

P-Arm: Diseño y Validación de un Wearable Ergonómico para Evaluar la Productividad en Ambientes Industriales

Elizabeth Morales-Urrutia¹; Roberto Moya- Jiménez², Anthony Ruíz – Quispe²

¹Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias de la Salud/ Carrera de Psicología Clínica, Ambato - Ecuador, ek.morales@uta.edu.ec

²Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Diseño y Arquitectura/ Carrera de Diseño Industrial, Ambato - Ecuador, rc.moya@uta.edu.ec

Resumen

El “Desarrollo de un dispositivo wearable para la monitorización de la productividad en el trabajo dentro de la empresa Instruequipos S.A. en la ciudad de Ambato”. Surge por la monitorización empírica de la productividad en el ámbito empresarial lo cual puede generar errores, por otro lado esta la importancia de la productividad y el estrés laboral en el sector industrial. El objetivo principal fue diseñar un dispositivo wearable ergonómico capaz de recolectar datos relevantes para evaluar la productividad. Se empleó la metodología Doble Diamante del British Design Council, integrada con criterios de Diseño Emocional de Donald Norman. La investigación se desarrolla con un enfoque mixto e incluyó encuestas al personal de la empresa, revelando que ambos grupos (administrativo y producción) experimentan estrés laboral, con manifestaciones distintas (mental versus físico). El personal administrativo mostró mayor conocimiento y aceptación de los wearables, mientras que los obreros, con menor conocimiento, reconocieron su potencial. Los desafíos identificados incluyen posibles distracciones y privacidad de datos. El resultado del estudio es el dispositivo wearable P-Arm, diseñado como una manga para el brazo, que integra sensores y componentes electrónicos disponibles en Ecuador para obtener datos precisos. Se ha utilizado materiales como Nylon y TPU270. El P-Arm tiene un potencial significativo para mejorar la eficiencia y productividad en entornos empresariales con líneas de producción.

Palabras clave: wearable, productividad laboral, estrés, diseño emocional, industria 4.0

Abstract

The “Development of a wearable device for monitoring workplace productivity within a company in the city of Ambato” arises from the empirical monitoring of productivity in business environments, which can lead to errors. Additionally, it addresses the importance of productivity and work-related stress in the industrial sector. The main objective was to design an ergonomic wearable device capable of collecting relevant data to assess productivity. The Double Diamond methodology from the British Design Council was applied, integrated with Donald Norman’s Emotional Design principles. The research adopted a mixed-methods approach and included surveys of company staff, revealing that both administrative and production groups experience work-related stress, although in different forms (mental versus physical). Administrative personnel showed greater familiarity with and acceptance of wearables, while production workers, despite having less knowledge, acknowledged their potential. Identified challenges included possible distractions and data privacy concerns.

The outcome of the study is the P-Arm wearable device, designed as an arm sleeve that integrates sensors and electronic components available in Ecuador to collect accurate data. Materials such as Nylon and TPU270 were used. The P-Arm shows significant potential to enhance efficiency and productivity in business environments with production lines.

Keywords: *wearable, work productivity, stress, emotional design, industry 4.0*

Introducción

La evolución de los procesos industriales se ha visto influida significativamente por la integración de tecnologías portátiles, que han mejorado la eficiencia y la productividad al tiempo que garantizan la seguridad y la salud en el lugar de trabajo. Los dispositivos portátiles, equipados con sensores, son fundamentales en la transición hacia la industria 4.0 y la emergente industria 5.0 que está centrada en los operadores humanos y en la integración de tecnologías avanzadas para mejorar los procesos industriales por medio de la digitalización, supervisión y mejora de los procesos en tiempo real (Anes et al., 2023)

La tecnología facilita el acceso a los datos de forma inmediata, agiliza los flujos de trabajo y facilitan el mantenimiento predictivo, optimizando las operaciones industriales.

Los dispositivos portátiles equipados con sensores favorecen la formación, mejoran el conocimiento de las diversas situaciones y facilitan la toma de decisiones basada en datos, lo que reduce el tiempo de inactividad y optimiza las operaciones (Mishra et al., 2023).

De igual manera se ha demostrado que las tecnologías portátiles mejoran la productividad de los trabajadores al proporcionar acceso a los datos, reducir los errores y agilizar los flujos de trabajo (Shukla et al., 2024) .

En entornos industriales, los dispositivos portátiles, como los exoesqueletos y las gafas de realidad aumentada, ayudan a los trabajadores a realizar tareas físicamente exigentes, promueven una adecuada postura ergonómica y reducen el riesgo de lesiones (Hilmi et al., 2024).

El uso de dispositivos portátiles para la seguridad en el lugar de trabajo incluye aplicaciones para la identificación de peligros, la gestión de la fatiga y la monitorización medioambiental, lo que contribuye a la productividad general y al cumplimiento de las normas de seguridad. (Patel et al., 2022)

Ante lo expuesto en un mundo industrial en constante evolución, la eficiencia en los procesos industriales y la productividad se han convertido en aspectos cruciales para el éxito del sector productivo es por ello que la tecnología wearable ha surgido como una herramienta prometedora para impulsar la eficiencia laboral y la monitorización de la productividad.

La tecnología wearable ha diversificado su presencia en la vida diaria, aplicándose a diversos accesorios y prendas de vestir, recolectando y transmitiendo una variedad de datos para mejorar la calidad de vida del usuario. Es posible integrar esta tecnología en nuevas áreas de trabajo, como la monitorización de trabajadores y la optimización de procesos dentro de una empresa industrial, beneficiando así al sector productivo empresarial industrial de Ambato.

La ciudad de Ambato es considerada como un centro económico en crecimiento que enfrenta demandas empresariales, y en este entorno evolutivo es importante mantener y fortalecer el sector industrial posicionándolo en el mercado, por medio de la mejora continua y la optimización de la productividad de sus empleados.

Este estudio se enfoca en el desarrollo de un dispositivo wearable para la monitorización de la productividad laboral en Instruequipos S.A. en Ambato que surge como respuesta a la necesidad de gestionar eficazmente la productividad laboral en un entorno empresarial industrial. El desarrollo de un dispositivo wearable diseñado para el monitoreo se presenta como una alternativa innovadora y estratégica para mejorar la eficiencia, promover la colaboración y asegurar un entorno de trabajo más saludable y productivo.

La metodología utilizada para el desarrollo de este estudio es el Doble Diamante, propuesto por el British Design Council en 2005. Esta metodología proporciona un marco sólido para abordar el proyecto a través de las etapas de Descubrir, Definir, Desarrollar y Entregar, permitiendo un enfoque integral basado en una profunda atención a las necesidades de los posibles usuarios. Para complementar esta metodología, se incorporan criterios del Diseño Emocional de Donald Norman, buscando un enfoque equilibrado orientado a satisfacer las necesidades y expectativas de los usuarios. El desarrollo del dispositivo combina esta metodología con el Diseño Emocional. El estudio también recopiló información sobre conceptos esenciales como el Internet de las Cosas (IoT) y su orientación al ámbito industrial, conocido como Industrial Internet of Things (IIoT), así como temas relacionados con la productividad y el estrés laboral, considerados factores fundamentales para lograr un gran impacto en el medio industrial donde se aplicará el dispositivo. Se seleccionaron componentes electrónicos como sensores, módulos controladores, botones y batería, basándose en sus características y disponibilidad en el mercado ecuatoriano.

La importancia de esta investigación radica en su potencial transformador en la forma en que las empresas trabajan y gestionan a sus empleados. Al abordar temas de eficiencia, bienestar y tecnología, se busca contribuir a un entorno laboral más saludable, productivo y adaptable a los desafíos actuales y futuros. El objetivo general del estudio es diseñar un dispositivo wearable para la monitorización de la productividad en el trabajo dentro de la empresa Instruequipos S.A. Los objetivos específicos incluyen identificar las necesidades particulares de la empresa respecto a la monitorización de la productividad, analizar las tipologías de dispositivos wearables existentes y su aceptación en el mercado, y diseñar un dispositivo ergonómico capaz de recolectar datos relevantes para evaluar la productividad de los empleados en la empresa.

Si bien las tecnologías portátiles ofrecen beneficios significativos a la hora de mejorar los procesos industriales, también presentan desafíos que deben abordarse con la finalidad de mejorar significativamente en la seguridad operativa, la confiabilidad y la productividad.

Metodología

Para el desarrollo del dispositivo, se emplea una metodología de investigación de carácter experimental mixto, combinando enfoques cualitativos y cuantitativos. El enfoque cuantitativo se caracteriza por la recolección y análisis de datos para abordar las preguntas de investigación, basándose en la medición numérica y el uso de herramientas estadísticas, lo cual posibilita la obtención de resultados medibles y objetivos. El enfoque cualitativo se utilizó inicialmente para descubrir y refinar las preguntas de investigación, empleando métodos de recolección de datos sin medición numérica, como descripciones y observaciones, con el objetivo de construir lo observado en un entorno social definido.

La pregunta científica o idea a defender que guió la investigación fue: ¿Cómo el desarrollo de un dispositivo wearable puede ayudar a la monitorización de la productividad en el trabajo dentro de la empresa Instruequipos S.A.?.

La población definida para el estudio fueron los empleados de la empresa. Para determinar la muestra representativa, se utilizó un muestreo no probabilístico intencional para los empleados, seleccionando factores como la experiencia, la especialización y los años de trabajo en la empresa. Adicionalmente, se empleó un muestreo por conveniencia para seleccionar a expertos en diseño de dispositivos wearables con el fin de establecer las características principales del dispositivo.

La recolección de información se llevó a cabo mediante encuestas dirigidas al personal de la planta de producción, dividido en grupos administrativo y de producción (obreros), con el objetivo de obtener una perspectiva detallada de sus preocupaciones y necesidades respecto al estrés laboral y la productividad. También se realizaron entrevistas individuales para recopilar información específica tanto de empleados como de expertos.

Las variables consideradas en la investigación fueron la variable dependiente, el Dispositivo Wearable para la monitorización de la productividad en el trabajo, y la variable independiente, la Productividad Laboral. La variable dependiente se relacionó con las características necesarias del dispositivo para adaptarse al entorno laboral y detectar su inmersión, incluyendo ítems como si han usado wearables, qué tipo, si creen que ayudan a la salud o mejoran la eficiencia laboral, preocupaciones y características adicionales deseadas. La variable independiente se relacionó con la detección de factores ligados a la productividad, el conocimiento del estrés y el estrés laboral, y la sección de datos por cargos. Incluyó ítems sobre sentir estrés laboral, su nivel, aspectos estresantes, experimentar dolores de cabeza, fatiga, insomnio, ansiedad y dolores físicos, especificando la ubicación del dolor físico.

Mientras que la metodología para el desarrollo del prototipo fue el Doble Diamante, propuesto por el British Design Council en 2005. Esta metodología ofrece un marco sólido a través de las etapas de Descubrir, Definir, Desarrollar y Entregar, permitiendo un enfoque integral basado en la atención a las necesidades de los posibles usuarios.

Se considera a la metodología Double Diamond como un proceso de diseño estructurado que enfatiza el pensamiento divergente y convergente, lo que facilita la resolución efectiva de problemas en varios contextos. Cada fase desempeña un papel crucial a la hora de guiar a los diseñadores a superar las complejidades de los desafíos de diseño, por lo que es aplicable a múltiples disciplinas a continuación se detalla el funcionamiento de la metodología de acuerdo a lo descrito por Saad et al., (2020).

Fase de Descubrir (Discover)

En esta fase del proyecto se realizó un análisis exhaustivo de referentes tecnológicos y teóricos para sustentar el desarrollo de un wearable orientado al bienestar laboral. Se analizaron diez dispositivos enfocados a solucionar casos de monitoreo físico, prevención de fatiga, conectividad y mejora del rendimiento, permitiendo que se identifique las funciones técnicas para el diseño. Además, se definieron conceptos fundamentales del diseño industrial, emocional y de experiencia de usuario, así como los aspectos legales y materiales que garantizan funcionalidad y viabilidad en el contexto ecuatoriano. También se abordaron los factores psicológicos como el estrés laboral, destacando el rol de los wearables en su detección no intrusiva mediante sensores biométricos.

Fase Definir

La fase de “Definir”, comprende a fondo el contexto en el que se desarrolla el proyecto de diseño, asegurando que las decisiones futuras respondan a las verdaderas necesidades del entorno. El análisis se centró en Instruequipos S.A. con especial énfasis en sus empleados de planta en Ambato, identificando su perfil, motivaciones, aspiraciones personales y laborales, con el fin de generar soluciones que les aporten valor real.

Como parte del análisis externo se trabajó con factores (PEST), en el contexto ecuatoriano. La Empresa Industrial, al contar con maquinaria especializada y capacidad de producción a gran escala, se encuentra bien posicionada para innovar. Además, se detectaron tendencias de consumo favorables como el interés por diseños minimalistas y la creciente preocupación por la salud laboral, lo que abre posibilidades para el desarrollo de dispositivos wearables. En el estudio del mercado también se detectó que hay poca presencia de wearables industriales, lo que representa una oportunidad clara de diferenciación.

Por otro lado, el análisis interno mediante la matriz FODA permitió identificar importantes fortalezas como su infraestructura tecnológica, la calidad de fabricación y la capacidad de adaptación al mercado. También se evidenciaron debilidades, entre ellas una baja presencia digital y la dependencia de ciertos proveedores. Sin embargo, existen oportunidades prometedoras para ampliar la oferta de productos y explorar alianzas con diseñadores locales. Las amenazas externas, como la competencia extranjera y la inestabilidad económica, también fueron consideradas. Este panorama completo sienta las bases para diseñar soluciones coherentes y

efectivas en las siguientes etapas del proyecto, siempre alineadas con las necesidades reales del entorno y de los usuarios.

Fase Desarrollo

Durante la fase de “Desarrollar”, se trabajó en transformar la información obtenida en las etapas previas en propuestas concretas de diseño. El punto de partida fue la realización de encuestas detalladas dirigidas a los empleados de la planta de la empresa industrial, tanto administrativos como operativos, con el objetivo de conocer sus niveles de estrés, síntomas físicos y psicológicos, así como su percepción sobre el uso de dispositivos wearables. Los resultados revelaron una alta incidencia de estrés laboral, especialmente asociado al ritmo de trabajo y tiempos de entrega, así como molestias físicas recurrentes en cuello, espalda y hombros. Si bien el conocimiento sobre wearables variaba entre los grupos, ambos reconocieron su utilidad potencial para mejorar la salud y el bienestar en el trabajo.

Con base en estos hallazgos, se elaboraron propuestas iniciales y bocetos del dispositivo P-Arm, tomando en cuenta tanto las necesidades expresadas por los empleados como aspectos técnicos clave. Se llevó a cabo un estudio anatómico del brazo y se diseñaron diversas versiones considerando muñeca, antebrazo y brazo completo, buscando siempre minimizar el impacto visual y físico del dispositivo en el usuario. La fase también incluyó la exploración gráfica inspirada en los referentes tecnológicos previos, garantizando que las ideas no solo fueran funcionales, sino también viables y empáticas con el entorno laboral real.

Para el diseño técnico, se dio prioridad al uso de componentes electrónicos accesibles en el mercado nacional, como el módulo ESP32, sensores biométricos y sistemas de carga eficientes. Además, se seleccionaron materiales textiles como el Nylon y el TPU, conocidos por su resistencia, elasticidad y transpirabilidad, fundamentales para garantizar la comodidad del usuario y la durabilidad del dispositivo. En conjunto, esta fase permitió no solo visualizar posibles soluciones, sino también sentar las bases técnicas y humanas para el desarrollo de un wearable funcional, ergonómico y alineado con las verdaderas necesidades del entorno laboral de Instruequipos.

Fase de Entregar

Esta fase del estudio, se centra en la materialización y la validación del prototipo final del dispositivo denominado P-Arm, un wearable diseñado para colocarse en el brazo y responder a las necesidades identificadas previamente. El diseño se enfocó en ser ergonómico, discreto y funcional, integrando sensores biométricos y componentes electrónicos para monitorear parámetros de salud relevantes para ambientes laborales. Se elaboró un brief considerando factores como la portabilidad, la usabilidad, el mensaje del producto y sus beneficios esperados, y se definió la ingeniería básica incluyendo el circuito, sensores y manga textil ajustable, hechos con materiales resistentes y transpirables como Nylon y TPU.

El proceso incluyó un estudio anatómico del brazo, exploración gráfica para definir la estructura óptima, selección de componentes electrónicos disponibles en el mercado ecuatoriano, modelado digital y elaboración de planos técnicos. Finalmente, se fabricó el prototipo integrando todos los elementos en una manga con diseño ergonómico y funcional. La evaluación del producto, mediante una matriz, demostró una alta aceptación por parte del usuario, validando la idoneidad del diseño. Las conclusiones destacaron su aplicabilidad en entornos productivos y recomendaron la optimización del diseño unificando los componentes electrónicos en una sola placa para mejorar su desempeño y aceptación.

Se reconoce que los wearables podrían ayudar a monitorizar su salud. La necesidad de recordatorios inteligentes para pausas activas y el control del estrés en su entorno operativo fue destacada. Su percepción sobre la mejora de la eficiencia laboral con wearables fue moderada, pero la mayoría consideraría que se debería promover su uso en el trabajo.

Se complementó con criterios del Diseño Emocional de Donald Norman para lograr un enfoque equilibrado orientado a satisfacer las necesidades y expectativas de los usuarios.

El diseño emocional es un enfoque que está centrado en el usuario que hace hincapié en las experiencias y necesidades emocionales de los usuarios en el diseño de productos, mejorando su experiencia y satisfacción en general.

En este proyecto, el **Diseño Emocional** se incorporó como un complemento clave a la metodología del Doble Diamante, con el objetivo de crear un wearable que no solo cumpliera su función técnica, sino que también generara una conexión emocional real con quienes lo utilizan. La intención fue que los empleados de Instruequipos en Ambato se sintieran identificados con el dispositivo, lo valoraran y lo integraran de manera natural a su entorno laboral, no solo por lo que hace, sino también por cómo se siente y lo que representa para ellos.

Se construyó a partir de tres niveles emocionales. Primero, el **diseño visceral** se centra en la apariencia, entendiendo que la estética puede ser decisiva para su aceptación inicial. Luego, el **diseño conductual** se aseguró que el wearable fuera práctico, fácil de usar y que ofreciera una experiencia satisfactoria en el día a día, alineándose con las necesidades reales de los usuarios. Finalmente, el **diseño reflexivo** buscó dejar huella, provocando emociones, recuerdos y una sensación de orgullo y pertenencia, logrando que el dispositivo no solo fuera útil, sino también significativo.

En resumen, la aplicación del Diseño Emocional permitió desarrollar una propuesta tecnológica centrada en las personas, pensada no solo para mejorar la productividad, sino también para fortalecer el bienestar, la motivación y el vínculo entre el trabajador y su entorno. El wearable diseñado aspira a ser más que una herramienta: un aliado diario con valor práctico y emocional.

Resultados

En esta sección se expone los resultados obtenidos durante el proceso de validación del dispositivo *P-Arm* y la aplicación de encuestas dirigidas al personal administrativo y operativo de la empresa Industrial. Estos resultados representan una fase clave dentro del desarrollo del proyecto, ya que permitieron evaluar de manera objetiva la funcionalidad, ergonomía y aceptación del prototipo, así como profundizar en la percepción, necesidades y preocupaciones reales de los potenciales usuarios.

La validación del dispositivo *P-Arm* se llevó a cabo mediante una matriz de evaluación que consideró tres dimensiones clave: **usabilidad, ergonomía y estética**. En cuanto a la usabilidad, se verificó que el dispositivo ofreciera retroalimentación clara y en caso de error, no representara riesgos como inflamabilidad, y contara con mecanismos de monitoreo y seguridad apropiados. Los resultados indicaron una buena aceptación por parte de los usuarios. En el aspecto ergonómico, se valoró su tamaño, peso, adaptabilidad al brazo, transpirabilidad de los materiales y facilidad de mantenimiento. Se concluyó que los materiales seleccionados y las dimensiones eran adecuadas para el entorno laboral. En términos estéticos, se evaluaron cualidades como textura, color, simetría, modernidad y apariencia general, lo cual ayudó a proyectar una imagen profesional y amigable del producto. La validación también incluyó planos técnicos y un modelado digital del dispositivo, que integra discretamente los componentes electrónicos en una manga de nylon, garantizando confort y funcionalidad sin distracción visual.

A continuación, se presenta una figura síntesis que ilustra el proceso de desarrollo del dispositivo wearable *P-Arm*, integrando la metodología aplicada, el diseño conceptual del dispositivo y la síntesis de resultados obtenidos durante la validación con los perfiles de usuarios.

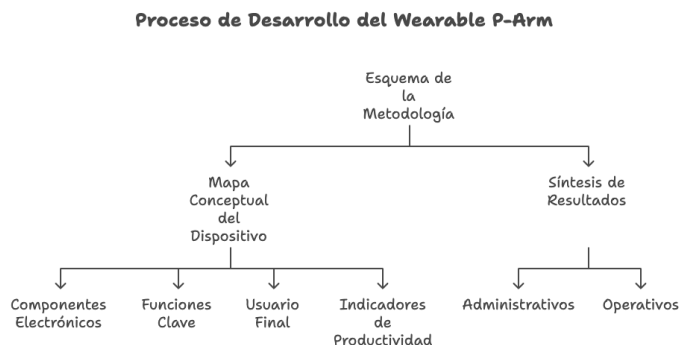


Figura 1. Proceso de desarrollo del wearable *P-Arm*

Se aplicaron encuestas a dos grupos clave de la empresa Industrial: el personal administrativo y los obreros de planta. En el grupo administrativo (4 personas), todos reportaron niveles de estrés

entre moderado y medio-alto, con síntomas como dolores de cabeza, fatiga e insomnio. El estrés estaba relacionado principalmente con la presión por el ritmo de trabajo. Aunque solo el 50% había usado un wearable, todos reconocieron su potencial para monitorear la salud y mejorar la eficiencia. Se valoró funciones como recordatorios de pausas y alertas de fatiga, pero expresaron preocupaciones por posibles distracciones y la privacidad de los datos.

Por otro lado, el grupo de producción (6 personas) también manifestó altos niveles de estrés, aunque con menor ansiedad y menos insomnio. Presentaron síntomas físicos similares, sobre todo en la espalda y el cuello. A pesar de que no tenía experiencia previa con materiales wearables, tuvieron la apertura para usarlos tras entender sus beneficios para el monitoreo de salud y la mejora del entorno laboral. En ambos grupos se identificaron necesidades comunes: funciones de alerta para pausas activas, ergonomía, y seguridad mediante botones de emergencia. Estos hallazgos fueron esenciales para ajustar el diseño del dispositivo a las expectativas reales de quienes lo utilizarán.

Discusión

El estudio se enfoca en el "Desarrollo de un dispositivo wearable para la monitorización de la productividad en el trabajo dentro de la empresa Instruequipos S.A.". Los resultados obtenidos de la validación del equipo y de las encuestas realizadas a los empleados pueden compararse con diversas investigaciones y referentes existentes en el campo de los wearables, tanto en el ámbito industrial como en el de la salud.

Es importante destacar que para el desarrollo de dispositivos wearables orientados al entorno laboral, se han estudiado casos clave que ofrecen lecciones valiosas sobre cómo combinar funcionalidad, salud y bienestar. DeliverySource (Duarte et al., 2022), por ejemplo, va más allá de registrar datos: analiza la postura de repartidores en bicicleta para prevenir lesiones musculoesqueléticas, subrayando la necesidad de diseños adaptados al movimiento y al esfuerzo físico. HB-Hand (Caro, 2022), en cambio, pone en el centro la comunicación inclusiva, permitiendo a personas sordociegas interactuar sin comprometer su movilidad, lo que evidencia la importancia de un diseño cómodo y no invasivo para la vida diaria. Asimismo, Spot-r demuestra cómo la combinación de wearables con inteligencia artificial puede transformar datos en decisiones empresariales estratégicas, mejorando tanto la seguridad como la productividad.

Otros referentes refuerzan el enfoque en la salud preventiva y el diseño centrado en el usuario. El X-Pack, desarrollado por StrongArm Technologies (2023), y el SmartCap, de SmartCap Technologies (2023), son ejemplos notables de cómo la tecnología puede cuidar a las personas antes de que ocurra un accidente. El X-Pack brinda protección en tiempo real a quienes trabajan en entornos industriales, mientras que el SmartCap ayuda a anticipar signos de fatiga, reduciendo así riesgos laborales. Por otro lado, dispositivos como el Oura Ring (Altini & Kinnunen, 2021) y

el Zephyr BioHarness (Nazari et al., 2018) ofrecen una visión más completa del bienestar, al monitorear aspectos como el sueño, el estrés y otros indicadores clave de la salud, lo que muestra que un wearable efectivo debe considerar tanto el bienestar físico como el emocional. Estos dispositivos enseñan que la prevención y la personalización son claves para un mayor impacto en entornos laborales exigentes.

Finalmente, tecnologías como el Spire Health Tag (Fan et al., 2020) y el KardiaMobile 6L (Chellarapu & Cavanaugh, 2023) muestran lo valioso que puede ser contar con información precisa sobre nuestro cuerpo. Estos dispositivos destacan por su capacidad para recolectar datos fisiológicos con gran exactitud, lo que permite un mejor seguimiento de la salud y una respuesta más oportuna ante posibles problemas. Estos wearables no solo son versátiles y cómodos, sino que también inspiran confianza al ofrecer mediciones exactas y en tiempo real. Estos estudios muestran que un buen diseño wearable debe ser confiable, ergonómico y centrado en las verdaderas necesidades del usuario, convirtiéndose en una herramienta de apoyo diario que promueve el bienestar y mejora el rendimiento en el trabajo.

El análisis de estos dispositivos wearables nos brinda una comprensión profunda de las capacidades tecnológicas alcanzables en este campo. Demuestran que la tecnología actual permite la monitorización precisa de un amplio rango de parámetros fisiológicos (frecuencia cardíaca, sueño, actividad, fatiga, estrés, postura, respiración) y de comportamiento en tiempo real.

Estos referentes, tanto de investigación como comerciales, revelan que un dispositivo como el P-Arm debe considerar varios factores críticos:

- **Ergonomía y confort:** son aspectos fundamentales para que un dispositivo realmente sea bien recibido por los trabajadores. Cuando es fácil de usar, no resulta invasivo y se siente cómodo al llevarlo puesto, es mucho más probable que los empleados lo acepten y lo utilicen de forma constante en su rutina diaria.
- **Relevancia de los Datos:** Los dispositivos deben centrarse en recolectar información útil para el objetivo específico del proyecto, en este caso, la productividad laboral y el bienestar del empleado. Esto incluye no solo la actividad física, sino también biomarcadores de estrés y fatiga.
- **Integración y Análisis:** La mera recolección de datos no es suficiente; la información debe fluir hacia plataformas de análisis que permitan tomar decisiones informadas y optimizar procesos.
- **Seguridad y prevención** son dos de los mayores aportes de los wearables en el entorno laboral. Diversos estudios resaltan cómo estos dispositivos ayudan a reducir riesgos en el trabajo y a identificar a tiempo posibles problemas de salud, lo que se traduce en un impacto directo en el bienestar de los empleados y en un ambiente laboral más seguro.
- **Desafíos y Oportunidades en el contexto Local:** Si bien la tecnología globalmente avanzada ofrece muchas posibilidades, es crucial considerar la disponibilidad de

componentes y los costos en el mercado ecuatoriano. La limitada exploración de dispositivos para la industria en Ecuador, y la dependencia de soluciones extranjeras, representa una oportunidad significativa para desarrollar soluciones locales y adaptadas a las necesidades específicas del entorno empresarial nacional

Conclusiones

El presente estudio ha permitido identificar y analizar las necesidades específicas de monitorización de la productividad y bienestar laboral en Instruequipos S.A. en Ambato, así como evaluar la viabilidad y aceptación de un dispositivo wearable para tal fin. Los hallazgos revelan una diferenciación en la experiencia y percepciones entre el personal administrativo y el de producción:

- El personal administrativo experimenta niveles altos de estrés, que se reflejan en señales claras como el cansancio constante, la ansiedad a lo largo de la jornada y molestias físicas, especialmente en el cuello y los hombros. Estos síntomas evidencian cómo la presión diaria puede afectar tanto el bienestar emocional como el físico. Este desgaste mental se atribuye a sus responsabilidades de dirección y control sobre el personal de producción. En contraste, el personal de producción (obreros) también experimenta estrés laboral, pero su impacto se inclina más hacia el desgaste físico, lo cual puede repercutir significativamente en su vida cotidiana debido a las demandas físicas de sus tareas.
- Existe una marcada diferencia en el conocimiento sobre la tecnología wearable entre ambos grupos. El personal administrativo demuestra un mayor conocimiento de los dispositivos, sus funcionalidades y los beneficios potenciales de su integración en el entorno laboral. Por otro lado, aunque el personal de producción tiene un menor grado de familiaridad con los beneficios de los wearables, reconoce su importancia y la contribución que podrían aportar a la optimización de sus procesos operativos, a la vez que identifican la ausencia de este tipo de herramientas en su entorno actual.
- El análisis de diversas tipologías de dispositivos wearables existentes en el mercado subraya la necesidad de un diseño ergonómico que asegure comodidad y adaptabilidad al cuerpo humano. La investigación resalta que un dispositivo de monitorización no solo debe centrarse en la recolección de datos, sino también en la capacidad de generar información relevante y precisa para la mejora efectiva de la productividad laboral. La selección cuidadosa de los componentes electrónicos, la incorporación de sensores de alta precisión para medir parámetros fisiológicos (como la actividad cardíaca y el nivel de oxígeno en sangre) y un diseño que minimice las distracciones son aspectos cruciales para la usabilidad y aceptación del dispositivo.

Agradecimientos

Agradecemos a la empresa Instruequipos S.A. por su apertura y colaboración en el desarrollo de esta investigación, así como a los empleados administrativos y operativos que participaron activamente en las encuestas y validación del prototipo. Este estudio se realizó con el apoyo institucional de la Universidad Técnica de Ambato.

Bibliografía

- Altini, M., & Kinnunen, H. (2021). The promise of sleep: A multi-sensor approach for accurate sleep stage detection using the oura ring. *Sensors*, 21(13). <https://doi.org/10.3390/s21134302>
- Anes, H., Pinto, T., Lima, C., Nogueira, P., & Reis, A. (2023). Wearable Devices in Industry 4.0: A Systematic Literature Review. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 741 LNNS. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38318-2_33
- Caro Pachón, J. C. (2022). *Sistema de apoyo para personas con discapacidad auditiva o audiovisual* (Tesis de Grado). Pontificia Universidad Javeriana.
- Chellarapu, S. A., & Cavanaugh, C. (2023). Top Portable ECGs in the Status Quo. *Journal of Student Research*, 11(1). <https://doi.org/10.47611/jsrhs.v11i1.2494>
- Duarte, P. A., Lizarralde, J. S. & Echavarría, V. (2022). *Diseño de un accesorio para los repartidores en bicicleta mitigando factores de riesgo biomecánico, caso de estudio*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/61196>
- Fan, K. G., Mandel, J., Agnihotri, P., & Tai-Seale, M. (2020). Remote patient monitoring technologies for predicting chronic obstructive pulmonary disease exacerbations: Review and comparison. In *JMIR mHealth and uHealth* (Vol. 8, Issue 5). <https://doi.org/10.2196/16147>
- Hilmi, A. H., Hamid, A. R. A., & Ibrahim, W. A. R. A. W. (2024). Smart Wearables in Ergonomic Applications: Recent Advances and Challenges in Human-Machine Integration. *Malaysian Journal of Ergonomics (MJEr)*, 6, 24-38.
- Mishra, A., Shah, J. K., Sharma, R., Sharma, M., Joshi, S., & Kaushal, D. (2023, November). Enhancing Efficiency in Industrial Environments through IoT Connected Worker Solutions: Smart Wearable Technologies for the Workplace. In *2023 International Conference on Advances in Computation, Communication and Information Technology (ICAICCIT)* (pp. 1175-1179). IEEE.



- Nazari, G., Bobos, P., MacDermid, J. C., Sinden, K. E., Richardson, J., & Tang, A. (2018). Psychometric properties of the Zephyr bioharness device: A systematic review. In *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation* (Vol. 10, Issue 1). <https://doi.org/10.1186/s13102-018-0094-4>
- Patel, V., Chesmore, A., Legner, C. M., & Pandey, S. (2022). Trends in Workplace Wearable Technologies and Connected-Worker Solutions for Next-Generation Occupational Safety, Health, and Productivity. *Advanced Intelligent Systems*, 4(1). <https://doi.org/10.1002/aisy.202100099>
- Saad, E., Elekyaby, M. S., Ali, E. O., & Hassan, S. F. A. E. (2020). Double diamond strategy saves time of the design process. *International Design Journal*, 10(3), 211-222.
- Shukla, A., Sunil, Thakur, A. D., & Raj, R. (2024). Experiment and modeling of an improvised atmospheric water harvester for arid and semi-arid conditions. *Applied Thermal Engineering*, 242. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.122486>
- StrongArm Technologies. (2023). *Workplace Safety Management System*. StrongArm Technologies. Recuperado de <https://www.strongarmtech.com/>
- SmartCap Technologies. (2023). Recuperado de <https://www.smartcaptech.com/life-smart-cap/>