos riesgosos que ejecutan los trabajadores del sector metalmecánico, esto es posible mediante el diseño de un sistema evaluaciones ergonómicas que aplica el método JSI. Para este sistema de evaluaciones ergonómicas se tuvieron en cuenta cuatro fases.

En la primera fase se diseñó un dispositivo ergonómico capaz de recolectar los datos relacionados a los movimientos ejecutados por el trabajador para su almacenamiento y análisis. La segunda fase de diseño consta de la elaboración de una base de datos la cual permitirá almacenar todos los datos recolectados por el dispositivo; en esta se almacenarán los datos en bruto así como los datos analizados para su registro y control. La tercera fase trata del diseño del algoritmo que permita el análisis de los datos en bruto recolectados por el dispositivo, este análisis con el fin de identificar el nivel de riesgo al que están expuestos los miembros superiores de dichos trabajadores, de igual manera se desarrolla la cuarta fase la cual limita el alcance de los usuarios que lo utilicen dependiendo del perfil que tengan y permite visualizar la información de diferentes maneras con el fin de facilitar al máximo su entendimiento, esto se hace a través de la interfaz gráfica diseñada para el manejo del software asociado al dispositivo, los datos recolectados pueden visualizarse en

forma bruta y procesada de manera gráfica y numérica, adicional a esto el algoritmo mantiene una conexión continua con la base de datos a lo largo del proceso de evaluación, puesto que la información se almacena en diferentes momentos durante la aplicación del método para que de ser necesario realizar el proceso de verificación de la veracidad de la evaluación se pueda reconstruir el proceso desde diferentes puntos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las empresas del sector de metalmecánica, como en otros contextos de trabajo, pueden llegar a presentarse diferentes factores que pueden poner en riesgo la seguridad y salud de sus trabajadores, ya sea por realizar tareas de manera repetitiva o que el mismo lugar de trabajo presente condiciones poco apropiadas para la realización de las tareas relacionadas con el cargo. Estos factores pueden llegar a ser:

1. La carga física realizada por el trabajador. Entendiéndose carga física como cualquier de las siguientes tareas: movimientos repetitivos, posturas forzadas, levantamiento de peso, etc.
2. Aspectos psicosociales del ambiente de trabajo. Entiéndase estos por a lo relacionado con el descanso del trabajador, pensiones, responsabilidades, etc.
3. Condiciones en su puesto de trabajo como la iluminación, el ruido, entre otros (ARL SURA, 2020; OIT, 2009).

Estos tres grupos de factores de riesgos son claves para contextualizar las ocurrencias de riesgo a las que están expuestas los trabajadores en cualquier sector de la industria, sin embargo, por la naturaleza de las funciones llevadas a cabo en la empresa metalmecánica, el problema se plantea desde los factores de riesgo ergonómicos relacionados con las altas cargas físicas soportadas por los trabajadores y los movimientos repetitivos que estos hacen durante su jornada laboral (Mariño, Castro y Cruz, 2016), donde particularmente se utilizan los miembros superiores de los individuos y en ese sentido pueden resultar más afectado (Morelos y Fontalvo, 2012).

Puede decirse entonces, que en las empresas de dicho sector los trabajadores están realizando constantemente un tipo de tareas que requieren cierto nivel de esfuerzo físico y aunque se

reconocen los riesgos presentes en este tipo de actividades, tanto por el empleado como el empleador, no siempre es posible, aun haciendo uso de los elementos de seguridad, controlar todas las variables que intervienen en un incidente, desarrollo de una enfermedad o incluso la muerte, producto de los riesgos presente en un contexto laboral.

Dicha incertidumbre respecto de los riesgos laborales es la que lleva a pensar en mecanismos de control que reduzcan la oportunidad de que un empleado, al menos dentro del sector de interés, vea afectada su seguridad o salud dentro de actividades laborales.

Dentro de los mecanismos de control actualmente aparecen opciones tecnológicas cada vez más especializadas, con dispositivos de medición en salud basados, por ejemplo, en Internet of Things (IOT) (Pavel, Jimison, Wactlar, Hayes, Barkis, Skapik, Kaye, 2013) que, de un lado, se enfocan en medir y analizar el rendimiento y funcionamiento de las máquinas para evitar irregularidades en la producción, así como afectaciones en la integridad física de los trabajadores (Senthil y Iyer, 2019). Así también, se encuentran dispositivos incorporados en la dotación industrial para regular factores como la temperatura y de conocimiento más común se resaltan los dispositivos de uso diario como los relojes inteligentes para monitorear la salud y las actividades de los usuarios: la temperatura corporal, el ritmo cardiaco, el estrés, el número de pasos, entre otros (Santamaria, Serianni, Raimondo, Froio y De Rango, 2016).

Estos nuevos avances tecnológicos aplicados a la industria no solo para mejorar la eficiencia de los procesos sino para reducir riesgo laborales (Senthil y Iyer, 2019), representan una alternativa para analizar las formas de trabajo dentro de los diferentes sectores que funcionan con esquemas de producción tradicionales y para generar innovaciones en las regiones del mundo donde

actualmente están lejos de lograr implementaciones tecnológicas para efectos productivos y menos para generar controles inteligentes que salvaguarden la seguridad y salud de sus empleados.

En Colombia, los avances tecnológicos varían según el sector. Puede mencionarse el sector de telecomunicaciones y financiero con mayores esfuerzos en la transformación digital desde la video analítica, biometría dactilar y reconocimiento facial, hasta el pago de peajes mediante servicio electrónico (El Tiempo, 2019).

Por su parte, el desarrollo del sector industrial es una de las prioridades dentro del Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico Industrial y Calidad, ya que desde su último plan estratégico 2005-2015, se planeó fortalecer con la ayuda del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, bajo la implementación de la investigación aplicada que es posible orientar a soluciones de problemas empresariales para permitir la activación y fortalecimiento de las alianzas entre la Universidad-la Empresa y el Estado.

Tal consideración frente al desarrollo del sector industrial aplica para el subsector metalmecánico cuya producción avanza con el uso de maquinaria pesada, en muchas ocasiones manipulada directamente por el equipo humano que ahí se desempeña. Esto sin duda señala grandes desventajas en lo que respecta a la seguridad y salud en el trabajo, ya que la interacción hombre-máquina puede, a mediano y largo plazo, presentar afecciones particularmente a nivel ergonómico, donde las extremidades superiores llegan a ser las más comprometidas.

La situación señalada, se convierte en el foco central de la investigación que acude a la interdisciplinariedad a fin de identificar problemáticas de seguridad y salud dentro de los entornos laborales desde la Ingeniería Industrial y la Fisioterapia y oportunidad de solución a partir de los

aportes que ofrece la Ingeniería de Telecomunicaciones y la Ingeniería Electrónica en un esfuerzo por contribuir a soluciones para sector industrial.

Desde estos aportes disciplinares, la investigación propone iniciar un periodo de pruebas en el subsector metalmecánico mediante el IOT para medir el nivel de riesgo al que están expuestos los trabajadores durante el desarrollo de sus actividades. Por ello el cuestionamiento central es el siguiente.

Pregunta de investigación: ¿Cómo diseñar un sistema de monitoreo en tiempo real por medio de IOT para la medición y análisis de datos sobre el nivel de riesgo ergonómico de trabajadores del sector metalmecánico?

2. JUSTIFICACIÓN

Garantizar entornos de trabajo más saludables resulta de suma importancia para las empresas y las organizaciones mundiales de la salud. Específicamente, en las empresas con plantas de fabricación, el seguimiento a la ergonomía con las posturas de trabajo adoptadas se presenta como un proceso indispensable para evitar la aparición de factores de riesgo representados en los trastornos músculo esqueléticos relacionados con las actividades laborales.

En este sentido, la medición y el análisis de los niveles de riesgo a los que están expuestos los trabajadores del subsector metalmecánico para evitar afecciones ergonómicas, que pueden contribuir negativamente la salud de los trabajadores a la hora de realizar, propone unos parámetros de control y monitoreo para generar un ambiente laboral más integral, en la medida en que se contribuya al aumento en la calidad laboral de los trabajadores, entre quienes se puede reducir los esfuerzos por levantamientos de cargas, así como movimientos repetitivos bastantes frecuentes en el sector, entre los cuales se centrará el análisis.

En el caso particular de presente proyecto, se despliega un análisis amparado por el proyecto “Evaluación de riesgo físico en miembros superiores al accionar herramientas de golpe, trabajado en cooperación Universidad de Cundinamarca – Universidad Santo Tomás”, el cual en etapas anteriores se fundamentó en estudiar el impacto de las posturas forzadas, movimientos repetitivos y levantamiento de cargas en la salud de los trabajadores del sector metalmecánico, lo cual arrojó resultados favorecedores.

Para la siguiente etapa, la cual concierne al desarrollo, se busca continuar con la fase de prototipado, donde se proyecta diseñar e implementar un sistema de monitoreo en tiempo real para la recolección, tratamiento, análisis y visualización de los datos mediante una interfaz gráfica.

Con lo anterior, se pretende llegar a un monitoreo constante de los trabajadores mientras realizan sus labores y de esta forma poder recolectar los datos que posteriormente serán tratados mediante la ruta señalada para identificar los riesgos ergonómicos que afectan la salud del trabajador.

La medición y análisis de datos sobre el nivel de riesgo de los trabajadores del subsector metalmecánico mediante el uso del IOT, resulta importante porque contribuye al desarrollo e innovación en evaluación de los riesgos de cara a la generación de nuevas formas de desarrollar las actividades como medida de prevención. Entre los beneficios de medir los riesgos mediante un sistema de monitoreo basado en IOT y no solo desde un ejercicio de observación, se encuentra:

- Evaluaciones de riesgos más cómodas y rápidas para los técnicos de las ARL.
- Reducción de los tiempos durante el análisis de los datos provenientes de la evaluación de riesgos ergonómicos.
- Uso y gestión rápida de las metodologías para medir los movimientos repetitivos.
- Facilitar la generación de informes de evaluación ergonómica del puesto de trabajo.
- Contribuir a la mejora de los puestos mediante las métricas que se reporten ante las directivas.

Este esfuerzo que propone el trabajo es particularmente importante para el sector de estudio ya que según el último estudio de Marca Colombia (2020) la industria metalmecánica en el país es una de las más importantes y sobre la que se tienen grandes proyecciones por la creciente demanda mundial de sus productos, logrando exportaciones que superan las 350.000 toneladas por año, con una representatividad cercana al 14% del sector industrial a nivel nacional y en un porcentaje similar (13%) una contribución a las cifras de empleabilidad dentro del PIB.

Del mismo modo, para efectos del tema central, en términos de las enfermedades que se pueden desencadenar por ocasión de los movimientos repetitivos en el sector metalmecánica corresponde a las enfermedades del sistema osteomuscular del tejido conectivo y traumatismos con un total de casos de 733.430 que suman 6.020.491 días por incapacidad con un promedio de 8 días de incapacidad persona, lo que genera un índice alto de ausentismo laboral en el sector (Mac Master & Echavarría, 2017).

En este sentido, los hallazgos del estudio pretenden ser un punto de partida para aportar a las medidas de prevención sobre los riesgos que pueden tener las condiciones de trabajo sobre la salud de los trabajadores, en aras de favorecer entornos saludables dentro de la cultura organizacional de las empresas del sector. En esta medida, también se contribuye a disminuir los costos directos e indirectos asociados al ausentismo laboral por enfermedad, donde los costos directos representan los que deben ser asumidos por el trabajador ausente durante los dos días y los indirectos corresponden a los desembolsos por conceptos de salarios por reemplazos, sobrecargas y costos de reintegro que debe realizar el empleador para cubrir la ausencia del empleado en el puesto de trabajo (Mac Master y Echavarría, 2017).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de monitoreo en tiempo real por medio de IOT para la medición y análisis de datos sobre el nivel de riesgo ergonómico de trabajadores del sector metalmeccánico.

3.2 Objetivos específicos

- Diseñar un dispositivo ergonómico que permita la recolección de datos con los trabajadores del sector metalmeccánico.
- Plantear el modelo una base de datos que permita el almacenamiento de los datos acerca de los movimientos y posturas de los miembros superiores de los trabajadores del sector metalmeccánico durante el desempeño de sus labores.
- Realizar el diseño de un algoritmo que permita el análisis del nivel de riesgo al que están expuestos los miembros superiores de los trabajadores del sector metalmeccánico al realizar sus labores.
- Diseñar el prototipo de la interfaz gráfica para el análisis de los datos que se obtengan de los trabajadores del sector metalmeccánico.

4. ANTECEDENTES

El marco referencial de la investigación tiene en cuenta una recopilación de estudios de límite sobre la aplicación de la tecnología IOT aplicada al pronóstico y reducción de riesgos ergonómicos en diferentes actividades laborales, así mismo sobre modelos de simulación para el mismo fin. En este sentido, se da cuenta de los avances tecnológicos realizados entre 2018 y 2020, cuyas perspectivas aportan en la orientación de la propuesta.

4.1 Modelos de simulación para evaluar el riesgo ergonómico

En esta línea aparece el estudio de Li, Han, GüL, Al-Hussein (2019), quienes se proponen disminuir el riesgo ergonómico que puede desencadenar en lesiones y costos de indemnización de los trabajadores, frente a lo que se propone un sistema de evaluación de los riesgos ergonómicos de manera automatizada mediante un modelado 3D con el apoyo de una plataforma de fácil manejo diferente a lo que propone actualmente la metodología REBA y RULA, las cuales tienen limitaciones en la magnitud, velocidad del movimiento y la cantidad de tiempo que se necesita para llevar a cabo la evaluación de un movimiento continuo desde ambos lados del cuerpo. Debido a estas limitaciones dichas metodologías REBA y RULA son ajustadas en el estudio para luego ser utilizadas en el procesamiento automático de los datos del modelo.

Se concluye que el modelo en 3D propuesto denominado ErgoSystem requiere un mayor desarrollo dependiendo de las características de los entornos de trabajo, sin embargo, la visualización en 3D puede presentarse como una solución para sortear las limitaciones actuales en cuanto a la toma de datos y evaluación de riesgos. De esta manera, del estudio se puede rescatar la flexibilidad a la hora de adaptar las metodologías existentes a las necesidades de tecnologías como

IOT con el fin de generar aportes innovadores que contribuyan al propósito que convoca en torno al bienestar de los empleados.

Abobakra, Nahavandi, Hossny, Iskander, Attia, Nahavandi, Smets (2019) en su estudio presentan un sistema semiautomático de evaluación ergonómica que analiza la postura humana de forma holística apoyándose de tecnologías de bajo costo y aprovecha las técnicas de aprendizaje profundo más avanzadas. Para ello, se entrenó una red neural convolucional profunda para analizar las posturas articuladas y predecir así los ángulos de las articulaciones del cuerpo teniendo en cuenta una sola imagen de profundidad. El método propuesto se basa en el aprendizaje de imágenes sintéticas de entrenamiento que permiten la simulación de varias tareas físicas, haciendo uso de diferentes formas de cuerpo y parámetros de representación, lo que permite la obtención de un modelo altamente generalizable. La validación del sistema en entornos reales permitió una coincidencia con los puntajes de referencia, se obtuvo un error absoluto medio del ángulo articular (MAE) de $\pm 3,19$ y una precisión de predicción del 89% en los miembros superiores según la metodología de RULA con un índice Kappa de 0,71. La propuesta del sistema permite la evaluación de varias métricas de evaluación ergonómica sin necesidad de generar mayores esfuerzos económicos, estudio que se asemeja a la presente investigación pero con un método diferente que se busca validar un sistema de monitoreo en tiempo real mediante un dispositivo basado en IOT ubicado en el brazo del trabajador, que enviará los datos a la nube para ser procesados mediante una interfaz gráfica.

Otro trabajo enfocado en la simulación corresponde a Caputo, Greco, Fera, Macchiaroli (2019), quienes proponen la evaluación de un diseño ergonómico para validar sus beneficios desde un entorno virtual con el fin de validar el método propuesto en un caso de prueba real. Este ejercicio de validación simulada permite la generación de un alto número de datos que permiten

probar la viabilidad y eficiencia del producto basado en índices ergonómicos, bajo procedimientos de bajo costo.

Otro trabajo lo ofrece Djapan, Macuzic, Tadic, Baldissone (2019) con el objetivo de proponer una herramienta de evaluación ergonómica de fácil uso que pronostique los riesgos y sirva para la toma de decisiones a los responsables de la seguridad y salud en el trabajo. Es decir, los encargados de la seguridad en ambientes laborales están en condiciones de predecir el nivel de riesgo antes de que se tomen las medidas reales mediante una interfaz fácil de usar. La herramienta está desarrollada en el entorno de Matla y con la introducción de la teoría de conjuntos difusos en el proceso de evaluación de riesgos, el nivel de subjetividad se reduce al mínimo. Igualmente ofrece múltiples oportunidades para seguir mejorando en cualquier sector donde se aplique.

A modo de resumen, de acuerdo con los estudios referenciados puede decirse que la simulación es un buen recurso para validar la aplicación de las ideas tecnológicas al campo de la seguridad y salud en el trabajo, ya que pueden resultar de bajo costo y permiten hacer mejoras antes de implementar las propuestas en entornos reales.

4.2 Herramientas de evaluación ergonómica mediante el uso del IOT

El estudio de Gregori, Papetti, Pandolfi, Germani (2018), se enfoca en la propuesta de un método para diseñar una infraestructura basada en IOT para obtener datos de los trabajadores mientras están desarrollando sus actividades laborales contribuir a la mejora de su bienestar y el aumento de la productividad. El método permite identificar los puntos críticos desde la cultura organizacional, centrándose en el rendimiento humano para así definir medidas correctivas a nivel de las operaciones, disposición de la planta o gestión de turnos. El estudio fue monográfico y se apoyó de un productor italiano para la validación del modelo y el sistema de adquisición de datos

conexos. Como resultado se demostró que los entornos basados en IOT deben ser una oportunidad para mejorar los procesos de manera sostenible entre tecnología y recurso humano. Este estudio permite comprender la importancia de una colecta de datos para la identificación de riesgos físicos producto de las posturas y movimientos repetitivos para efectos de conservar por un lado la salud de los empleados y por otro para mejorar la productividad y la reducción de costos por lo que implica la enfermedad o accidente de un empleado.

Senthil y Iyer (2019) se proponen explorar los beneficios del IOT en la ingeniería y la industria para analizar los diversos desafíos del IOT y para identificar las formas de superar sus desafíos. Específicamente, el estudio analiza cómo la estrategia del IOT facilita el aumento del valor del cliente, crea diferentes oportunidades y transforma el proceso de negocios para aumentar el beneficio en las industrias. Metodológicamente, desde un tipo de investigación exploratoria se revisaron fuentes web y artículos de revistas y se aplicaron entrevistas a nivel empresarial para tener el punto de vista sobre la implementación de IOT en las industrias de ingeniería. El estudio deja abierto el camino hacia nuevos estudios sobre los retos que enfrentarán los prestadores de servicio de IOT, hasta aspectos del recurso humano a la hora de enfrentar los cambios a nivel de la cultura organizacional cuando se implemente dicha tecnología, asimismo, la medición de la eficiencia con su uso.

Prueksanusak, Rujvipatand, Wongpatikaseree (2019), propusieron una silla inteligente basada en IOT para clasificar posturas durante la sentada, mediante un dispositivo móvil. Los resultados preliminares permitieron identificar que la silla tenía cinco posturas con una precisión de 96,2%, con el valor agregado de que la aplicación podría enviar un mensaje de alerta para llevar al usuario a corregir la postura. Este aporte, permite considerar las opciones de desarrollo y aplicabilidad del sistema de medición en tiempo real, ya que si bien, se enviarán los datos a la nube

para la visualización y análisis por parte del responsable en seguridad y salud en el trabajo, también podría enviarse una alerta al dispositivo del empleado para que mejore las posturas.

Un desarrollo similar al trabajo anterior lo proponen Chagas, Beingolea, Rendulich (2019), quienes describen el desarrollo y prueba de un instrumento biomédico para integrar en el vestuario de manera discreta y a bajo costo para realizar seguimiento, registro y análisis del cuerpo humano en posición sentada mediante los principios de la ergonomía y el uso de sensores corporales de señalización luminosa (LED), con el fin de verificar si la persona se encuentra en posición adecuada o no para enviar alerta. Los datos generados y almacenados pueden ser analizados. Dentro de las pruebas del dispositivo se logró verificar las funcionalidades consideradas, logrando que el usuario de oficina pudiera permanecer la mayor parte del tiempo sentado frente a su computador en la posición correcta. Se llegó a la conclusión, que los avances en salud para la mejora en la calidad de salud de los individuos en entornos laborales y en la vida general pueden alcanzarse con la implementación de dispositivos de fácil implementación, manejo, se produzca a bajo costos y que sirva como herramienta didáctica, criterios que se tendrán en cuenta en la presente investigación.

Por último, Gnoni, Bragatto, Milazzo, Setola (2020), se proponen la descripción del prototipo de un sistema basado en IOT para gestionar diferentes tipos de riesgos en un entorno laboral a partir de una plataforma digital, considerado tanto para las plantas de producción como para los empleados. Su aplicabilidad sirve para llevar a cabo controles de calidad a las máquinas, el procesamiento de materiales peligrosos, así como el seguimiento remoto de la exposición a peligros de los trabajadores. Este sistema permitió resultados positivos en entornos reales y puede contribuir también a la concientización de los trabajadores sobre las medidas de cuidado ante los riesgos, propósito que complementa la presente propuesta no solo hacia el desarrollo tecnológico

y los resultados esperados, sino hacia la transformación en la cultura organizacional y en las formas de hacer de los empleados.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Ergonomía

La ergonomía es aquella disciplina científica que estudia la interacción que tiene un ser humano con los demás elementos de un sistema para así poder optimizar el bienestar humano y el rendimiento que este tenga en su ambiente (Madrid & Cañas, 2015, citando a International Ergonomics Association (IEA), 2000).

Sin embargo, la anterior definición da cuenta de una visión que establece exclusivamente la relación entre hombre y máquina, por lo que autores como Wilson (2000) citado por Madrid y Cañas (2015), propuso una definición más compleja y holística desde un sistema socio-técnico, donde el comportamiento y el rendimiento humano se comprende a través de dicho sistema en la cual la interacción se da desde el contexto real. De esta manera, por socio-técnico se puede entender desde el uso que una persona le da a un lapicero, hasta interacciones más complejas como la interfaz de un sistema de monitoreo en tiempo real.

Luego de tal aproximación conceptual, la ergonomía no solo se limita a la interacción del ser humano con las máquinas para lograr propósitos específicos, sino que señala diferentes vertientes o especialidades según Gómez, Tibasosa y Vargas (2018), entre las cuales están:

- La ergonomía física: principalmente se centra en aquellas características anatómicas, antropométricas, fisiológicas, entre otros; en conclusión, son aquellas que se relacionan con la actividad física humana.

- La ergonomía cognitiva: se enfoca en aquellos procesos mentales como la percepción, la memoria, el razonamiento, entre otros; o sea aquellas que influyen en la interacción de los humanos con los elementos.
- La ergonomía de la organización: tiene como estudio la optimización de los sistemas socio-tecnológicos, esto se hace a través del estudio de sus políticas, procesos y estructuras organizativas.
- Ergonomía ambiental: se encarga del estudio de los factores ambientales que influyen físicamente en el entorno donde interactúa el sistema que conforma el dúo persona-máquina. De ellos se puede mencionar el factor térmico, visual, acústico, mecánico, electromagnético y atmosférico.

Ahora, dentro de los alcances de la ergonomía, con ella es posible identificar aquellos posibles factores de riesgo que pueda sufrir un humano al interactuar con los diferentes elementos del sistema o lugar donde se encuentre; para ello hay que definir que podría considerarse como factores de riesgo.

Los factores de riesgo pueden estar divididos según su afectación a los trabajadores. De esta manera, se pueden encontrar los riesgos: físico, psicológico, mecánico, biológico, ergonómico, entre otros (Gómez, Tibasosa y Vargas, 2018).

Cabe aclarar que este estudio se enfoca en los factores de riesgo ergonómicos, físicos y mecánicos que puedan afectar de forma directa a un trabajador al realizar alguna de las tareas para las que fue contratado dentro del sector metalmeccánico.

Dicho contexto conceptual, permite una perspectiva sobre lo que es ergonomía en su sentido más genérico y mayormente aceptado hasta ahora, pero sin duda, es pertinente pensar la ergonomía

desde los cambios que ha impuesto el siglo XXI y para ello Dul et al (2012) citado por Madrid y Cañas (2015) presenta algunos fundamentos sobre la disciplina de la ergonomía, en tanto ciencia como profesión.

De un lado, la ergonomía debe adoptar un enfoque de los sistemas, donde no solo debe centrarse en el trabajador como parte del sistema interactivo sino en el sistema integrado que incluye el lugar, los espacios, la tecnología, las personas y todo lo que permita el logro de objetivos dentro de una programación organizacional. De otro lado, la ergonomía debe estar guiada por el diseño en función de los sistemas de trabajo para contribuir de manera eficaz a mejorar la ejecución y el bienestar entre las partes del sistema completo, entendido por un lado, en el contexto de la productividad, eficiencia, seguridad, fiabilidad y demás indicadores, y por otro lado, en el bienestar humano, su satisfacción y desarrollo profesional (Madrid & Cañas, 2015), lo que permite pensar en las nuevas formas de trabajo que se perfilan a partir de los cambios de todo orden que impone la dinámica mundial. De ahí que los mismo autores hayan visualizado unas tendencias que podrían afectar (y ya se puede reconocer que están afectando) a los sistemas económicos, productivos y en consecuencia a la Ergonomía, estos son:

- Entre los países desarrollados se están centrando en una economía de servicios, mientras que los países en desarrollo en la fabricación de productos, con una tendencia de ambos a la automatización de procesos que marca un nuevo relacionamiento entre personas y tecnología, que su conjunto se potencia una diversidad cultural no solo en las formas de hacer sino en la fuerza de trabajo y en los consumidores de productos y servicios. De esta manera, la ergonomía se estaría pensando desde el enfoque de diseño transcultural.
- De acuerdo con los sistemas de trabajo, la creación de productos y la oferta de servicios, el envejecimiento de la población representa es un reto global, ya que estos no están diseñados

para responder ante tal característica, no obstante, aquí la ergonomía encuentra un campo de acción ya que puede proponer soluciones adaptadas a las necesidades propias del proceso de envejecimiento¹.

- El avance de las TIC ha contribuido a la transformación de los sistemas de trabajo con una tendencia hacia el desarrollo de tareas (reuniones, trabajo en equipo) desde la virtualidad. En este ámbito, la Ergonomía puede contribuir “en el diseño de sistemas de comunicación virtual, sistemas de trabajo virtuales o interfaces de interacción persona-ordenador más naturales” (p. 6).
- En la necesidad de competir en el mercado a partir de procesos, productos y servicios cada vez más innovadores, desde la Ergonomía se puede contribuir a fomentar la creatividad de los empleados generando nuevas experiencias de usuario y procesos ágiles.
- La respuesta organizacional a la sostenibilidad y responsabilidad social, genera otra posibilidad para la ergonomía ya que desde sus esfuerzos se puede optimizar la productividad en la medida en que se aporte al bienestar de los trabajadores (Madrid & Cañas, 2015).

5.2 Riesgos ergonómicos en el sector metalmecánico

De acuerdo con el portal web Ergo IBV (2016) en el sector metal los accidentes más frecuentes son los relacionados con las disposiciones ergonómicas adoptadas dentro de los puestos de trabajo por la manipulación de altas cargas, los movimientos repetitivos o posturas inadecuadas. Lo anterior lo confirma el estudio de Velasco (2012) que identifica diferentes factores de riesgo ergonómico en el sector metalmecánico: manejo de cargas de manera manual, esfuerzos continuos

¹ Incluso se puede hablar de aportes a la población con discapacidad física o cognitiva, entre otras.

y repetidos, posturas estresantes que la autora define como aquellas a nivel del movimiento que genera el brazo, el antebrazo, muñeca, mano y los respectivos al cuello, tronco y extremidades inferiores, además del estrés mecánico, la vibración y el ruido.

La anterior afirmación también es corroborada por Morelos y Fontalvo (2013) quien luego de la aplicación de una encuesta para la identificación de los riesgos a los que están expuestos los empleados encontró que el principal de ellos es el ergonómico, ya que los empleados hacen sobreesfuerzos al transportar de manera manual la materia prima, el puesto de trabajo puede presentar un diseño inadecuado por factores como la falta de espacios amplios, la posición de pie por largo tiempo, además de los movimientos inadecuados y repetitivos y las flexiones de tronco y piernas.

Dentro del proceso que se adelanta en el sector metal, el portal web Ergo IBV (2016) señala los siguientes asociados a sus respectivos riesgos:

Tabla 1.

Riesgos relacionados con el proceso operativo en el sector metalmecánico.

Proceso	Posturas Inadecuadas	Sobreesfuerzos	Movimientos Repetitivos
Recepción de materias primas		***	
Preparación de moldes y machos	***	***	***
Fusión y colada	***	***	***
Desmolde y rebarbado	***	***	***
Soldadura	***	***	
Desbarbado y amolado	***	***	***
Mecanización por arranque de material	***	***	***
Mecanizado por deformación	***	***	***
Tratamiento de térmicos	***	***	
Tratamiento de superficie y recubrimientos	***	***	***
Ensamblaje y montaje	***	***	***

Transporte interior y almacenamiento	***	***	
Mantenimiento	***	***	***
Oficinas	***		***

Nota. Tomada de Ergo IBV (2016) en “La ergonomía en el sector del metal.

Ya dentro de un análisis de riesgo Velasco (2012) los resume de acuerdo con su nivel de impacto de la siguiente manera (ver Tabla 2).

Tabla 2.

Factores de riesgo ergonómico en el sector metalmecánico y su nivel de impacto.

Factor de riesgo	Severidad	Probabilidad	Nivel de riesgo
Esfuerzos repetitivos o sostenidos	Dañino	Alta	Riesgo importante
Esfuerzos vigorosos	Dañino	Alta	Riesgo importante
Posturas estresantes	Dañino	Alta	Riesgo importante
Manejo manual de cargas	Dañino	Alta	Riesgo importante
Estrés mecánico	Ligeramente dañino	Alta	Riesgo moderado
Vibración	Dañino	Media	Riesgo moderado
Ruido	Dañino	Baja	Riesgo tolerable
Altas temperaturas	Ligeramente dañino	Baja	Riesgo bajo
Iluminación	Ligeramente dañino	Baja	Riesgo bajo

Nota. Adaptada de Velasco (2012) en “Lineamientos para reducir los riesgos ergonómicos del sector metalmecánico de la ciudad de San Cristóbal”

5.3 Métodos para la evaluación ergonómica

Actualmente se conocen diferentes métodos que pueden ser utilizados para llevar a cabo evaluaciones y análisis en el campo de la ergonomía dependiendo el abordaje del estudio y sus alcances en términos de tiempo y recursos. Sin embargo, un criterio para definir el método más adecuado entre todos los existentes, responde a la sencillez de aplicación y consolidación de los datos, de ahí que los siguientes sean los más difundidos en términos del análisis de los movimientos más repetitivos y la carga postural.

5.3.1 Repetitividad

Entre los métodos implementados para evaluar y analizar los movimientos repetitivos está el OCRA (Ver Anexos 1) y el JSI.

5.3.1.1 Job Strain Index (JSI).

Este método lo propuso Moore y Garg del Departamento de Medicina Preventiva del *Medical College* de Wisconsin, en Estados Unidos (Moore y Garg, 1995). Es un método para evaluar a trabajadores en sus puestos de trabajo, donde por efecto de los movimientos repetitivos están expuestos “desarrollar desórdenes músculo-esqueléticos en tareas en las que se usa intensamente el sistema mano-muñeca, por lo que es aplicable a gran cantidad de puestos de trabajo” (Diego-Mas, 2015b).

Para hacer operativo el método es necesario realizar la medición de seis variables que al ser valoradas en los trabajadores permiten la obtención de los seis factores de una ecuación que brinda el Strain Index o el riesgo de aparición de desórdenes en las extremidades superiores; de ahí que un índice mayor indica mayor el riesgo.

Las variables se señalan a continuación, resaltando que dentro de las limitaciones del método aparece la no consideración de vibraciones o golpes generados durante la realización de la tarea.

- La intensidad del esfuerzo,
- El número de esfuerzos realizados en un minuto de trabajo,
- La velocidad con la que se realiza la tarea
- La duración del esfuerzo por ciclo de trabajo,
- La desviación de la muñeca respecto a la posición neutra,
- La duración de la tarea por jornada de trabajo (Diego-Mas, 2015b).

Las variables y puntuaciones empleadas se derivan de principios fisiológicos, biomecánicos y epidemiológicos. Trata de valorar el esfuerzo físico que sobre los músculos y tendones de los extremos distales de las extremidades superiores supone el desarrollo de la tarea, así como el esfuerzo psíquico derivado de su realización. Las variables *intensidad del esfuerzo* y *postura mano-muñeca* tratan de valorar el esfuerzo físico, mientras que el resto miden la carga psicológica a través de la duración de la tarea y el tiempo de descanso. Las variables que miden el esfuerzo físico valoran tanto la intensidad del esfuerzo como la carga derivada a la realización del esfuerzo en posturas alejadas de la posición neutra del sistema mano-muñeca (Diego-Mas, 2015b, parr. 2).

5.3.2 Carga postural

Para la carga postural se considera el método RULA el cual es descrito en los anexos al final del documento (Ver Anexos 2).

5.3.3 ¿Por qué la elección del método JSI ?

El método JSI se concentra en el análisis de las extremidades superiores distales, ósea el sistema muñeca-mano. Este método permite realizar un análisis más profundo de los miembros superiores, los cuales son el objeto de interés en la presente investigación. Se resalta que este método no tiene en cuenta cómo afectan los factores externos a los trabajadores y que algunas de sus mediciones son subjetivas, no obstante, como se observará en los resultados, la medición de este tipo de datos se anula a partir de la implementación de tres sensores estratégicamente ubicados para pasar de los datos subjetivos a los datos medibles directamente por el dispositivo creado.

5.4 ¿Qué es Internet de las Cosas IOT?

El término IOT por sus siglas en inglés, se introdujo por primera vez en el año 1999 por el británico Kevin Ashton para hacer referencia a un procedimiento por medio del cual los objetos con los que cotidianamente se interactúa se pudieran conectar a Internet mediante un sistema de sensores, y pudieran operar sin intervención humana. (Rose, Eldridge y Chapin, 2015)

Actualmente, el concepto está cada vez más extendido, así como su aplicabilidad, en tanto es posible conectar el mundo físico con el mundo digital a partir de computadores que permite procesar esa información y plataformas web donde se procesan y almacenan los datos.

A nivel industrial, el concepto tiene un uso aparentemente reciente por las oportunidades visibilizadas a partir del monitoreo de objetos mediante el uso de las computadoras para operaciones más seguras, eficientes y eficaces (Senthil & Iyer, 2019), pero su vigencia es anterior según Rose, Eldridge y Chapin (2015), con la diferencia de que las soluciones se basan en redes dedicadas y no en protocolos y estándares de internet.

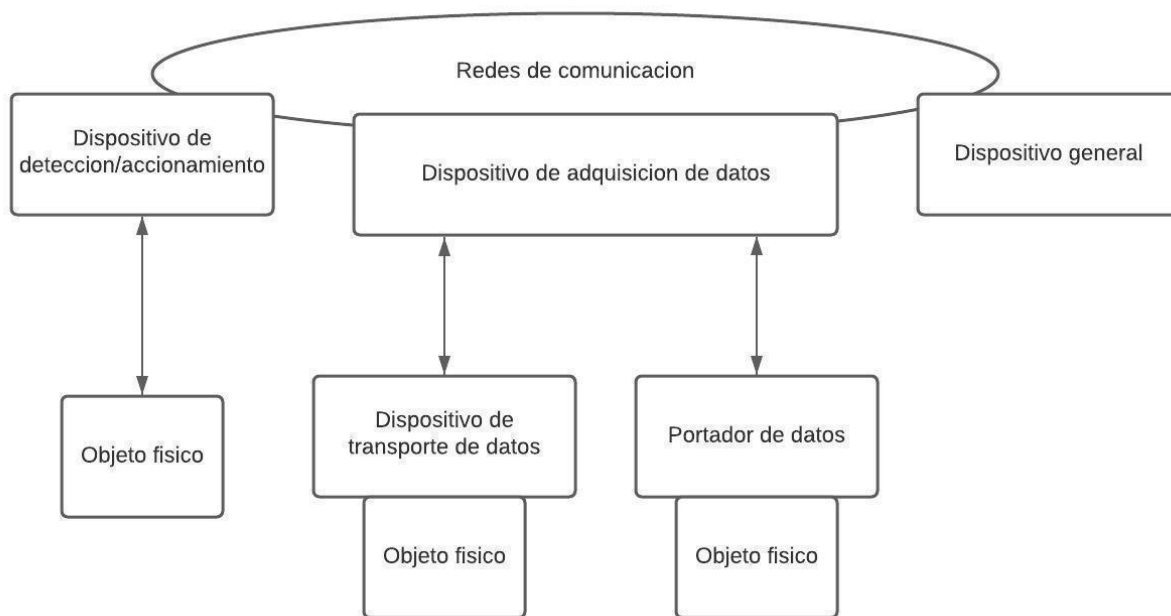
A finales de la década de 1970 ya había en el mercado sistemas disponibles para monitorear los medidores conectados a la red eléctrica de forma remota a través de las líneas

telefónicas. En la década de 1990, los avances en la tecnología inalámbrica permitieron la difusión de soluciones corporativas e industriales “máquina a máquina” (M2M) para monitorear y operar diferentes equipos (Rose, Eldridge y Chapin, 2015, p. 13).

Así visto el IOT puede considerarse un concepto ambicioso que comporta una infraestructura técnica global y posibilita una sociedad de la información interconectada desde los objetos para acceder a servicios físicos y virtuales avanzados gracias a las múltiples posibilidades que ofrecen las TIC actuales y futuras respetando los requisitos de seguridad y privacidad como se observa en la Figura 1.

Figura 1.

Oportunidades que genera el IOT.



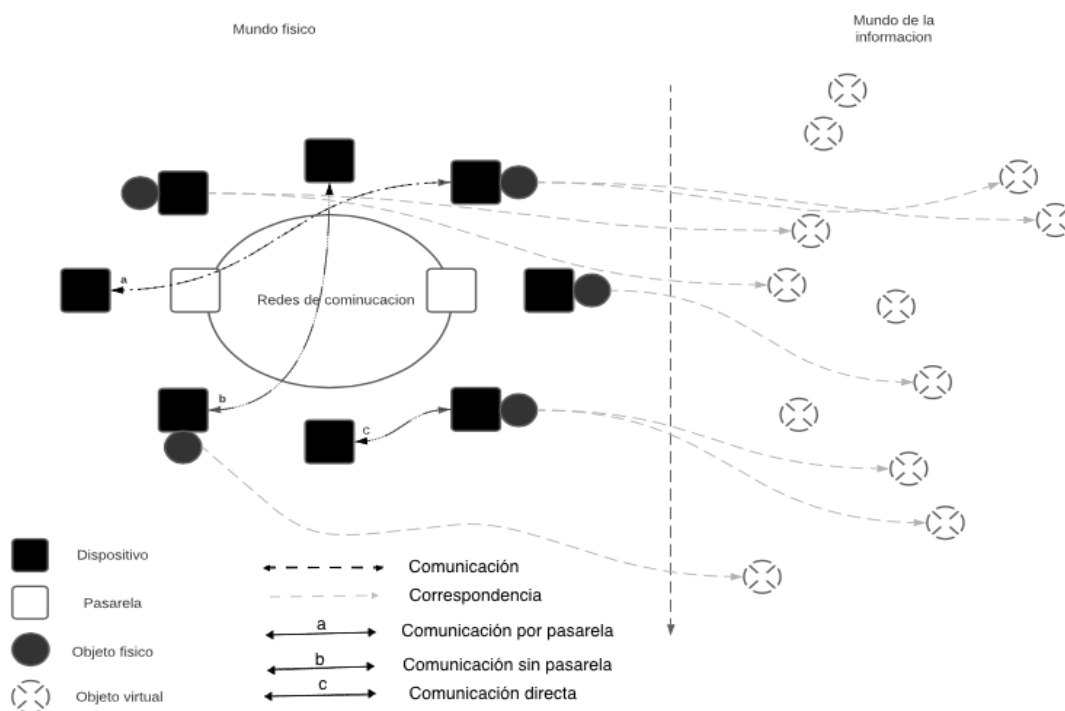
Nota. Adaptado de la propuesta realizada por la (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2013)

Desde las especificidades técnicas, un objeto físico o dispositivo puede corresponderse en el mundo de la información por una o varios objetos virtuales (correspondencia), no obstante, el objeto virtual también puede existir sin tener asociada ningún objeto físico.

Al observar la Figura 2, se puede notar cómo los dispositivos se comunican con otros dispositivos a través de red con pasarela (a), de una red sin pasarela (b) o de manera directa sin utilizar la red de comunicación (c). También es posible establecer combinaciones entre a y c, b y c; incluso los dispositivos pueden lograr comunicación a través de red local (c).

Figura 2.

Descripción técnica de IOT.



Nota. Adaptado de la propuesta realizada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (2013).

5.4.1 Requisitos mínimos de comunicación de los dispositivos conectados mediante IOT

De acuerdo con la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT, 2013). El requisito mínimo que deben de cumplir los dispositivos de IOT es que tengan capacidades de comunicación. Estos dispositivos se clasifican en dispositivos de transporte de datos, adquisición de datos, detección y accionamiento y dispositivos genéricos.

- Dispositivo de transporte de datos: Es un dispositivo que se une a un objeto físico para así poder conectar el objeto físico con las redes de comunicación.
- Dispositivo de adquisición de datos: Es un dispositivo de lectura/escritura que tiene la capacidad de poder interactuar con el objeto físico. Esta interacción puede ser tanto directa como indirecta a través del dispositivo de transporte de datos.
- Dispositivo de detección y accionamiento: Este dispositivo puede detectar o medir la información de su entorno y transformar esta información en señales electrónicas digitales. También tiene la capacidad de transformar señales digitales que provienen de las redes de información en operaciones. Generalmente esta clase de dispositivos crean redes locales que se comunican entre sí usando tecnologías de comunicación alámbricas o por cable y tecnologías inalámbricas.
- Dispositivo genérico: Este dispositivo tiene capacidades de procesamiento y comunicación, a su vez puede comunicarse con las redes de comunicación usando tecnologías alámbricas e inalámbricas.

Los dispositivos genéricos incorporan equipos y aplicaciones para diferentes ámbitos de las aplicaciones de IOT, tales como maquinaria industrial, electrodomésticos y teléfonos inteligentes.

5.4.2 ¿Qué aplicaciones funcionan con IOT?

Dentro de las aplicaciones del IOT, la UIT (2013) señala que dicha tecnología tiene diversas aplicaciones, tanto en los sistemas de transporte inteligentes, red de suministro electrónico, como en ciber salud, hogares inteligentes, entre otros, las cuales pueden estar soportadas en plataformas patentadas o de servicios genéricos que permiten capacidades como la autenticación, la gestión de dispositivos, contabilidad, entre otros.

Así visto, esta tecnología es de gran importancia debido a la gran cantidad de aplicaciones y posibilidades que proporciona para contribuir a mejorar y agilizar las actividades de vida cotidiana de las personas y de las organizaciones.

1. En el hogar se reconoce esta tecnología en el encendido y apagado de las luces, manejo de la temperatura del hogar, monitoreo del estado de los alimentos en el refrigerador, así como de su temperatura.
2. En plantas de producción la tecnología usa dispositivos, máquinas o sensores que están conectados a la red para proporcionar datos que puedan ser almacenados y analizados para la toma de decisiones sobre las operaciones.
3. En la industria textil, se encuentran prendas de ropa que usan sensores térmicos para medir la temperatura corporal y también pueden proporcionar datos como el ritmo cardiaco, pasos que da la persona, oxígeno en la sangre entre otros. A este nivel también se

encuentran los accesorios como relojes inteligentes que permiten la misma recolección y análisis de datos.

4. En la salud IOT tiene una variedad muy amplia de funciones y aplicaciones como: la gestión de información de residuos médicos, sistemas de antisequestro de recién nacidos, seguimiento del personal, pacientes e inventarios, seguimiento y monitoreo de riesgo físico.

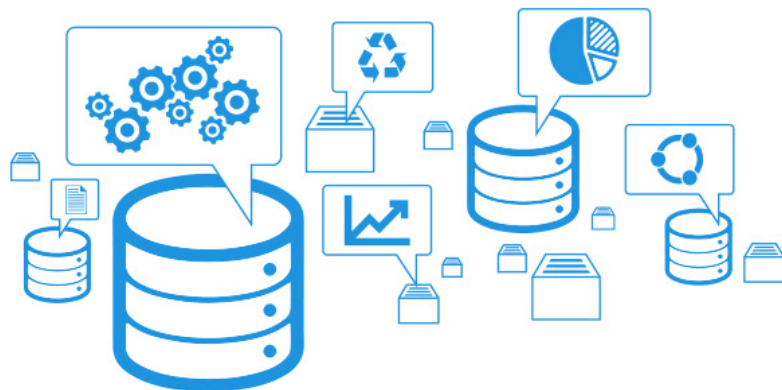
Estas son pues, los sectores donde el uso del IOT está más extendido, sin embargo, cada vez son más sus aplicaciones a fin de hacer más ágiles y óptimos los procesos, lo que implica que está siendo más demandado el uso de datos en tiempo real, lo que a su vez representa un reto para el sector de Telecomunicaciones que debe direccionar esfuerzos para aumentar la capacidad de las antenas a fin de que la señal del servicio permita la mejor experiencia.

5.5 Base de datos

Las bases de datos son una estructura organizada de datos que permite establecer una relación entre ellos. Estos datos son guardados en “almacenes” que permiten almacenar grandes cantidades de estos, facilitando a la vez su búsqueda para la gestión y análisis de información (García, 2019). En la Figura 3 puede evidenciarse algunas funciones que permiten las bases de datos.

Figura 3.

Bases de datos.



Fuente. Tomado de García. (2019) en ¿Qué es una base de datos? de <https://enterese-a-tiempo.blogspot.com/2019/05/que-es-una-base-de-datos.html>

5.5.1 Características de las bases de datos

Algunas de las características que se tienen para los sistemas de bases de datos son las siguientes según Pérez (2007):

- La independencia lógica y física de datos.
- Redundancia mínima.
- Acceso concurrente por parte de múltiples usuarios.
- Integridad de los datos.
- Consultas complejas optimizadas.
- Seguridad de acceso y auditoría.
- Respaldo y recuperación.
- Acceso a través de lenguajes de programación estándar.
- Sistema de Gestión de Base de Datos.

5.5.2 Ventajas y desventajas de las bases de datos

Dentro de las ventajas que ofrecen las bases de datos se encuentra:

- El control de la redundancia de los datos, esta se consigue gracias a los ficheros, los cuales están integrados en las BDs y ayudan a que no se guarden múltiples copias de un mismo dato, por lo tanto, no se desperdicia espacio que podría usarse para otro tipo de información.
- Puede ser compartida fácilmente entre los usuarios de una compañía u organización, sin importar de qué área sean, siempre y cuando estos usuarios tengan autorización para acceder a la información. Esto a su vez genera seguridad ya que esta información sólo será de uso para el usuario que tenga los permisos para acceder a ella.
- En cuanto a productividad, una base de datos proporciona diferentes funciones estándar que son necesarias para el programador. En un nivel básico está el SGBD, el cual proporciona rutinas en el manejo de los ficheros, entre otros.

Así como existen diversas ventajas, también existen algunas desventajas en las bases de datos tales como:

- Las bases de datos tienen una predisposición a tener cierto grado de complejidad, hay que entender su funcionalidad para poder hacer un buen uso de ellas.
- En cuanto al espacio es necesario la adquisición de más espacio de almacenamiento o de una máquina dedicada solo a bases de datos, cuando este ya no es suficiente, lo cual involucra un costo adicional.
- Una de las desventajas más importantes es la centralización de la información, al tener toda nuestra información en un mismo lugar hace que esta se vuelva vulnerable ante un fallo en la misma o algún ataque informático (Pérez, 2007).

5.5.3 Tipos de bases de datos

Las bases de datos presentan la siguiente tipología de acuerdo con Pérez (2007)

1. **MySql:** Es un tipo de base de datos que se basa en un servidor con licencia GPL, una de las principales características de esta base de datos es su rapidez.
2. **PostgreSql y Oracle:** Estas bases de datos fueron diseñadas para grandes volúmenes de información.
3. **Access:** Esta base de datos crea un archivo “.mdb” y debe ser creada usando el programa access.
4. **Microsoft SQL Server:** Desarrollada por Microsoft, esta base de datos fue diseñada para grandes volúmenes de información.

5.5.4 Modelos de base de datos

Un modelo de base de datos hace referencia a una serie de conceptos que se usan para describir un conjunto de datos, su construcción y las operaciones que se usan para manipularlos. Entre algunos modelos de bases de datos tenemos las bases de datos jerárquicas, relacionales y de entidad-relación, pero para efectos de las bases de datos implementadas en el desarrollo de la presente investigación, la descripción conceptual se centrará en las dos últimas.

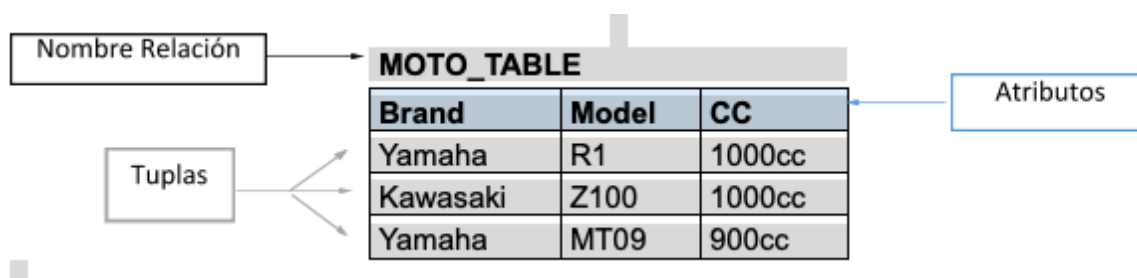
5.5.4.1 Base de datos relacionales.

Este modelo de base de datos se basa en el concepto matemático de relación (ver Figura 4). Este modelo se puede ilustrar mejor cómo tablas en donde sus filas se conocen como tuplas, los

enunciados de las columnas como atributos y la tabla como relación (Atlantic International University , 2002)

Figura 4.

Partes de las bases de datos relacionales.

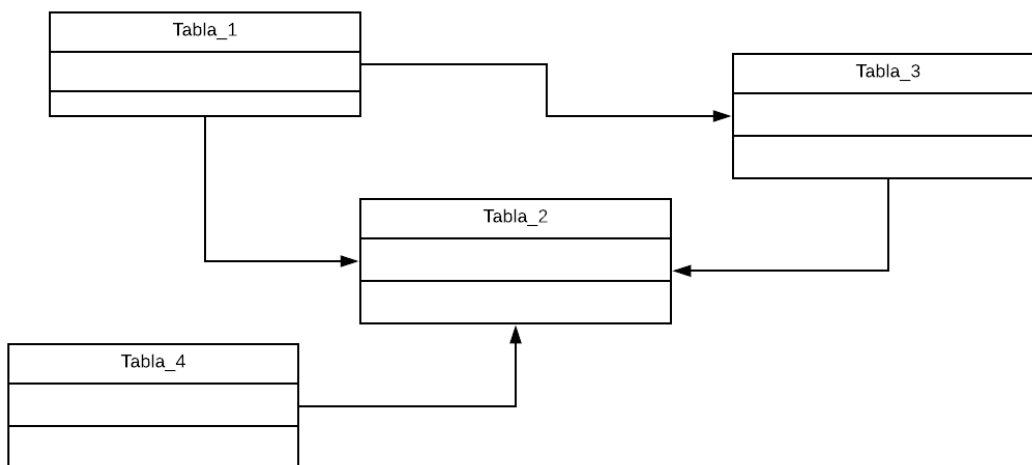


Nota. Figura elaborada de Atlantic International University (2002) en “Bases de datos”.

En este tipo de bases de datos, el lenguaje más usado para la comunicación entre el usuario y el SGBD de este tipo de BD es el SQL (Structured Query Language) (ver Figura 5).

Figura 5.

Modelo de BD Relacional.



Nota. Figura elaborada de Atlantic International University (2002) en “Bases de datos”.

5.5.4.2 Modelo de base de datos entidad-relación.

El modelo de bases de datos entidad-relación (E/R) es uno de los modelos más extendidos. Este modelo parte de una situación real de la cual se definen las entidades y relaciones entre dichas entidades Atlantic International University (2002).

Los elementos del modelo entidad-relación son: entidad, atributos, relación. La entidad está representada por cosas u objetos del mundo real sobre el cual queremos almacenar nuestra información (Ej: una persona) (ver Figura 6). Estas entidades se componen de atributos los cuales ayudan a definir al objeto del que vamos almacenar nuestra información (Ej: para la entidad persona, sus atributos podrían ser: ID, edad, nombre, etc.). Entre los atributos veremos uno o varios que no se repiten, a este tipo de atributos se le conocen como clave de la entidad.

Figura 6.

Diagrama de entidad.

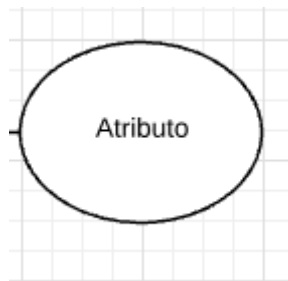


Nota. Las entidades se representan con un rectángulo de la cual se desglosan los atributos.

Los atributos definen las características de las entidades (ver Figura 7). Las entidades pueden tener diferentes atributos los cuales nos dan información sobre la entidad. Los atributos pueden ser de diferentes tipos (numéricos, texto, fecha, etc.).

Figura 7.

Diagrama de atributos.



Nota. Los atributos se representan como círculos, los cuales descienden de una entidad.

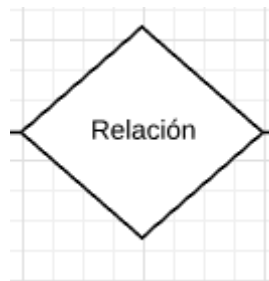
Por su parte, las relaciones son las asociaciones que existen entre las entidades (ver Figura 8).

Estas relaciones pueden ser de tres tipos:

- Relación 1-1: Las entidades que intervienen en la relación se asocian una a una (Ej: la entidad HOMBRE, la entidad MUJER y entre ellos la relación MATRIMONIO).
- Relaciones 1-n: Una ocurrencia de una entidad está asociada con muchas (n) de otra (Ej: la entidad EMPRESA, la entidad TRABAJADOR y entre ellos la relación TRABAJAR-EN).
- Relaciones n-n: Cada ocurrencia, en cualquiera de las dos entidades de la relación, puede estar asociada con muchas (n) de la otra y viceversa (ejemplo: la entidad ALUMNO, la entidad EMPRESA y entre ellos la relación MATRÍCULA).

Figura 8.

Diagrama de relación.



Nota. Las relaciones se representan como un rombo, las cuales conectan a las entidades entre sí.

5.6 Concepto de interfaz gráfica de usuario

La GUI (Graphic User Interface) o interfaz gráfica de usuario es un entorno visual en el cual se tienen imágenes y objetos que ayudan a la interacción de forma más sencilla entre una máquina y el usuario (Workana, 2018).

Dentro de sus características, una interfaz gráfica de usuario proporciona según Lamarca (2018):

- Facilidad de comprensión, aprendizaje y uso.
- Diseño ergonómico mediante el establecimiento de menús, barras de acciones e iconos de fácil acceso.
- Representación fija y permanente de un determinado contexto de acción.
- Las interacciones se basan en acciones físicas sobre elementos de código visuales o auditivos (iconos, botones, imágenes, etc).
- Las operaciones serán rápidas.

6. METODOLOGÍA

6.1 Tipo de investigación

De acuerdo con el objetivo planteado, el tipo de investigación propuesto fue tecnológica, ya que a partir del desarrollo se posibilitaron pautas para resolver las necesidades observadas en un contexto real (sector metalmeccánico), a partir de un soporte empírico que integra conocimientos teóricos de la ciencia práctica y métodos propios de la investigación experimental a fin de proporcionar soluciones de forma sistemática. (Espinoza, 2010)

Dentro del desarrollo de la investigación, la primera etapa tuvo un enfoque documental para efectos de reconocer los métodos de análisis ergonómicos más apropiados en la evaluación de los movimientos y posturas de los miembros superiores de los trabajadores del sector metalmeccánico. De dicho ejercicio se reconocieron los métodos JSI, RULA u OCRA ya presentados en el marco teórico-conceptual.

La segunda etapa de la investigación presentó un enfoque experimental necesario para el diseño del algoritmo, que en una fase aplicada posterior a esta investigación ayudará a analizar el nivel de riesgo al que están expuestos los miembros superiores de los trabajadores del sector metalmeccánico al realizar sus labores. Alternamente a este proceso, se requirió del diseño de la base de datos para almacenar los datos en bruto, generar los análisis y volver a almacenar los resultados del análisis, los cuales serán visualizados mediante una interfaz gráfica también producto de la investigación. Dichos datos fueron tomados como ejemplo para validar la funcionalidad del algoritmo.

Durante la elaboración de estas etapas nos encontramos con un suceso que definió en gran parte como se iban a elaborar estas etapas y cumplimientos de los objetivos propuestos. Durante el periodo de elaboración de este documento nos encontramos en medio de una situación que afectó la salud pública a nivel global, dicho suceso hizo que todo este planteamiento inicial de recolección de datos, montaje de dispositivo se vieran afectados ante la imposibilidad de salir a la calle y circular libremente. Ya que por este tema de salud pública entramos en una cuarentena estricta y obligatoria en la cual se restringieron todas las aglomeración, actividades al aire libre, reuniones e ingresos a empresas, universidades, etc. Esto llevó a un replanteamiento de la estructura de los objetivos y del alcance que estos tendrían, definiendo como nuevo alcance el diseño de un sistema de monitoreo el cual se conforma de software y hardware, sin embargo inicialmente se planteó el prototipo físico y funcional del mismo, el cual no se pudo llevar a cabo debido a las razones explicadas anteriormente.

6.2 Método

El método que se describe a continuación (JSI) ya fue abordado en el marco teórico desde su base conceptual, ahora se presenta su aporte metodológico y técnico el cual fue tenido en cuenta para la estructuración del algoritmo que permitirá el funcionamiento del sistema de monitoreo en tiempo real para la medición y análisis de datos sobre el nivel de riesgo ergonómico en el sector metalmecánico.

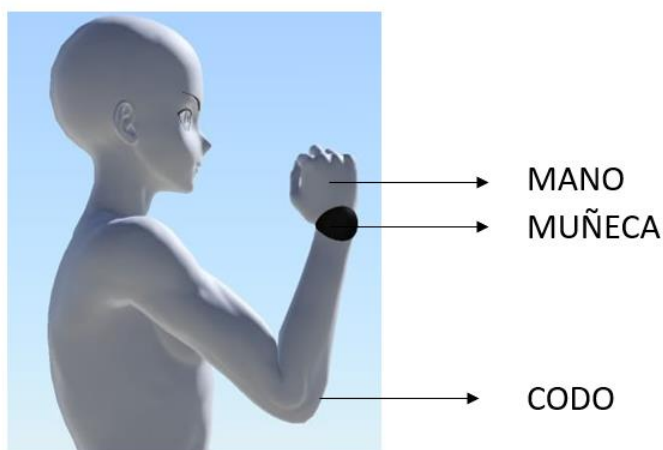
Así mismo se analizaron los otros dos métodos (RULA Y OCRA) para ver su aporte metodológico y técnico que se podría tener en cuenta si se quisiera desarrollar el proyecto implementando estos dos métodos adicionales. (Ver Anexos 3).

6.2.1 Método JSI (Job Strain Index)

Este método al igual que el anterior analiza el riesgo que representan los movimientos repetitivos generados por las extremidades superiores, puntualmente manos, muñecas y codos como se observa en la Figura 9. El análisis realizado mediante este método se basa en 6 factores: intensidad del esfuerzo, duración del esfuerzo, esfuerzo por minuto, postura mano/muñeca, ritmo de trabajo y duración de horas diarias (ver Figura 10).

Figura 9.

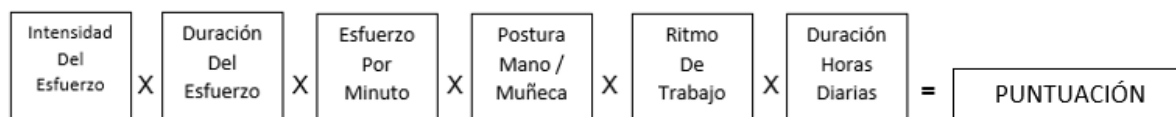
Movimientos repetitivos analizados mediante el método JSI.



Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015b) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método JSI”.

Figura 10.

Fórmula para calcular la puntuación de riesgo según Método JSI.



Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Psicopreven (2020) “Método del “Strain Index” o “Índice de Esfuerzo””

Cada uno de estos factores señalados anteriormente miden 5 niveles de clasificación, los cuales se relacionan con un dígito multiplicador que corresponde a la influencia en el riesgo y permite su clasificación como se observa en las Tablas 3, 4, 5, 6, 7, 8, para luego realizar la fórmula que se expone en la Figura 10 que permite obtener una puntuación que se coteja con la tabla de referencias que se presenta en la Figura 11 de esta manera se estaría midiendo el riesgo de acuerdo con el método JSI.

Tabla 3.

Intensidad del esfuerzo: Estimación de la fuerza requerida para realizar la tarea.

RATIO	MULTIPLICADOR	CRITERIO	% FUERZA	ESCALA BORG	ESFUERZO PERCIBIDO
1	1	SUAVE	< 10 %	≤ 2	APENAS PERCIBIDO
2	3	ALGO MOLESTO	10 -	3	PERCIBIDO
3	6	DURO	30 -	4 -	NO HAY CAMBIO DE GESTO EN LA CARA
4	9	MUY DURO	50 -	6 -	HAY CAMBIO DE GESTO EN LA CARA
5	13	CERCA DEL MAXIMO	≥ 80 %	> 7	UTILIZA HOMBROS Y CODOS PARA EJERCER FUERZA

Nota. La escala usada es la BORG. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015b) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método JSI”.

Tabla 4.

Cálculo de la duración del esfuerzo.

$$\% \text{ Duración del esfuerzo} = 100x \frac{\text{Duración media del esfuerzo por ciclo}}{\text{Tiempo medio del ciclo}}$$

VALOR	MULTIPLICADOR	%
1	0	<
2	1	10 -
3	1	30 -
4	2	50 -
5	3	≥

Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015b) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método JSI”.

Tabla 5.

Esfuerzo por minuto: Número total de esfuerzos o acciones similares realizados por cada minuto de trabajo (frecuencia de acciones).

$$\# \text{ de acciones por minuto} = \frac{\# \text{ total de acciones observadas}}{\text{Duración de la observación por minutos}}$$

VALOR	MULTIPLICADOR	ESFUERZO / MINUTO
1	0	< 4
2	1	4 – 8
3	1	9 -
4	2	15 -
5	3	≥ 20

Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015b) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método JSI”.

Tabla 6.

Postura Mano / Muñeca: Se refiere a la posición anatómica de la muñeca o de la mano con respecto a la postura neutral.

RATIO	MULTIPLICADOR	CRITERIO	EXTENSIÓN MUÑECA	FLEXIÓN MUÑECA	DESVIACIÓN CUBITAL	POSTURA PERCIBIDA
1	1.0	MUY BUENA	0° - 10°	0° - 5°	0° - 10°	NEUTRAL
2	1.0	BUENA	11° - 25°	6° - 15°	11° - 25°	CASI NEUTRA
3	1.5	REGULAR	26° - 40°	16° - 30°	16° - 20°	DESVIADA
4	2.0	MALA	41° - 55°	31° - 50°	21° - 25°	DESVIACIÓN IMPORTANTE
5	3.0	MUY MALA	>60°	>50°	>25°	DESVIACIÓN EXTREMA

Nota. Para el cálculo de la mano y muñeca se tiene en cuenta la flexión, la extensión y la desviación cubital. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015b) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método JSI”.

Tabla 7.

Velocidad o ritmo de trabajo: Este factor se tiene en cuenta para analizar el impacto que tiene el no permitir que los músculos se relajen adecuadamente.

RATIO	MULTIPLICADOR	CRITERIO	COMPARADO CON MTM – 1	VELOCIDAD PERCIBIDA
1	1.0	MUY LENTO	< 80%	MUY RELAJADO
2	1.0	LENTO	81 % - 90 %	SE TOMA SU TIEMPO
3	1.0	MEDIA	91 % - 100 %	VELOCIDAD “NORMAL”
4	1.5	RAPIDA	101 % - 115 %	RAPIDO, PERO CAPAZ DE SEGUIRLO
5	2.0	MUY RAPIDA	> 115%	RAPIDO E INCAPAZ DE SEGUIRLO

Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015b) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método JSI”.

Tabla 8.

Duración de la tarea: Tiempo total de exposición al riesgo.

VALOR	MULTIPLICADOR	HORAS / DIAS
1	0.25	≤ 1
2	0.5	1 – 2
3	0.75	2 – 4
4	1	4 – 8
5	1.5	≥ 8

Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015b) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método JSI”.

De acuerdo con las anteriores indicaciones, teniéndose en cuenta los multiplicadores, se ofrece el siguiente ejemplo donde se observa que la puntuación indica que el esfuerzo se presenta en una clasificación de bajo riesgo, considerándose la actividad probablemente segura según la escala de la Figura 11.

- El técnico lo considera un esfuerzo relajado “SUAVE” = 1
- El tiempo promedio del ciclo de esfuerzo = 20 seg
- Promedio duración del esfuerzo = 10 seg
- Postura Mano / Muñeca = Se define como “REGULAR” = 3
- Ritmo de trabajo = Maneja su propio ritmo de trabajo = 2
- Duración de la tarea = Trabaja toda la jornada laboral = 8 horas = 4

Figura 11.

Clasificación según su puntuación de riesgo (Método JSI).



Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015b) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método JSI”.

6.3 Alcance

El aporte que tiene el desarrollo de esta investigación, es a la identificación de los factores de riesgo que pueden presentar los trabajadores en las empresas del sector metalmeccánico al realizar las funciones que desempeñan en sus labores diarias. Entre las labores que los trabajadores pueden desempeñar están aquellas que tengan un alto impacto físico donde se realicen actividades que involucren labores repetitivas o requieran de levantamiento de objetos o herramientas pesadas en donde no se adopten posturas apropiadas que ayuden a mitigar dicho impacto. De esta forma se presenta una opción de monitores de los trabajadores mediante el diseño de un dispositivo, el cual estará encargado de la recolección de datos que posteriormente serán analizados (con la ayuda de las dos etapas anteriormente mencionadas en el subtítulo 6.1) para determinar el nivel de riesgo en los trabajadores. Dicho dispositivo llegará hasta la etapa de prototipado debido a la actual pandemia que como se mencionó anteriormente imposibilitó la implementación y recolección de datos para el proyecto.

6.4 Diseño de la investigación

6.4.1 Planificación

Para desarrollo de la investigación bajo el enfoque experimental resultó útil la aplicación de una metodología ágil bajo la propuesta de la metodología SCRUM, la cual se basa en la conformación de un equipo de trabajo con roles definidos que responden con unos entregables (SPRINTS o iteraciones) dentro de tiempos establecidos, mediante un desarrollo incremental de las etapas, fases o eventos a fin de cumplir las metas establecidas.

Para la aplicación del marco de trabajo SCRUM, se tendrán en cuenta algunos elementos importantes como son: La pila de elementos, los cuales definen los requerimientos del proyecto, los SPRINTS o entregables que son los avances que se tendrán de forma incremental en las etapas, fases o eventos, que se definan, entre otros. Este derrotero se aplica con el fin de definir con

claridad el alcance del proyecto, el cual se determinó como etapa final el diseño de un sistema de monitoreo para el análisis de los riesgos a los que están expuestos los trabajadores del sector metalmeccánico, el cual implica:

1. Diseño de un dispositivo ergonómico que permita la recolección de datos con los trabajadores del sector metalmeccánico.
2. Diseño del modelo de una base de datos que permita el almacenamiento de los datos acerca de los movimientos y posturas de los miembros superiores de los trabajadores del sector metalmeccánico durante el desempeño de sus labores.
3. Diseño de un algoritmo que permita el análisis del nivel de riesgo al que están expuestos los miembros superiores de los trabajadores del sector metalmeccánico al realizar sus labores.
4. Diseño de un prototipo de interfaz gráfica para el análisis de los datos que se obtengan de los trabajadores del sector metalmeccánico.

Todo se maneja mediante una planificación y sincronización de actividades diarias y semanales, asegurando el cumplimiento en todo momento de los requisitos, requerimientos y objetivos del proyecto. Para esto se mantiene una retroalimentación constante con los dueños del proyecto (Product Owner) quienes conforman el equipo de desarrollo y el Master Scrum, roles que se asignaron de la siguiente manera (Tabla 9):

Tabla 9.

Distribución de roles y funciones de acuerdo con la metodología SCRUM.

Rol	Nombre	Funciones
-----	--------	-----------

Master Scrum	Ingeniero Jesús Guzmán	Encargado de gestionar el proyecto de forma correcta, asegurar el cumplimiento de los objetivos definidos, gestión financiera, comunicaciones con los grupos de interés, entre otras cosas.
Equipo de desarrollo/ dueños del proyecto.	Gonzalo Bocanegra Fonseca	Encargados de desarrollar de forma correcta los Sprints.
	María Elena Araujo Julio	

Figura 12.

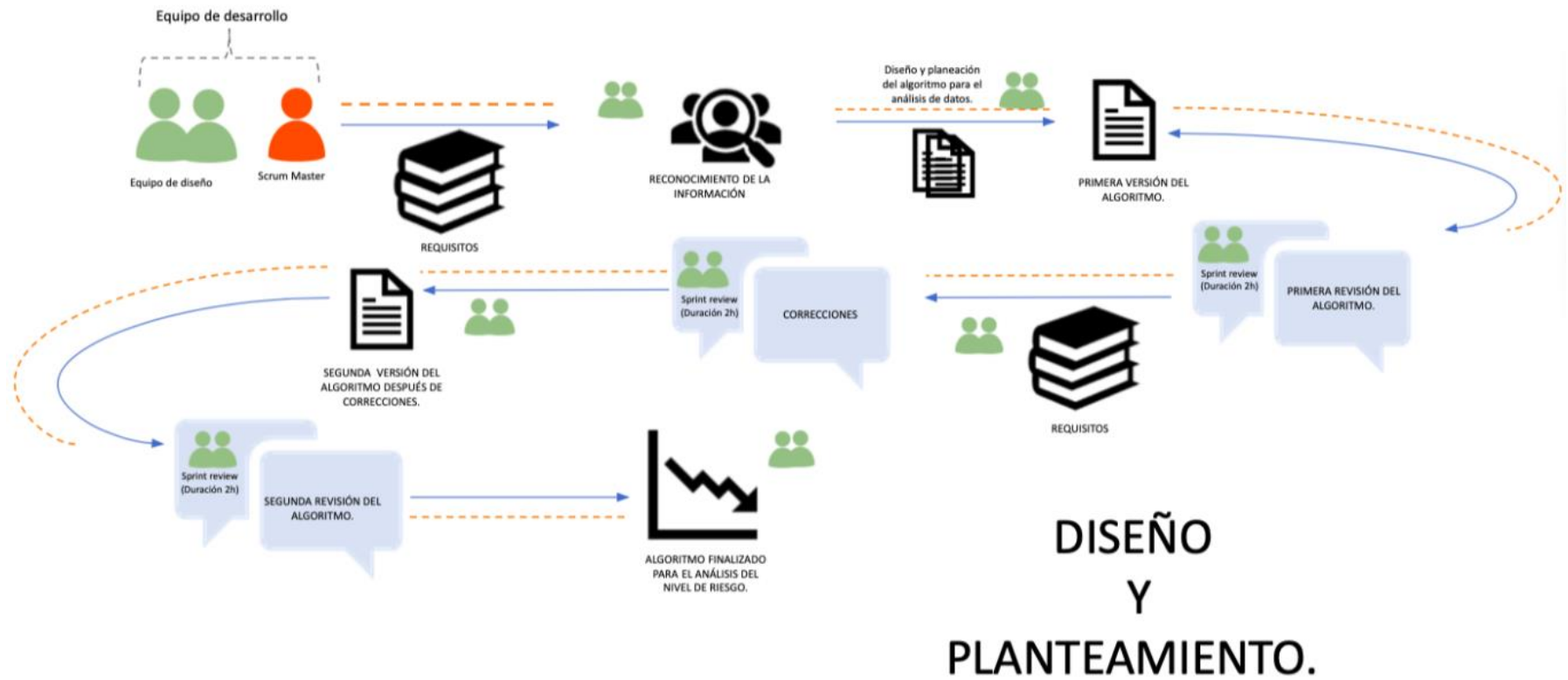
Etapa 1 de acuerdo con la metodología SCRUM.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Figura 13.

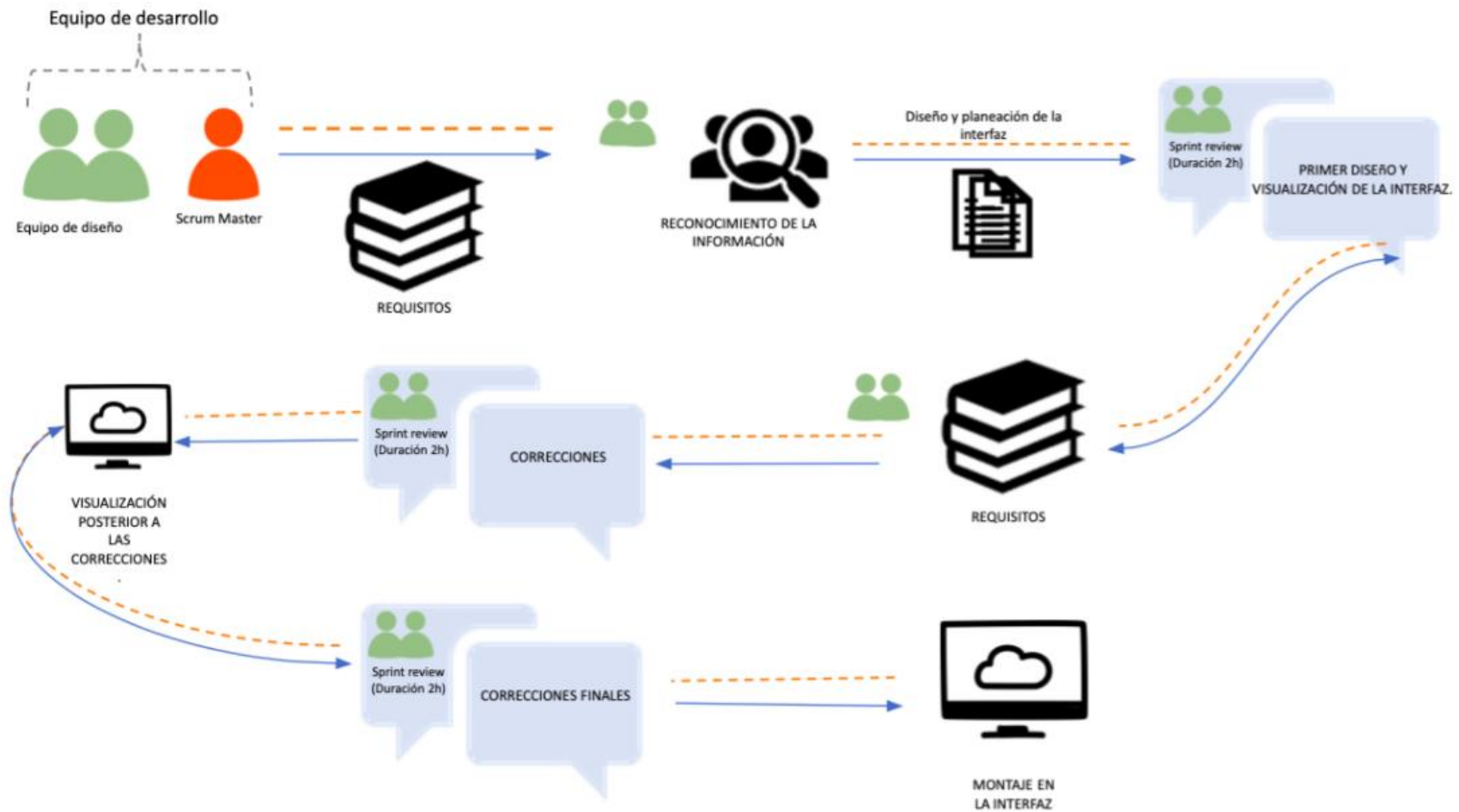
Etapas 2 y 3 de acuerdo con la metodología SCRUM.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Figura 14.

Etapa 4 de acuerdo con la metodología SCRUM.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Figura 15.

Diagrama de etapa 5 y final del diagrama de la metodología.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

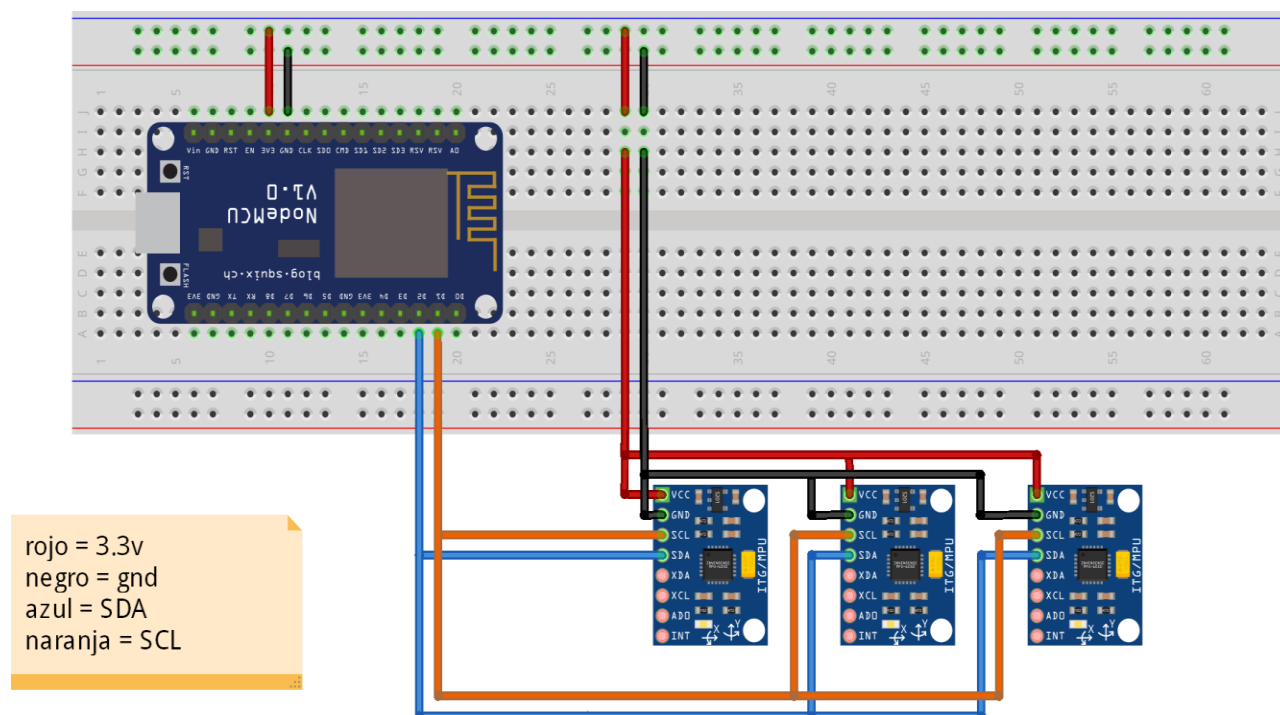
6.4.2 Diseño

Para el diseño del dispositivo (Hardware) se utilizaron los siguientes componentes conectados como se observa en la Figura 16:

- Sensor MPU5060, es una unidad de medición inercial (IMU).
- Módulo WiFi ESP8266, compatible con protocolo TCP/IP, es ideal para wearables y dispositivos IOT.

Figura 16.

Circuito del dispositivo.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

6.5 Recolección y análisis de datos

La funcionalidad del algoritmo que permitirá el uso del dispositivo ergonómico y la base de datos se validó mediante pruebas a partir de bases de datos de acceso abierto en internet que sirvieron de ejemplo y alternativa a la dificultad de obtener datos en el contexto de una empresa del sector metalmecánica por ocasión de la pandemia, lo que modificó el análisis de datos a partir de la implementación de los tres métodos en conjunto. Esta precisión indica que solo pudo llevarse a cabo el análisis mediante el método JSI ya que es el único que se enfoca en la medición de los movimientos de los empleados y no en factores externos, subjetivos u observacionales como el método OCRA, tampoco, como en el caso del método RULA, requiriera de datos de las extremidades inferiores para realizar los cálculos.

7. RESULTADOS

El desarrollo de los resultados se presenta en cuatro numerales que dan cuenta del diseño del dispositivo ergonómico, el modelo de la base de datos mediante la cual se recolectan y almacenan los datos, el diseño del algoritmo que analizará los datos para facilitar información respecto de los riesgos que pueden presentar los miembros superiores de los empleados en empresas del sector metalmeccánico y finalmente el prototipo de la interfaz gráfica desde donde se visualizará el análisis realizado por el algoritmo.

8. DISPOSITIVO

8.1 Diseño de dispositivo ergonómico para la recolección de datos con trabajadores del sector metalmeccánico

El diseño del dispositivo ergonómico da cuenta de su funcionamiento; los materiales que lo componen con sus respectivas especificaciones técnicas: placa, pines y sensor (Ver Anexos 4 especificaciones técnicas), también la selección del dispositivo y sensores (Ver Anexos 5 selecciones de placas); el esquema de montaje que termina en el prototipo, las pruebas realizadas con los sensores para comprobar su funcionamiento y tipo de conexión a usar. Para el diseño de este dispositivo se tuvieron en cuenta las especificaciones o sugerencias realizadas por los trabajadores (Ver Anexos 6 historias de usuarios).

8.1.1 Funcionamiento del dispositivo

El dispositivo ergonómico es el encargado de la toma y recolección de datos sobre los movimientos que ejercen los trabajadores. Los datos aquí recolectados servirán para poder definir si el trabajador se encuentra en el rango de afectación, para sufrir un riesgo musculo esquelético.

Estos datos son los que posteriormente serán procesados y analizados mediante el algoritmo que se diseñó para esta tarea, el cual se describe en el capítulo 10. Así mismo, la base de datos almacenará los datos que se obtengan de este dispositivo para el control posterior. Se resalta que para el diseño del dispositivo debe tenerse en cuenta que sea un dispositivo fácil de manejar, de bajo costo y que permitiera a los trabajadores realizar sus tareas de forma óptima sin inconvenientes al portarlo, lo que indica que debe favorecer la movilidad.

8.1.2 Materiales para el dispositivo ergonómico

NodeMCU: la NodeMCU es un kit de desarrollo de código abierto basado en el chip ESP8266 (ESP-12E) que utiliza el lenguaje de programación Lua para crear un ambiente de desarrollo propicio para aplicaciones que requieran conectividad Wi-Fi de manera rápida (Electronilab, s.f.).

Sensor MPU 6050: el MPU6050 es una unidad de medición inercial o IMU (Inertial Measurement Units) de 6 grados de libertad (DoF) pues combina un acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio de 3 ejes. Este sensor es muy utilizado en navegación, goniometría, estabilización, etc (naylorlampmechatronics, s.f.).

ESP8266: el ESP8266 es un chip Wi-Fi de bajo coste con pila TCP/IP completa y capacidad de MCU (Micro Controller Unit) (aprendiendoarduino.wordpress, 2017).

8.1.3 Acceso a los pines de NodeMCU

Para esta implementación se usaron solo 4 pines incluyendo el GND y el pin de alimentación de nuestra placa NodeMCU:

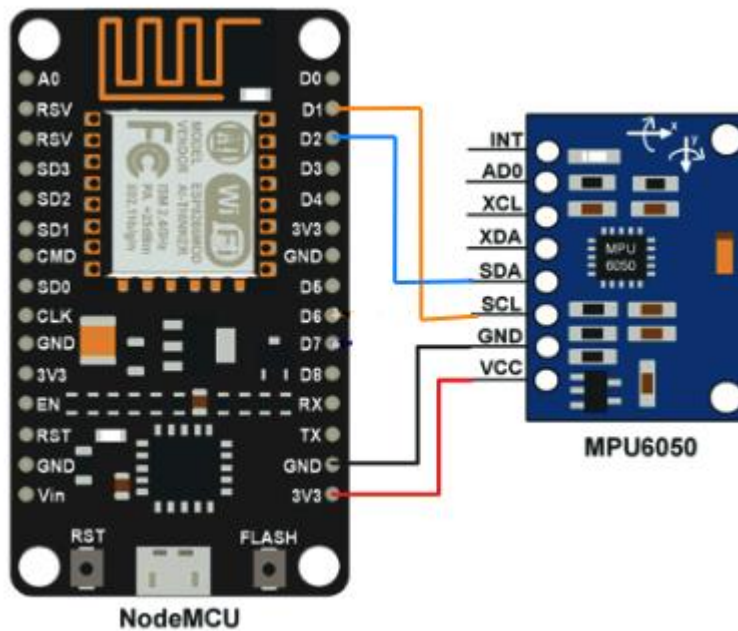
- Estos pines son el D1, el cual se conecta al pin SCL del sensor.

- El pin D2, el cual se conecta al pin SDA del sensor.
- El GND, que se conecta al GND del sensor.
- El 3V3, que se conecta al pin VCC del sensor.

En específico en la Figura 17 se presenta una ilustración de la conexión entre la placa NodeMCU y el sensor MPU6050.

Figura 17.

Conexión NodeMCU y sensor mpu6050.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

8.1.4 Diseño del prototipo

Dada la necesidad de evaluar el daño que se puede causar a los trabajadores en la realización de sus deberes se diseña un dispositivo el cual ayudará a realizar las tomas de datos que

posteriormente serán analizadas y procesadas a través de un algoritmo y así poder obtener el nivel de riesgo al que puede estar expuesto el trabajador.

El diseño que se planteó para cumplir con dicha tarea se puede muestra en la Figura 18, el cuales hace alusión al esquema que se uso para posteriormente realizar su implementación, este esquema consta de 3 elementos que se listan en la Tabla 10.

Tabla 10.

Elementos que constituyen el diseño del dispositivo.

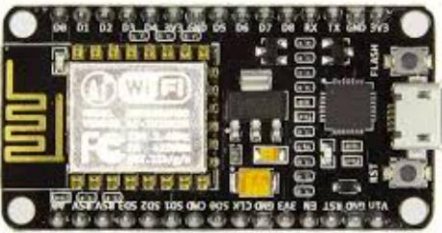
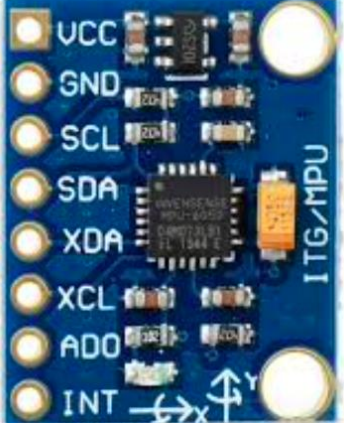
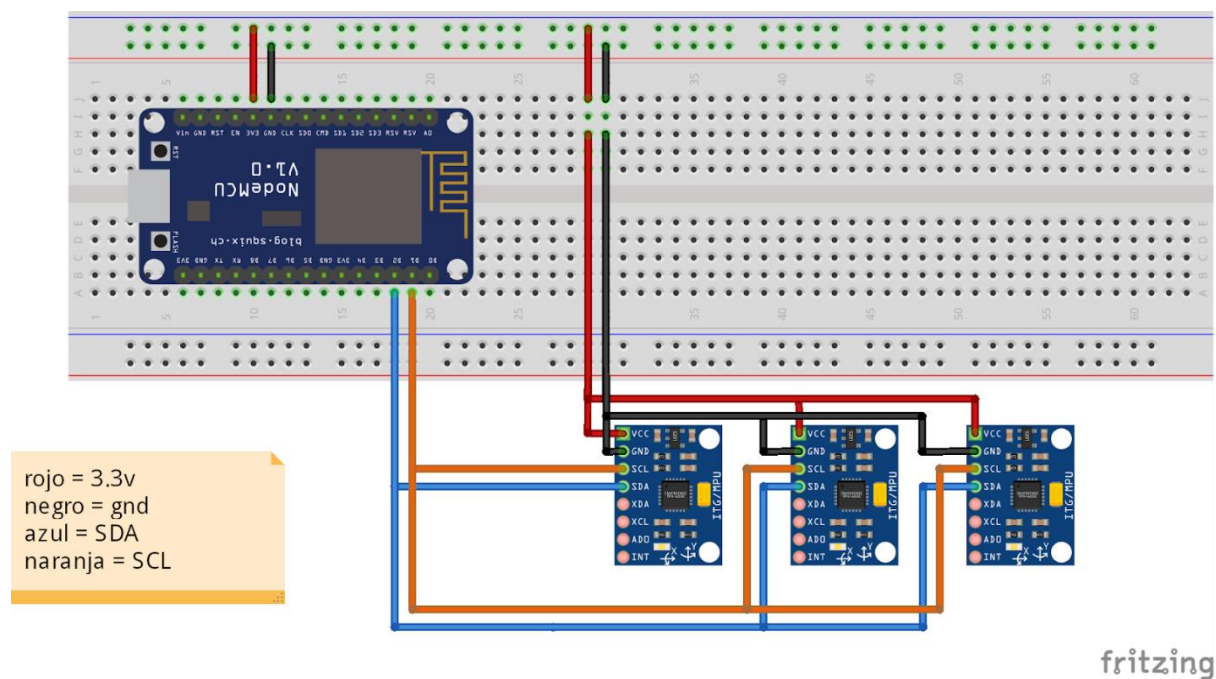
Tabla de elementos		
Nombre	NodeMCU	Sensor MPU6050
Imagen		

Figura 18.

Primer bosquejo del diseño de la conexión de los 3 sensores y la NodeMCU.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

8.1.5 Pruebas realizadas con el sensor

El modo de funcionamiento de los sensores MPU6050 es que constan de 2 direcciones de memoria en el pin AD0.

Tabla 11.

Direcciones de memoria de la NodeMCU y pines.

PIN AD0	DIRECCIÓN I2C
AD0=HIGH (5V)	0x69
AD0=LOW (GND o NC)	0x68

Se conecta el pin ADO de cada sensor de la MPU a un pin digital diferente de la tarjeta NodeMCU como se muestra en la Figura 18. Teniendo en cuenta el anterior montaje se procede a implementar esta conexión como se muestra en las Figuras 19, 20 y 21.

A continuación, se puede observar la primera prueba realizada con el prototipo. En la Figura 19. Se conectan un sensor MPU en unos de los puntos de movimiento seleccionados para instalarlos, este se conecta a través de cableado a la tarjeta NodeMCU, cabe resaltar que los dos dispositivos se encuentran adheridos al sujeto de estudio mediante cinta adhesiva para su fácil colocación y retiro.

Figura 19.

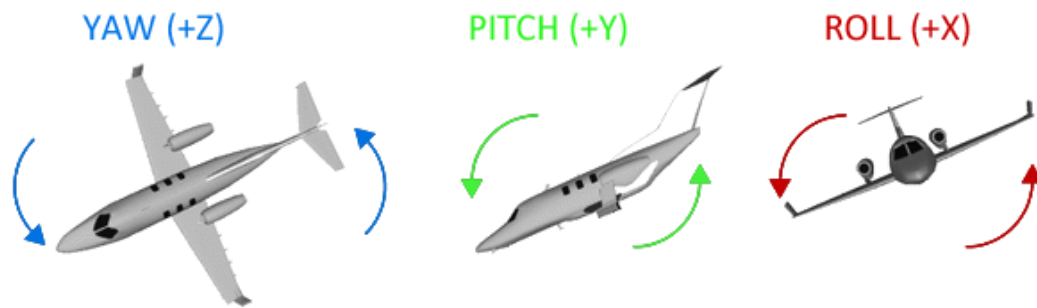
Primer prueba de conexión del dispositivo.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Se decide utilizar el croquis de un avión para poder identificar con mejor facilidad los 3 ejes del giroscopio y así ubicar espacialmente más fácil el movimiento efectuado. Ver Figura 20 y 21.

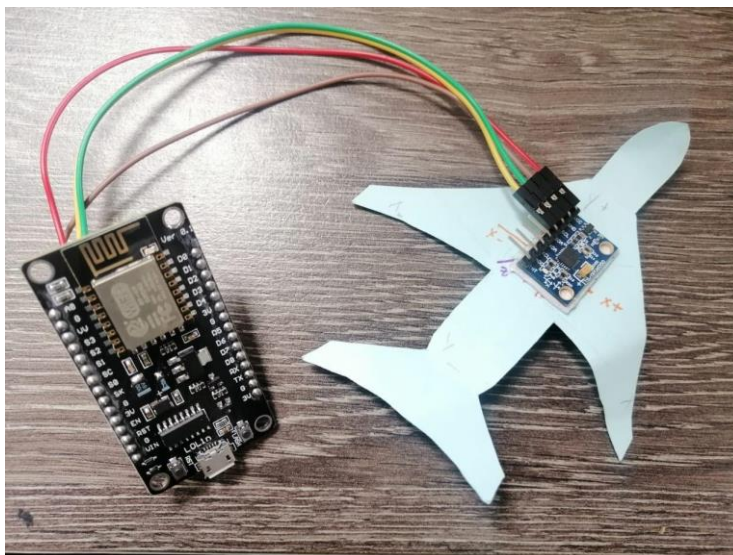
Los ejes están representados de la siguiente manera:



Fuente. Tomado de Llamas. (2016) en Como usar un giroscopio en nuestros proyectos de arduino de <https://www.luisllamas.es/como-usar-un-giroscopio-arduino/>

Figura 20.

Conexión MCU y sensor.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Figura 21.

Conexión MCU y sensor.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

8.1.6 Análisis y Pruebas

Se hicieron varias pruebas para lograr conectar los 3 sensores con solo dos direcciones de memoria, sin que se solapen:

- **Intento #1:** se utiliza en protocolo I2C. Se intenta dejar un sensor con una dirección de memoria fija y los otros dos se intentan apagar y encender para intercalar la asignación de la otra dirección de memoria.

Resultado: no funcionó debido a que los sensores al apagarse borraban la configuración previa.

- **Intento #2:** se utiliza el protocolo SPI.

Resultado: no funcionó porque el sensor no admite el protocolo SPI.

- **Intento #3:** se utiliza el protocolo I2C. Se intenta conectar el pin de cambio de memoria (AD0) a los 3 sensores desde el AD0 de cada uno a un pin diferente de la tarjeta para poder controlar el cambio de dirección de memoria en tiempo de ejecución.

Resultado: este procedimiento funcionó.

A modo de conclusión, se debe utilizar el protocolo I2C para mantener un sensor a la vez en una dirección fija y los otros dos en la otra dirección. La información que se debe capturar es la del sensor que se encuentre aislado. Por otro lado, la información de la dirección de memoria en la que se encuentran dos sensores a la vez se debe ignorar, ya que debido al solapamiento de los datos es ilegible. El delay que se presenta al hacer el cambio de sensores es imperceptible.

9. BASE DE DATOS

9.1 Modelo de base de datos para el almacenamiento de datos ergonómicos: movimientos y posturas de los miembros superiores

La construcción del modelo de la base de datos (BD) que almacenará y permitirá la visualización de la información acerca del nivel de riesgo ergonómico de trabajadores desempeñados en el sector metalmeccánico mediante una interfaz gráfica, siguió la siguiente estructura. 1. Diseño conceptual. 2. Diseño lógico. 3. Diseño físico, como se muestra en la siguiente Figura 22.

Figura 22.

Fases de Diseño de un BD.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

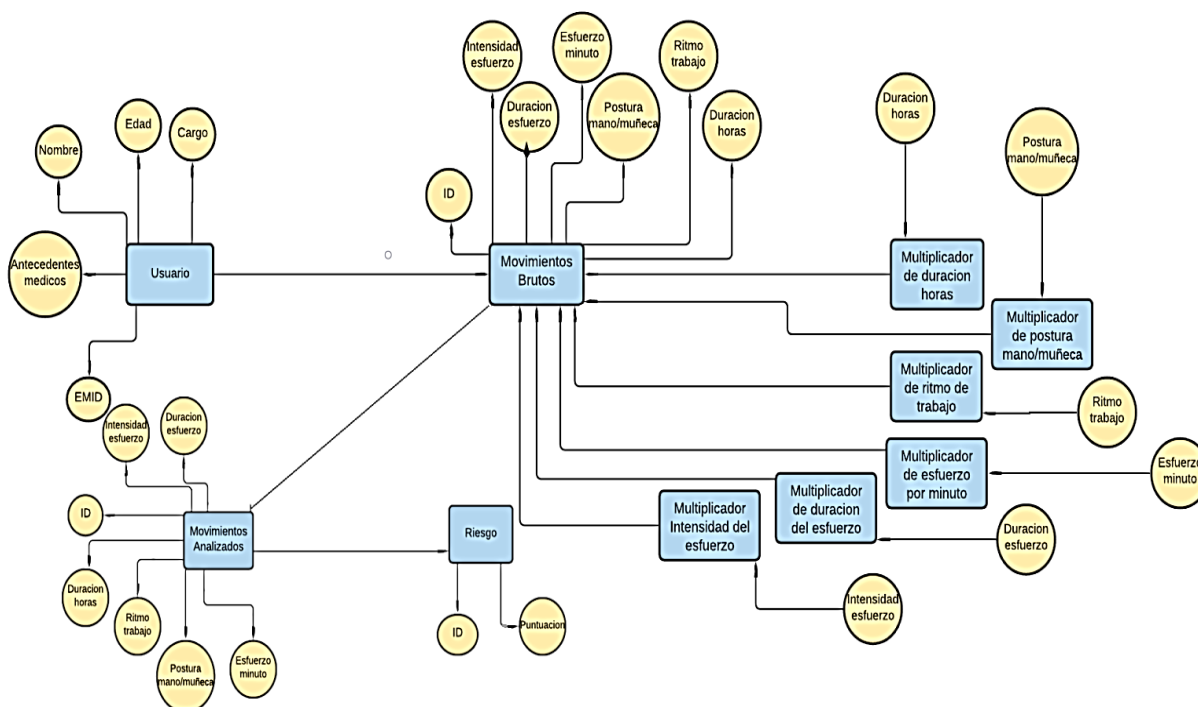
9.1.1 Diseño conceptual

En el diseño conceptual se detallan todos los requisitos y especificaciones que se solicitaron para la base de datos, esto ayudará a generar un esquema conceptual, es decir, una descripción de toda la estructura de la base de datos que se quiere diseñar, la cual está representada por las entidades (rectángulo) y los atributos (círculos). Cada entidad representa una tabla, la cual debe

tener nombres diferentes para evitar las confusiones y los atributos son los datos que estamos almacenando en la base de datos (Figura 23).

Figura 23.

Diseño del modelo conceptual de la BD.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra. Diseñada mediante el software LucidChart

De manera detallada, las entidades y atributos contienen lo siguiente:

1. **Usuario:** En esta entidad se almacenan los datos del usuario al que vamos hacerle la evaluación. Sus atributos son: ID (PK), antecedentes médicos, nombre, edad, cargo.
2. **Movimientos brutos:** En esta entidad se almacenan todos los datos que tomamos mediante el dispositivo. Estos datos aún no están procesados y se guardan en caso de que haya una

incongruencia en el resultado. Sus atributos son: ID (PK), intensidad esfuerzo, duración esfuerzo, esfuerzo minuto, postura mano/muñeca, ritmo trabajo, duración horas.

3. **Multiplicador de duración horas:** En esta entidad se almacenaron los multiplicadores para la duración por horas. Estos datos se usan para poder comenzar el análisis y determinar qué tan riesgoso es el movimiento. Sus atributos son: duración horas.
4. **Multiplicador de postura mano/muñeca:** En esta entidad se almacenaron los multiplicadores para la postura mano/muñeca. Estos datos se usan para poder comenzar el análisis y determinar qué tan riesgoso es el movimiento. Sus atributos son: postura mano/muñeca.
5. **Multiplicador de ritmo de trabajo:** En esta entidad se almacenaron los multiplicadores para el ritmo de trabajo. Estos datos se usan para poder comenzar el análisis y determinar qué tan riesgoso es el movimiento. Sus atributos son: ritmo de trabajo.
6. **Multiplicador de esfuerzo por minuto:** En esta entidad se almacenaron los multiplicadores para el esfuerzo por minuto. Estos datos se usan para poder comenzar el análisis y determinar qué tan riesgoso es el movimiento. Sus atributos son: esfuerzo por minuto.
7. **Multiplicador de duración del esfuerzo:** En esta entidad se almacenaron los multiplicadores para la duración del esfuerzo. Estos datos se usan para poder comenzar el análisis y determinar qué tan riesgoso es el movimiento. Sus atributos son: duración del esfuerzo.
8. **Multiplicador de intensidad del esfuerzo:** En esta entidad se almacenaron los multiplicadores para la intensidad del esfuerzo. Estos datos se usan para poder comenzar

el análisis y determinar qué tan riesgoso es el movimiento. Sus atributos son: intensidad del esfuerzo.

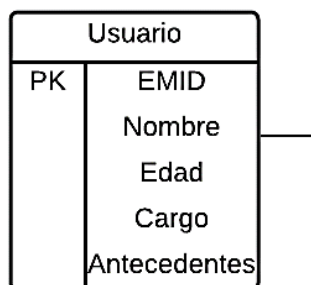
9. **Movimientos analizados:** En esta entidad se almacenarán todos los datos ya procesados, esto quiere decir, los datos ponderados con sus respectivos multiplicadores, los cuales serán los que usaremos para definir el riesgo que tiene hacer un movimiento. Sus atributos son: ID (PK), intensidad esfuerzo, duración esfuerzo, esfuerzo minuto, postura mano/muñeca, ritmo trabajo, duración horas.
10. **Riesgo:** En esta entidad se almacenará el resultado final de si el movimiento es o no riesgoso para el usuario. Sus atributos son: ID (PK), puntuación.

9.1.2 Diseño lógico

El diseño lógico se basó en el diseño conceptual, el cual permite una descripción de la estructura de nuestra base de datos. Para este caso resulta funcional el modelo relacional, donde se pasan las entidades a tablas para evidenciar las llaves primarias (PK) y los atributos de cada entidad. A continuación, se mostrará el proceso para crear el diagrama lógico.

Figura 24.

Notación PK del modelo lógico de la BD.

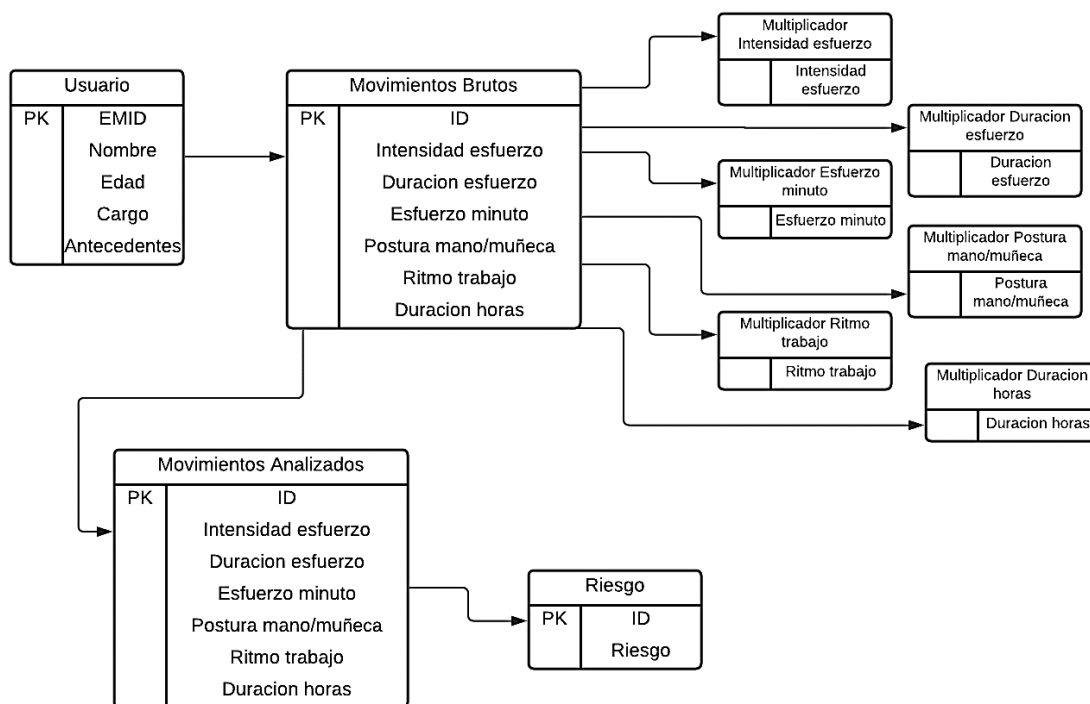


Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra. Diseñada mediante el software LucidChart

De esta manera, así como se distinguió las llaves primarias con la notación (PK), en la Figura 25 se presentan las llaves foráneas (FK) que permiten hacer referencia a los atributos de otras tablas.

Figura 25.

Diseño del modelo lógico de la BD.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra. Diseñada mediante el software LucidChart

9.1.3 Diseño del modelo físico

En esta parte del diseño se realizó una descripción que facilitará la implementación de la base de datos ya que en el esquema conceptual y lógico no se definió el tipo de dato va en cada registro de la base de datos. En las Tablas 12 y 13 se observa el tipo de datos correspondiente.

Tabla 12.

Tipo de datos que incluye la BD de la entidad “Usuario”.

USUARIO		
PK	EMID	INT
	Nombre	VARCHAR
	Edad	INT
	Cargo	VARCHAR
	Antecedentes	VARCHAR

Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Tabla 13.

Tipo de datos que incluye la BD de la entidad “Movimientos Brutos”.

MOVIMIENTOS BRUTOS		
PK	ID	INT
	Intensidad esfuerzo	DOUBLE
	Duración esfuerzo	DOUBLE
	Esfuerzo minuto	DOUBLE
	Postura mano/muñeca	DOUBLE
	Ritmo trabajo	DOUBLE
	Duración horas	DOUBLE

Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Las tablas anteriores incluyen el tipo de dato definido, el cual será almacenado en la base de datos. Los tipos de datos que se usaron fueron:

INT: El dato a ingresar tendrá que ser un dato exacto, sin decimales.

CHAR: Este tipo de dato permite almacenar 255 caracteres en texto alfanumérico.

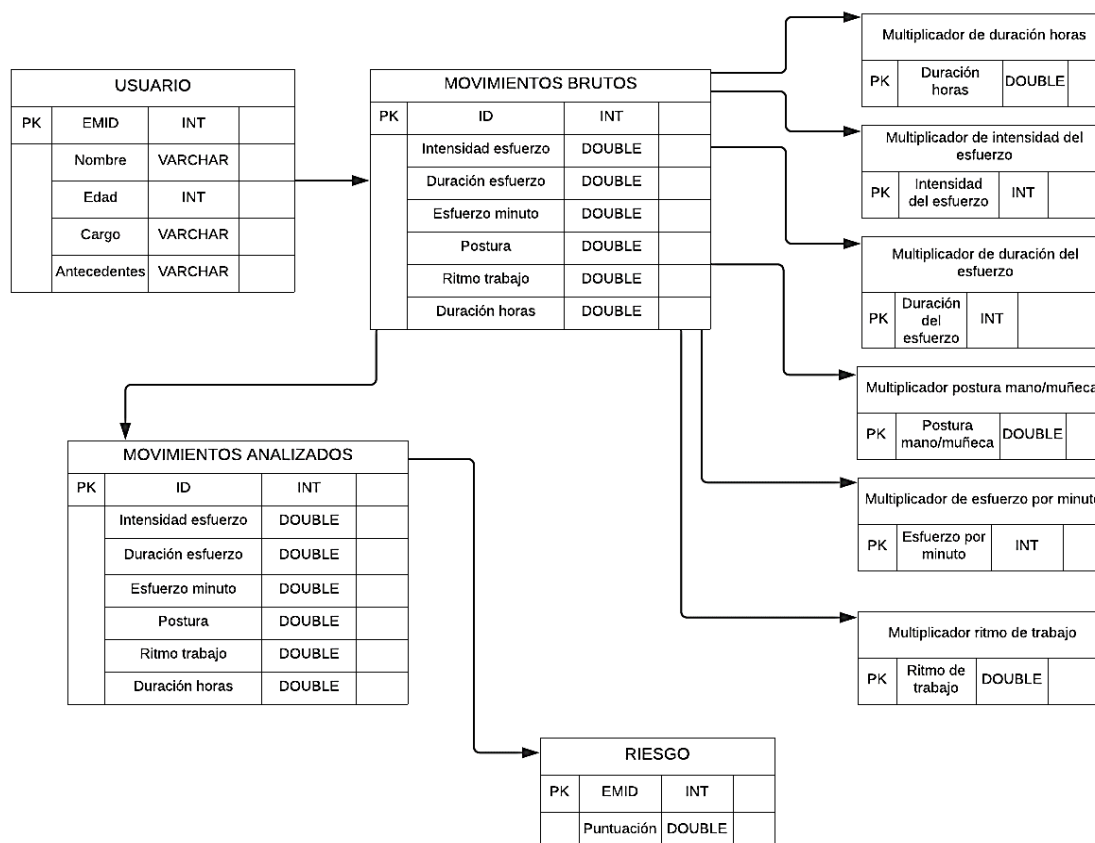
VARCHAR: Se usa cuando la longitud del dato es desconocida, admite almacenar hasta 65.535 caracteres y aunque se le dé un valor por ejemplo 20 y el texto es de 10 caracteres, almacena únicamente los 10 caracteres usados.

DOUBLE: El dato que se podrá ingresar puede ser con decimal.

Ahora, con el tipo de dato en cada una de las tablas, es posible generar el diagrama físico (ver Figura 26). Una vez se tenga completo este diagrama puede darse inicio a la creación de la base de datos en MYSQL, el cual es una herramienta para la creación y gestión de bases datos usada por los desarrolladores de software.

Figura 26.

Diseño del modelo físico de la BD.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

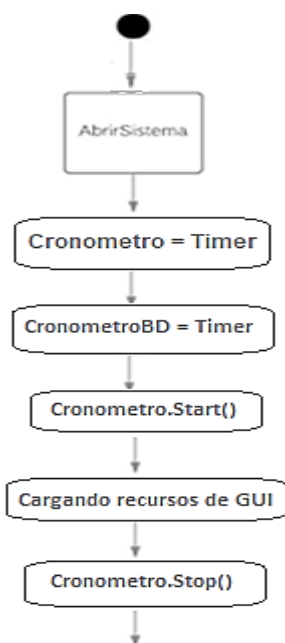
10. ALGORITMO

10.1 Diseño de algoritmo para el análisis del nivel de riesgo de los miembros superiores

En las siguientes figuras se presenta el diagrama de flujo que da cuenta del diseño del algoritmo. En la Figura 27 se muestra la apertura de la aplicación y la opción de iniciar el sistema. Se utilizan cronómetros para calcular el tiempo de conexión/acceso al sistema y a la base de datos.

Figura 27.

Primera parte del algoritmo: Diagrama de actividades.

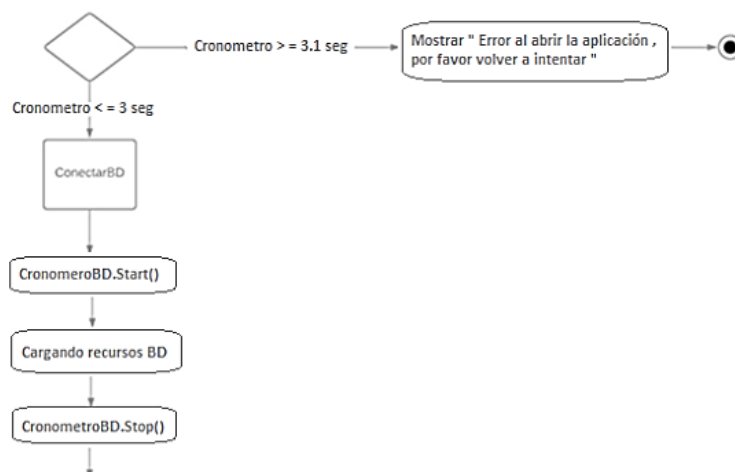


Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

En la figura 28 se presenta el flujo para identificar si la conexión es exitosa o no.

Figura 28.

Conexión del sistema: Diagrama de actividades.

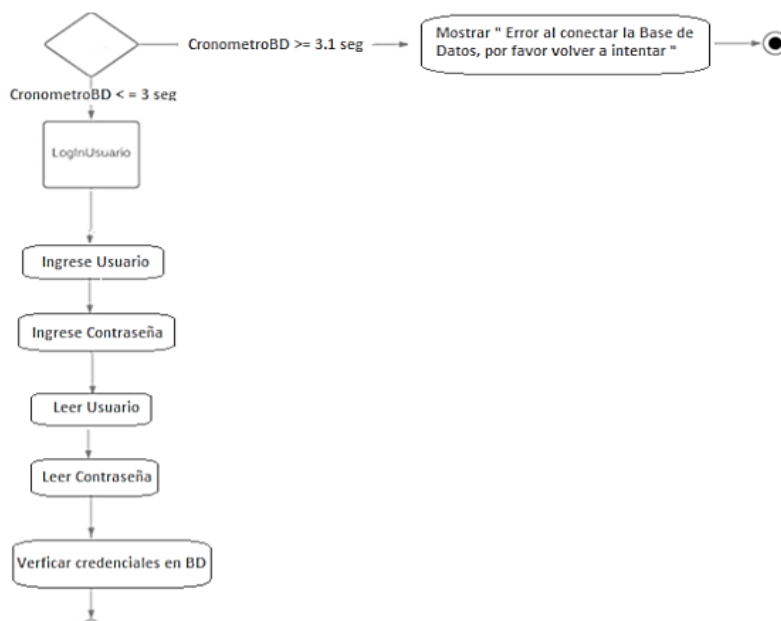


Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

En la figura 29 se presenta nuevamente el proceso para establecer conexión con la base de datos y en este punto el sistema requerirá que se ingresen las credenciales para el log in.

Figura 29.

Conexión de la base de datos: Diagrama de actividades.

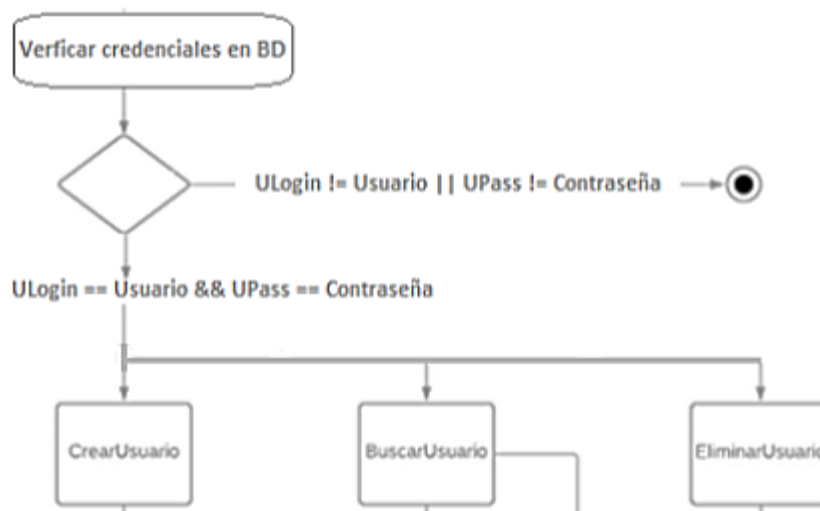


Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

La figura 30 muestra el proceso de verificación de credenciales, el cual se realiza mediante una comparación con la información almacenada en la base de datos. Si el login es exitoso y se visualizan 3 opciones: “crear usuario”, “buscar usuario” y “eliminar usuario”. Por el contrario, si dicha comparación es opuesta o no se cumple, quiere decir que el login no es exitoso y se cierra la conexión.

Figura 30.

Verificación de credenciales: Diagrama de actividades.



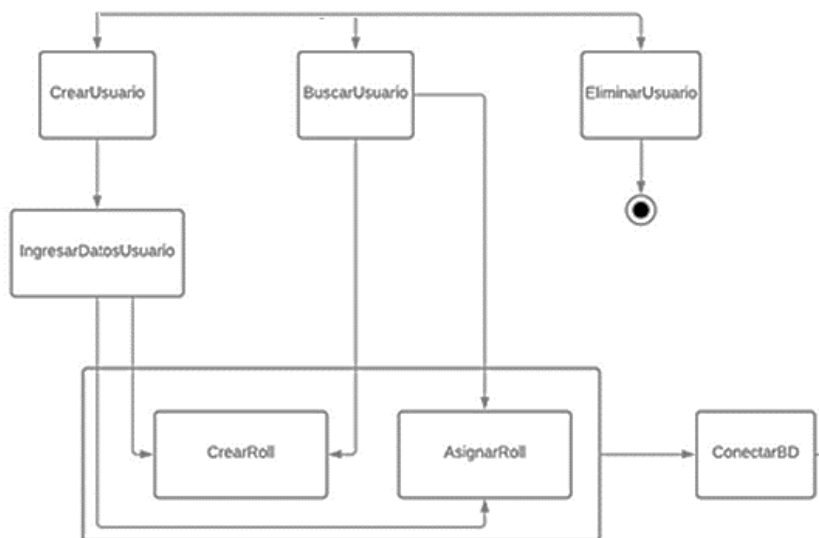
Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

En la Figura 31 se presenta la segunda parte del algoritmo, donde se avanza hacia la opción “eliminar usuario” la cual permite eliminar un usuario.

Por otra parte, en el caso de las otras dos opciones “crear usuario” y “buscar usuario”, al seleccionarlas se habilitan dos procesos más: “crear rol” y “asignar rol”, lo cual significa que pueden crear un nuevo rol o asignar un rol ya existente.

Figura 31.

Segunda parte del algoritmo: Diagrama de actividades.



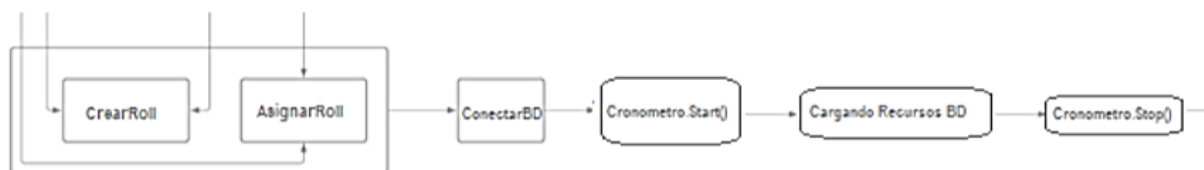
Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Luego de crear y asignar el Rol, la información recolectada se almacena en la base de datos.

Como se observa en las Figuras 32 y 33.

Figura 32.

Tercera parte del algoritmo: Diagrama de actividades (a).



Al establecer la conexión con la base de datos, se habilitan dos botones: “conectar dispositivos” y “consultar antecedentes”. La opción de “conectar dispositivo” se encarga de recolectar la información que transmite el hardware, además de permitir el almacenamiento de los datos brutos capturados,

A su vez, la opción “consultar antecedentes” permite descargar un archivo con los antecedentes médicos, solo si la empresa ha gestionado dicha información y esta ha sido almacenada junto con el ingreso de los usuarios al sistema.

Figura 33.

Tercera parte del algoritmo: Diagrama de actividades (b).

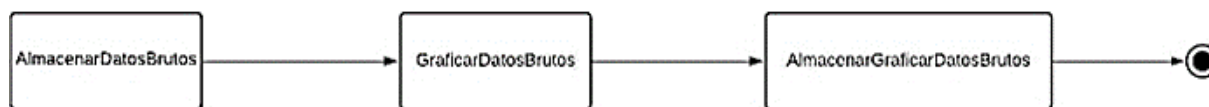


Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

En la Figura 34, el flujo corresponde a la continuación de la actividad “almacenar datos brutos” la cual permite graficar los datos y almacenarlos en la base de datos.

Figura 34.

Cuarta parte del algoritmo: Diagrama de actividades.

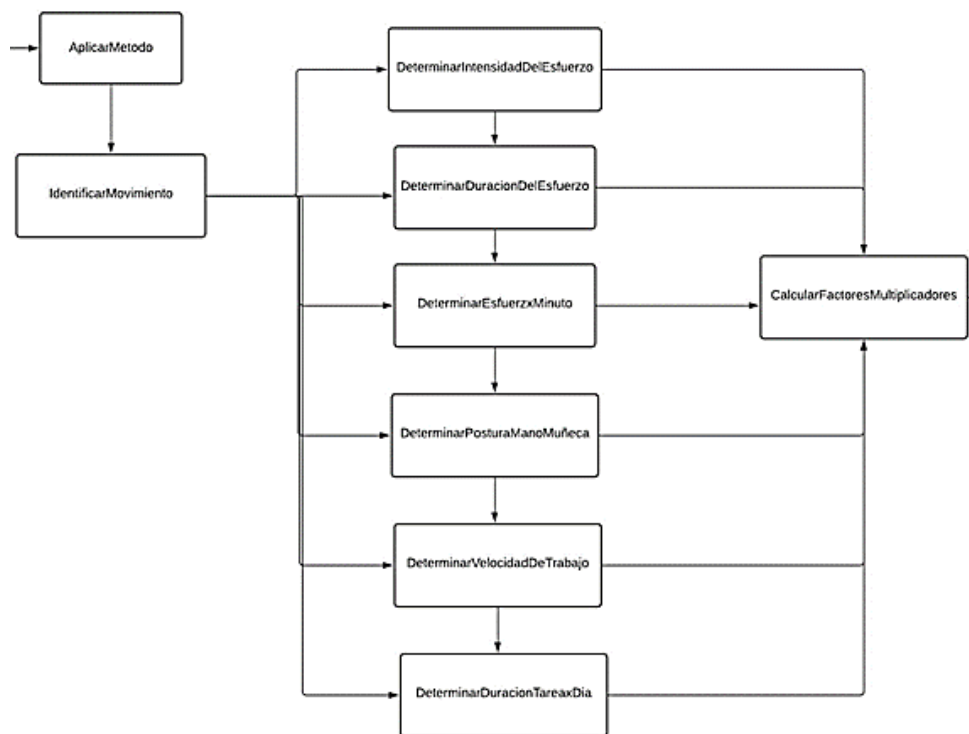


Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Ahora, para aplicar el método matemático JSI, se define una primera actividad como se observa en la Figura 35, la cual es “identificar movimiento” para poder seleccionar y reconocer el movimiento a analizar, ya que este debe cumplir con ciertos requisitos, como por ejemplo ser un movimiento repetitivo y desarrollarlo en la articulación mano-muñeca, entre otras. Después de esto, se deben desarrollar 6 actividades que corresponden a cada uno de los 6 pasos del método JSI para determinar: intensidad del esfuerzo, duración del esfuerzo, esfuerzo por minuto, postura mano-muñeca, velocidad de trabajo y duración tarea por día, para luego calcular los factores multiplicadores de cada actividad.

Figura 35.

Quinta parte del algoritmo: Diagrama de actividades.

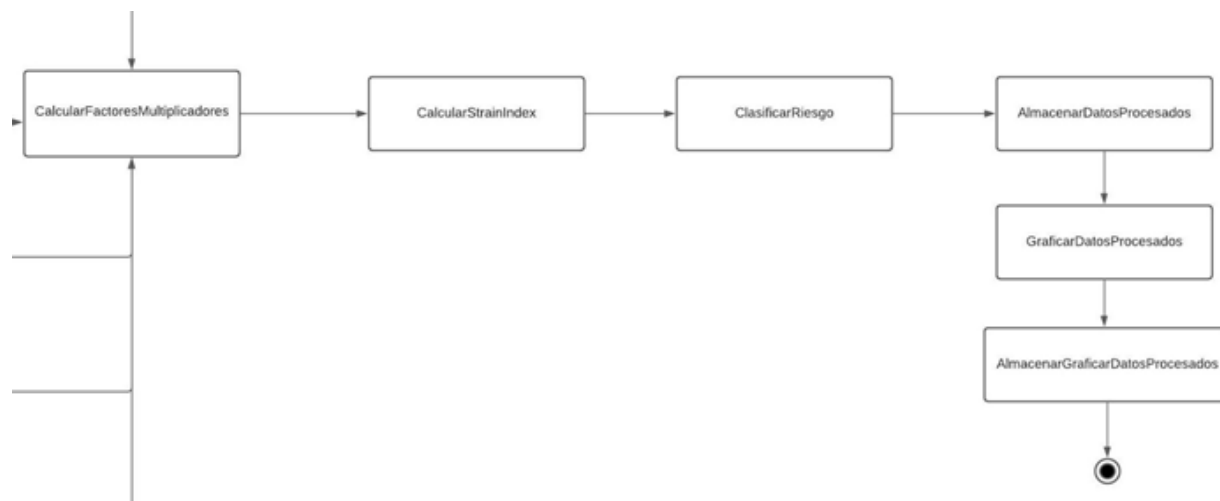


Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

En la Figura 36, luego de calcular los factores multiplicadores, se calcula la ecuación final de Strain Index y se clasifica el riesgo según los rangos establecidos por el método, para finalmente almacenarse en la base de datos la información procesada, desde la cual se grafican los datos e igualmente se almacenan.

Figura 36.

Sexta parte del algoritmo: Diagrama de actividades.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

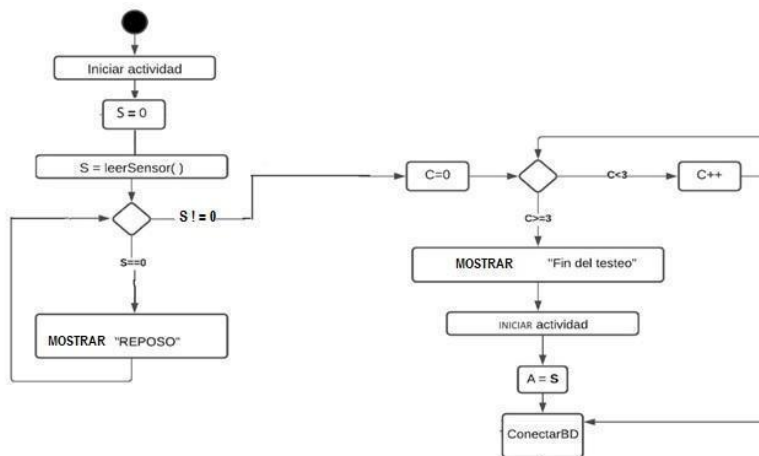
Tras la descripción del diagrama en sus seis primeros fragmentos, a continuación, en la Figura 37 se detallan los 6 pasos del método JSI descritos a partir de la Figura 35, así como la identificación del movimiento, donde la primera parte es la encargada de realizar el proceso de testo o identificación del movimiento.

El primer paso es identificar si se está realizando un movimiento o está en reposo. Si se está efectuando un movimiento, se analiza si el movimiento es repetitivo y el rango de información que maneja el movimiento.

Luego, se inicia la actividad (tarea) que va a ser reconocida como objeto de estudio y se conecta a la base de datos que contiene las tablas con los factores que el método JSI utiliza para realizar la clasificación de los movimientos.

Figura 37.

Testeo o detección del movimiento.

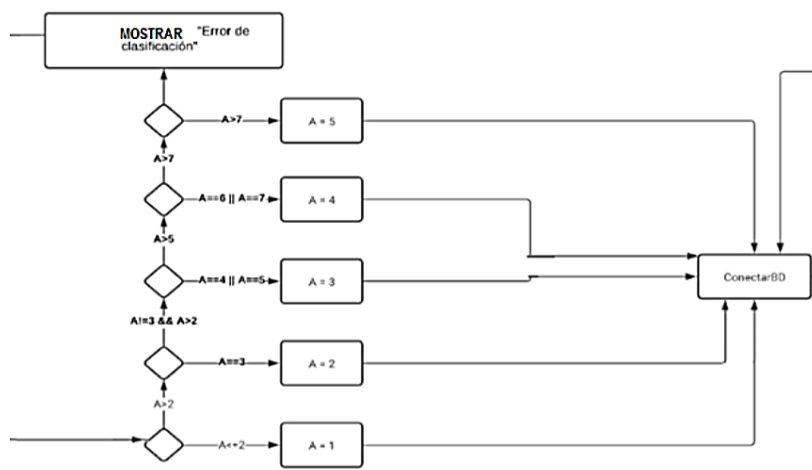


Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

En la Figura 38 se presenta la parte encargada de realizar el análisis matemático de intensidad del esfuerzo, Se encargan de hacer comparaciones correspondientes a la Tabla 14 del método JSI para identificar la valoración de la intensidad del esfuerzo y así se le asigna un valor de la Tabla 14, en caso contrario el algoritmo arroja un mensaje de “Error de clasificación”.

Figura 38.

Cálculo de la valoración de la intensidad del esfuerzo.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Para medir la intensidad del esfuerzo se tomó como valor comparativo la escala de Borg cr-10 (eb) que se muestra en la Tabla 14, la cual depende de la lectura que del sensor. Luego de

identificar el condicional que se debe seguir, se asigna la valoración correspondiente según la Tabla 14 y finalmente se conecta a la base de datos para almacenar y realizar algunos procesos adicionales.

Tabla 14.

Tabla de valoración e intensidad del esfuerzo de acuerdo con la escala de Borg.

INTENSIDAD DEL ESFUERZO	%		ESFUERZO PERCIBIDO	VALORACIÓN
LIGERO	< 10%	<= 2	ESCASAMENTE PERCEPTIBLE, ESFUERZO RELAJADO	1
UN POCO DURO	10% - 29%	3	ESFUERZO PERCEPTIBLE	2
DURO	30% - 49%	4 - 5	ESFUERZO OBVO, SIN CAMBIOS EN LA EXPRESIÓN FACIAL	3
MUY DURO	50% - 79%	6 - 7	ESFUERZO IMPORTANTE, CAMBIOS EN LA EXPRESIÓN FACIAL	4
CERCANO AL MÁXIMO	>= 80%	> 7	USO DE LOS HOMBROS O TRONCO PARA GENERAR FUERZAS	5

Nota. Elaborada a partir de información proporcionada por Diego-Mas (2015b) en el sitio web <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/jsi/jsi-ayuda.php>

Esta parte es la continuación del flujo del método anterior, retomando desde la base de datos.

Luego de conectarse a la base de datos se continúa el proceso matemático, el cual se encarga de realizar las comparaciones correspondientes a la Tabla 15, la cual determina el valor del factor multiplicador de intensidad del esfuerzo “IE”(Ver Figura 39).

Tabla 15.

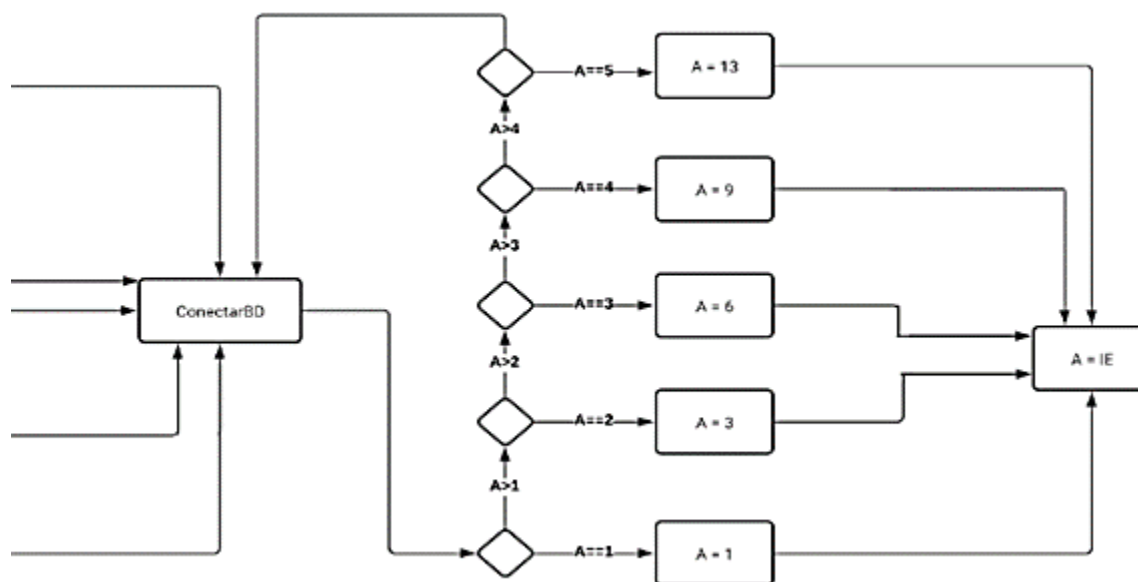
Multiplicadores de la intensidad del esfuerzo.

INTENSIDAD DEL ESFUERZO	
VALORACIÓN	IE
1	1
2	3
3	6
4	9
5	13

Nota. Elaborada a partir de información proporcionada por Diego-Mas (2015b) en el sitio web <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/jsi/jsi-ayuda.php>

Figura 39.

Cálculo del multiplicador de intensidad del esfuerzo.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

En la Figura 40 se describe el bloque de “*determinaresfuerzominuto*”. se calcula el esfuerzo por minuto teniendo en cuenta un el número de veces que se realiza el esfuerzo y el tiempo . Lo siguiente en el flujo es contar cuantas veces se está haciendo el mismo movimiento. Finalmente se realiza una operación matemática (Ver Ecuación 1) para obtener el resultado final que se almacena en EM, para continuar con el método.

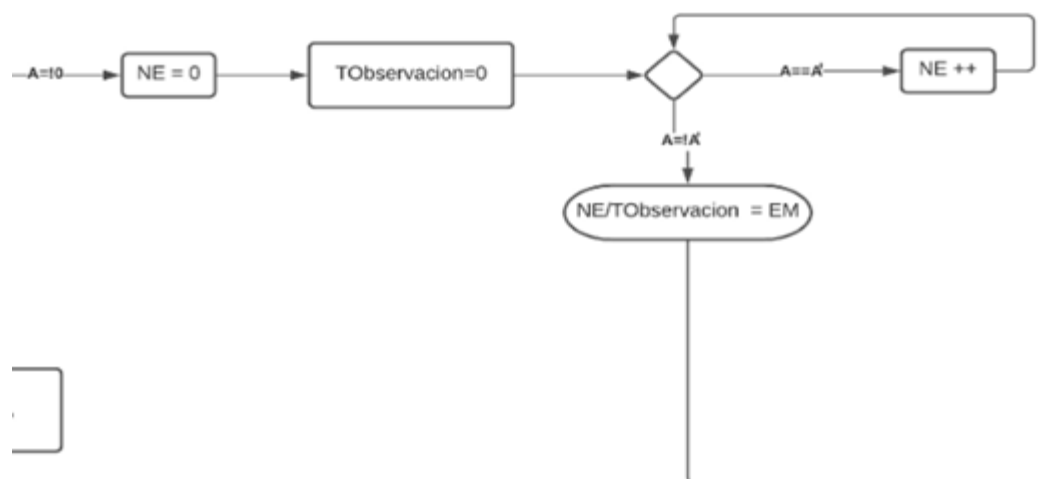
Ecuación 1.

Cálculo de EM.

$$NE / T_{\text{Observación}} = EM$$

Figura 40.

Esfuerzo por minuto.

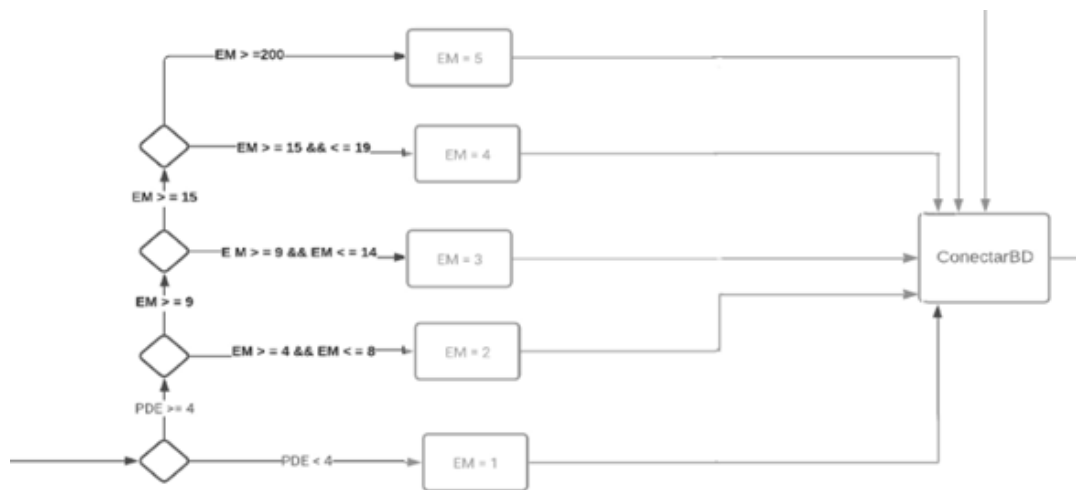


Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

En la Figura 41 se realiza una serie de comparaciones para identificar dentro de qué rango se puede clasificar el valor obtenido anteriormente (“EM”). Dichos rangos se definen por los valores de la Tabla 16 del método JSI. De igual manera, si alguna de las comparaciones se cumple se asigna un nuevo valor a “EM” el cual es otorgado dependiendo del porcentaje de esfuerzo por minuto obtenido. Finalmente se conecta a la base de datos para almacenar la información y consultar algunos recursos.

Figura 41.

Cálculo de la valoración del esfuerzo por minuto.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Tabla 16.

Valoración del porcentaje del esfuerzo por minuto.

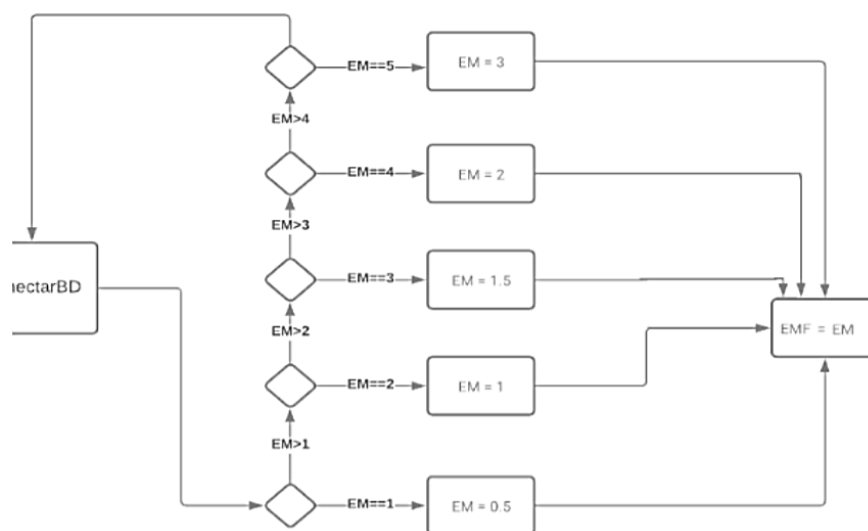
PORCENTAJE ESFUERZOS POR MINUTOS	VALORACIÓN
< 4	1
4 – 8	2
9 – 14	3
15 – 19	4
>= 20	5

Nota. Elaborada a partir de información proporcionada por Diego-Mas (2015b) en el sitio web <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/jsi/jsi-ayuda.php>

Luego de almacenar la información en la base de datos, se somete a la variable “EM” a otras comparaciones (Ver Figura 42), tomando como criterio comparativo la Tabla 17, la cual asigna los factores multiplicadores para la variable “EM”, finalmente se almacena el valor resultante en la variable “EMF”.

Figura 42.

Cálculo de los multiplicadores de esfuerzo por minuto.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Tabla 17.

Multiplicadores del esfuerzo por minuto.

ESFUERZOS POR MINUTO	
VALORACIÓN	EM
1	0,5
2	1
3	1,5

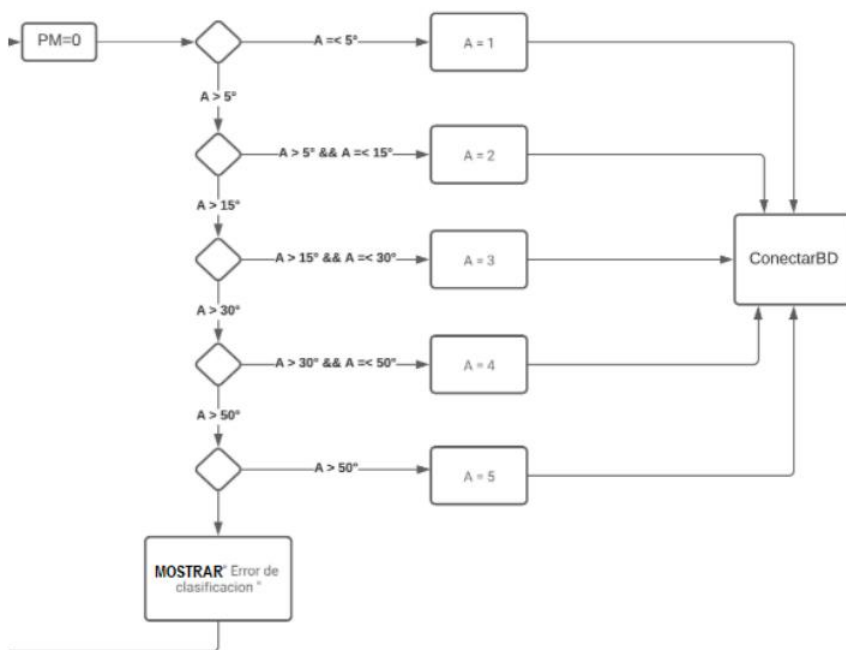
4	2
5	3

Nota. Elaborada a partir de información proporcionada por Diego-Mas (2015b) en el sitio web <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/jsi/jsi-ayuda.php>

En la Figura 43 se describe cómo se desarrolló el método correspondiente “PosturaManoMuñeca”. Dicho método consiste en tomar un punto de referencia como “reposo” y ha partir de este medir la desviación de la muñeca.

Figura 43.

Cálculo de la valoración de la postura mano/muñeca.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Para evaluar lo anterior se toma como criterio comparativo la Tabla 18. Esta tabla tiene 3 parámetros para realizar la clasificación. Para el desarrollo del flujograma de la Figura 43 se tomó como referencia el parámetro de flexión (grados de flexión de la articulación mano - muñeca).

En el flujo se puede ver una serie de comparaciones equivalentes a los valores de los parámetros de la Tabla 18.

Cuando se cumple un condicional se asigna una valoración correspondiente, finalmente se conecta y se almacena en la base de datos para continuar con otro proceso. Por otro lado, si ningún condicional se cumple se muestra el mensaje “Error de clasificación” y se comienza el proceso nuevamente.

Tabla 18.

Valoración postura mano-muñeca.

POSTURA MANO MUÑECA	FLEXIÓN	POSTURA PERCIBIDA	VALORACIÓN
MUY BUENA	0° - 5°	PERFECTAMENTE NEUTRAL	1
BUENA	6° - 15°	CERCANA A LA NEUTRAL	2
REGULAR	16° - 30°	NO NEUTRAL	3
MALA	31° - 50°	DESVIACIÓN IMPORTANTE	4
MUY MALA	> 50°	DESVIACIÓN EXTREMA	5

Nota. Elaborada a partir de información proporcionada por Diego-Mas (2015b) en el sitio web <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/jsi/jsi-ayuda.php>

Luego de almacenar la información en la base de datos, se somete nuevamente la variable A a una serie de condicionales para determinar el factor multiplicador equivalente a la Tabla 19.

Tabla 19.

Multiplicador mano-muñeca.

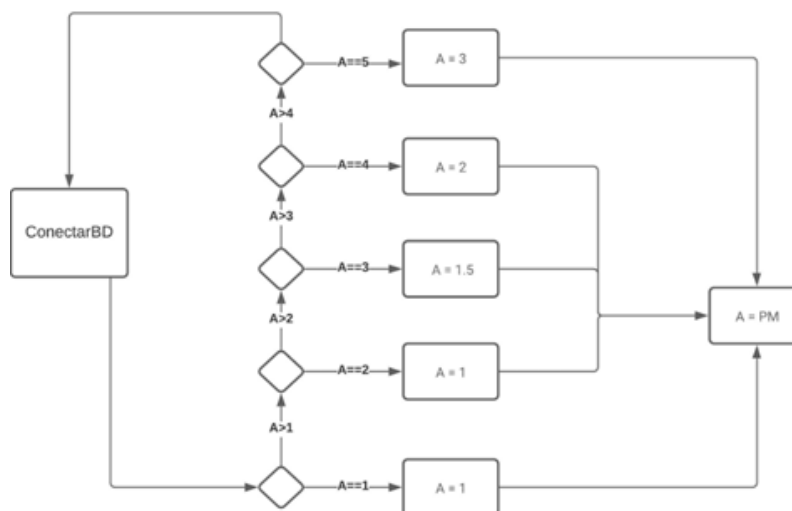
PORCENTAJE POSTURA MANO – MUÑECA	
VALORACIÓN	PDE
1	1
2	1
3	1,5
4	2
5	3

Nota. Elaborada a partir de información proporcionada por Diego-Mas (2015b) en el sitio web <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/jsi/jsi-ayuda.php>

Finalmente, al tener el valor del multiplicador, este valor es almacenado en la variable “PM” como se muestra en la Figura 44 para mayor facilidad más adelante.

Figura 44.

Cálculo de los multiplicadores de la postura mano/muñeca.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

A continuación se describe como se propone el desarrollo del algoritmo para calcular la duración del esfuerzo. Para ello se debe calcular el porcentaje de duración de los esfuerzos del individuo durante un periodo de observación.

Se calcula el tiempo que dura el periodo de observación y el tiempo total que duran los esfuerzos.

Se realiza continuamente el testeo que identifica si los movimientos realizados son iguales (repetitivos), ya que al momento de cambiar de movimiento o entrar en reposo finaliza el tiempo de los esfuerzos que se realizan y con dicha información se aplica la siguiente fórmula para calcular el porcentaje de duración del esfuerzo:

Ecuación 2.

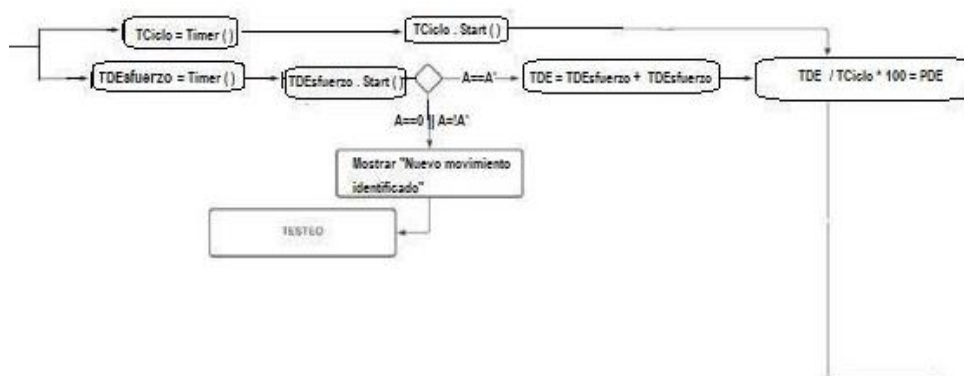
Cálculo de PDE.

$$TDE / TCiclo * 100 = PDE$$

Por otra parte si se inicia un nuevo movimiento o entra en reposo, entonces se muestra un mensaje “Nuevo movimiento identificado” y se reinicia todo el proceso desde el TESTEO (Ver Figura 45)

Figura 45.

Porcentaje de duración del esfuerzo.

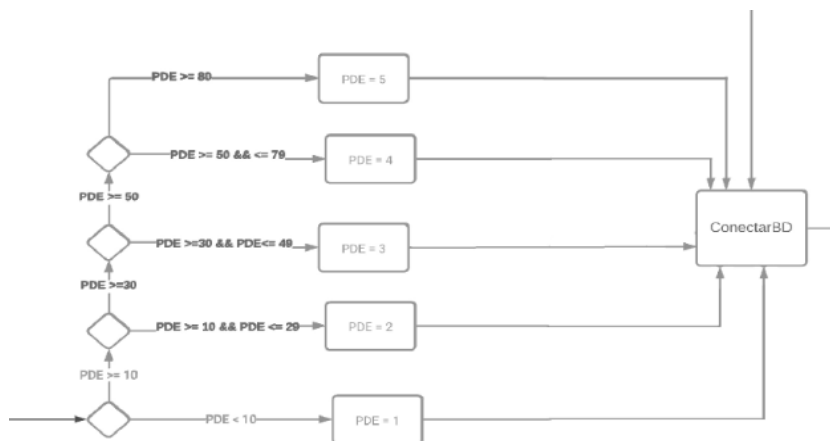


Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Al tener almacenado el valor del porcentaje del esfuerzo en la variable PDE, se someterá este valor a una serie de condicionales (Ver Figura 46).

Figura 46.

Cálculo de la valoración de la duración del esfuerzo.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Los condicionales de la Figura 46, tienen como criterio comparativo los valores que se muestran en la Tabla 20.

Una vez identificado la valoración correspondiente se sobre escribe la variable “PDE” y se almacena en la base de datos.

Tabla 20.

Valoración de la duración del esfuerzo.

PORCENTAJE DURACIÓN DEL ESFUERZO	
< 10 %	1
10 % - 29 %	2
30 % - 49 %	3
50 % - 79 %	4
80 % - 100 %	5

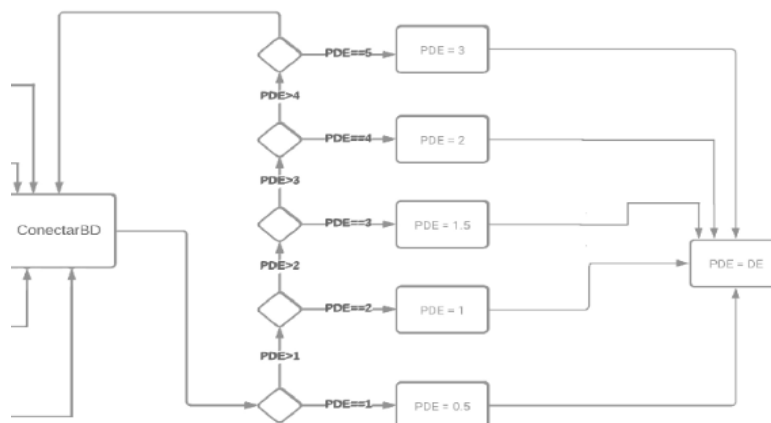
Nota. Elaborada a partir de información proporcionada por Diego-Mas (2015b) en el sitio web <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/jsi/jsi-ayuda.php>

Luego de almacenar la información en la base de datos, se procede a someter la variable “PDE” a una serie de comparaciones para asignar el valor del factor multiplicador, basados en los criterio de la Tabla 21.

Finalmente, el valor del factor de multiplicación se guarda en la variable “DE” para facilitar futuros procesos matemáticos (Ver Figura 47).

Figura 47.

Cálculo de los multiplicadores de la duración del esfuerzo.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Tabla 21.

Multiplicadores de la duración del esfuerzo.

PORCENTAJE DE DURACIÓN DEL ESFUERZO	
VALORACIÓN	DE
1	0,5
2	1
3	1,5
4	2
5	3

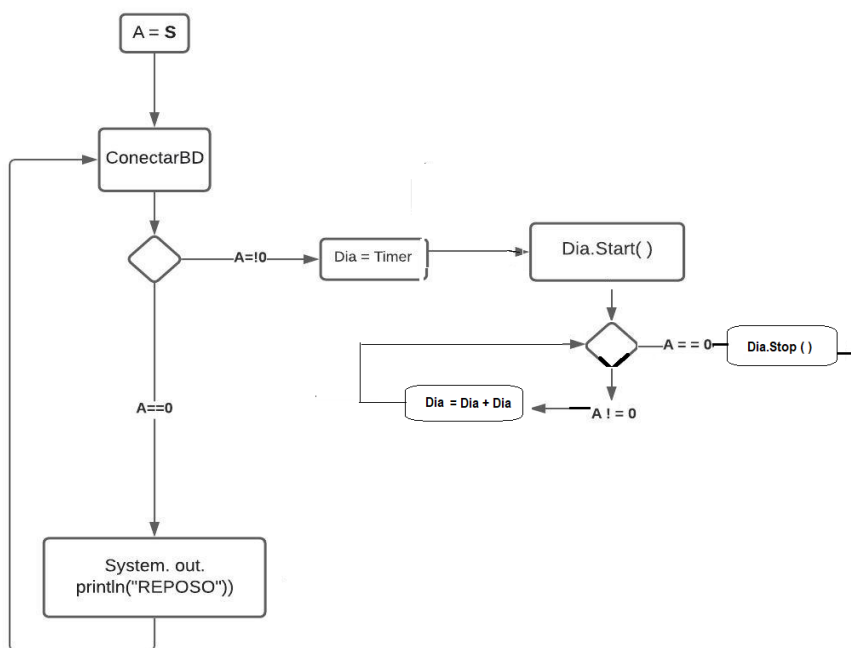
Nota. Elaborada a partir de información proporcionada por Diego-Mas (2015b) en el sitio web <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/jsi/jsi-ayuda.php>

En la Figura 48 se describe el algoritmo propuesto para calcular la duración de la tarea por día.

Se inicia contabilizando el tiempo transcurrido de la jornada laboral, se identifica que se estén realizando movimientos repetitivos, pero cuando se entre en reposo se comienza el proceso de convertir el tiempo calculado en milisegundos a tiempo representado en horas (Ver Figura 48).

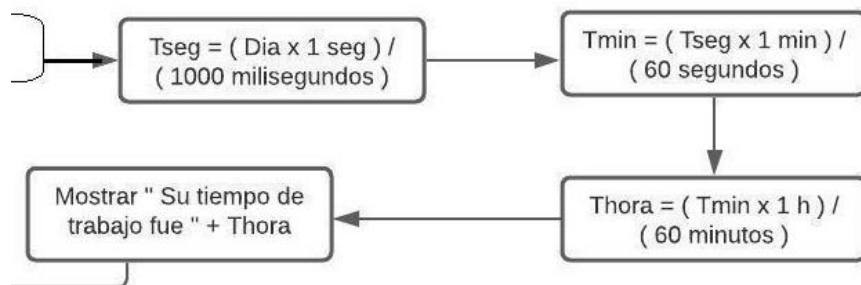
Figura 48.

Conversión de milisegundos a horas.



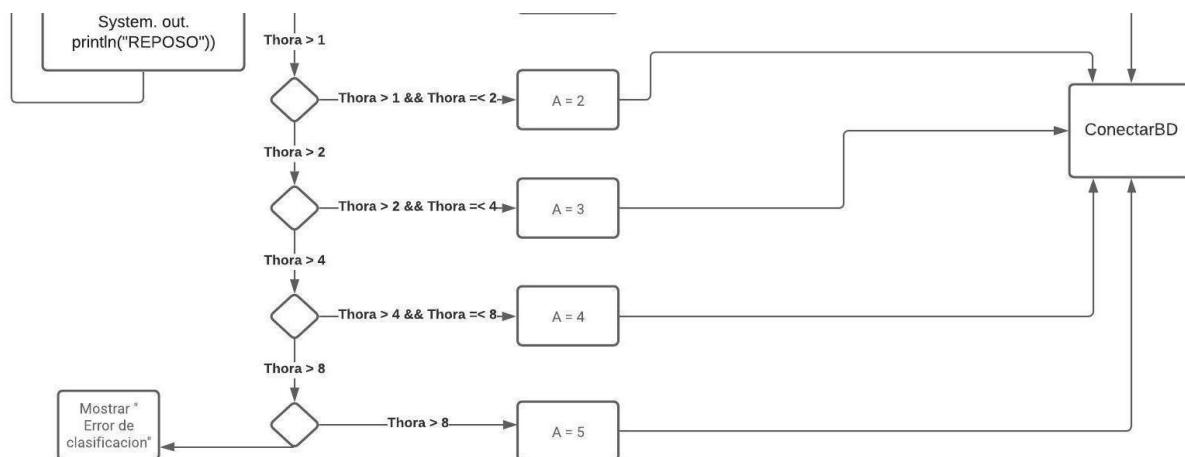
Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

En la Figura 49 se muestran las conversiones que se hacen para pasar el tiempo calculado a horas.

Figura 49.*Conversión a horas.*

Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Luego se realiza una serie de comparaciones para clasificar el tiempo obtenido en algún rango de la valoración de la Tabla 22, este valor se almacenará en la base de datos, pero si dicho valor no puede ser clasificado, este se tomará como error y el proceso volverá a comenzar. (Ver Figura 50).

Figura 50.*Cálculo de la valoración de la duración de las tareas.*

Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

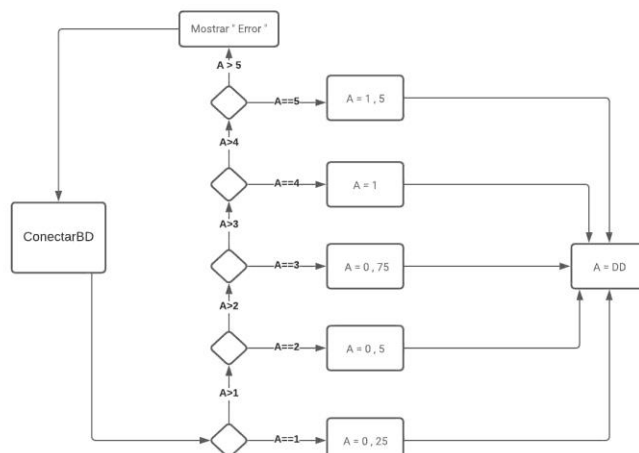
Tabla 22.*Valoración de la duración de la tarea.*

DURACIÓN DE LA TAREA POR DÍA EN HORAS	VALORACIÓN
< 1	1
1 – 2	2
2 – 4	3
4 – 8	4
>= 8	5

Nota. Elaborada a partir de información proporcionada por Diego-Mas (2015b) en el sitio web <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/jsi/jsi-ayuda.php>

Al tener el tiempo clasificado, el siguiente paso es someterlo nuevamente a un grupo de comparaciones como se muestra en la Figura 51, estas comparaciones le asignará un valor correspondiente a los multiplicadores de la Tabla 23.

Figura 51.*Cálculo de los multiplicadores de la duración de la tarea.*



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Tabla 23.

Multiplicadores de la duración de la tarea.

DURACIÓN POR DÍA	
VALORACIÓN	DD
1	0,25
2	0,5
3	0,75
4	1
5	1,5

Nota. Elaborada a partir de información proporcionada por Diego-Mas (2015b) en el sitio web <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/jsi/jsi-ayuda.php>

Finalmente este valor se almacena en la variable “DD”.

El método propuesto en la Figura 52 propone una posible solución para calcular la velocidad del esfuerzo. Inicialmente se identifica que los movimientos sean objeto de estudio y se cuenta el tiempo hasta que se realice un movimiento diferente o esté en estado de reposo.

Así que el contador entra a un bucle do while el cual sigue contando hasta que “ $A = 0$ ” la variable A sea igual a cero, osea que el individuo esté en reposo (se considera que al cambiar de movimiento debe existir un momento cero en el cual regrese a reposo aunque sea por un lapso muy corto). Finalmente se aplica la siguiente ecuación:

Ecuación 3.

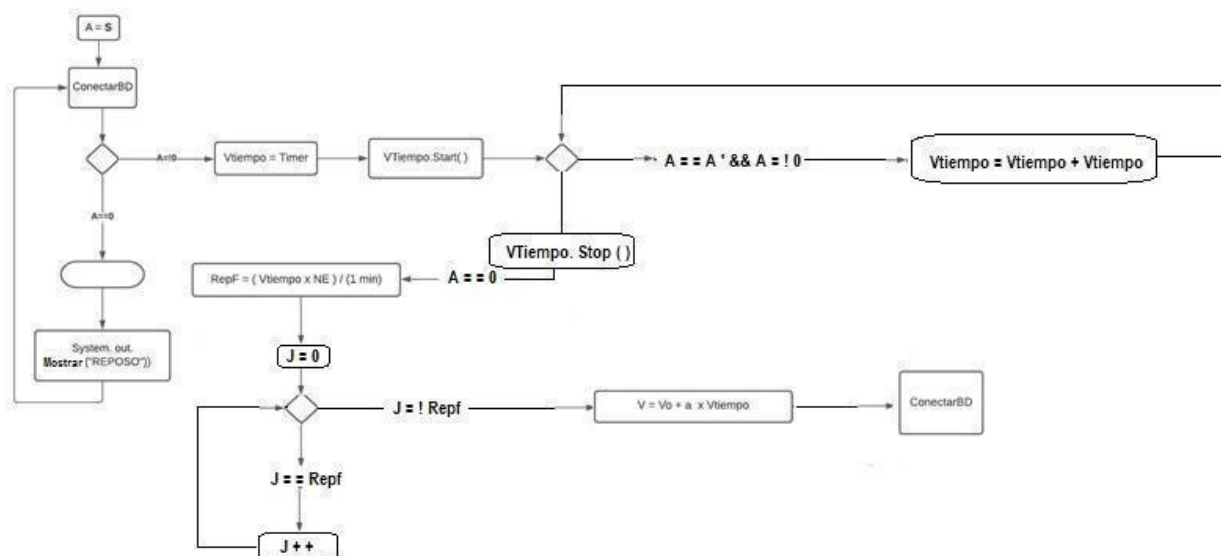
Cálculo de RepF.

$$RepF = \frac{(V_{tiempo} \times NE)}{(1_{min})}$$

Se calculan las repeticiones finales, las cuales son necesarias para calcular la velocidad en diferentes momentos (Repeticiones) para así obtener una velocidad promedio y finalmente se conecta a la base de datos para almacenar la información y extraer algunos datos necesarios.

Figura 52.

Velocidad del esfuerzo.



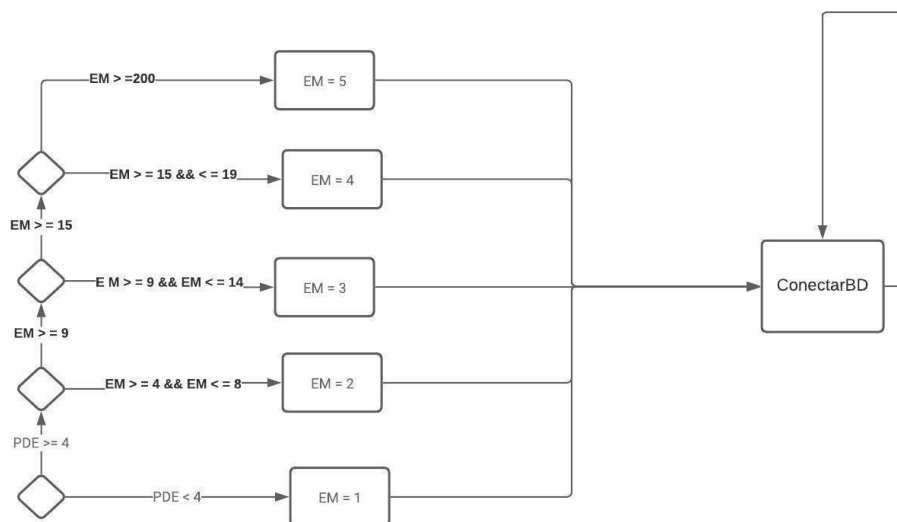
Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Se extrae la información del método para calcular el esfuerzo por minuto y se realiza el mismo proceso descrito en la Figura 41. y la Figura 42.

El único ajuste que requiere este método es en los if anidados después de que se conecta a la base de datos (Ver Figura 53), pues los valores que se asignan son correspondientes a la Tabla 24.

Figura 53.

Cálculo de la valoración de la velocidad del esfuerzo.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Tabla 24.

Valoración de la velocidad del esfuerzo.

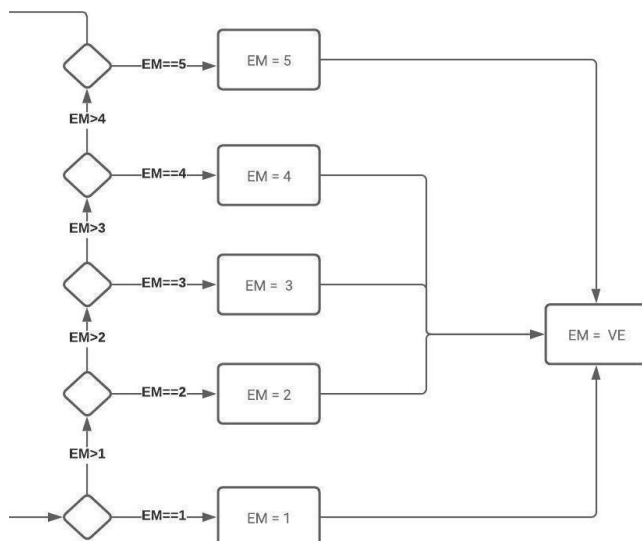
Ritmo de trabajo	Velocidad Percibida	Valoración
Muy lento	Ritmo extremadamente Relajado	1
Lento	Ritmo Lento	2
Regular	Velocidad de movimientos normal	3
Rápido	Ritmo impetuoso pero sostenible	4
Muy rápido	Ritmo impetuoso y prácticamente insostenible	5

Nota. Elaborada a partir de información proporcionada por Diego-Mas (2015b) en el sitio web <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/jsi/jsi-ayuda.php>

Luego de almacenar la información en la base de datos, se somete nuevamente a una serie de condicionales para determinar el factor multiplicador equivalente a la Tabla 25 y finalmente la variable EM se asigna a la variable VE.

Figura 54.

Cálculo de los multiplicadores de la velocidad del esfuerzo.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Tabla 25.

Multiplicadores de la velocidad del esfuerzo.

VALORACIÓN	SW
1	1
2	1
3	1
4	1.5

5	2
---	---

Nota. Elaborada a partir de información proporcionada por Diego-Mas (2015b) en el sitio web <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/jsi/jsi-ayuda.php>

Finalmente en la Figura 55 procedemos a realizar el cálculo del valor del nivel de riesgo, el cual se almacena en la variable JSI.

Este cálculo se consigue mediante la multiplicación de todos los métodos descritos anteriormente como se muestra en la siguiente ecuación.

Ecuación 4.

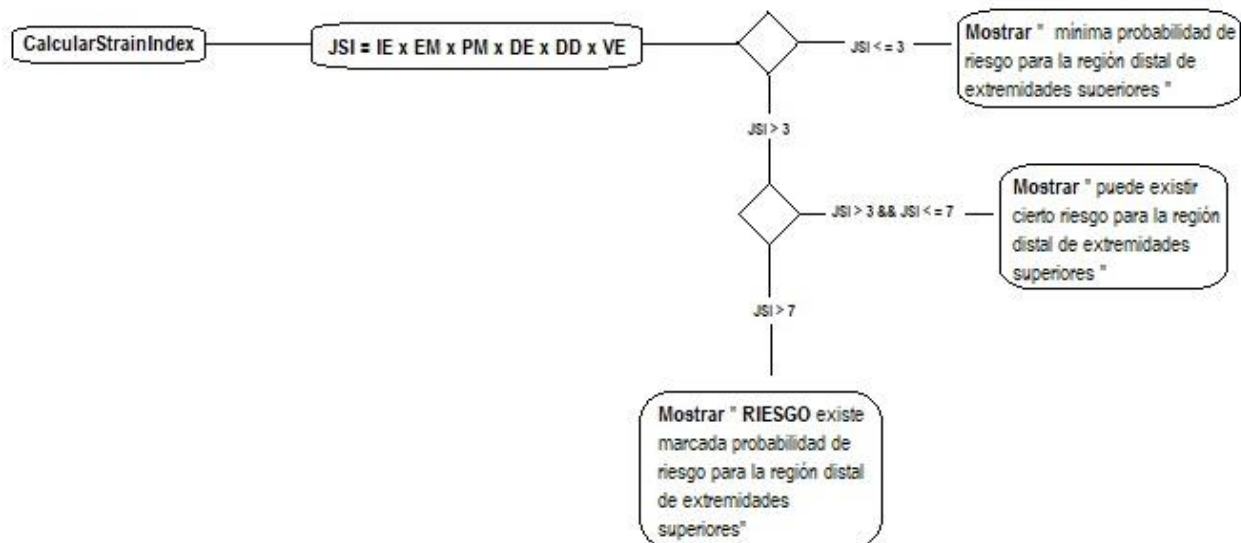
Cálculo de JSI (nivel de riesgo).

$$JSI = IE \times EM \times PM \times DE \times DD \times VE$$

Una vez se tiene el valor de JSI se procede hacer una comparación del valor final para determinar si hay riesgo o no.

Figura 55.

Cálculo del nivel de riesgo.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

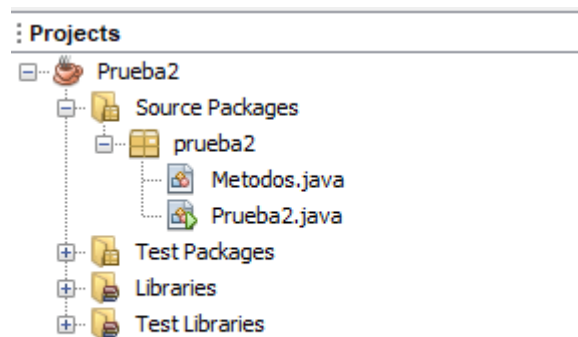
10.2 Prototipo de la codificación algoritmo.

En la Figura 56.1. Se observa la estructura con la que se desarrolló el prototipo del software. Está conformado por una clase principal llamada “Prueba2” al igual que el proyecto, en se encuentra el Método “main” el cual actúa como iniciador.

La otra clase llamada “Métodos” contiene el desarrollo de los 6 factores que se deben calcular en el método JSI.

Figura 56.1.

Estructura de proyecto en Java.



En la Figura 56.2. Se pueden observar las librerías necesarias para el funcionamiento del programa, sin embargo, la gran mayoría funcionan para leer el archivo de Excel que funciona como base de datos.

Figura 56.2.

Librerías Java

```

package prueba2;

import java.io.File;
import java.io.FileInputStream;
import java.util.ArrayList;
import java.util.Iterator;
import java.util.List;
import java.util.Scanner;
import java.util.Timer;
import java.util.TimerTask;
import org.apache.poi.ss.usermodel.CellType;
import org.apache.poi.xssf.usermodel.XSSFCell;
import org.apache.poi.xssf.usermodel.XSSFRow;
import org.apache.poi.xssf.usermodel.XSSFSheet;
import org.apache.poi.xssf.usermodel.XSSFWorkbook;

```

En la Figura 56.3. se observa cómo se crean algunas de las variables de forma global, para mayor flexibilidad del código.

Figura 56.3.

Definición de variables.

```

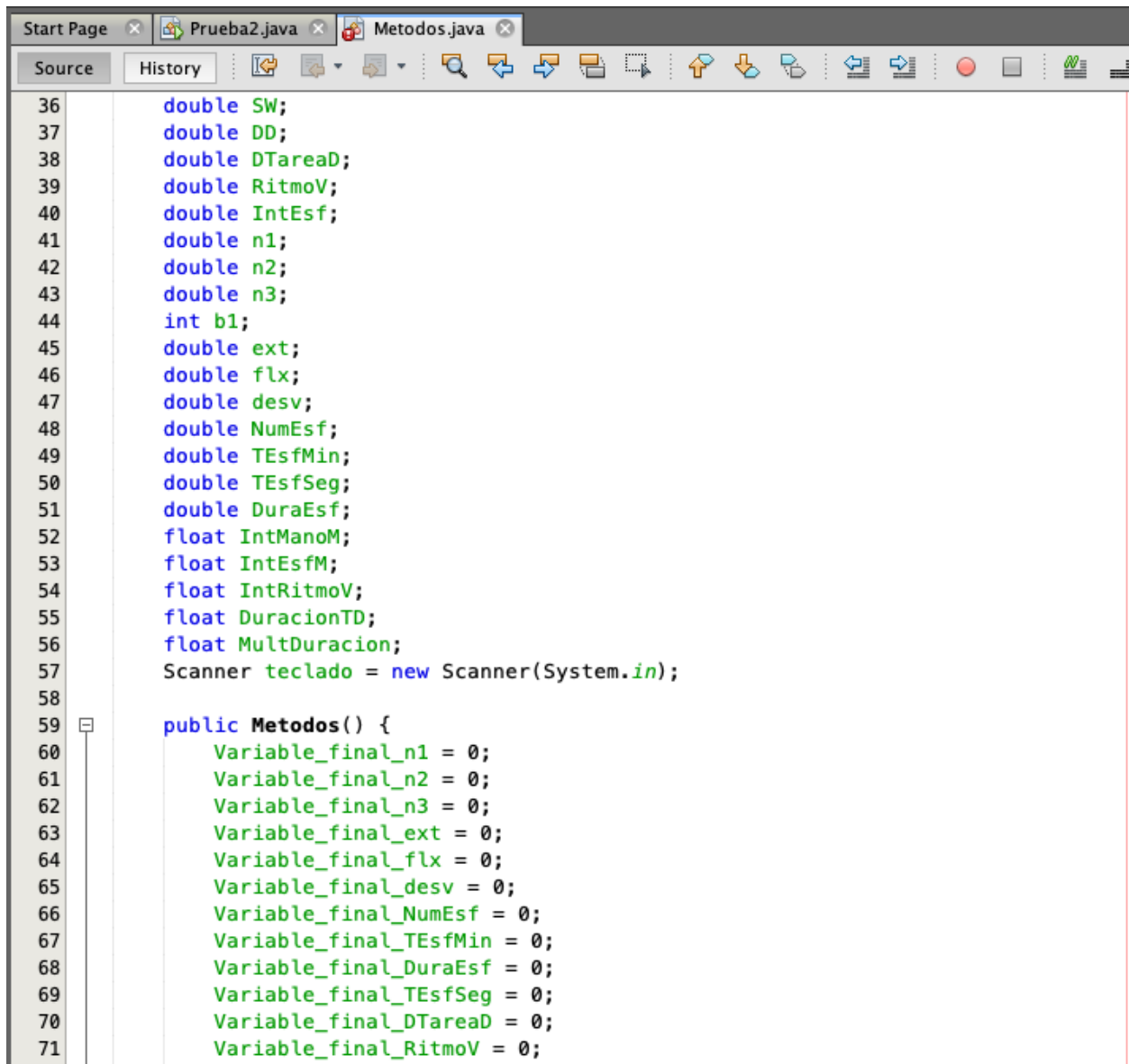
public class Metodos {
    double Variable_final_n1;
    double Variable_final_n2;
    double Variable_final_n3;
    double Variable_final_ext;
    double Variable_final_flx;
    double Variable_final_desv;
    double Variable_final_NumEsf;
    double Variable_final_TEsfMin;
    double Variable_final_DuraEsf;
    double Variable_final_TEsfSeg;
    double Variable_final_DTareaD;
    double Variable_final_RitmoV;
    double Variable_JSI;
    double IE;
    double DE;
    double EM;
    double HWP;
    double SW;
    double DD;
    double DTareaD;
    double RitmoV;
    double IntEsf;
    double n1;
    double n2;
    double n3;
    int b1;
    double ext;

```

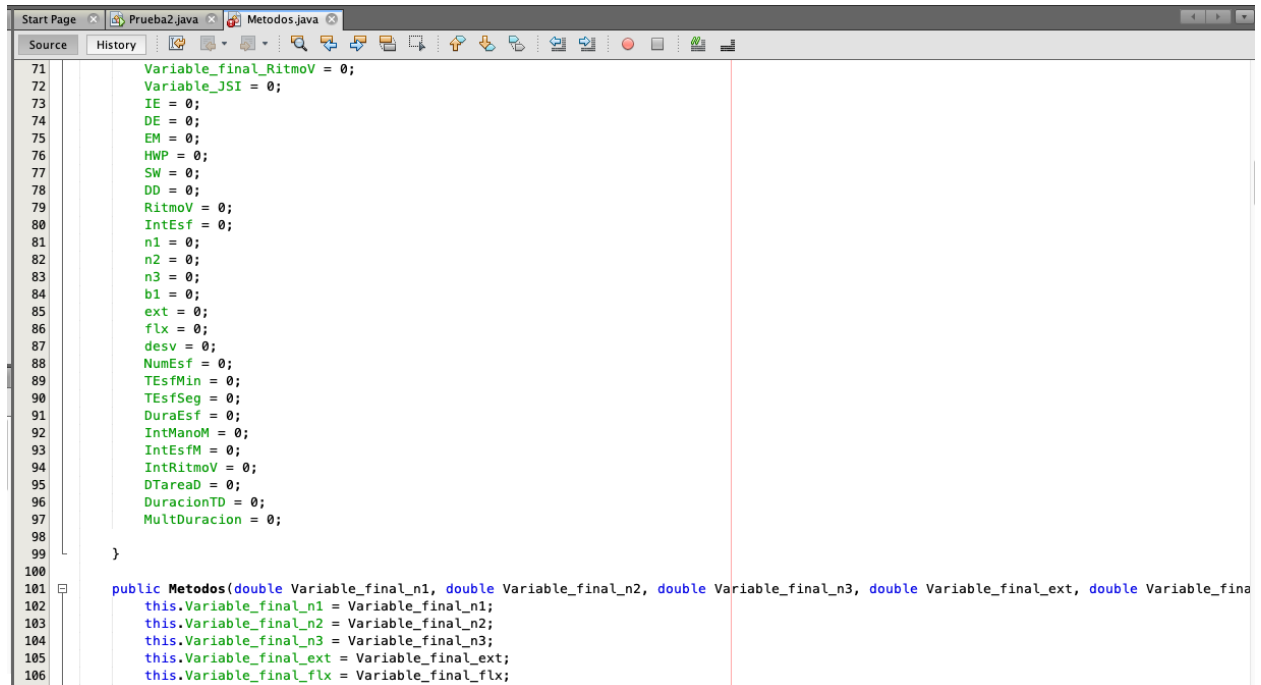
En la siguiente Imagen

Figura 57.

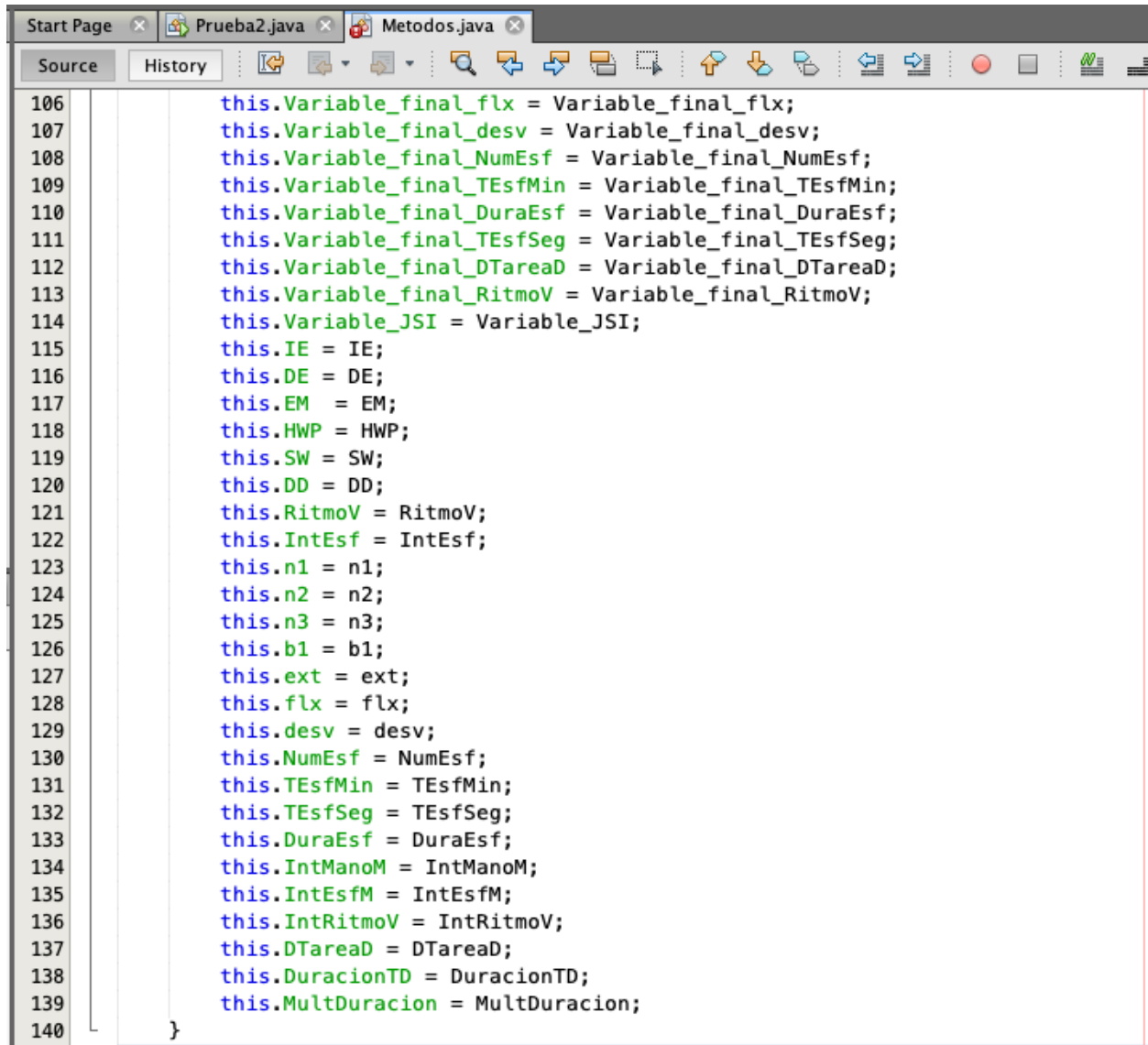
Definición e inicialización de variables.



```
Start Page x Prueba2.java x Metodos.java x
Source History
36 double SW;
37 double DD;
38 double DTareaD;
39 double RitmoV;
40 double IntEsf;
41 double n1;
42 double n2;
43 double n3;
44 int b1;
45 double ext;
46 double flx;
47 double desv;
48 double NumEsf;
49 double TEsfMin;
50 double TEsfSeg;
51 double DuraEsf;
52 float IntManoM;
53 float IntEsfM;
54 float IntritmoV;
55 float DuracionTD;
56 float MultDuracion;
57 Scanner teclado = new Scanner(System.in);
58
59 public Metodos() {
60     Variable_final_n1 = 0;
61     Variable_final_n2 = 0;
62     Variable_final_n3 = 0;
63     Variable_final_ext = 0;
64     Variable_final_flx = 0;
65     Variable_final_desv = 0;
66     Variable_final_NumEsf = 0;
67     Variable_final_TEsfMin = 0;
68     Variable_final_DuraEsf = 0;
69     Variable_final_TEsfSeg = 0;
70     Variable_final_DTareaD = 0;
71     Variable_final_RitmoV = 0;
```

Figura 58.*Inicialización de variables.*

```
71     Variable_final_RitmoV = 0;
72     Variable_JSI = 0;
73     IE = 0;
74     DE = 0;
75     EM = 0;
76     HWP = 0;
77     SW = 0;
78     DD = 0;
79     RitmoV = 0;
80     IntEsf = 0;
81     n1 = 0;
82     n2 = 0;
83     n3 = 0;
84     b1 = 0;
85     ext = 0;
86     flx = 0;
87     desv = 0;
88     NumEsf = 0;
89     TEsfMin = 0;
90     TEsfSeg = 0;
91     DuraEsf = 0;
92     IntManoM = 0;
93     IntEsfM = 0;
94     IntRitmoV = 0;
95     DTareaD = 0;
96     DuracionTD = 0;
97     MultDuracion = 0;
98
99 }
100
101 public Metodos(double Variable_final_n1, double Variable_final_n2, double Variable_final_n3, double Variable_final_ext, double Variable_fina
102     this.Variable_final_n1 = Variable_final_n1;
103     this.Variable_final_n2 = Variable_final_n2;
104     this.Variable_final_n3 = Variable_final_n3;
105     this.Variable_final_ext = Variable_final_ext;
106     this.Variable_final_flx = Variable_final_flx;
```

Figura 59.*Variables.*


```

106     this.Variable_final_flx = Variable_final_flx;
107     this.Variable_final_desv = Variable_final_desv;
108     this.Variable_final_NumEsf = Variable_final_NumEsf;
109     this.Variable_final_TEsfMin = Variable_final_TEsfMin;
110     this.Variable_final_DuraEsf = Variable_final_DuraEsf;
111     this.Variable_final_TEsfSeg = Variable_final_TEsfSeg;
112     this.Variable_final_DTareaD = Variable_final_DTareaD;
113     this.Variable_final_RitmoV = Variable_final_RitmoV;
114     this.Variable_JSI = Variable_JSI;
115     this.IE = IE;
116     this.DE = DE;
117     this.EM = EM;
118     this.HWP = HWP;
119     this.SW = SW;
120     this.DD = DD;
121     this.RitmoV = RitmoV;
122     this.IntEsf = IntEsf;
123     this.n1 = n1;
124     this.n2 = n2;
125     this.n3 = n3;
126     this.b1 = b1;
127     this.ext = ext;
128     this.flx = flx;
129     this.desv = desv;
130     this.NumEsf = NumEsf;
131     this.TEsfMin = TEsfMin;
132     this.TEsfSeg = TEsfSeg;
133     this.DuraEsf = DuraEsf;
134     this.IntManoM = IntManoM;
135     this.IntEsfM = IntEsfM;
136     this.IntRitmoV = IntritmoV;
137     this.DTareaD = DTareaD;
138     this.DuracionTD = DuracionTD;
139     this.MultDuracion = MultDuracion;
140 }

```

En la siguiente Figura (Figura 60.) se explica como se lee una hoja de Excel de tipo xlsx. Lo primero es crear un try catch dentro del cual se crea un objeto de tipo `FileInputStream` que se encarga de obtener bytes de entrada desde un archivo en un sistema de archivos.

En la siguiente línea de código se crea un objeto de tipo `HSSFWorkbook` el cual se encarga de crear el libro de Excel.

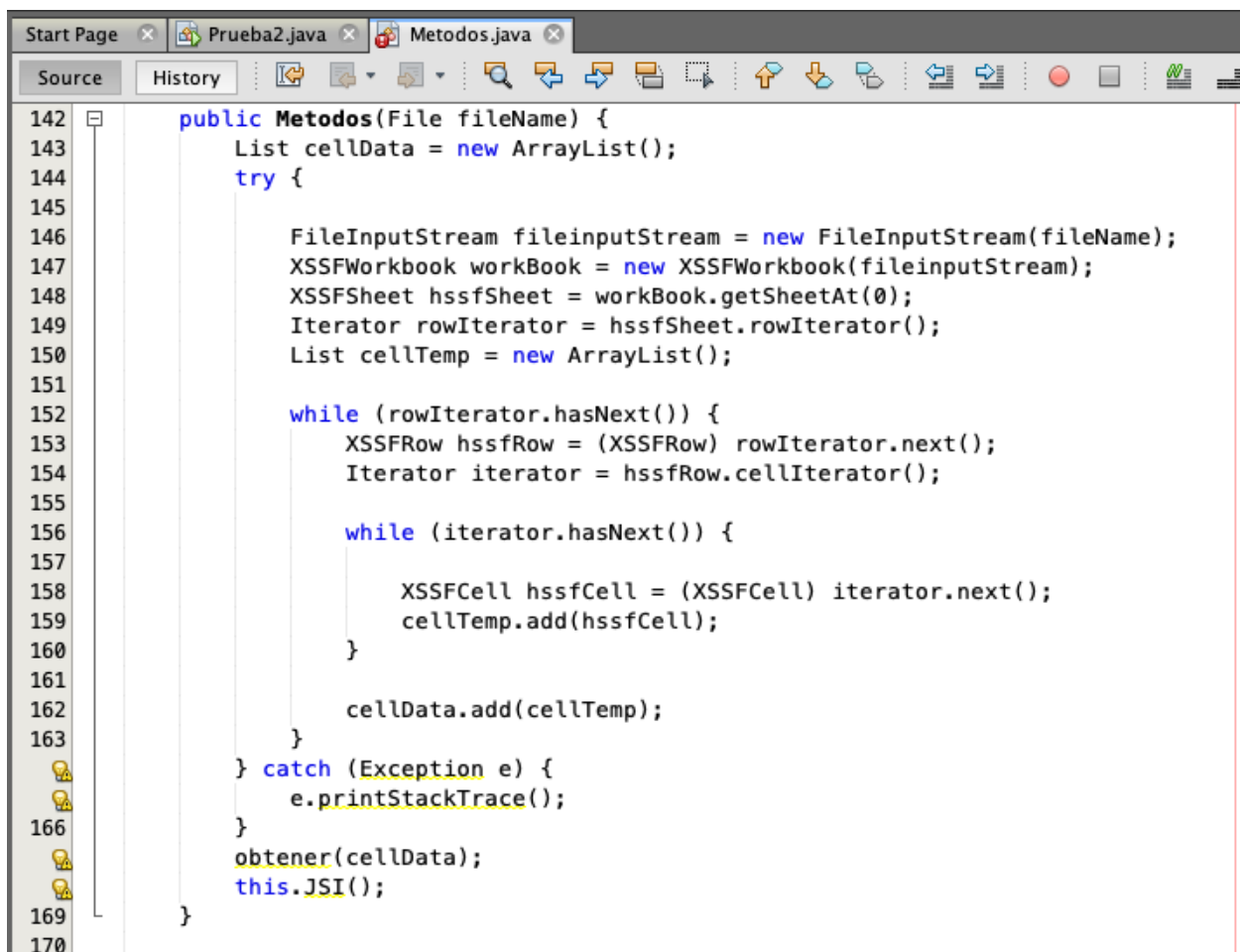
Luego se crea un objeto de la clase HSSFSheet para obtener la primera hoja que esta en el archivo de Excel.

Ahora se procede a crear un objeto de tipo Iterator para capturar las filas que contenga la hoja de Excel (en este caso la hoja está almacenada en el objeto hssfSheet). Se debe crear un ciclo While para poder recorrer las filas del Excel.

El siguiente paso es crear dentro del ciclo While un objeto de tipo HSSFRow el cual sirve para capturar los datos de cada celda.

Figura 60.

Clase métodos. Capturar datos del archivo Excel.



```

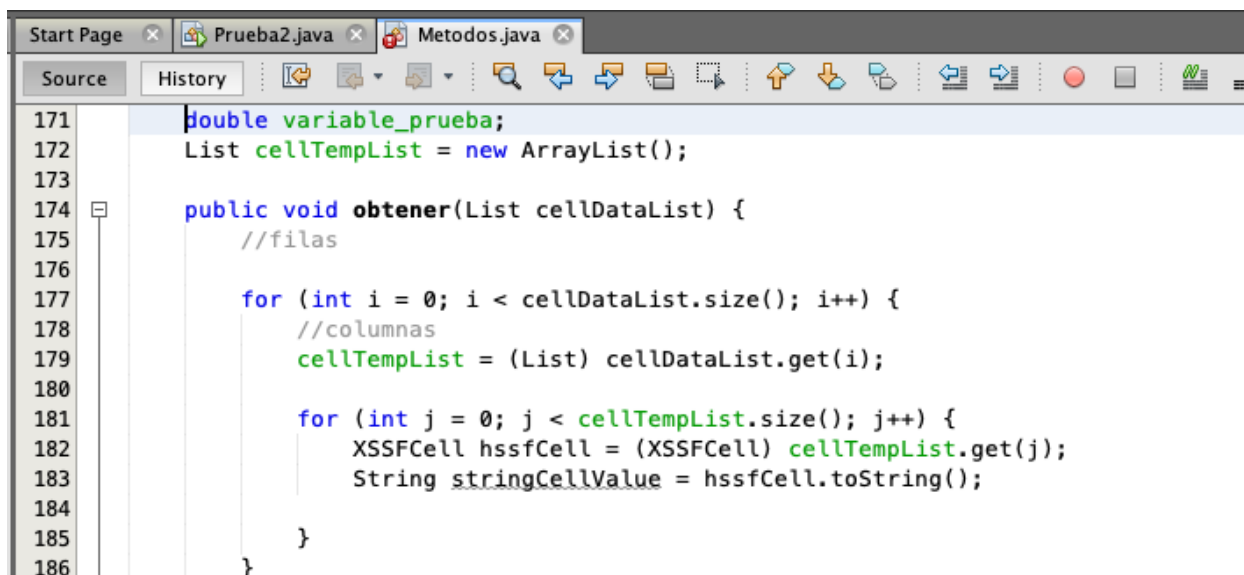
142 public Metodos(File fileName) {
143     List cellData = new ArrayList();
144     try {
145
146         FileInputStream fileInputStream = new FileInputStream(fileName);
147         XSSFWorkbook workBook = new XSSFWorkbook(fileInputStream);
148         XSSFSheet hssfSheet = workBook.getSheetAt(0);
149         Iterator rowIterator = hssfSheet.rowIterator();
150         List cellTemp = new ArrayList();
151
152         while (rowIterator.hasNext()) {
153             XSSFRow hssfRow = (XSSFRow) rowIterator.next();
154             Iterator iterator = hssfRow.cellIterator();
155
156             while (iterator.hasNext()) {
157
158                 XSSFCell hssfCell = (XSSFCell) iterator.next();
159                 cellTemp.add(hssfCell);
160             }
161
162             cellData.add(cellTemp);
163         }
164     } catch (Exception e) {
165         e.printStackTrace();
166     }
167     obtener(cellData);
168     this.JSI();
169 }
170

```

En la siguiente figura (Figura 61.) Se crea un nuevo método llamado **obtener**, dentro del cual se recorren, capturan y ordenan los datos del archivo Excel. Finalmente, se realiza la conversión de los datos obtenidos a tipo String.

Figura 61.

Método obtener.



```

171 double variable_prueba;
172 List cellTempList = new ArrayList();
173
174 public void obtener(List cellDataList) {
175     //filas
176
177     for (int i = 0; i < cellDataList.size(); i++) {
178         //columnas
179         cellTempList = (List) cellDataList.get(i);
180
181         for (int j = 0; j < cellTempList.size(); j++) {
182             XSSFCell hssfCell = (XSSFCell) cellTempList.get(j);
183             String stringCellValue = hssfCell.toString();
184
185         }
186     }

```

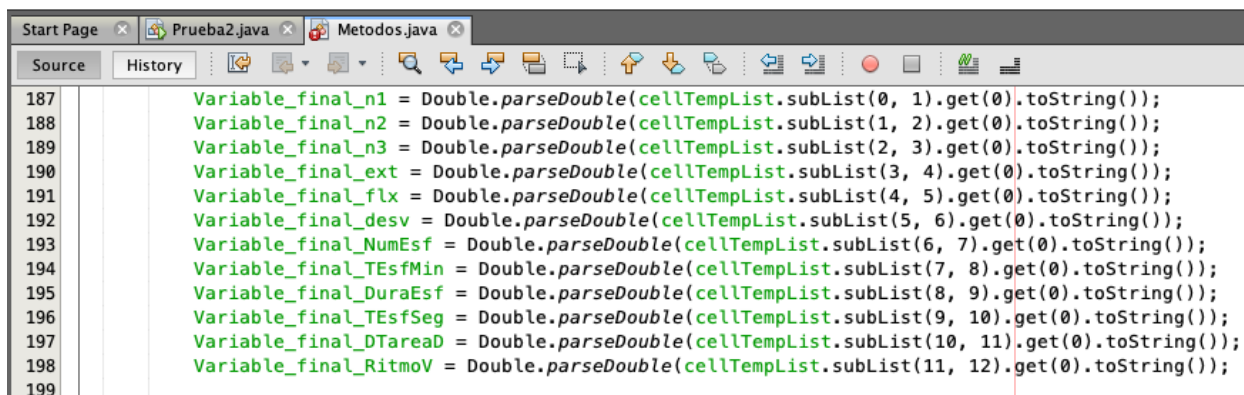
En la Figura 62. Se observa cómo se captura la información de cada celda del archivo Excel, además se realiza la conversión de la información a una variable numérica double.

Es importante entender que la forma en la que se obtiene la información es mediante intervalos, en los cuales, el primer número del rango indica que desde ese punto de comenzar a capturar la información sin incluir el mismo y el segundo número de rango indica el número final hasta el que va a capturar incluyendolo.

Por ejemplo, el rango (0,1) indica que desde el punto cero hasta el punto 1 va a capturar la información, sin tener en cuenta el 0, pero si el 1.

Figura 62.

Impresión de variables.



```

187 Variable_final_n1 = Double.parseDouble(cellTempList.subList(0, 1).get(0).toString());
188 Variable_final_n2 = Double.parseDouble(cellTempList.subList(1, 2).get(0).toString());
189 Variable_final_n3 = Double.parseDouble(cellTempList.subList(2, 3).get(0).toString());
190 Variable_final_ext = Double.parseDouble(cellTempList.subList(3, 4).get(0).toString());
191 Variable_final_flx = Double.parseDouble(cellTempList.subList(4, 5).get(0).toString());
192 Variable_final_desv = Double.parseDouble(cellTempList.subList(5, 6).get(0).toString());
193 Variable_final_NumEsf = Double.parseDouble(cellTempList.subList(6, 7).get(0).toString());
194 Variable_final_TEsfMin = Double.parseDouble(cellTempList.subList(7, 8).get(0).toString());
195 Variable_final_DuraEsf = Double.parseDouble(cellTempList.subList(8, 9).get(0).toString());
196 Variable_final_TEsfSeg = Double.parseDouble(cellTempList.subList(9, 10).get(0).toString());
197 Variable_final_DTareaD = Double.parseDouble(cellTempList.subList(10, 11).get(0).toString());
198 Variable_final_RitmoV = Double.parseDouble(cellTempList.subList(11, 12).get(0).toString());
199

```

En la siguiente Imagen (Ver Figura 63.) Se crea el método público JSI (), en el cual se calculan todos los parámetros necesarios para la aplicación de la ecuación Job Strain Index.

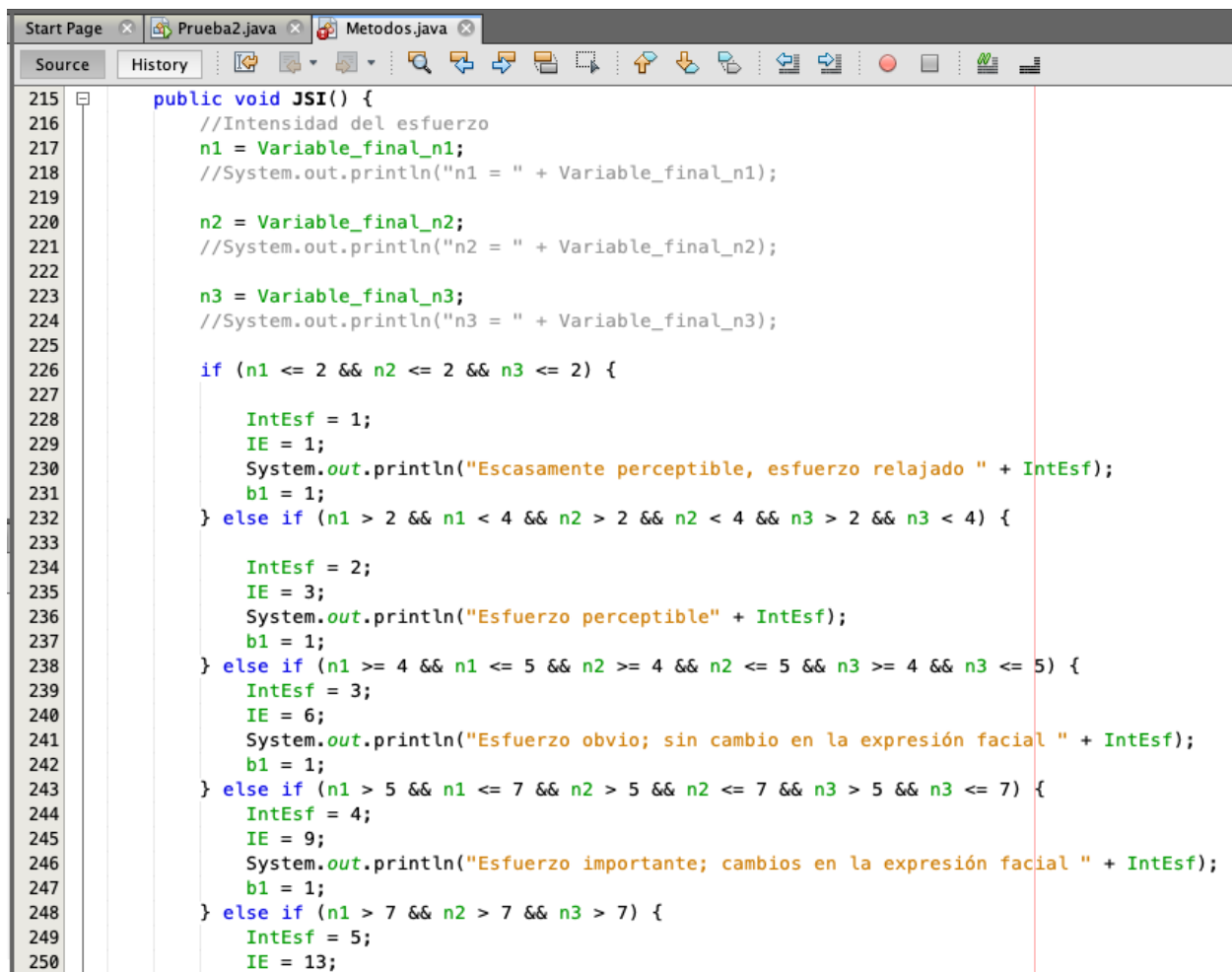
Las variables n1,n2 y n3 reemplazan el valor que se obtendría del sensor, son 3 variables ya que se debe considerar que el movimiento se repite al menos 3 veces para ser considerado objeto de estudio.

Se inicia una serie de comparaciones para determinar la similitud entre las variables.

Luego dependiendo de los valores establecidos por la Tabla 15. ingresa al ciclo for correspondiente y obtiene el una valoración en este caso se guarda en la variable "IntEsf" y además se asigna el factor de multiplicación correspondiente según la Tabla 16. y se almacena en IE.

Figura 63.

Cálculo de intensidad del esfuerzo.



```

215 public void JSI() {
216     //Intensidad del esfuerzo
217     n1 = Variable_final_n1;
218     //System.out.println("n1 = " + Variable_final_n1);
219
220     n2 = Variable_final_n2;
221     //System.out.println("n2 = " + Variable_final_n2);
222
223     n3 = Variable_final_n3;
224     //System.out.println("n3 = " + Variable_final_n3);
225
226     if (n1 <= 2 && n2 <= 2 && n3 <= 2) {
227
228         IntEsf = 1;
229         IE = 1;
230         System.out.println("Escasamente perceptible, esfuerzo relajado " + IntEsf);
231         b1 = 1;
232     } else if (n1 > 2 && n1 < 4 && n2 > 2 && n2 < 4 && n3 > 2 && n3 < 4) {
233
234         IntEsf = 2;
235         IE = 3;
236         System.out.println("Esfuerzo perceptible" + IntEsf);
237         b1 = 1;
238     } else if (n1 >= 4 && n1 <= 5 && n2 >= 4 && n2 <= 5 && n3 >= 4 && n3 <= 5) {
239         IntEsf = 3;
240         IE = 6;
241         System.out.println("Esfuerzo obvio; sin cambio en la expresión facial " + IntEsf);
242         b1 = 1;
243     } else if (n1 > 5 && n1 <= 7 && n2 > 5 && n2 <= 7 && n3 > 5 && n3 <= 7) {
244         IntEsf = 4;
245         IE = 9;
246         System.out.println("Esfuerzo importante; cambios en la expresión facial " + IntEsf);
247         b1 = 1;
248     } else if (n1 > 7 && n2 > 7 && n3 > 7) {
249         IntEsf = 5;
250         IE = 13;

```

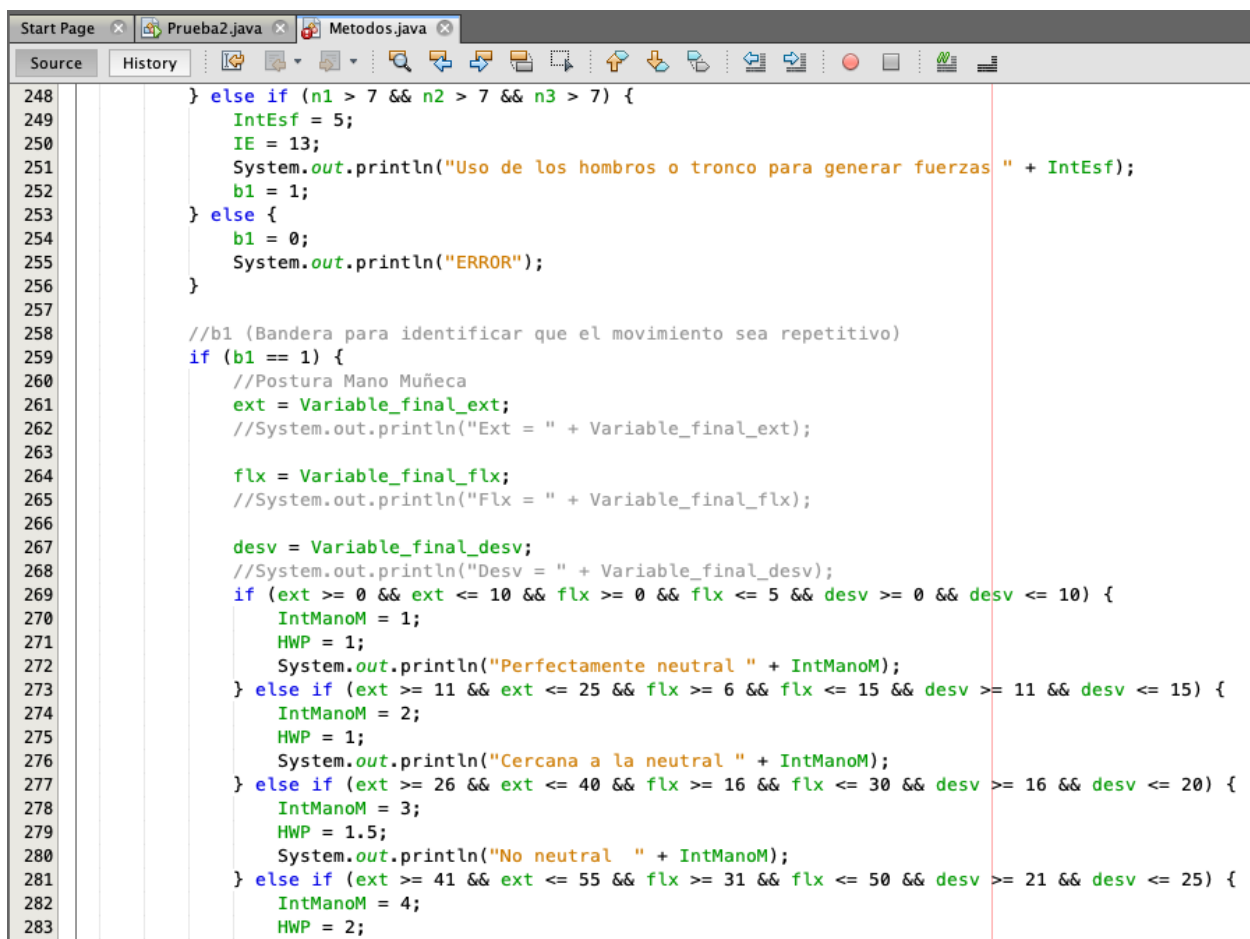
En la Figura 64. se crea una bandera para continuar con la validación de que el movimiento sea objeto de estudio.

Luego se asigna la información capturada desde el Excel a las variables *ext*, *flx* y *desv* , las cuales hacen referencia a extensión de la mano-muñeca, flexión de la mano-muñeca y la desviación de la mano-muñeca.

Luego dependiendo de los valores establecidos por la Tabla 18. ingresa al ciclo for correspondiente y obtiene el una valoración en este caso se guarda en la variable “*IntManoM*” y además se asigna el factor de multiplicación correspondiente según la Tabla 19. y se almacena en *HWP*.

Figura 64.

Cálculo de postura mano-muñeca.



```

248     } else if (n1 > 7 && n2 > 7 && n3 > 7) {
249         IntEsf = 5;
250         IE = 13;
251         System.out.println("Uso de los hombros o tronco para generar fuerzas " + IntEsf);
252         b1 = 1;
253     } else {
254         b1 = 0;
255         System.out.println("ERROR");
256     }
257
258     //b1 (Bandera para identificar que el movimiento sea repetitivo)
259     if (b1 == 1) {
260         //Postura Mano Muñeca
261         ext = Variable_final_ext;
262         //System.out.println("Ext = " + Variable_final_ext);
263
264         flx = Variable_final_flx;
265         //System.out.println("Flx = " + Variable_final_flx);
266
267         desv = Variable_final_desv;
268         //System.out.println("Desv = " + Variable_final_desv);
269         if (ext >= 0 && ext <= 10 && flx >= 0 && flx <= 5 && desv >= 0 && desv <= 10) {
270             IntManoM = 1;
271             HWP = 1;
272             System.out.println("Perfectamente neutral " + IntManoM);
273         } else if (ext >= 11 && ext <= 25 && flx >= 6 && flx <= 15 && desv >= 11 && desv <= 15) {
274             IntManoM = 2;
275             HWP = 1;
276             System.out.println("Cercana a la neutral " + IntManoM);
277         } else if (ext >= 26 && ext <= 40 && flx >= 16 && flx <= 30 && desv >= 16 && desv <= 20) {
278             IntManoM = 3;
279             HWP = 1.5;
280             System.out.println("No neutral " + IntManoM);
281         } else if (ext >= 41 && ext <= 55 && flx >= 31 && flx <= 50 && desv >= 21 && desv <= 25) {
282             IntManoM = 4;
283             HWP = 2;

```

En la Figura 65. se asigna la información capturada desde el Excel a las variables NumEsf y TEsfMin , las cuales hacen referencia al número de esfuerzos por minuto y el tiempo de observación por minuto.

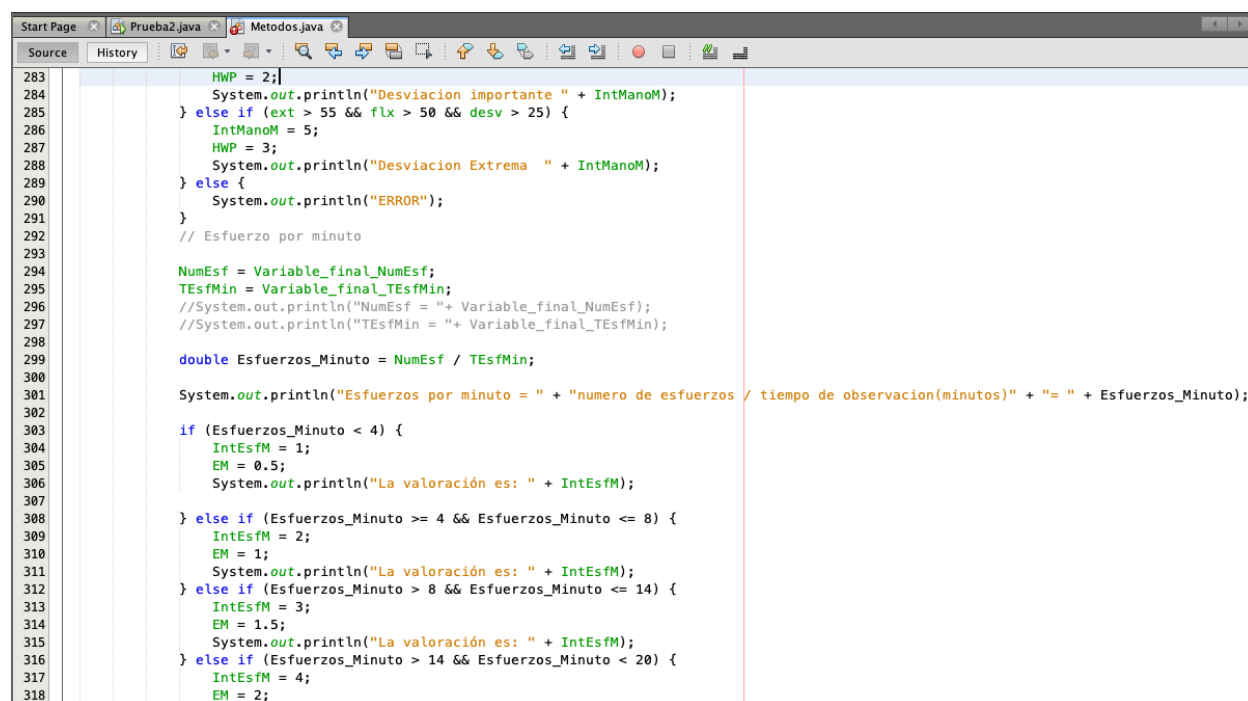
Luego se realiza una operación matemática donde se divide el número de esfuerzos entre el tiempo de observación por minutos.

$$Esfuerzos_Minutos = \frac{NumEsf}{TEsfMin} \rightarrow Esfuerzos \text{ por minuto} = \frac{Numero \text{ de } esfuerzos \text{ por minuto}}{Tiempo \text{ de } observación \text{ (minutos)}}$$

Luego dependiendo de los valores establecidos por la Tabla 7 . ingresa al ciclo for correspondiente y obtiene el una valoración en este caso se guarda en la variable “IntEsfM” y además se asigna el factor de multiplicación correspondiente según la Tabla 17 . y se almacena en EM.

Figura 65.

Esfuerzo por minuto.



```

283     HWP = 2;
284     System.out.println("Desviacion importante " + IntManoM);
285 } else if (ext > 55 && flx > 50 && desv > 25) {
286     IntManoM = 5;
287     HWP = 3;
288     System.out.println("Desviacion Extrema " + IntManoM);
289 } else {
290     System.out.println("ERROR");
291 }
292 // Esfuerzo por minuto
293
294 NumEsf = Variable_final_NumEsf;
295 TEsfMin = Variable_final_TEsfMin;
296 //System.out.println("NumEsf = "+ Variable_final_NumEsf);
297 //System.out.println("TEsfMin = "+ Variable_final_TEsfMin);
298
299 double Esfuerzos_Minuto = NumEsf / TEsfMin;
300
301 System.out.println("Esfuerzos por minuto = " + "numero de esfuerzos / tiempo de observacion(minutos)" + "=" + Esfuerzos_Minuto);
302
303 if (Esfuerzos_Minuto < 4) {
304     IntEsfM = 1;
305     EM = 0.5;
306     System.out.println("La valoración es: " + IntEsfM);
307 }
308 } else if (Esfuerzos_Minuto >= 4 && Esfuerzos_Minuto <= 8) {
309     IntEsfM = 2;
310     EM = 1;
311     System.out.println("La valoración es: " + IntEsfM);
312 } else if (Esfuerzos_Minuto > 8 && Esfuerzos_Minuto <= 14) {
313     IntEsfM = 3;
314     EM = 1.5;
315     System.out.println("La valoración es: " + IntEsfM);
316 } else if (Esfuerzos_Minuto > 14 && Esfuerzos_Minuto < 20) {
317     IntEsfM = 4;
318     EM = 2;

```

En la Figura 66. se asigna la información capturada desde el Excel a las variables DuraEsf y TEsfSeg , las cuales hacen referencia a la duración de todos los esfuerzos y el tiempo de observación por minuto.

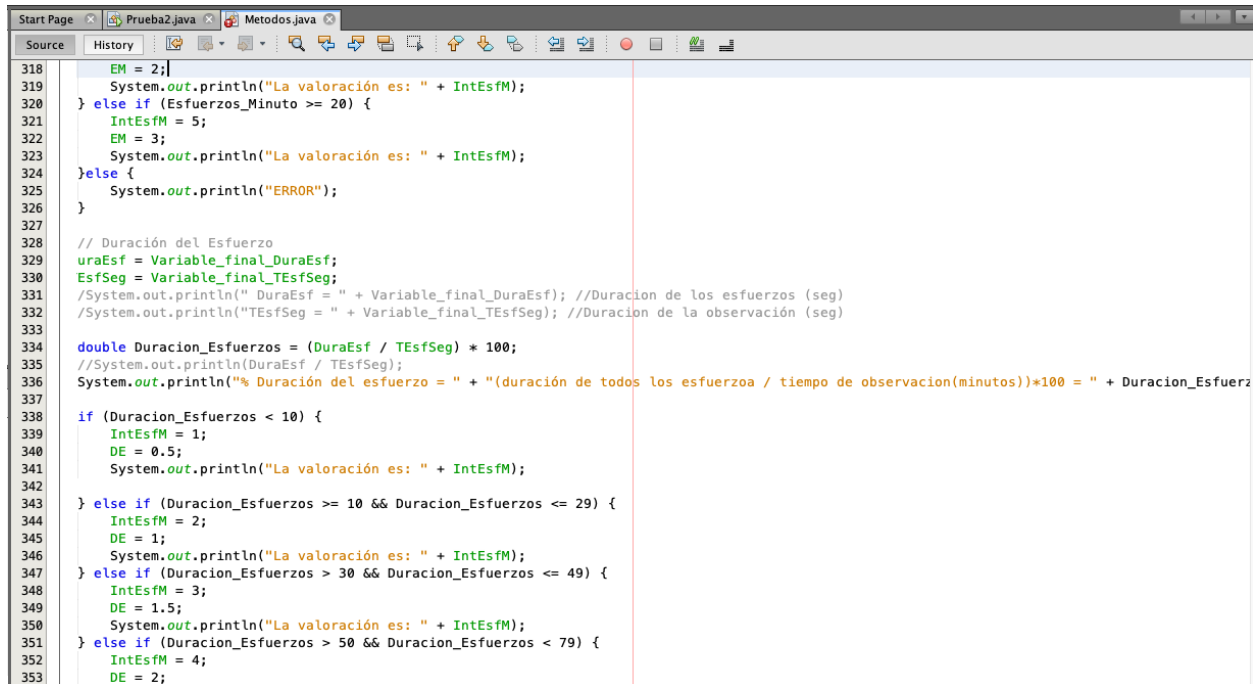
Luego se realiza una operación matemática donde se dividen de la siguiente manera:

$$Duracion_Esfuerzos = \frac{DuraEsf}{TEsfMin} * 100 \rightarrow \% \text{ del esfuerzo} = \frac{Duracion \text{ de todos los esfuerzos}}{Tiempo \text{ de } observación \text{ (minutos)}} * 100$$

Luego dependiendo de los valores establecidos por la Tabla 20 . ingresa al ciclo for correspondiente y obtiene el una valoración en este caso se guarda en la variable “IntEsfM” y además se asigna el factor de multiplicación correspondiente según la Tabla 21 . y se almacena en DE.

Figura 66.

Duración del esfuerzo.



```

318 EM = 2;
319 System.out.println("La valoración es: " + IntEsfM);
320 } else if (Esfuerzos_Minuto >= 20) {
321     IntEsfM = 5;
322     EM = 3;
323     System.out.println("La valoración es: " + IntEsfM);
324 } else {
325     System.out.println("ERROR");
326 }
327
328 // Duración del Esfuerzo
329 DuraEsf = Variable_final_DuraEsf;
330 TEsfSeg = Variable_final_TEsfSeg;
331 /System.out.println(" DuraEsf = " + Variable_final_DuraEsf); //Duracion de los esfuerzos (seg)
332 /System.out.println("TEsfSeg = " + Variable_final_TEsfSeg); //Duracion de la observación (seg)
333
334 double Duracion_Esfuerzos = (DuraEsf / TEsfSeg) * 100;
335 //System.out.println(DuraEsf / TEsfSeg);
336 System.out.println("% Duración del esfuerzo = " + "(duración de todos los esfuerzos / tiempo de observacion(minutos))*100 = " + Duracion_Esfuerz
337
338 if (Duracion_Esfuerzos < 10) {
339     IntEsfM = 1;
340     DE = 0.5;
341     System.out.println("La valoración es: " + IntEsfM);
342 }
343 } else if (Duracion_Esfuerzos >= 10 && Duracion_Esfuerzos <= 29) {
344     IntEsfM = 2;
345     DE = 1;
346     System.out.println("La valoración es: " + IntEsfM);
347 } else if (Duracion_Esfuerzos > 30 && Duracion_Esfuerzos <= 49) {
348     IntEsfM = 3;
349     DE = 1.5;
350     System.out.println("La valoración es: " + IntEsfM);
351 } else if (Duracion_Esfuerzos > 50 && Duracion_Esfuerzos < 79) {
352     IntEsfM = 4;
353     DE = 2;

```

En la Figura 67. se asigna la información capturada desde el Excel a las variables RitmoV y , la cual hace referencia a la velocidad del trabajo, el cual se debe extraer directamente del valor obtenido por el sensor, sin embargo por motivos de funcionalidad se asigna un valor preestablecido en la base de datos del archivo Excel.

Luego dependiendo de los valores establecidos por la Tabla 24 . ingresa al ciclo for correspondiente y obtiene el una valoración en este caso se guarda en la variable “IntRitmoV” y además se asigna el factor de multiplicación correspondiente según la Tabla 25 . y se almacena en SW.

Figura 67.

Velocidad del trabajo.

```

353     DE = 2;
354     System.out.println("La valoración es: " + IntEsfm);
355 } else if (Duracion_Esfuerzos > 80 && Duracion_Esfuerzos <= 100) {
356     IntEsfm = 5;
357     DE = 3;
358     System.out.println("La valoración es: " + IntEsfm);
359 } else {
360     System.out.println("ERROR");
361 }
362
363 // Velocidad de trabajo
364
365 RitmoV = Variable_final_RitmoV;
366 // System.out.println("RitmoV = "+ Variable_final_RitmoV);
367
368 if (RitmoV <= 80) {
369     IntRitmoV = 1;
370     SW = 1;
371     System.out.println("La valoración es: Muy Lento " + "\n" + "Ritmo extremadamente relajado " + IntRitmoV);
372 }
373 } else if (RitmoV >= 80 && RitmoV <= 90) {
374     IntRitmoV = 2;
375     SW = 1;
376     System.out.println("La valoración es: Lenta " + "\n" + "Ritmo lento " + IntRitmoV);
377 } else if (RitmoV > 90 && RitmoV <= 100) {
378     IntRitmoV = 3;
379     SW = 1;
380     System.out.println("La valoración es: Regular " + "\n" + "Velocidad de movimientos normal " + IntRitmoV);
381 } else if (RitmoV > 100 && RitmoV <= 115) {
382     IntRitmoV = 4;
383     SW = 1.5;
384     System.out.println("La valoración es:Rapido " + "\n" + "Ritmo impetuoso pero sostenible " + IntRitmoV);
385 } else if (RitmoV > 115) {
386     IntRitmoV = 5;
387     SW = 2;
388     System.out.println("La valoración es:Muy Rapido " + "\n" + " Ritmo impetuoso y prácticamente insostenible " + IntRitmoV);

```

En la Figura 68. se asigna la información capturada desde el Excel a las variables DTareaD la cual hace referencia duración de la tarea por día.

Luego dependiendo de los valores establecidos por la Tabla 22 . ingresa al ciclo for correspondiente y obtiene el una valoración en este caso se guarda en la variable “DuracionTD” y además se asigna el factor de multiplicación correspondiente según la Tabla 21 . y se almacena en DD.

Figura 68.

Cálculo de la duración de la tarea por día.

```

388     System.out.println("La valoración es:Muy Rapido " + "\n" + " Ritmo impetuoso y prácticamente insostenible " + IntRitmoV);
389 }else {
390     System.out.println("ERROR");
391 }
392
393 //Duración de la tarea por día
394
395 DTareaD = Variable_final_DTareaD;
396 //System.out.println("DTareaD = "+ Variable_final_DTareaD);
397
398 if (DTareaD < 1) {
399     DuracionTD = 1;
400     DD = 0.25;
401     System.out.println("La valoración es: " + DuracionTD);
402     MultDuracion = 0.25f;
403 } else if (DTareaD >= 1 && DTareaD <= 2) {
404     DuracionTD = 2;
405     DD = 0.5;
406     MultDuracion = 0.5f;
407     System.out.println("La valoración es: " + DuracionTD);
408 } else if (DTareaD > 2 && DTareaD <= 4) {
409     DuracionTD = 3;
410     DD = 0.75;
411     MultDuracion = 0.75f;
412     System.out.println("La valoración es: " + DuracionTD);
413 } else if (DTareaD > 4 && DTareaD <= 8) {
414     DuracionTD = 4;
415     DD = 1;
416     MultDuracion = 1;
417     System.out.println("La valoración es: " + DuracionTD);
418 } else if (DTareaD > 8) {
419     DuracionTD = 5;
420     DD = 1.5;
421     MultDuracion = 1.5f;
422     System.out.println("La valoración es: " + DuracionTD);
423 }

```

Finalmente en la Figura 69. se calcula la ecuación Job Strain Index, la cual consiste en multiplicar entre sí todos los factores multiplicadores obtenidos.

$$\text{Variable_JSI} = IE * DE * EM * HWP * SW * DD$$

Luego dependiendo si el resultado es menor o igual a 3, se concluye que la tarea es seguro. Pero si el resultado está entre 3.1 y 7 se considera que existe un riesgo y si el resultado es mayor a 7 existe un alto riesgo de lesiones.

Figura 69.

Cálculo del valor del riesgo JSI.

```

415         DD = 1;
416         MultDuracion = 1;
417         System.out.println("La valoración es: " + DuracionTD);
418     } else if (DTareaD > 8) {
419         DuracionTD = 5;
420         DD = 1.5;
421         MultDuracion = 1.5f;
422         System.out.println("La valoración es: " + DuracionTD);
423     }
424
425 }
426
427 Variable_JSI = IE * DE * EM * HWP * SW * DD;
428 System.out.println("Variable_JSI = "+Variable_JSI);
429 if(Variable_JSI <= 3){
430 System.out.println("indica mínima probabilidad de riesgo para la región distal de extremidades superiores");
431 }else if(Variable_JSI > 3 && Variable_JSI <= 7){
432 System.out.println("puede existir cierto riesgo para la región distal de extremidades superiores");
433 }else if(Variable_JSI > 7){
434 System.out.println("existe marcada probabilidad de riesgo para la región distal de extremidades superiores");
435 }
436 }
437 }

```

En la Figura 70. se observa la clase principal, en la cual esta el metodo “main” dentro del cual se lee la ruta del documento de Excel que contiene la base de datos y llama a los métodos de la segunda clase (Prueba2) para ejecutarlos.

Figura 70.

Clase Principal “Main”

```

1  /*
2  * To change this license header, choose License Headers in Project Properties.
3  * To change this template file, choose Tools | Templates
4  * and open the template in the editor.
5  */
6  package prueba2;
7
8
9  import java.io.File;
10 import java.io.FileInputStream;
11 import java.util.ArrayList;
12 import java.util.Iterator;
13 import java.util.List;
14 import java.util.Scanner;
15 import org.apache.poi.xssf.usermodel.XSSFCell;
16 import org.apache.poi.xssf.usermodel.XSSFRow;
17 import org.apache.poi.xssf.usermodel.XSSFSheet;
18 import org.apache.poi.xssf.usermodel.XSSFWorkbook;
19
20
21 /**
22 *
23 * @author user
24 */
25 public class Prueba2 {
26
27     public static void main(String[] args) {
28         // TODO code application logic here
29
30         File f = new File ("C:\\Users\\user\\OneDrive\\Escritorio\\Prueba-Excel.xlsx");
31         if(f.exists()){
32             Metodos obj = new Metodos(f);
33         }
34         Metodos IE;
35         IE = new Metodos();
36
37

```

11. INTERFAZ

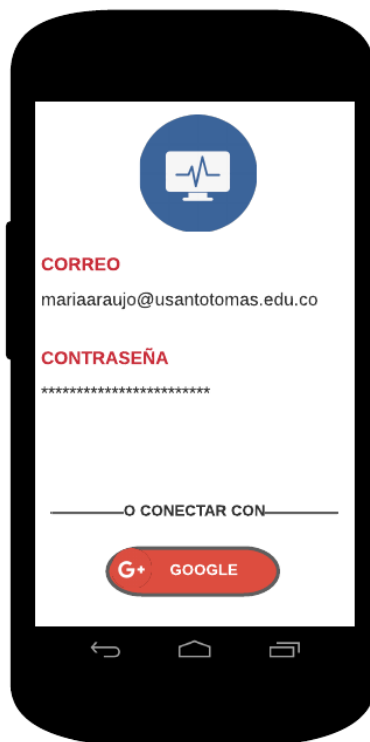
11.1 Prototipo de la interfaz gráfica para el análisis de los datos

La interfaz gráfica que permitirá la visualización de los datos recolectados y su análisis mediante el método JSI, que para el caso es el que se implementó para hacer operativa la propuesta, se presenta a continuación como un prototipo desarrollado bajo el esquema de un aplicativo, el cual permitió validar el funcionamiento del algoritmo.

En la Figura 71 se muestra la pantalla del Login por medio de la cual accede un usuario registrado para visualizar la información del sistema. Aquí la aplicación solicita el correo electrónico y la contraseña para poder ingresar, datos que pueden ser registrados en la misma aplicación o mediante los datos del correo corporativo de Google.

Figura 71.

Login del usuario registrado.

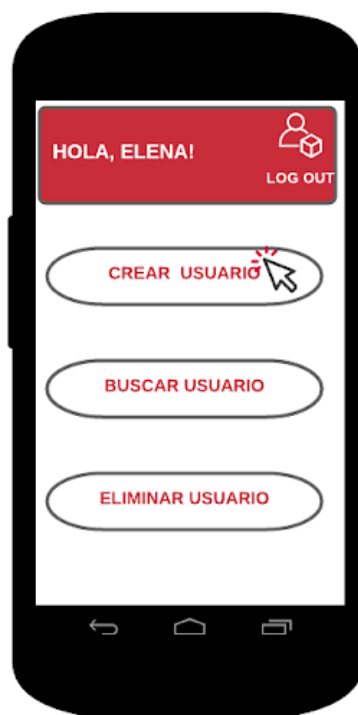


Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

En la Figura 72 se observa la pantalla de la página principal, donde se presentan tres opciones: crear usuario, buscar usuario, eliminar usuario y dependiendo de la acción que el usuario quiera hacer la interfaz lo llevará a la sección deseada.

Figura 72.

Menú de inicio.



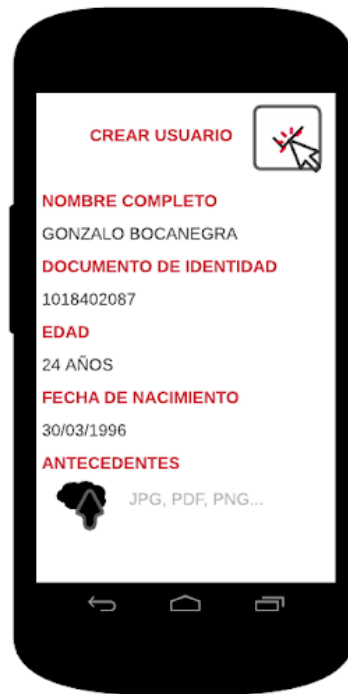
Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Para efectos de ejemplificar a continuación en la Figura 73 se muestra la vista que tendría el administrador para creación de un usuario, momento en el cual se solicitan los siguientes datos que se almacenarán en la base de datos de la aplicación desde donde se gestionarán y controlarán:

- Nombre completo
- Documento de identidad
- Edad
- Fecha de nacimiento
- Antecedentes médicos

Figura 73.

Creación de un nuevo usuario.



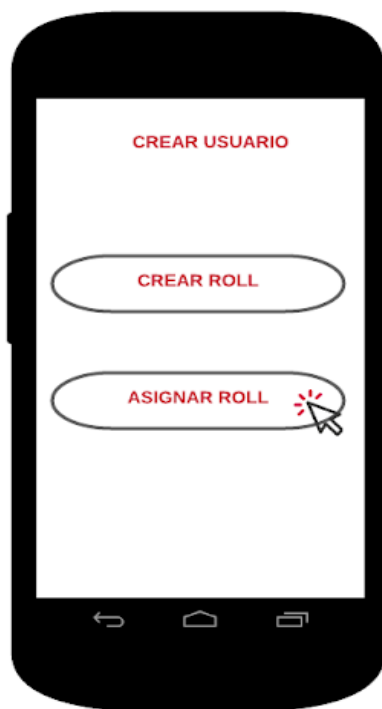
Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Una vez se haya creado el nuevo usuario de forma satisfactoria, debe asignársele un rol entre las tres opciones predeterminadas (ver Figura 74 y 75) o se podrá crear un nuevo rol de ser necesario. Entre los roles predeterminados están los siguientes:

- Administrativo
- Empleado
- Personal de salud de la empresa

Figura 74.

Crear o asignar rol predeterminado.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Figura 75.

Roles predeterminados.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Una vez se le haya asignado un rol al usuario que creamos la interfaz nos mostrará dos opciones:

- Conectar con el dispositivo.
- Consultar antecedentes médicos.

Para avanzar, se consultan los antecedentes médicos donde se podrá descargar el archivo en PDF (ver Figura 76 y 77).

Figura 76.

Consulta de antecedentes.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Figura 77.

Descarga de antecedentes médicos.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Dentro de la misma pantalla la opción adicional a la consulta de antecedentes es hacer conexión con el dispositivo para poder comenzar la toma de datos. En la figura 78 hemos seleccionado esta opción para la toma de datos.

Figura 78.

Conexión con el dispositivo.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Una vez la conexión con el dispositivo externo se haya establecido, la interfaz mostrará que está cargando (ver Figura 79). En este momento el dispositivo estará recolectando los datos para su análisis, los cuales se visualizarán de dos formas:

- Ver los datos graficados.
- Ver los datos numéricos.

Figura 79.

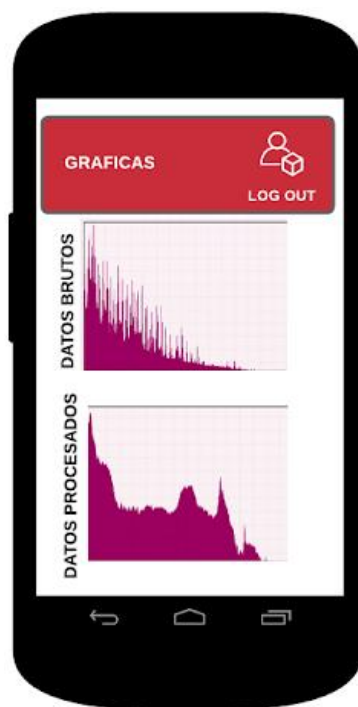
Visualización de datos.

Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Al darle en la opción “ver gráfica” se podrán observar los datos graficados, tanto los datos brutos como los datos analizados. Se decidió mostrar los datos en bruto para comprobar que los datos que fueron tomados si muestran una relación estable y así, en caso de que el resultado de los datos analizados no sea el esperado se pueda revisar si hubo un error en la toma de los datos (ver Figura 80).

Figura 80.

Gráfica de datos.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

De la misma forma, al dar click en la opción “ver datos” estos se muestran como datos en bruto y los datos analizados (ver Figura 81 y 82).

Figura 81.

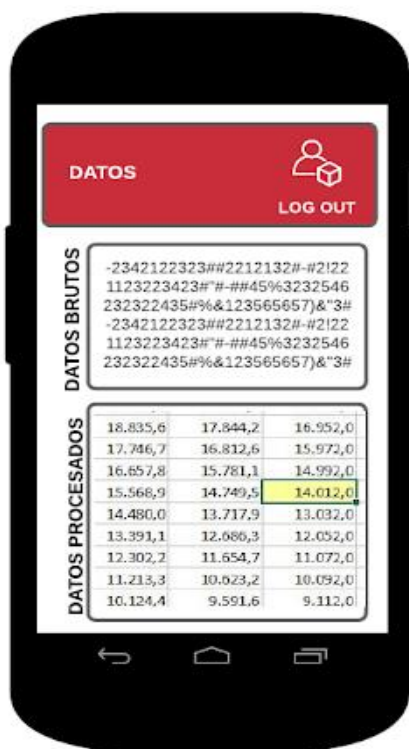
Visualización de datos.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

Figura 82.

Datos numéricos (en bruto).



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

12. DISCUSIÓN

El dispositivo que funcionará para la medición del riesgo ergonómico que pueden presentar las extremidades superiores de los trabajadores que desempeñan funciones en el sector metalmecánica, se propone basado en la visión socio-técnica que los autores Madrid y Cañas (2015) tienen sobre el concepto ergonomía, la cual plantea que la ergonomía no se enfoca exclusivamente en el trabajador, sino en el sistema integrado que incluye el lugar, los espacios, la tecnología, las personas y todo lo que permita el logro de objetivos dentro de una programación organizacional, ya que de esta manera se está aportando a la productividad, eficiencia, seguridad, fiabilidad, así como al bienestar humano, su satisfacción y desarrollo profesional.

Esta perspectiva sistémica en un contexto organizacional redundante en las implicaciones que puede traer consigo los riesgos ergonómicos reconocidos como el mayor factor de riesgo en las empresas del sector metalmecánico, ya que de no ser identificadas las afecciones por movimientos repetitivos, esfuerzos o posturas inadecuadas, pueden agudizarse con el tiempo, reflejado finalmente en molestias físicas temporales, enfermedad permanente, incapacidades continuas o indefinidas, todo ello que puede afectar los objetivos y economía de una organización (Morelos y Fontalvo, 2013; Velasco, 2012).

Dicho panorama generó la oportunidad para diseñar un dispositivo ergonómico pensado, si bien para ser usado por el trabajador del sector metalmecánico tanto para la toma de datos como pensando en su bienestar futuro, también pensado para contribuir con el sistema organizativo de la empresa desde la mitigación de los riesgos.

De esta manera, el dispositivo cuando se porte permitirá recolectar datos sobre el nivel de riesgo ergonómico, pero deberá evitar la sumersión en el agua ya que podría afectarse el sistema electrónico, cuyos materiales se componen de un nodeMCU, Sensor MPU 6050, ESP8266, Cable cinta, ninguno de ellos resistentes al agua, ya que su precio iba a ser mayor y para el prototipo se privilegió el bajo costo, sin que se comprometan los resultados, además del fácil manejo y el peso ligero de los materiales ya que un dispositivo grande y pesado afectaría las labores desarrolladas por los trabajadores de este sector y la manipulación. El dispositivo fue probado por tres oportunidades para verificar el funcionamiento siguiendo métodos ya probados y la exploración a partir de la articulación de los materiales que componen el dispositivo.

En la primera prueba se utilizó el protocolo I2C y se intentó dejar un sensor con una dirección de memoria fija, mientras que los otros se intentaban apagar y encender para intercalaba la asignación de la otra dirección de memoria, esta prueba falló. La segunda prueba se intentó con el protocolo SPI, pero este fallo ya que el sensor no admite dicho protocolo. La última prueba se utiliza el protocolo I2C, pero esta vez se intenta conectar el pin de cambio de memoria (AD0) a los 3 sensores desde el AD0 de cada uno a un pin diferente de la nodeMCU, esto para así poder controlar el cambio de dirección de memoria en el tiempo de ejecución. Esta prueba fue exitosa.

La validación se realizó con una base de datos pequeña elaborada por el equipo de trabajo, en la cual se almacenó a modo de prueba los datos brutos procedentes de investigaciones anteriores donde se implementó el método JSI. En su elaboración, para cumplir con la naturaleza de una base de datos como estructura organizada que permite establecer relación entre los datos (García, 2019). Primero se tuvo en cuenta un diseño conceptual en el cual se detallaron todos los requisitos y especificaciones que se solicitaron para la base de datos y así poder después generar un esquema

conceptual o descripción de la estructura de la base de datos, basada en el modelo de datos entidad-relación.

Después del diseño lógico se pasó al diseño físico mediante el programa MySQL elegido mayormente por su rapidez (Pérez, 2007), donde se realiza la descripción y definición del tipo de datos que ingresaría en la base de datos. En este paso se supo si los datos que se ingresarán en la base de datos son de tipo entero, datos con decimales o caracteres.

Con la base de datos creada se confirman sus ventajas que trae al proyecto y se consideraron según el alcance del mismo, las desventajas que trae consigo el uso de la base de datos, frente a lo cual la capacidad de almacenamiento una vez cubierta tendría la opción, o bien, de crear otra o comprar un espacio dedicado en la nube, decisión que se tomaría de acuerdo con las exigencias del proyecto y su aplicación en las empresas a lo largo del tiempo. Con respecto a la desventaja que surge con la centralidad de la información por los riesgos informáticos, se aclara que las mismas características de proyecto en las empresas hacen que este tipo de datos no sean objetivo prioritario para los ciberdelincuentes (BBVA, 2020).

Los datos almacenados a partir de la función realizada por el algoritmo dan cuenta de la estructura del modelo JSI encargado de evaluar a trabajadores en sus puestos de trabajo desde sus extremidades superiores, donde se pueden desarrollar desórdenes músculo-esqueléticos por el uso intenso del sistema mano-muñeca. El nivel de riesgo al respecto, lo identificó el algoritmo mediante 6 variables (la intensidad del esfuerzo, duración del esfuerzo, esfuerzo por minuto, postura mano-muñeca, velocidad del trabajo, duración de la tarea por día), todas ellas que arrojan una perspectiva cuantitativa sobre el riesgo (Diego-Mas, 2015b). De esta manera, pese a que inicialmente se habían considerado el complemento con los modelos OCRA, y RULA, la elección

exclusiva por JSI respondió a la imposibilidad de tener contacto con los empleados durante 2020 por efecto de las medidas sanitarias, por lo que la recolección de datos de manera observacional no fue posible (OCRA), así tampoco la evaluación que dependiera de la toma de medidas de las extremidades inferiores (RULA).

La interacción con los procesos internos realizados por el algoritmo, al facilitarse por medio de una interfaz gráfica permitirán al usuario un entorno visual en el que los encargados en la empresa podrán interactuar de una mejor manera con el proceso y el dispositivo, según lo afirma Lamarca (2018). La facilidad de comprensión que se espera a través de dicho medio visual debe permitir que las empresas se apropien de la herramienta completa para realizar sus propios análisis y seguimiento al personal con el fin de mitigar los riesgos músculo-esqueléticos que en este caso puede presentar. En este caso, el dispositivo serviría como herramienta para planificar las acciones del sistema de gestión seguridad y salud en el trabajo.

Estas posibilidades tecnológicas al alcance de los procesos organizacionales se presentan, así como un aporte a la sociedad de la información interconectada desde los objetos para acceder a servicios físicos y virtuales (Senthil & Iyer, 2019). Se habla entonces del internet de las cosas como una tendencia cada vez más extendida a los diferentes campos de la vida, por ejemplo, en la industria. Por tanto, la innovación de las organizaciones a partir de la implementación de la tecnología como el IoT es una realidad que puede desarrollarse a bajo costo, como se planteó en este proyecto, mediante operaciones seguras, eficientes y eficaces que pueden a la competitividad y sostenibilidad de las empresas.

CONCLUSIONES

Lo expuesto anteriormente permite concluir que, el diseño del dispositivo será relevante para el sector salud, no solo por la innovación de dicho prototipo, sino también, por los aportes que traerá consigo durante práctica, ya que puede mejorar la calidad del trabajo realizado en las organizaciones , lo cual aumentará la competitividad gracias a su contribución en la prevención de los riesgo ergonómicos de las extremidades superiores los cuales se ven afectados por los los movimientos repetitivos o forzados. Por otra parte, se plantea mantener sus características de diseño a bajo costo para convertirlo en una alternativa viable para que las empresas tanto del sector metalmeccánico como de otros sectores puedan implementar el sistema de monitoreo y esto les

ayude a su vez a llegar a mejores sus procesos internos a nivel de la gestión de la seguridad y salud en el trabajo. No obstante, aunque la investigación se realizó para el sector metalmecánico, el diseño del dispositivo ergonómico puede adaptarse a cualquier otro sector, sin embargo, no puede utilizarse para las actividades que impliquen que el dispositivo entre en contacto con el agua, ya que para esta versión el dispositivo no es resistente a la sumersión debido a que no se consideró ningún tipo de aislamiento especial contra el agua en su parte electrónica, sólo resistiría lluvia leve en la parte externa del dispositivo.

En términos técnicos, para el diseño del dispositivo ergonómico se debe utilizar el protocolo I2C, debido a que los sensores MPU6050 tienen solo dos direcciones de memoria, así que para lograr su funcionamiento se deben conectar los 3 sensores desde el su pin AD0 (el cual puede ser 0x68 o 0x69 dependiendo del estado de AD0) a un pin determinado de la placa de desarrollo nodeMCU, en otras palabras para su manejo se debe mantener un sensor a la vez en una dirección de memoria fija (puede ser 0x68 o 0x69 según convenga) y los otros dos sensores estarán alternando en la otra dirección de memoria libre, así que la información que se debe capturar es la del sensor que se encuentre aislado ósea en la dirección de memoria fija. Por otro lado, la información de la dirección de memoria en la que se encuentran dos sensores a la vez se debe ignorar, ya que debido al solapamiento los datos son ilegibles. No obstante, el delay que se presenta al hacer el cambio de sensores es imperceptible.

A su vez, para realizar el modelo de la base de datos se establece luego de avanzar por 3 fases diferentes, dichas fases son el diseño conceptual, el cual permitió establecer los requisitos y especificaciones de las base de datos, el diseño lógico, el cual permitió realizar una descripción de la base de datos y por último el diseño del modelo físico, en el cual se establecieron el tipo de dato que se ingresa a la base de datos; estos tres tipos de modelados fueron necesarios para recolectar

la información y delimitar el rango que integra el modelo final de base de datos. Dicho modelo se desarrolla de forma sencilla, facilitando la interpretación de los diagramas de Bases de Datos expuestos en el documento. Las desventajas que reporta la literatura en términos de la centralidad de los datos por temas de seguridad de la información, se subsana al considerar que el nivel de privacidad que requiere la información almacenada en esta base de datos es bajo por tanto no sería objeto de interés, la mayor dificultad al respecto vendría por daños en la base de datos, aunque su diseño y construcción tuvo en consideración el tipo de datos que podían ingresar minimizando así los riesgos en este sentido.

Para el desarrollo del diseño del algoritmo se tuvieron que determinar las opciones básicas y mínimas con las que debía contar el sistema de monitoreo, como por ejemplo : la plataforma debe permitir crear un usuario nuevo, eliminar un usuario anterior y buscar el perfil de un usuario. Sin embargo, a lo largo del proceso de diseño se implementaron funciones más complejas como crear un roll o asignar un roll para poder restringir el acceso a cierta información, también se consideró cargar la información de los antecedentes médicos en el perfil de los empleados y finalmente se llegó al punto de la interpretación de los datos, donde se decidió conservar la información tanto procesada como Sin procesar, pues se tuvieron algunos altercados en el ejercicio y se concluyó que debe existir la información bruta para poder revisar los resultados de ser necesario. No obstante, el diseño del algoritmo no se encuentra condicionado por un lenguaje de programación específico, por el contrario se describe de forma sencilla y fácil de entender.

No fue posible realizar el diseño de la interfaz de manera funcional puesto que no se realizó el desarrollo de ningún programa, ya que el alcance del proyecto se delimita en el diseño de un

algoritmo que maneja un lenguaje gráfico y sencillo. Sin embargo, se realiza un posible ejemplo de una representación gráfica de las opciones mínimas que debe tener el diseño.

Finalmente, aunque el alcance de la investigación acortó las acciones por la imposibilidad de tener contacto con el contexto real debido a la emergencia de salud que se está presentando actualmente, así pues la propuesta que se presenta son prototipos y diseños de cómo se podría llevar a cabo este sistema de monitoreo para todos los responsables de la seguridad en la planificación de mejoras en el lugar de trabajo. Los responsables de la seguridad estarán en condiciones de predecir el nivel de riesgo antes de que se tomen las medidas reales. Son capaces de mostrar el posibles resultados realistas y comportamiento de tendencia de riesgo a su supervisor/director, sin gastar ningún recurso adicional.

RECOMENDACIONES

1. Los sensores seleccionados tiene una limitante ya que actualmente los tres sensores no pueden estar trabajando al mismo tiempo debido a que solo tienen una dirección de memoria, por ello es necesario identificar mediante un test cual es el sensor con mayor movimiento. La mejora que podría tenerse consiste en buscar una configuración apropiada para que todos los sensores puedan ser usados al mismo tiempo.

2. El dispositivo solo recolecta los datos y luego los transmite para ser analizados y categorizados. Se podría añadir un sistema de alarma que indique cuando se hace un mal movimiento.

3. El dispositivo podría ser adaptado para que no solo se recolectarán los datos de los miembros superiores, sino añadirle otra sección al dispositivo que permita la recolección de datos de los miembros inferiores.
4. Con lo anterior la base de datos tendría que ser incrementada para poder alojar una mayor cantidad de datos. Así mismo, el algoritmo tendrá que ser modificado para poder efectuar los procesos necesarios para recolectar y analizar los datos obtenidos en los miembros inferiores.
5. Actualmente el diseño del algoritmo solo abarca un método ergonómico, el cual es el método JSI que analiza miembros superiores. A este se le podrían añadir otros métodos como son el RULA para carga postural y OCRA.

BIBLIOGRAFÍA

29783. (s.f.). *Seguridad y Salud en el Trabajo* . Obtenido de <http://www.29783.com.pe/>
- 29783 Seguridad y Salud en el Trabajo . (s.f). *Trastornos musculoesqueléticos*. Obtenido de Método OCRA para evaluación de movimientos repetitivos: <http://www.29783.com.pe/LEY%2029783%20PDF/Ergonom%C3%ADa/Ley-29783-M%C3%A9todo-OCRA.pdf>
- Abobakra, A., Nahavandi, D., Hossny, M., Iskander, J., Attia, M., Nahavandi, S., & Smets, M. (2019). RGB-D ergonomic assessment system of adopted working postures. *Applied Ergonomics*, 80, 75-88.
- ARL SURA. (2020). *www.arlsura.com*. Obtenido de ARL SURA con un enfoque a la gestión del riesgo ocupacional: <https://www.arlsura.com/index.php/69-centro-de-documentacion-anterior/productos-y-servicios-arp-sura/816-arp-sura-con-un-enfoque-a-la-gestion-del-riesgo-ocupacional>

- Atlantic International University . (2002). *Bases de datos*. Obtenido de <https://www.aiu.edu/cursos/base%20de%20datos/pdf%20leccion%202/lecci%C3%B3n%202.pdf>
- BBVA. (28 de julio de 2020). *Ciberseguridad*. Obtenido de En la mente de un cibercriminal : <https://www.bbva.com/es/en-la-mente-de-un-cibercriminal/>
- Cañas, J., & Madrid, I. (2015). *Ergonomía*. Granada: Grupo de Ergonomía Cognitiva, Universidad de Granada. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/277006419_Ergonomia
- Caputo, F., Greco, A., Fera, M., & Macchiaroli, R. (2019). Workplace design ergonomic validation based on multiple human factors assessment methods and multiple human factors assessment methods and simulation. *Production & Manufacturing Research*, 7(1), 195-222.
- Chagas, E., Beingolea, J., & Rendulich, J. (2019). Wearable and IoT technology in the development of applications for Postural Physiotherapy. *IEEE Xplore*, 1-5. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8905667>
- Diego-Mas, J. (2015b). *Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método JSI*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/jsi/jsi-ayuda.php>
- Diego-Mas, J. A. (2015a). *Evaluación del riesgo por movimientos repetitivos mediante el Check List Ocra*. Valencia: Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/ocra/ocra-ayuda.php>
- Diego-Mas, J. A. (2015c). *Evaluación del riesgo por movimientos repetitivos mediante el Check List Ocra*. Valencia: Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/niosh/niosh-ayuda.php>
- Djapan, M., Macuzic, I., Tadic, D., & Baldissone, G. (2019). An innovative prognostic risk assessment tool for manufacturing sector based on the management of the human, organizational and technical/technological factors. *Safety Science*, 119, 280-291.
- El Tiempo. (6 de Junio de 2019). *Los avances tecnológicos que llegan a la banca*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/economia/sector-financiero/las-innovaciones-en-la-convencion-bancaria-del-2019-372006>
- Ergo IBV. (15 de febrero de 2016). *La ergonomía en el sector del metal* . Obtenido de <http://www.ergoibv.com/blog/la-ergonomia-en-el-sector-metal/>
- Ergonautas. (2020). *Job Strain Index* . Obtenido de <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/jsi/jsi-ayuda.php>

- Espinoza, C. (2010). *Metodología de la investigación tecnológica*. Huanzayo, Perú: Ciro Espinoza Montes.
- García, L. (22 de mayo de 2019). *¿Qué es una base de datos?* Obtenido de <https://enterese-atempo.blogspot.com/2019/05/que-es-una-base-de-datos.html>
- Gnoni, M., Bragatto, P., Milazzo, M., & Setola, R. (2020). Integrating IOT technologies for an "intellinget" safety management in the process industry. *Procedia Manufacturing*, 42, 511-515.
- Gómez, L. M., Tibasosa, A. P., & Vargas, W. L. (2018). *Análisis de riesgo ergonómico para los trabajadores de la constructora obras civiles Cristobal Daza*. [Tesis de especialización, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13603/G%F3mezContrerasLeydiMarcela2018.pdf?sequence=1>
- Gregori, F., Papetti, A., Pandolfi, M., Peruzzini, M., & Germani, M. (2018). Improving a production site from a social point of view: an IoT infrastructure to monitor workers condition. *Procedia*, 72, 886-891.
- IOT . (2009). Normas de la OIT sobre seguridad y salud en el trabajo. Promover la seguridad y la salud en el medio ambiente de trabajo. *Conferencia Internacional del Trabajo* (pág. 192). Ginebra: Oficina Internacional del Trabajo.
- Lamarca, M. J. (29 de julio de 2018). *La interfaz gráfica*. Obtenido de <http://www.hipertexto.info>
- Li, X., Han, S., GüL, M., & Al-Hussein, M. (2019). Automated post-3D visualization ergonomic analysis system for rapid workplace desing in modular construction. *Automation in Construcción*, 98, 160-174.
- Mac Master, B., & Echavarría, A. (. (2017). *Segundo informe de seguimiento sobre salud y estabilidad en el empleo*. Medellín: Andi.
- Madrid, R., & Cañas, J. (2015). Ergonomía. *Grupo de Ergonomía Cognitiva, Universidad de Granada*, 1-75. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/277006419>
- Marca Colombia. (12 de Mayo de 2020). *8 avances de la industria metalmecánica en Colombia*. Obtenido de <https://www.colombia.co/pais-colombia/hechos/8-avances-de-la-industria-metalmecanica-en-colombia/>
- Mariño, C., Castro, Y., & Cruz, A. (2016). *Diseño del sistema de gestión en seguridad y salud en el trabajo bajo la normatividad vigente para la empresa industria metalmecánica "INMECOM LTDA" ubicada en el barrio Ricaurte - Bogotá*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas .

- Moore, J., & Garg, A. (1995). The Strain Index: A proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56, 443-458.
- Moore, J., & Garg, A. (1995). The Strain Index: A proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56, 443-458. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/4306063_The_strain_index_to_analyze_jobs_for_risk_of_distal_upper_extremity_disorders_Model_validation
- Morelos, J., & Fontalvo, T. (10 de 8 de 2012). Análisis causa-efecto de los accidentes laborales en pymes del sector metalmeccánico en Cartagena. *Entornos*(25), 213-225.
- Morelos, J., & Fontalvo, T. J. (2013). Caracterización y análisis del riesgo laboral en la pequeña y mediana industria metalmeccánica en Cartagena-Colombia. *Soluciones de Postgrado EIA*(10), 13-40. Obtenido de <https://revistabme.eia.edu.co/index.php/SDP/article/download/13-40/363/650>
- Pavel, M., Jimison, H., Wactlar, H., Hayes, T., Barkis, W., Skapik, J., & Kaye, J. (2013). The role of technology and engineering models in transforming healthcare. *Reviews in Biomedical Engineering*, 157-177.
- Pérez, D. (26 de octubre de 2007). *¿Qué son las bases de datos?* Obtenido de <http://www.maestrosdelweb.com/que-son-las-bases-de-datos/>
- Prueksanusak, B., Rujvivipatand, P., & Wongpatikaseree, K. (2019). An Ergonomic Chair with Internet of Thing Technology using SVM. *IEEE Xplore*, 1-5. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/9024488>
- Rose, K., Edridge, S., & Chapin, L. (octubre de 2015). *La Internet de las cosas - Una breve reseña para entender mejor los problemas y desafíos de un mundo más conectado*. Obtenido de Internet Society: <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/report-InternetOfThings-20160817-es-1.pdf>
- Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (2015). *La internet de las cosas - Una breve reseña*. Internet Society.
- Santamaria, A., Serianni, A., Raimondo, P., Froio, M., & De Rango, F. (2016). Smart wearable device for health monitoring in the internet of things (LoT) domain. *Simulación Series*, 259-264.
- Senthil, A., & Iyer, E. (2019). An industrial IOT in engineering and manufacturing industries - Benefits and challenges. *International Journal of Mechanical and Production*, 9(2), 151-160. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Senthil_Kumar_Arumugam2/publication/33621669

2_AN_INDUSTRIAL_IOT_IN_ENGINEERING_AND_MANUFACTURING_INDUSTRIES_-BENEFITS_AND_CHALLENGES/links/5d94a462458515202b7c0557/AN-INDUSTRIAL-IOT-IN-ENGINEERING-AND-MANUFACTURING-IND

Unión Internacional de Telecomunicaciones . (2012). *Descripción general de Internet de los objetos*. Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (22 de enero de 2013). *Y.2060 : Visión general de la Internet de las cosas*. Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I/es>

Velasco, Y. (2012). Lineamientos para reducir los riesgos ergonómicos del sector metalmeccánico de la ciudad de San Cristobal. *Iberoamerican Journal of Project Management*, 1-15. Obtenido de <http://www.ijopm.org/index.php/IJOPM/article/viewFile/105/126>

Workana. (2018). *¿Qué es la interfaz gráfica de usuario GUI?* Obtenido de <https://i.workana.com/glosario/que-es-la-interfaz-grafica-de-usuario-gui/>

ANEXOS

Anexos 1. Definición OCRA.

El Método OCRA (Occupational Repetitive Action) apareció por primera vez en 1998 por parte de Occhipinti e Colombini integrantes de la Unitá di Ricerca Ergonomia della Postura e Movimento (EPM). Este método se enfoca en evaluar el riesgo de aparición de un trastorno que se genera por llevar a cabo trabajos que implican movimientos repetitivos de la extremidad superior dominante dentro de un tiempo determinado, lo que se asocia con el nivel de riesgo de la predictibilidad.

Ahora, hay que tener en cuenta que dentro de un modelo general para la descripción y evaluación de las tareas que desempeña un trabajador en una situación específica se consideran cuatro factores de riesgo: repetición, fuerza, posturas y movimientos forzados (de hombro, codo, muñeca y mano), además de la falta de tiempos para la recuperación, la cual se evalúa en función de la duración de las respectivas actividades.

A los factores de riesgo mencionados, se suman también los factores mecánicos, ambientales y organizacionales, los cuales deben analizarse y valorarse a fin de identificar riesgos preliminares y las acciones preventivas según cada caso, así también es clave la evaluación de los factores en su conjunto contribuyen a identificar la “exposición” al riesgo.

Las actividades laborales que presenten movimientos repetitivos se evalúan a nivel de los siguientes factores de riesgos:

- Modalidades de interrupciones del trabajo a turnos con pausas o con otros trabajos de control visivo (A1, Pausas).
- Actividad de los brazos y la frecuencia del trabajo (A2, Frecuencia).
- Actividad del trabajo con uso repetitivo de fuerza en manos/brazos (A3, Fuerza).
- Presencia de posiciones incómodas de los brazos, muñecas y codos durante el desarrollo
- De la tarea repetitiva (A4, Postura).
- Presencia de factores de riesgo complementarios (A5, Complementarios).

Este método realiza un análisis detallado de los factores de riesgo en el puesto de trabajo. Para obtener este nivel de riesgo se analizan los diferentes posibles factores de riesgo de forma independiente, ponderando su valoración por el tiempo durante el cual cada factor está presente

dentro del tiempo total de ejecución de la tarea. De esta forma se diseña una escala diferente para los factores de riesgo; las cuales normalmente oscilan entre 1 y 10, pero hay otras que pueden llegar a valores superiores. Es a partir de estas escalas o puntuaciones que se obtiene el índice de check list OCRA (ICKL), dicho valor nos permite clasificar el riesgo como Óptimo, Aceptable, Muy ligero, Medio alto o Alto (Diego-Mas, 2015a).

Tabla 3.

Ventajas y desventajas del modelo OCRA.

Ventajas	Desventajas
1. Es intuitivo, fácil de aplicar y completo a la hora de evaluar factores de riesgo.	1. Existen bastantes respuestas intermedias sin especificar ni cuantificar prácticamente en todos los apartados del método, por lo que la selección de las mismas tiene un carácter subjetivo por parte de la persona que aplica el método.
2. Evalúa las modalidades de interrupción del trabajo a turnos con pausas.	2. En el apartado de la evaluación de la presencia o ausencia de pausas de descanso o de otras tareas no repetitivas, no considera la posible presencia de "micropausas" dentro de una tarea determinada, como puede ser, por ejemplo, el caso de un puesto de trabajo en una cinta de alimentación que en algún momento determinado no esté transportando producto que pueda ser recogido por el/la trabajador/a, con lo cual este/a descansar las zonas corporales de riesgo, aunque sea solo por unos segundos.

3. La evaluación de la repetitividad de la actividad de los brazos es más exhaustiva.	3. El método no evalúa el uso repetitivo de fuerza de carácter ligero.
4. Se evalúa la actividad del trabajo con uso repetitivo de fuerza en manos/brazos en función de las vueltas/ciclo y/o el tiempo empleado en la realización de esa actividad.	4. La evaluación de las posturas se cuantifica exclusivamente en función del tiempo en el cual se mantienen las mismas, y no según la gravedad.
5. Evalúa la presencia de posturas incómodas de brazos, muñecas y codos según el tiempo empleado en la realización de esa actividad.	5. El método considera el hecho de que las posturas de sujeción de objetos o herramientas con la mano tienen la misma gravedad, cuando los agarres "en pinza" son más propensos a trastornos musculoesqueléticos que los agarres palmares o con el/los dedo/s en forma de gancho.
6. Evalúa el tipo de sujeción o agarre con la mano de objetos o herramientas, según el tiempo empleado en la realización de la tarea repetitiva.	
7. Evalúa la presencia de otros factores de riesgo complementarios: <ul style="list-style-type: none"> a. Uso de guantes inadecuados al trabajo a desarrollar (molestos, demasiado gruesos, talla equivocada, etc). b. Uso de instrumentos vibrantes. c. Uso de herramientas que provocan compresiones en la piel (enrojecimiento, cortes, ampollas...). d. Realización de tareas que requieran precisión. e. Ritmo de trabajo parcial o totalmente determinado por la máquina. 	

8. Se tiene en cuenta el tiempo de exposición de cada tarea repetitiva a la hora de calcular el índice checklist OCRA, así como el carácter acumulativo de las diferentes exposiciones.	
9. Se evalúa el porcentaje de horas con trabajo repetitivo en el turno.	

Nota. Datos del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo -INSST- citado por 29783 Seguridad y Salud en el Trabajo (s.f).

Anexos 2. *Definición Carga Postural (RULA).*

Uno de los factores de riesgo de común asociación con la aparición de trastornos músculo-esqueléticos se ve reflejado en la excesiva carga postural, en tanto se adoptan posturas inadecuadas de forma continuada o repetida en el trabajo, lo que generará fatiga y a largo plazo estaría generando problemas de salud.

Dentro de los métodos que miden la carga postural, aquí se hará referencia al método **RULA** que fue propuesto en 1993 por McAtamney y Corlett de la Universidad de Nottingham (Institute for Occupational Ergonomics), con el fin de evaluar los factores de riesgo a los que estaban expuestos los trabajadores por efecto de la carga postural, la cual puede generar trastornos de tipo músculo-esquelético en los miembros superiores. Dicha evaluación considera la postura mantenida por el trabajador respecto de la posición neutra, la duración y regularidad, así como las fuerzas ejercidas.

De esta manera, el método RULA el procedimiento atiende a posturas individuales y no un conjunto o secuencia de ellas, por tanto, es necesario realizar una selección de posturas que adoptan los trabajadores en su puesto para proceder a la medición de las variables indicadas. La selección provendrá de un ejercicio de observación de las tareas del trabajador en varios ciclos de trabajo.

De no existir ciclos de trabajo se tendrán en cuenta las posturas en intervalos regulares y el tiempo en el que permanece en una postura dada.

Con cada postura evaluada se obtendrá una puntuación que será analizada según un nivel de actuación que determinará si la postura es aceptable, requiere de acciones por parte del trabajador o se requieren modificaciones al puesto donde se desempeña.

La medición de las posturas adoptadas por el trabajador se realiza siguiendo el patrón angular que genera el cuerpo desde sus diferentes miembros, los cuales pueden ser tomadas inmediatamente del trabajador mediante transportadores de ángulos, electrogoniómetros o incluso mediante las posibilidades que ofrece la fotografía, tomada tanto por el lado derecho como izquierdo, ya que esto facilita realizar un cotejo de datos más objetivo respecto del lado donde se ejerce mayor carga postural. (Diego-Mas, 2015c)

Anexos 3. Método OCRA.

Las acciones técnicas del método OCRA se describen y se definen en la Tabla 4. Entre ellas no se considera como acciones técnicas el soltar, andar, controlar y visualizar ya que en el primer caso sería una restitución pasiva de un objeto que ya no es necesario y en el segundo caso la acción no implica una actividad de la extremidad superior (Diego-Mas, 2015).

Tabla 4.

Acciones técnicas del método OCRA.

Acción Técnica	Definición y Criterios

Mover	Transportar un objeto a un determinado sitio usando los miembros superiores (sin caminar). Mover un objeto debería considerarse como una acción exclusivamente cuando el objeto pese más de 2 kg (con el agarre de fuerza) o 1 kg (con la mano en pinza) y el brazo haga un amplio movimiento de hombro abarcando una distancia superior a 1 un metro.
Alcanzar	Llevar la mano a un lugar preestablecido. Alcanzar un objeto debería considerarse una acción sólo cuando el objeto está colocado más allá de la longitud de la extremidad superior extendida y no es alcanzable andando, por lo que el operador debe mover el tronco y los hombros para alcanzar el objeto. Si el lugar de trabajo es usado por hombres y mujeres, o sólo por mujeres, la medida de la longitud de la extremidad superior extendida corresponde a 50 cm (5 percentil de mujeres), y esta longitud debe usarse como referencia. Alternativamente, se considerará acción técnica cuando el objeto está situado fuera del alcance de los límites de la zona de trabajo (A2, B2, C2) especificados en la Norma ISO 14738:2002.
Agarrar/ Tomar	Asir un objeto con la mano o los dedos para realizar una actividad o tarea.
Tomar de una mano a la otra	Las acciones de asir con una mano un objeto, pasarlo a la otra mano y asirlo de nuevo con ella, se considerarán dos acciones técnicas separadas: una para la mano derecha y otra para la mano izquierda.
Colocar	Posicionar un objeto o una herramienta en un punto preestablecido. SINÓNIMOS: posicionar, apoyar, poner, disponer, dejar, reposicionar, volver a poner
Introducir/ Sacar	La acción de introducir o sacar debe considerarse como una acción técnica cuando se requiere el uso de fuerza. SINÓNIMOS: Extraer, insertar
Empujar/ Tirar	Deben contarse como acciones pues resultan de la aplicación de fuerza, aunque sea poca, con la intención de obtener un resultado específico. SINÓNIMOS: Presionar, desconectar piezas.
Poner en marcha	Debe considerarse una acción cuando la puesta en marcha de una herramienta requiere el uso de un botón o palanca por partes de la mano, o por uno o más dedos. Si la puesta en marcha se hace repetidamente sin cambiar la herramienta, considera una acción por cada puesta en marcha. SINÓNIMOS: presionar botón, bajar palanca.
Transportar	Si un objeto que pesa 3 Kg o más es transportado al menos 1 metro, la extremidad superior que soporta el peso es la realiza la acción técnica de “transportar”. Un metro significa una verdadera acción de transporte (dos pasos).

Acciones especiales	Acciones específicas que forman parte de un proceso determinado, por ejemplo: Doblar, plegar, curvar, desviar, estrujar, rotar, girar, ajustar, moldear, bajar, alcanzar, golpear, pasar la brocha (contar cada paso de la brocha sobre la parte a ser pintada), rallar (contar cada paso en la parte a ser rallada), alisar, pulir (contar cada paso en la parte a ser pulida), limpiar (contar cada paso en la parte a ser limpiada), martillar (contar cada uno de los golpes), arrojar, etc. Cada una de estas acciones debe ser descrita y contada una vez por cada repetición, por ejemplo, girar dos veces = 2 acciones técnicas.
----------------------------	---

Nota. Tomada de Diego-Mas (2015a, p. 1) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método OCRA”.

Reconociendo las acciones técnicas del método OCRA a continuación se señalan las posturas y movimientos de las extremidades superiores según sus articulaciones: hombro (Tabla 5), codo (Tabla 6), muñeca (Tabla 7), mano (Tabla 8) y movimientos estereotipados (Tabla 9) con sus respectivos valores correspondientes al nivel de actuación.

Tabla 5.

Puntuación del hombro (PHo).

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

Nota. Tomada de Diego-Mas (2015a, p. 1) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método OCRA”.

Tabla 6.

Puntuación del codo (PCo).

Posturas y movimientos del codo	PCo
El codo realiza movimientos repentinos (flexión-extensión o prono-supinación extrema, tirones, golpes) al menos un tercio del tiempo	2

El codo realiza movimientos repentinos (flexión-extensión o prono-supinación extrema, tirones, golpes) más de la mitad del tiempo	4
El codo realiza movimientos repentinos (flexión-extensión o prono-supinación extrema, tirones, golpes) casi todo el tiempo	8

Nota. Tomada de Diego-Mas (2015a, p. 1) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método OCRA”.

Tabla 7.

Puntuación de la muñeca (PMu).

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

Nota. Tomada de Diego-Mas (2015a, p. 1) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método OCRA”.

Tabla 8.

Puntuación de la mano (PMA).

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

Nota. Tomada de Diego-Mas (2015a, p. 1) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método OCRA”.

Tabla 9.

Puntuación de los movimientos estereotipados (PEs).

Movimientos estereotipados	PEs
-----------------------------------	------------

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

Nota. Tomada de Diego-Mas (2015a, p. 1) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método OCRA”.

Una vez valorados los movimientos de las extremidades superiores de los trabajadores según el método OCRA, los resultados fueron analizados conforme al índice que se presenta en la Tabla 10 para identificar el nivel de riesgo al que se ve expuesto en las actividades laborales.

Tabla 10.

Nivel de riesgo, acción recomendada e índice OCRA equivalente.

Índice Check List OCRA	Nivel de Riesgo	Acción recomendada	Índice OCRA equivalente
≤ 5	Óptimo	No se requiere	≤ 1.5
5.1 - 7.5	Aceptable	No se requiere	1.6 - 2.2
7.6 - 11	Incierto	Se recomienda un nuevo análisis o mejora del puesto	2.3 - 3.5
11.1 - 14	Inaceptable Leve	Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento	3.6 - 4.5
14.1 - 22.5	Inaceptable Medio	Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento	4.6 - 9
> 22.5	Inaceptable Alto	Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento	> 9

Nota. Tomada de Diego-Mas (2015a, p. 1) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método OCRA”.

Anexos 4. Método RULA.

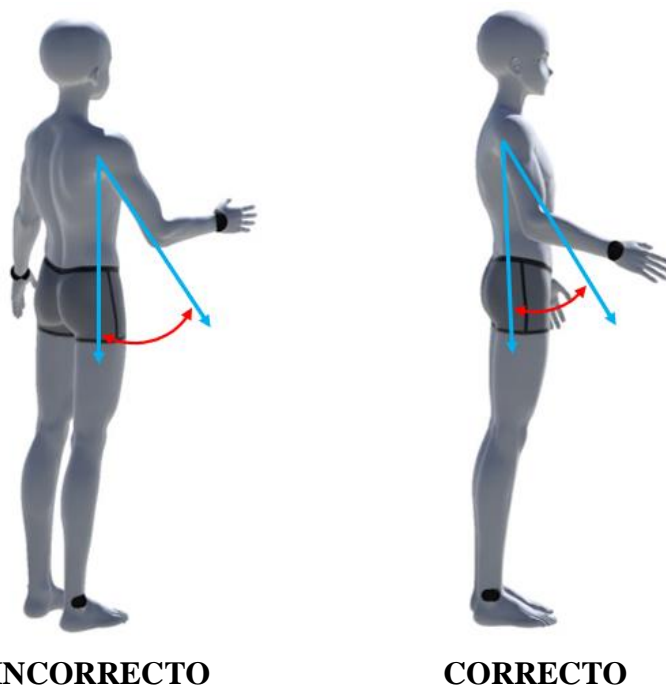
Como ya se mencionó en el marco teórico el método RULA evalúa posturas individuales y no conjuntos o secuencias de ellas, por lo tanto, se presenta necesario seleccionar solo aquellas que

serán evaluadas como parte de las posturas adoptadas por el trabajador en el puesto. Ahora, como la propuesta se enfoca en las extremidades superiores se tendrán en cuenta la carga postural que se ejerce en las muñecas, antebrazos y brazos considerando que la medición atenderá a las posturas angulares del trabajador, es decir, a los ángulos que forma con los brazos para llevar a cabo una tarea. Como se observa en la Figura 12, el método debe ser aplicado al lado derecho y al lado izquierdo del cuerpo por separado en caso no se conozca el lado que presenta la mayor carga postural.

Este método divide al cuerpo o sus extremidades en dos grupos. Grupo A que incluye el brazo, antebrazo y muñeca y Grupo B que incluye el cuello, tronco y piernas, pero dada la propuesta que aquí se presenta solo se trabajará con el primer grupo.

Figura 12.

Ángulos evaluados de las extremidades superiores evaluados mediante el método RULA.



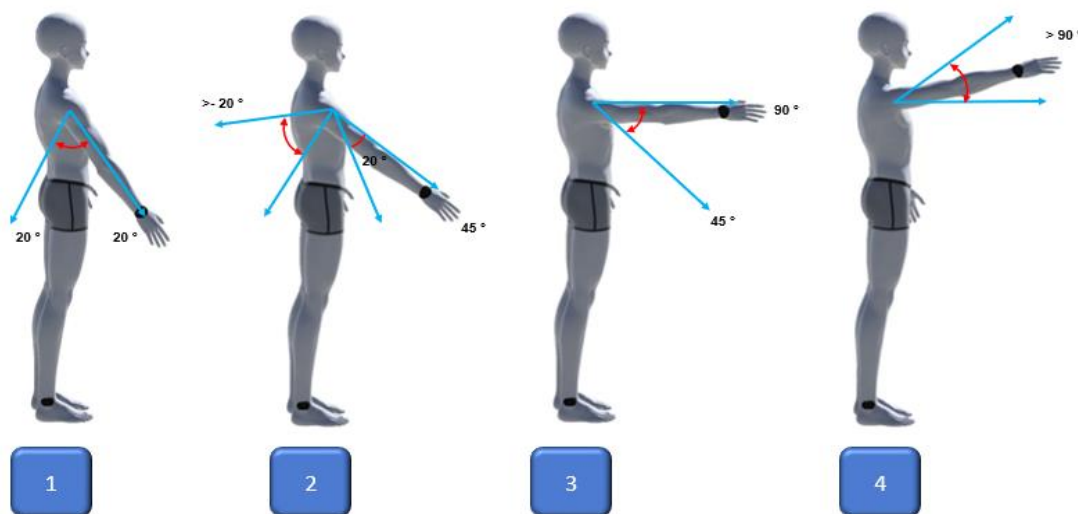
Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método RULA”.

Ahora, la evaluación que se realiza con el método RULA se hace mediante la asignación de una puntuación a cada zona corporal (muñecas, antebrazo y brazo) para así, en función de estas puntuaciones, hacer la asignación de valores globales a cada grupo. Para obtener la puntuación de cada miembro se lleva a cabo el siguiente proceso según brazo, antebrazo o muñeca.

Para obtener la puntuación del brazo se tiene en cuenta su grado de flexión/extensión. Para ello se medirá el ángulo formado por el eje del brazo y el eje del tronco como se observa en la Figura 13, conforme a las posiciones de referencia que se presenta en la Tabla 17. La puntuación obtenida de esta forma permite la valoración de la flexión del brazo. Sin embargo, este resultado puede ser aumentado en un punto si se presenta elevación de hombros, si el brazo está separado del tronco en el plano sagital o si existe rotación del brazo como se observa en la Figura 14 siguiendo los valores de referencia de la Tabla 18.

Figura 13.

Ángulos generados por los brazos.

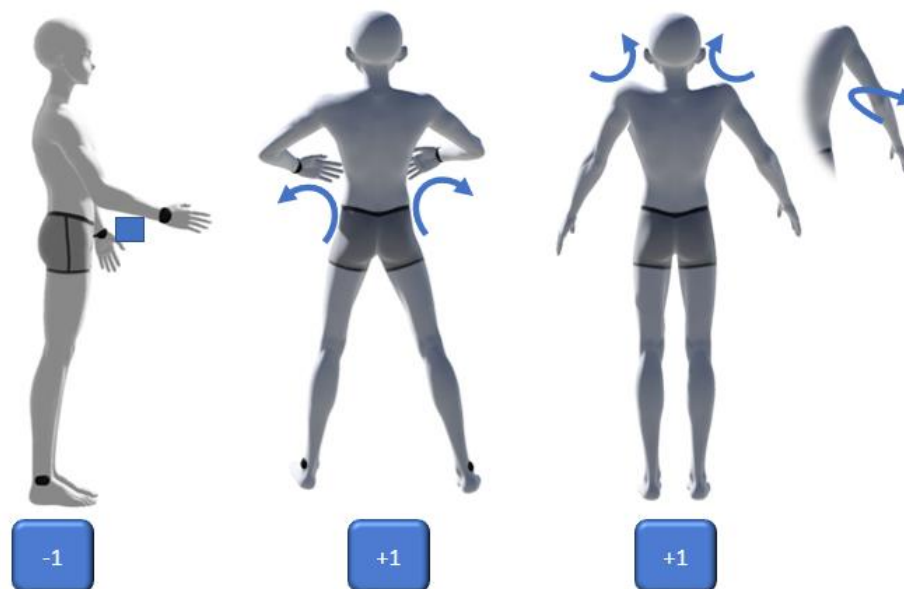


Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método RULA”.

Tabla 17.*Puntuación del brazo.*

Puntuación del brazo	
Posición	Puntuación
Desde 20° de extensión a 20° de flexión	1
Extensión >20° o flexión >20° y <45°	2
Flexión >45° y 90°	3
Flexión >90°	4

Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método RULA”.

Figura 14.*Movimientos que permiten una modificación a la puntuación del brazo.*

Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método RULA”.

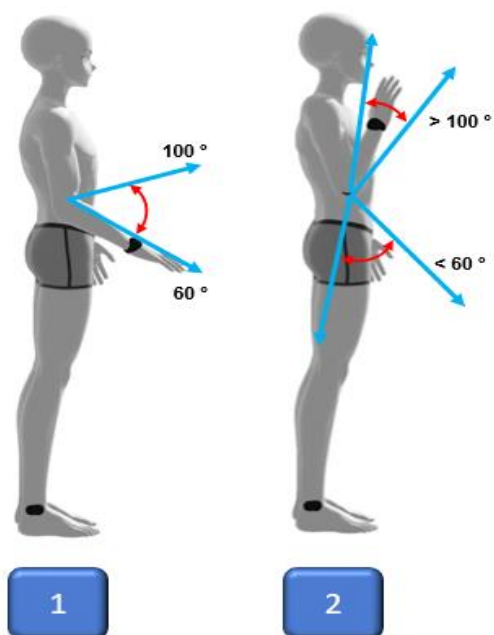
Tabla 18.*Modificación de la puntuación del brazo*

Modificación de la puntuación del brazo.	
Posición	Puntuación
Hombro elevado o brazo rotado	+1
Brazos abducidos	+1
Existe un punto de apoyo	+1

Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método RULA”.

Para obtener la puntuación del antebrazo se tiene en cuenta el ángulo de flexión, medido como el ángulo formado por el eje del antebrazo y el eje del brazo como se observa en la Figura 15 y de acuerdo con los valores de referencia de la Tabla 19. La puntuación obtenida de esta forma permite la valoración de la flexión del antebrazo. Sin embargo, este resultado puede ser aumentado en un punto si se presenta elevación de hombros, si el antebrazo sobrepasa la línea media del cuerpo o si realiza una actividad solo a un lado del cuerpo como se observa en la Figura 16 siguiendo los valores de referencia de la Tabla 20.

La puntuación así obtenida valora la flexión del antebrazo. Esta puntuación se aumentará en un punto si el antebrazo cruza la línea media del cuerpo, o si se realiza una actividad a un lado del cuerpo.

Figura 15.*Eje de antebrazo.*

Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método RULA”.

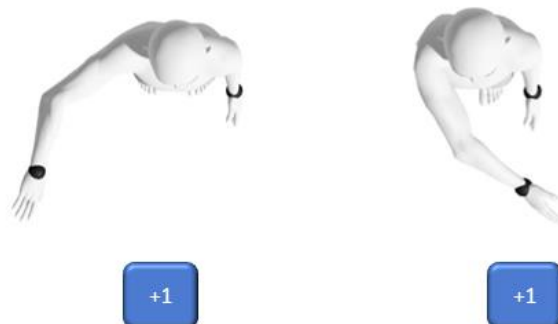
Tabla 19.*Puntuación del antebrazo.*

Puntuación del antebrazo.	
Posición	Puntuación
Flexión entre 60° y 100°	1
Flexión <60° o >100°	2

Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método RULA”.

Figura 16.

Movimientos que permiten una modificación a la puntuación del antebrazo.



Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método RULA”.

Tabla 20.

Modificación de la puntuación del antebrazo.

Modificación de la puntuación del antebrazo.	
Posición	Puntuación
A un lado del cuerpo	+1
Cruza la línea media	+1

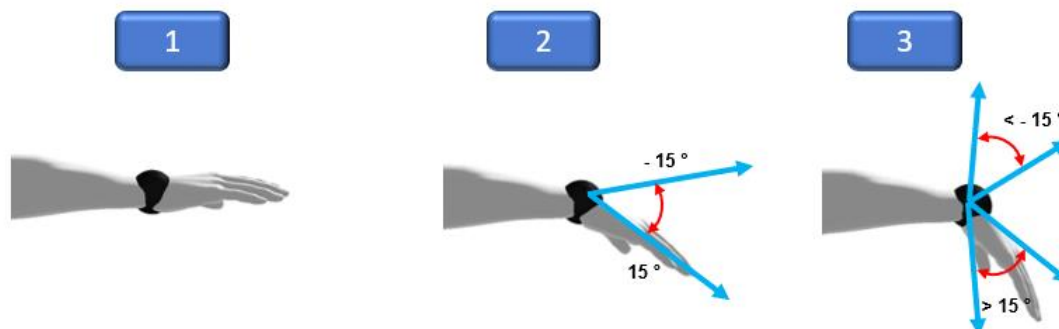
Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método RULA”.

Puntuación de la muñeca

La puntuación de la muñeca se obtiene a partir del ángulo de flexión/extensión medido desde la posición neutra como se muestra en la Figura 17 y de acuerdo con los valores de referencia de la Tabla 21.

Figura 17.

Ángulos generados por la muñeca.



Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método RULA”.

Tabla 21.

Puntuación de la muñeca.

Puntuación de la muñeca	
Posición	Puntuación n
Posición neutra	1
Flexión o extensión $> 0^\circ$ y $< 15^\circ$	2
Flexión o extensión $> 15^\circ$	3

Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método RULA”.

La puntuación obtenida de esta forma valora la flexión de la muñeca. Esta puntuación se aumentará en un punto si existe desviación radial o cubital (ver Figura 18 y Tabla 22).

Figura 18.

Movimientos que permiten una modificación a la puntuación de la muñeca.



Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método RULA”.

Tabla 22.

Modificación de la puntuación de la muñeca.

Modificación de la puntuación de la muñeca	
Posición	Puntuación
Desviación radial	+1
Desviación cubital	+1

Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método RULA”.

Una vez obtenida la puntuación de la muñeca se valorará el giro de la misma. Este nuevo valor será independiente y no se añadirá a la puntuación anterior, si no que servirá posteriormente para obtener la valoración global del Grupo A (ver Figura 19 y Tabla 23)

Figura 19.*Giro de la muñeca.*

Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método RULA”.

Tabla 23.*Puntuación del giro de la muñeca.*

Puntuación del giro de la muñeca	
Posición	Puntuación
Pronación o supinación media	1
Pronación o supinación extrema	2

Nota. Elaborada a partir de la propuesta de Diego-Mas (2015) en “Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método RULA”.

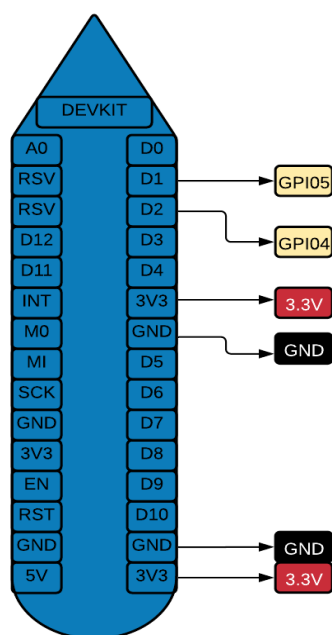
Anexos 5. Acceso a pines y especificaciones tecinas.

5.1 Acceso a los pines de NodeMCU

A continuación, en la Figura 28, se muestra el diagrama de pines de la NodeMCU, en donde veremos sus pines digitales, analógicos y de alimentación.

Figura 28.

Diagrama de pines de la NodeMC.

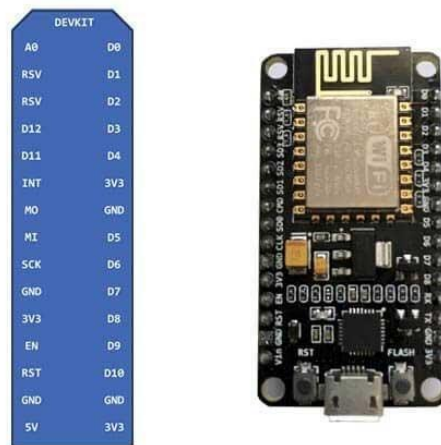


Nota. Imagen adaptada de: (Hernandez, 2017). La imagen original presenta la totalidad de pines que integran la placa, pero para efectos ilustrativos del presente trabajo, sólo se señalan los utilizados.

Para entender el diagrama hay que tener en cuenta que este equivaldría a lo mismo que poner la placa NodeMCU con el puerto USB hacia abajo como se muestra a continuación en la Figura 29.

Figura 29.

Placa NodeMCU con el puerto USB.



Nota. Imagen adaptada de: (Hernandez, 2017)

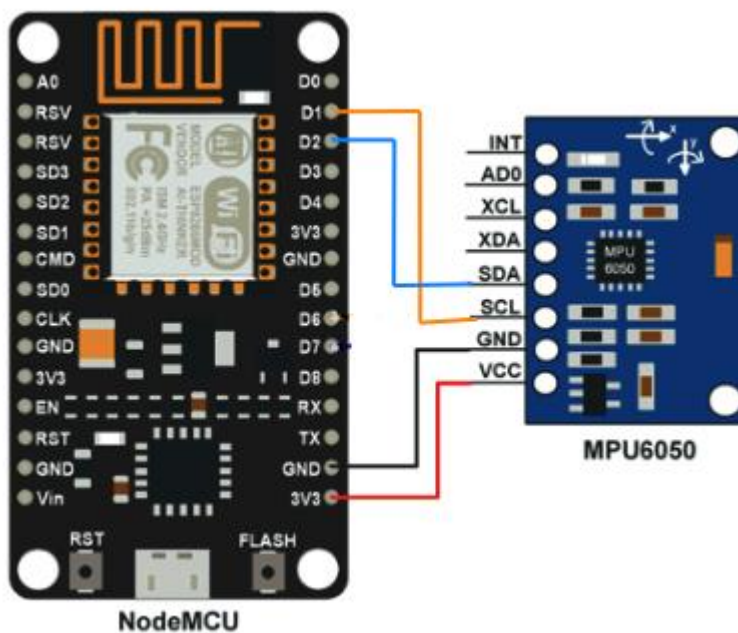
Así entonces para este caso solo hemos usado 4 pines incluyendo el GND y el pin de alimentación de nuestra placa NodeMCU:

- Estos pines son el D1, el cual se conecta al pin SCL del sensor.
- El pin D2, el cual se conecta al pin SDA del sensor.
- El GND, que se conecta al GND del sensor.
- El 3V3, que se conecta al pin VCC del sensor.

En específico en la Figura 30 se presenta la conexión entre la placa NodeMCU y el sensor MPU6050.

Figura 30.

Conexión NodeMCU y sensor mpu6050.



Nota. Elaborada por Elena Araujo y Gonzalo Bocanegra.

7.1.6 Chip Wi-Fi ESP8266

Como se mencionó anteriormente el ESP8266 es lo que comúnmente se conoce como un sistema basado en SOC (System on a Chip), de bajo costo con pila TCP/IP completa y capacidad de MCU (Microcontroller Unit). Este chip sirve como puente de conexión para dispositivos de un mayor procesamiento como Arduino o la NodeMCU para este caso. Este chip puede ser usado para el envío de datos que provengan de la lectura de sensores o para el control de otros dispositivos por medio del uso de otros componentes electrónicos (aprendiendoarduino.wordpress, 2017).

Actualmente existen diversas tarjetas basadas en este chip, pero aquí se usa la NodeMCU, es por ello que en una sola placa o kit de desarrollo podemos encontrar procesamiento y conectividad a Wi-Fi como es el caso de la NodeMCU (aprendiendoarduino.wordpress, 2017).

7.1.7 Características del chip.

- Bajo consumo de energía.
- Capacidad de funcionamiento en ambientes industriales debido a su amplio rango de temperatura de funcionamiento.
- IEEE 802.11 b/g/n Wi-Fi
- Integrated TR switch, balun, LNA, power amplifier and matching network
- WEP or WPA/WPA2 authentication, or open networks
- SPI, I²C,

Figura 31.

Chip Wi-Fi ESP 8266.



Este módulo permite a los microcontroladores poder conectarse a una red Wi-Fi y realizar conexiones TCP/IP sencillas mediante la utilización de los comandos de tipo Hayes o cargándose un firmware con un programa que se haya realizado y compilado con el IDE de Arduino (aprendiendoarduino.wordpress, 2017).

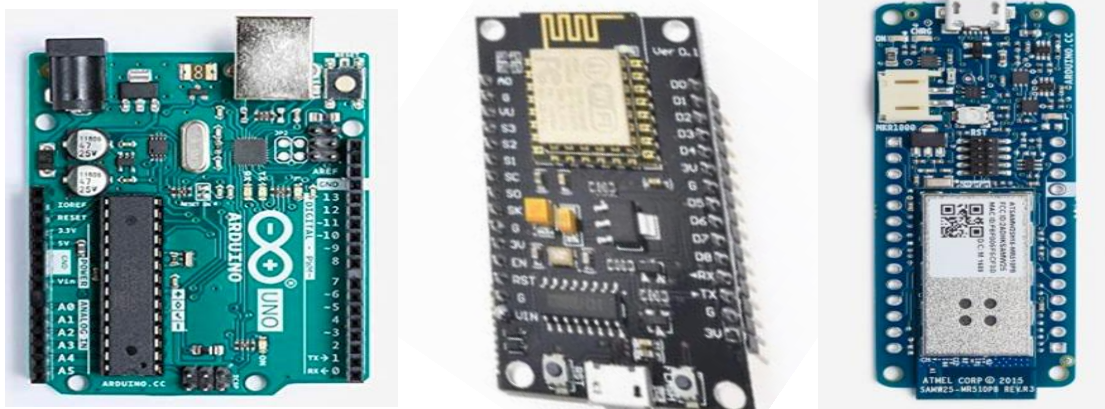
7.1.3 Selección y Funcionamiento de la Tarjeta (NodeMCU)

Para poder seleccionar la tarjeta se tuvo en cuenta que esta fuera fácil de programar, que fuera de bajo costo y que tuviera capacidad de transmitir datos por medio inalámbrico, comúnmente usada para proyectos de IOT.

Se encontraron diversas tarjetas con estas especificaciones, entre las cuales están las que se muestran en la siguiente imagen.

Figura 25.

Tarjetas de programación.



Nota. De izquierda a derecha, la primera tarjeta lleva por nombre arduino uno, la segunda es NodeMCU y la tercera arduino MKR 1000. Imágenes tomadas de respectivamente de <https://arduino.cl/producto/arduino-uno/>;

<https://www.sigmaelectronica.net/producto/nodemcu-v3/>; <https://www.robotshop.com/us/es/microcontrolador-wifi-mkr1000-arduino.html>

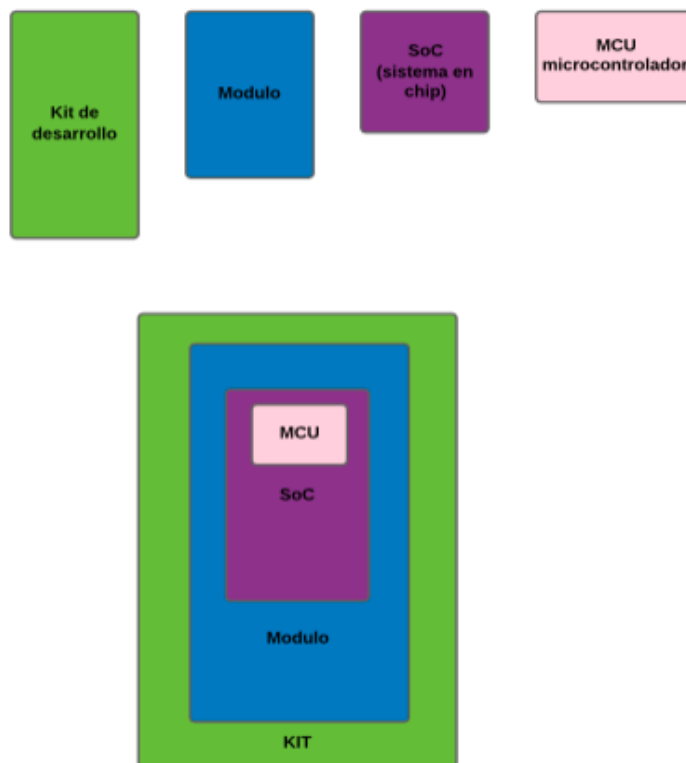
De las tres tarjetas que se observan en la Figura 25, la arduino UNO y la arduino MKR 1000 son tarjetas comúnmente usadas en proyectos de DIY. Arduino se conoce por ser un software libre cuya forma de programar es fácil. Igualmente, estas dos tarjetas tienen chips que les permite conectarse por medio de Wi-Fi.

Por otro lado, la NodeMCU al igual que los arduinos, es una placa cuyo desarrollo es totalmente abierto, tanto a nivel de software como de hardware. En la NodeMCU se encuentra que está basada en el chip Wi-Fi ESP8266 con pila TCP/IP completa y capacidad de MCU (Micro Controller Unit), el cual es el que permite la conexión a internet esto hace de la nodeMCU una de las mejores opciones en el mercado para proyectos de conexión inalámbrica.

Este último tipo de placa no se conoce como un microcontrolador sino que es comúnmente conocida como una placa o kits de desarrollo, la cual integra un chip o SoC (system on a chip) el cual está basado en el chip ESP8266. En la Figura 26 se puede observar un esquema general interno de esta placa NodeMCU.

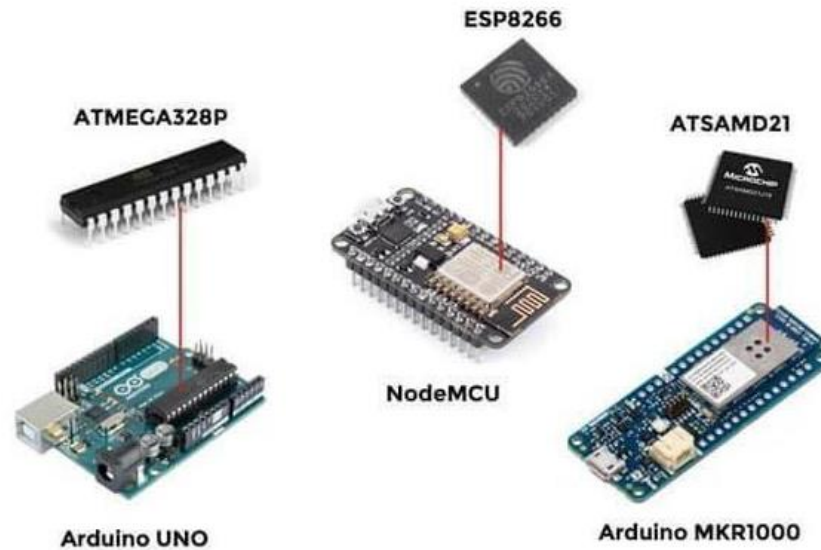
Figura 26.

Esquema general de placa NodeMCU.



Nota. Esquema de la nodeMCU internamente. Tomada del sitio web:
(Hernandez, 2017)

Este tipo de placas de desarrollo (Figura 26) tienen como objetivo poder programar la MCU o microcontrolador. Esto se puede ver también en placas como la Arduino UNO o la Arduino MKR 1000 las cuales usan esta misma arquitectura, pero con diferentes especificaciones (ver Figura 27).

Figura 27.*Placas de desarrollo.*

Note. Placas de desarrollo. Tomada de (Hernandez, 2017)

Una de las mayores ventajas que ofrece la placa de desarrollo NodeMCU, razón por la cual se usó en este proyecto, es que esta incorpora un módulo Wi-Fi (módulo o chip 8266), el cual da la capacidad de crear proyectos enfocados a IOT o sistemas inalámbricos. Este tipo de placas permiten enviar y recibir datos; así mismo, permiten controlar los pines de entrada y salida de forma remota.

La MCU será la encargada de gestionar todas las entradas, salidas y los cálculos que sean necesarios para hacer funcionar nuestro programa. La MCU funciona con 32-bit lo que quiere decir que puede realizar operaciones con números que van del 0 a 4.294.967.295 o de -2.147.483.648 a 2.147.483.647 y trabaja con una velocidad de 80 MHz, sin embargo, puede llegar a los 160 MHz.

7.1.4 Características principales de la NodeMCU

Como características, la placa NodeMCU presenta las siguientes:

- Conversor Serie-USB para poder programar y alimentar a través del USB
- Fácil acceso a los pines
- Pines de alimentación para sensores y componentes
- LEDs para indicar estado
- Botón de reset

7.1.8 Selección del sensor.

Para ayudar con la medición se seleccionó el sensor MPU 6050 que tiene una unidad de medición de tipo inercial de 6 grados de libertad. Este sensor integra un acelerómetro de 3 ejes, un giroscopio de 3 ejes y cuenta con solo 2 direcciones de memoria (0x69 y 0x68) (Tutorial MPU6050, Acelerómetro y Giroscopio, 2021).

La comunicación con este sensor se puede hacer tanto por SPI como por bus I2C. Esto permite poder obtener los datos de manera sencilla. La alimentación requerida para su funcionamiento está entre los 2.4 a 3.6 V (Llamas, 2016).

Para poder entender bien cómo funciona el acelerómetro del sensor es necesario comprender que este funciona con un MEMS (Micro Electro Mechanical System) el cual funciona de forma similar a un sistema de masa-resorte (Tutorial MPU6050, Acelerómetro y Giroscopio, 2021).

Otros dos conceptos necesarios para su funcionamiento y los cuales tenemos que entender de la misma forma son la velocidad angular y el giroscopio. La velocidad angular se refiere a qué tan

rápido gira un cuerpo alrededor de su eje y los giroscopios usan MEMS para la medición. Ambos módulos manejan 3 ejes.

Figura 81.

Historias de usuarios.

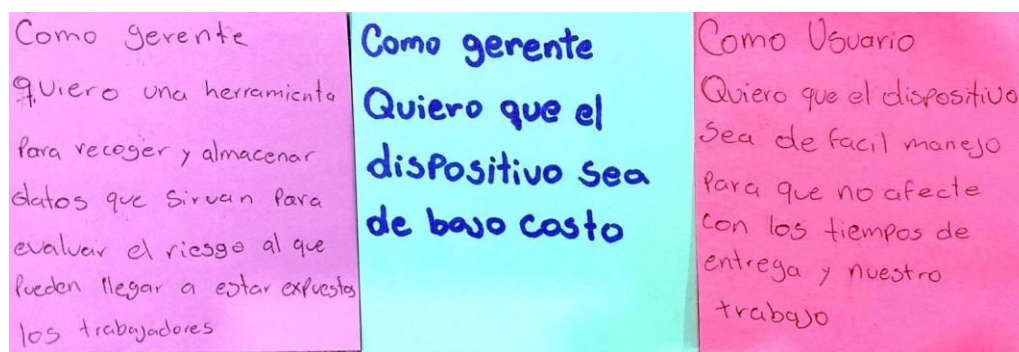


Figura 82.

Historias de usuarios.

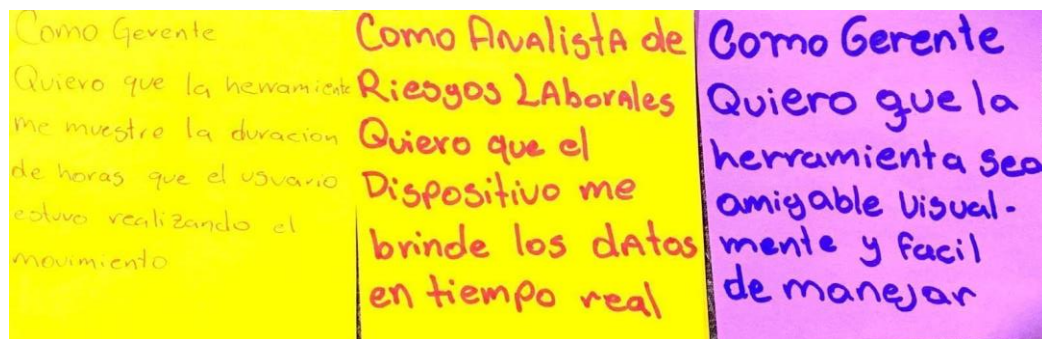


Figura 83.

Historias de usuarios

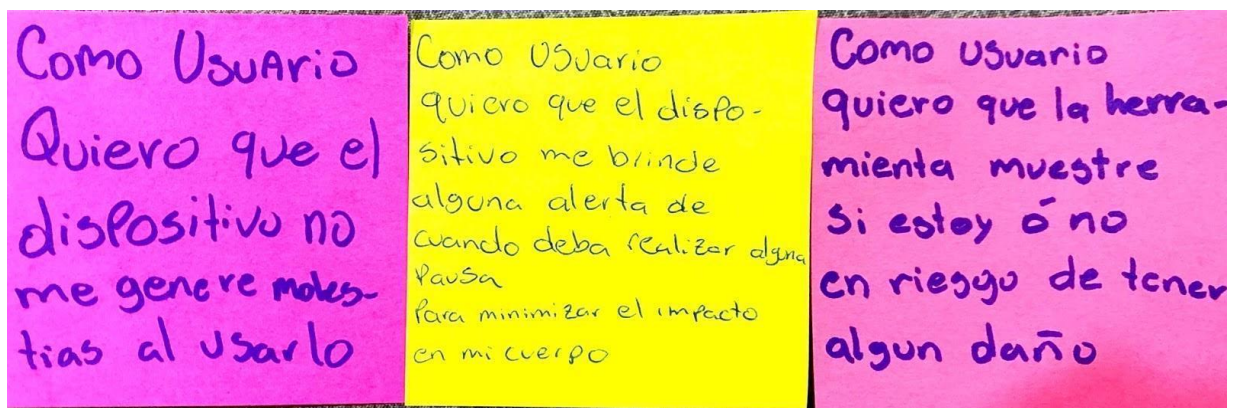


Figura 84.

Historias de usuarios