



COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



Plataforma tecnológica para detección de alertas, a través del uso de pulseras inteligentes

Elizabeth de la Torre Romero
Marisol Barrón Bastida
Jared Piña Barcenas
Cesar Jaime Montiel Moctezuma
Bernardo Hernández Sánchez
Carlos Mario Pérez González

Publicación Técnica No. 793
Querétaro, México
2024

ISSN 0188-7297

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Transporte Integrado y Logística, del Instituto Mexicano del Transporte, por la Dra. Elizabeth de la Torre Romero, los doctores Cesar Jaime Montiel Moctezuma y Carlos Mario Pérez González; y los maestros: Marisol Barrón Bastida, Jared Piña Barcenas y Bernardo Hernández Sánchez.

Esta investigación es el producto final del proyecto de investigación interna TI- 16/23 Plataforma tecnológica para detección de alertas en tiempo real, con base en datos tomados con pulseras inteligentes.

Se agradecen las valiosas sugerencias del Dr. Gerardo Álvarez Bucio, Jefe del Departamento de Medicina Preventiva en el Transporte del Centro SCT Querétaro, así como a las Doctoras Ruth Adriana Torres Torres y Lilian Iraheta Orellana miembros del Departamento de Medicina Preventiva del Centro SCT Querétaro, por sus acertados comentarios y su orientación en el desarrollo del presente estudio, se agradece además, el apoyo del Dr. Eric Moreno Quintero y el Dr. Eduardo Klein Arenas, Investigador y médico del Instituto Mexicano del transporte respectivamente, su ayuda fue muy importante para este estudio.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores (as) y no necesariamente reflejan los puntos de vista del Instituto Mexicano del Transporte.

Tabla de Contenido

	Página
Sinopsis.....	v
Abstract.....	vii
Introducción.....	1
1. El papel del conductor de vehículos de carga en México.....	5
1.1 Salud de los conductores y su relación con la ocurrencia de accidentes.....	6
1.2 Seguimiento al operador enfocado en el cuidado de su salud.....	8
2. Análisis de datos y metodología.....	11
3. Transferencia de información.....	19
3.1 Implicaciones tecnológicas.....	19
3.2 Arquitectura alterna para transferencia de datos.....	20
3.3 Comparativa tecnológica.....	25
3.4 Diseño de pruebas.....	28
3.5 Resultados de pruebas funcionales.....	31
4. Desarrollo de la aplicación web.....	37
Conclusiones.....	41
Bibliografía.....	43
Anexo 1.....	47

Plataforma tecnológica para detección de alertas, a través del uso de pulseras inteligentes.

Sinopsis

Este estudio se basa en análisis exploratorios de tecnologías aplicables al transporte de carga. Estos análisis se desarrollan desde la perspectiva del cuidado del conductor del vehículo. De acuerdo con los resultados del análisis exploratorio previo, se identificaron a las “SmartBands” como una alternativa para monitorear la salud del operador de transporte de carga. Según los resultados, estos dispositivos pueden proporcionar información que permita identificar síntomas de alerta para la prevención de enfermedades crónicas.

El Capítulo 1 presenta los antecedentes del proyecto. Estos antecedentes se desarrollan desde la perspectiva de la importancia del cuidado de la salud en los conductores de vehículos de carga.

En el Capítulo 2 se presenta el análisis de los datos obtenidos a través de voluntarios. Además, se determinan los parámetros utilizados por los individuos.

El Capítulo 3 explica los procedimientos y pruebas para la transferencia de datos. Para este fin se consideran dos medios de comunicación entre la “smartband” y el servidor: i) el uso de un teléfono celular que utilice sistema Android y, ii) un dispositivo Raspberry.

El Capítulo 4 presenta las mejoras tanto en el procesamiento de consultas como en la generación de gráficos para la plataforma desarrollada anteriormente.

Plataforma tecnológica para detección de alertas, a través del uso de pulseras inteligentes.

Abstract

This study is based on exploratory analyses of technologies applicable to cargo transportation. These analyses are developed from the perspective of the care of the vehicle driver. According to the results of the previous exploratory analysis, "Smart bands" were identified as an alternative to monitor the health of the freight transport operator. According to the results, these devices can provide information that allows identifying warning symptoms for the prevention of chronic diseases.

Chapter 1 presents the background of the project. These antecedents are developed from the perspective of the importance of health care in freight vehicle drivers.

In Chapter 2, the analysis of data obtained through volunteers is presented. In addition, the parameters used by individuals are determined.

El Capítulo 3 explica los procedimientos y pruebas para la transferencia de datos. Para ello se consideran dos medios de comunicación entre la smartband y el servidor: i) el uso de un teléfono celular que utilice sistema Android y, ii) un dispositivo Raspberry.

Chapter 4 presents the improvements in both query processing and graph generation for the platform developed previously.

Plataforma tecnológica para detección de alertas, a través del uso de pulseras inteligentes.

Introducción

El transporte de carga en México es de vital importancia para el país, pues contribuye al crecimiento económico, estimula la actividad productiva y con ello la generación de empleos.

En materia de comercio internacional, gran parte de los productos que se fabrican en el país tienen como destino el mercado internacional, generando ingresos al país y atrayendo inversión extranjera; en este rubro, contar con transporte eficiente y confiable es esencial para la economía y el bienestar de la población.

Entre los diversos modos de transporte, el carretero destaca debido a su extensa red vial, su conexión con otros modos, su flexibilidad y accesibilidad. México es un país extenso, con una población dispersa y gran diversidad geográfica, donde el transporte de carga por carreteras es esencial para llevar bienes e insumos, abasteciendo así los mercados regionales y manteniendo un flujo constante de productos esenciales para la población.

Queda claro que el transporte de mercancía es una actividad fundamental para el desarrollo económico y social de México. Sin embargo, esta actividad depende en gran medida de la labor de los conductores, quienes son los responsables de trasladar los bienes desde su origen hasta su destino final. Los conductores son un factor clave para garantizar la eficiencia, la seguridad y la calidad del servicio de transporte de mercancía.

Desafortunadamente, a pesar de su valiosa contribución, las condiciones del trabajo de los operadores de vehículos de carga son de las más difíciles en el mercado laboral, ya que se enfrentan continuamente a la inseguridad vial, el riesgo a ser asaltados en la carretera y presentan una alta incidencia de enfermedades crónicas que los conduce a una incapacidad o incluso la muerte.

Esta problemática ha generado un déficit de conductores de camiones de carga. Berrones (2020) señala que, tan solo en los años de 2008 al 2013 ya existía una escasez de más de 80,000 conductores; esto a pesar de que este grupo de trabajo tiene ingresos relativamente mayores al promedio de los trabajadores, en un contexto nacional donde hay carencia de oportunidades laborales.

Un factor de peso en el actual déficit de conductores es la alta incidencia de enfermedades crónicas, ya que a menudo deben manejar durante largas jornadas, y por la naturaleza de su trabajo, les es difícil mantener una alimentación adecuada, así como seguir una rutina de actividad física necesaria para cuidar su salud. De acuerdo con la Fundación MAPFRE (2023) “La falta de actividad física favorece el desarrollo de la mayoría de los factores de riesgo cardiovascular que causan la arteriosclerosis (obesidad, diabetes, hipertensión arterial)”.

Como resultado de estas condiciones, es frecuente que los conductores desarrollen enfermedades, gran parte de ellas relacionadas con problemas cardíacos. Debido a su demandante trabajo, rara vez llevan chequeos frecuentes de su estado de salud, ocasionando que estas enfermedades no sean detectadas a tiempo, dando como resultado que sean declarados no aptos para seguir conduciendo o incluso que mueran de manera repentina, desencadenando lamentables sucesos como los descritos en las siguientes notas periodísticas:

- 27 de marzo de 2023
“Chofer de camión con ladrillos muere de infarto frente al Teatro Principal”
(Gutiérrez, 2023)
- 21 de mayo de 2023
“Operador de tráiler pierde la vida por infarto en carretera de Ciudad Victoria”.
(Sosa, 2023)

Con la finalidad de coadyuvar al cuidado de la salud de los conductores del autotransporte de carga se propone llevar a cabo el presente proyecto, el cual, sigue la línea de trabajo del estudio **TI-09/22 “Evaluación del uso de bandas inteligentes para detección de riesgos en el transporte”**, en el que se evaluó la factibilidad de usar información recolectada de bandas inteligentes de diferentes fabricantes para dar seguimiento al estado de salud de los conductores. En esta fase se propone implementar mecanismos para lograr la transferencia de reportes estadísticos y notificaciones para alertar sobre posibles situaciones de riesgo.

El IMT, congruente con su misión de proveer soluciones al sector transporte y logístico en México a través de la investigación aplicada, propone esta investigación, la cual incide en el objetivo de detonar el crecimiento, declarado en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) como primer compromiso del apartado de Economía que dice “Apoyar en la prevención de siniestros en el autotransporte de carga, permitirá reducir pérdidas humanas, económicas y daño a la infraestructura carretera,

coadyuvando en la formación de un autotransporte de carga más seguro y competitivo”.

Plataforma tecnológica para detección de alertas, a través del uso de pulseras inteligentes.

1. El papel del conductor de vehículos de carga en México

México es el tercer país más grande de América Latina y el decimocuarto más grande del mundo en términos de superficie. Cubre aproximadamente 1.973 millones de kilómetros (Palomera, 2016) y tiene una topografía diversa. Algunas de las características geográficas más notables incluyen las altas montañas de la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre Oriental, así como las vastas planicies costeras en el este y el sur. Con su gran extensión, México cuenta con una infraestructura de transporte diversificada y extensa para el movimiento de mercancías a nivel nacional e internacional, en el cual, el transporte de carga por carretera es el modo más utilizado en México.

El uso de camiones de carga es esencial para la distribución de mercancías en todo el país. Empresas de logística y transportistas privados desempeñan un papel importante en el transporte por carretera, pero no hay que olvidar, que nada de esto sería posible sin la labor de los conductores de vehículos de carga, quienes transitan día y noche para llevar mercancías hasta los puntos más remotos del país.

Los conductores de transporte de carga en México pueden aspirar a salarios bastante competitivos en el mercado que pueden ir desde los \$10,000 hasta más de \$40,000 pesos mensuales. Sin embargo, esta última cifra corresponde al caso de choferes con experiencia que se dedican al transporte de materiales peligrosos, por ejemplo, el transporte de combustibles. Si bien el sueldo puede resultar atractivo, esta labor implica grandes desafíos, como largas jornadas de trabajo y pasar largos periodos lejos de la familia. Adicionalmente, los operadores de transporte enfrentan otros riesgos en la carretera, tales como ser víctimas de robo o verse involucrados en accidentes.

Ante la escasez de conductores, es importante implementar medidas que mejoren las condiciones laborales del personal que hoy en día circula por el territorio nacional conduciendo vehículos de carga. Además, se deben buscar los mecanismos necesarios para verificar el cumplimiento de la norma NOM-087-SCT2-2017 (DOF, 2018) e implementar estrategias enfocadas a dar seguimiento a su estado de salud que permita apoyar el

desarrollo económico del país. La finalidad de esta estrategia es mejorar las condiciones de los actuales conductores para propiciar que en el futuro más jóvenes estén dispuestos a formar parte de esta importante labor.

1.1 Salud de los conductores y su relación con la ocurrencia de accidentes

Los accidentes de tránsito son unos de los principales temas a abordar en el autotransporte. Aproximadamente 1.3 millones de personas mueren cada año debido a accidentes de tránsito (Who, 2023). En este respecto, en México con información del INEGI (2023), se tiene registrado que del año 2020 al 2022, un total de 2 579 personas perdieron la vida por causa de un accidente de tránsito, directamente relacionados con transporte carga (camioneta de carga, camión de carga, tractor con o sin remolque). Los accidentes de tránsito son solo uno de los riesgos a los que se exponen los operadores de transporte, aunado a esto, los choferes están expuestos a diferentes riesgos de salud. De acuerdo con Berrones Sanz et al. (2018), la probabilidad de desarrollar padecimientos que generan invalidez es mayor para los conductores de camiones pesados en México. El mismo autor menciona que algunos de los padecimientos son: diabetes Mellitus, enfermedades isquémicas del corazón y trastornos, tanto de la coroides como de la retina.

Con respecto a los accidentes de tránsito, Arakawa (2021) menciona que la mayoría de los accidentes son causados por cambios repentinos en las condiciones físicas de los conductores. Además, Jacob et al. (2020) y Studer et al. (2018) concuerdan en que una de las técnicas para mejorar la seguridad en la carretera se basa en la medición del desempeño del conductor mediante el análisis de las actividades que se realizan al conducir. Este desempeño se evalúa a través de la carga de trabajo al realizar la conducción mediante la medición del ritmo cardíaco. El ritmo cardíaco es un parámetro importante para estimar el estado fisiológico de una persona (Hassan et al., 2020). Sumado a lo anterior, la frecuencia cardíaca puede ser utilizada para diferentes propósitos. Lu et al. (2022) menciona que analizar la variabilidad de la frecuencia cardíaca ayuda a reflejar la actividad simpática y parasimpática. De esta forma la variabilidad en la frecuencia cardíaca puede ser un buen indicador del estado de somnolencia.

Existen algunos métodos comúnmente utilizados para la medición del ritmo cardíaco, entre ellos se destacan: electrocardiogramas, oxímetros, análisis de video y diferentes dispositivos incorporados al cuerpo del operador. De acuerdo con Hassan et al. (2020) y Wolkow et al. (2020), si bien el electrocardiograma y oxímetros de pulso son los métodos

tradicionales para la medición del ritmo cardiaco, normalmente causan molestia al paciente. Por otra parte, los métodos basados en el análisis de imágenes captadas mediante video presentan el reto de trabajar bajo condiciones y niveles de iluminación que pueden afectar la medición. De esta forma Hassan et al. (2020), concluyo que la confiabilidad de los métodos basados en el análisis de imágenes se ve afectada por la diversidad de un entorno realista y por lo tanto tienen áreas de oportunidad en la aplicación de situaciones reales. Además se debe considerar que la introducción de un sistema de monitoreo invasivo puede modificar la obtención de resultados reales (Wolkow et al., 2020). Dada esta posibilidad se requiere de estudios a largo plazo preferentemente con métodos no invasivos que permitan reducir esta posibilidad.

Con la finalidad de evaluar el monitoreo de la fatiga a través de ritmo cardiaco, Pilkington-Cheney et al. (2021) plantea dos problemas: primero, determinar el momento correcto para intervenir con la flexibilidad necesaria para adaptarse al método de transporte, y segundo, proporcionar una intervención adecuada y eficaz. Lo anterior está relacionado con calidad y veracidad de la información recolectada. A este respecto, Hassan et al. (2020) menciona que la mayoría de los datos libres y/o disponibles son recolectados en ambientes controlados que simplifican las condiciones reales. De esta forma, la adecuada recolección de información durante la operación real, su posterior limpieza y procesamiento de datos es de suma relevancia (Nelson & Allen, 2018).

Una de las formas propuestas en la literatura para resolver efectivamente la medición del ritmo cardiaco en condiciones reales, se basa en el uso de dispositivos portables. En el trabajo de Wolkow et al. (2020), los autores mencionan que los dispositivos de pulsera para la detección de somnolencia basados en el ritmo cardiaco pueden ser útiles para su uso durante la operación. Además, de acuerdo con Research-and-Markets (2023), se menciona que se espera una tasa de crecimiento compuesta anual del 19.5 % en el uso de dispositivos portables. Sin duda este crecimiento pronosticado, ayuda a considerarlo dentro de las opciones no invasivas, a considerar para el seguimiento de ritmo cardíaco.

Con este respecto, Prieto-Avalos et al. (2022) menciona que las tecnologías portátiles de monitoreo de salud están ganando presencia en el mercado, debido a las tendencias actuales. Dado el auge y uso de tecnología de monitoreo portable las dificultades y el costo del monitoreo en situaciones reales se ha reducido (Sinnapolu & Alawneh, 2018). Tomando esto como punto de partida los dispositivos portables están cambiando la forma de realizar investigación en temas de cuidado terapéutico y preventivo,

siendo los más utilizados aquellos que cuentan con sistema Android (Bayoumy et al., 2021).

1.2 Seguimiento al operador enfocado en el cuidado de su salud

Tal y como se mencionó anteriormente, una alternativa para dar seguimiento al estado de salud de los operadores y verificar el cumplimiento de la normativa vigente sobre tiempos de conducción y descansos, sería la portación de pulseras inteligentes conocidas como “Smartwatch”. La información obtenida mediante estas pulseras será objeto de análisis y seguimiento por parte de la empresa transportista. Con base en dicha información se pueden implementar protocolos de seguridad para brindar atención oportuna al operador que lo necesite.

La propuesta del actual estudio plantea una aplicación que pueda recolectar y facilitar el seguimiento y análisis de datos recolectados en pulseras de gama económica y media. La posibilidad de usar pulseras económicas con un precio a partir de los \$400 permitirá que los empresarios puedan implementar dicho sistema sin que esto represente un costo excesivo, facilitando su implementación.

Considerando que el sistema pueda emplear pulseras económicas, se decidió usar la medición de frecuencia cardíaca como variable de seguimiento y análisis. En este sentido, la frecuencia cardíaca aporta información útil desde la perspectiva de diagnóstico clínico. La medición de la frecuencia cardíaca se encuentra disponible en la mayoría de los modelos económicos, facilitando su adopción como método para la toma de muestras.

No obstante, si este sistema se adoptara como medida a nivel nacional, sería posible la fabricación de pulseras bajo pedido y adaptar la programación de los dispositivos de acuerdo con los requerimientos que la autoridad responsable establezca, pudiendo incluir la lectura de niveles de oxigenación, periodos de sueño, actividad física, etc.

El uso de dispositivos para cuidado de las personas no es reciente, en el año 2021 la empresa Apple lanzó su pulsera inteligente, denominada *Lively Safety Watch*, para el cuidado de personas mayores. Dicho dispositivo incluye un giroscopio el cual, puede detectar caídas y mandar un aviso al contacto designado en su configuración, en la nota del diario digital ABC Cincinnati (2023) se destaca el papel que tuvo este dispositivo para salvar la vida de un anciano de 83 años gracias a la función de detección de caídas.

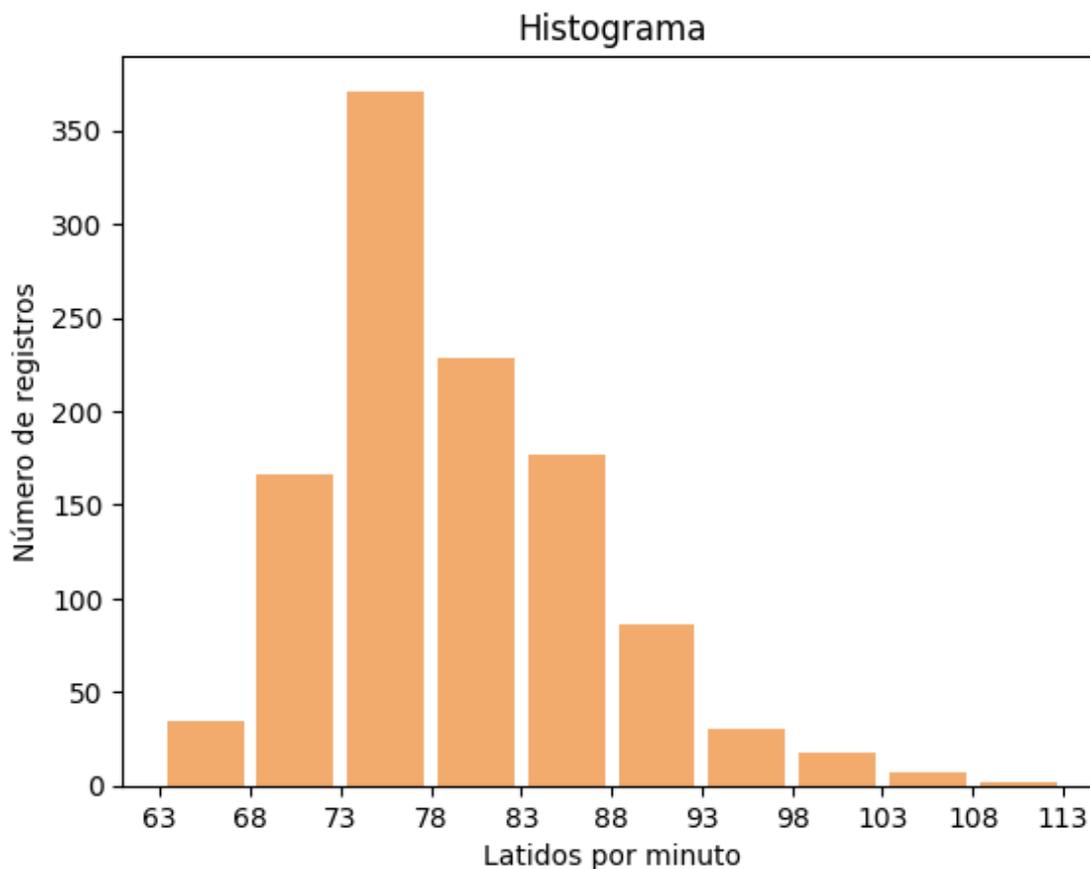
Desafortunadamente este tipo de dispositivos son muy costosos y la compra por parte de una empresa, considerando a todos los operadores que trabajan en la misma, podría ser muy elevado. Adicionalmente se requiere de concentrar la información y llevar un seguimiento por un especialista, si es que se busca una detección temprana de riesgos. Por dicho motivo lo más viable en este caso es crear una plataforma tecnológica que pueda concentrar los datos, analizar la información, transmitirla, dar seguimiento y proceder con los protocolos necesarios para las situaciones de riesgo que se presenten.

Plataforma tecnológica para detección de alertas, a través del uso de pulseras inteligentes.

2. Análisis de datos y metodología

Anteriormente, ya se ha propuesto el uso de cartas de control para el análisis de los datos de frecuencia cardíaca. Como una actualización, se agregaron nuevas gráficas para complementar el tablero de análisis.

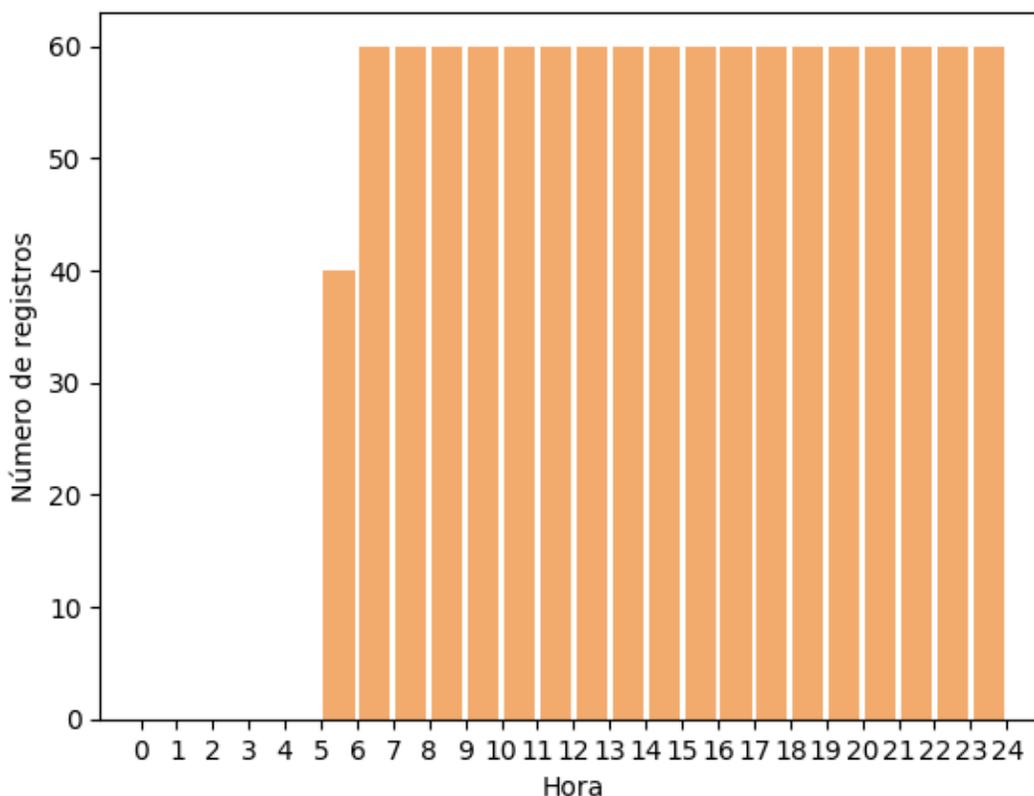
Para el nuevo tablero se buscó contar con gráficos que permitieran visualizar los datos por día y por periodos más amplios, como por ejemplo de una semana completa. Para iniciar se incluye un histograma de la frecuencia cardíaca para visualizar la distribución de las lecturas de todo un día. Como se aprecia en la Figura 2.1, los registros se encuentran mayormente dentro del rango considerado como aceptable (de 60 a 110 lpm).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.1 Histograma de la frecuencia cardíaca

Como segunda gráfica, se incluye otro histograma de los registros por hora para observar si el dispositivo levantó datos de manera adecuada cada minuto o si el operador usó la banda todo el día. En la Figura 2.2 se aprecia la falta de registros en las primeras horas del día, desde las cero horas hasta las cinco, lo cual indica la falta de uso de la banda inteligente durante este tiempo. Además, se deduce que, entre las cinco y las seis de la mañana, el operador comenzó a usar la pulsera, ya que faltan registros en dicha hora para completar los sesenta datos (un registro cada minuto).

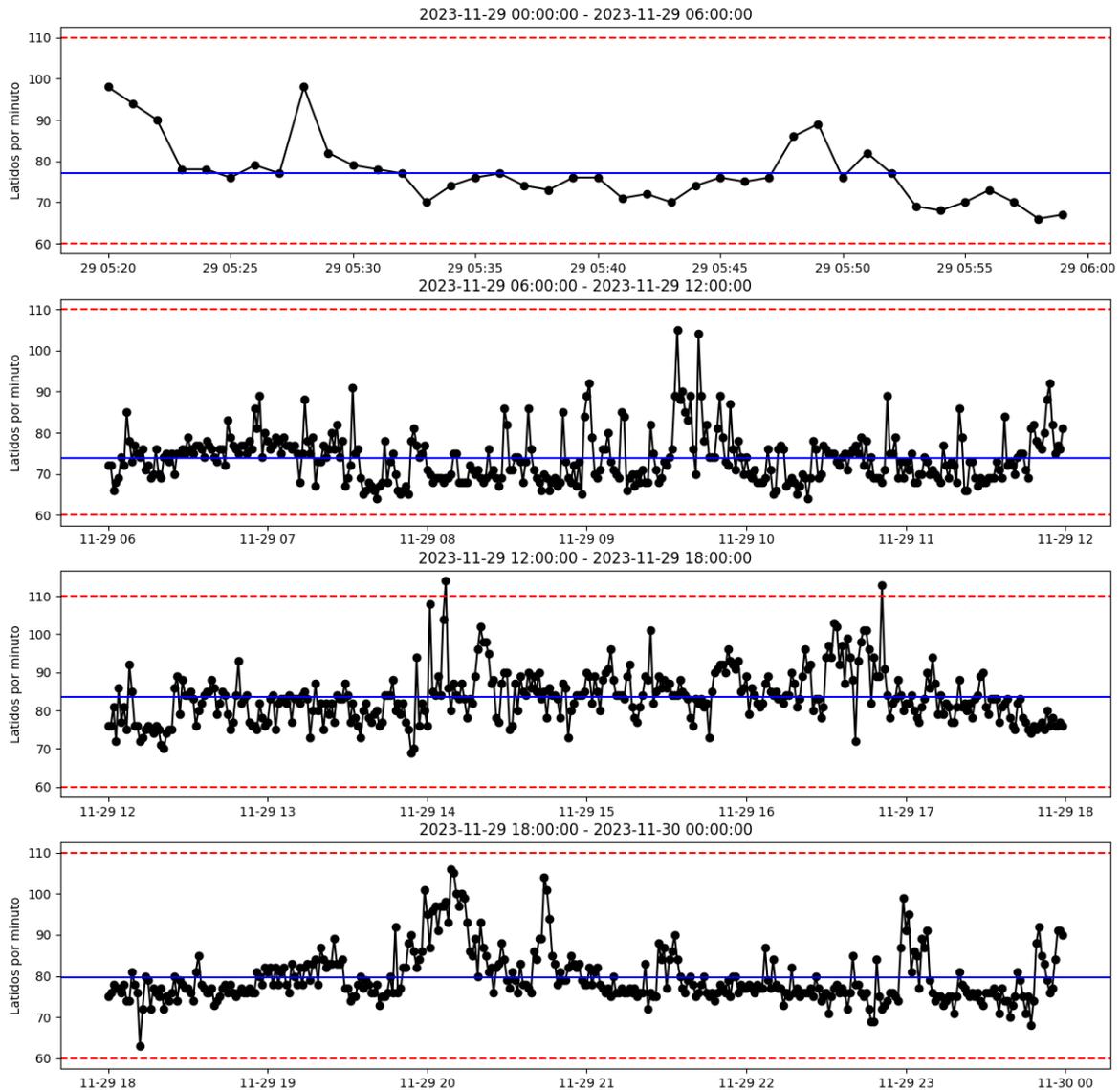


Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.2 Histograma de registros por hora

Para continuar con el análisis, en la Figura 2.3 se incluye la representación gráfica de la frecuencia cardíaca a lo largo del tiempo y su comparación respecto a los límites considerados como adecuados (60 y 110). La información aparece dividida en periodos de tiempo de seis horas y los límites superior e inferior se pueden cambiar. Se puede observar que la primera gráfica inicia a las 5:20, dado que no se cuenta con datos antes de esta hora. El resto de las gráficas cubren completamente los intervalos de

seis horas. También permiten visualizar los registros fuera de los límites, además de la hora en que sucedieron.

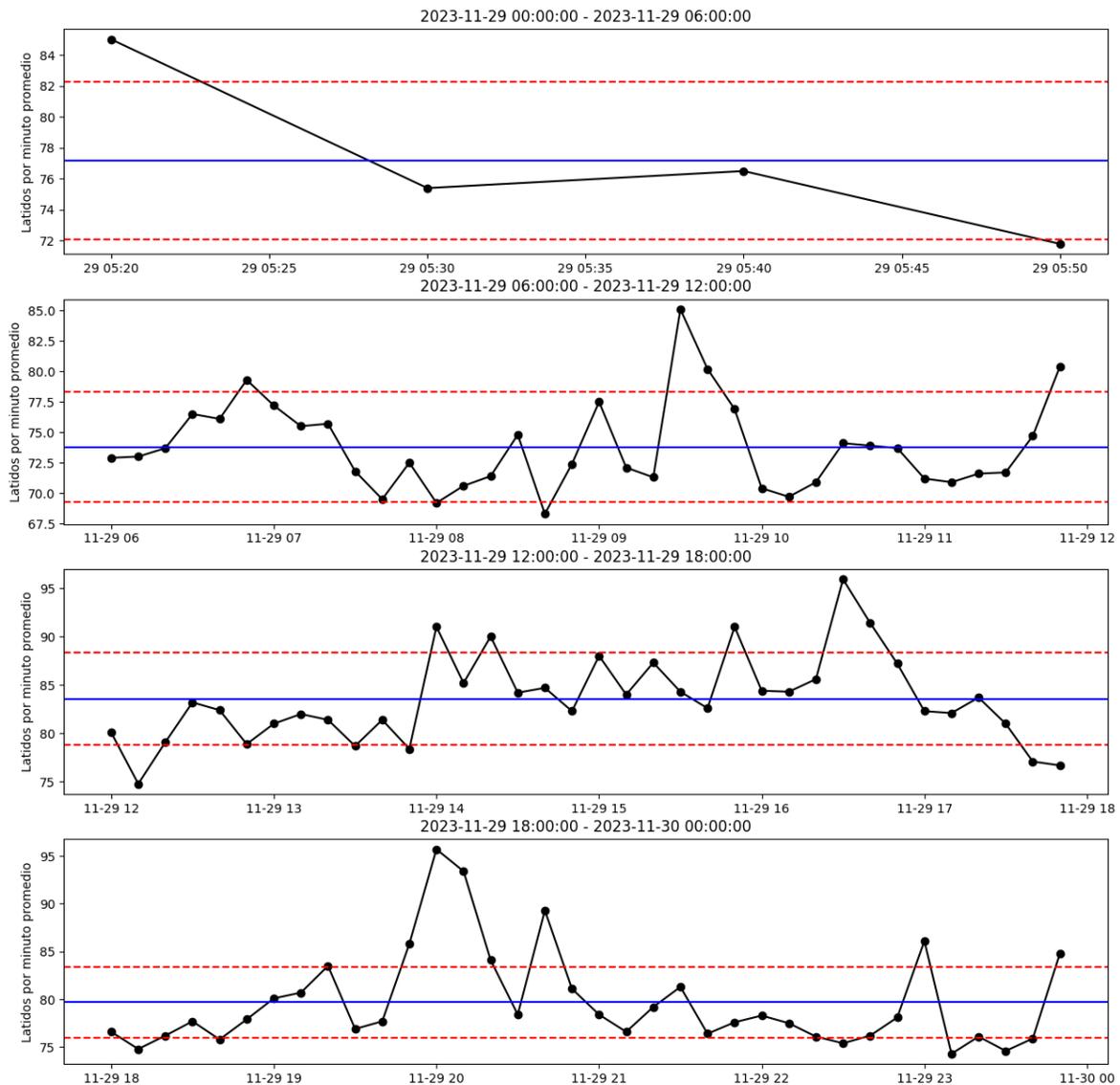


Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.3 Gráfica de todos los registros de la frecuencia cardíaca en un día

Como se mencionó en trabajos anteriores, las gráficas de control muestran cómo cambia la media de un proceso con el tiempo. Si la media cambia más allá de los límites, la carta de control indica que hay un problema con el proceso. La Figura 2.4 muestra la carta de control con grupos de diez registros, es decir, cada punto es la media de diez registros

cada diez minutos. Los límites se definen respecto a la variación de la frecuencia cardíaca en cada intervalo de seis horas. Como se puede observar, la carta de control es más sensible a los cambios de la variable, lanzando un mayor número de señales fuera de los límites. La explicación detallada de esta carta se abordó en el proyecto anterior (De la Torre, Moreno, Barrón y Piña 2023).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.4 Carta de control de la frecuencia cardíaca

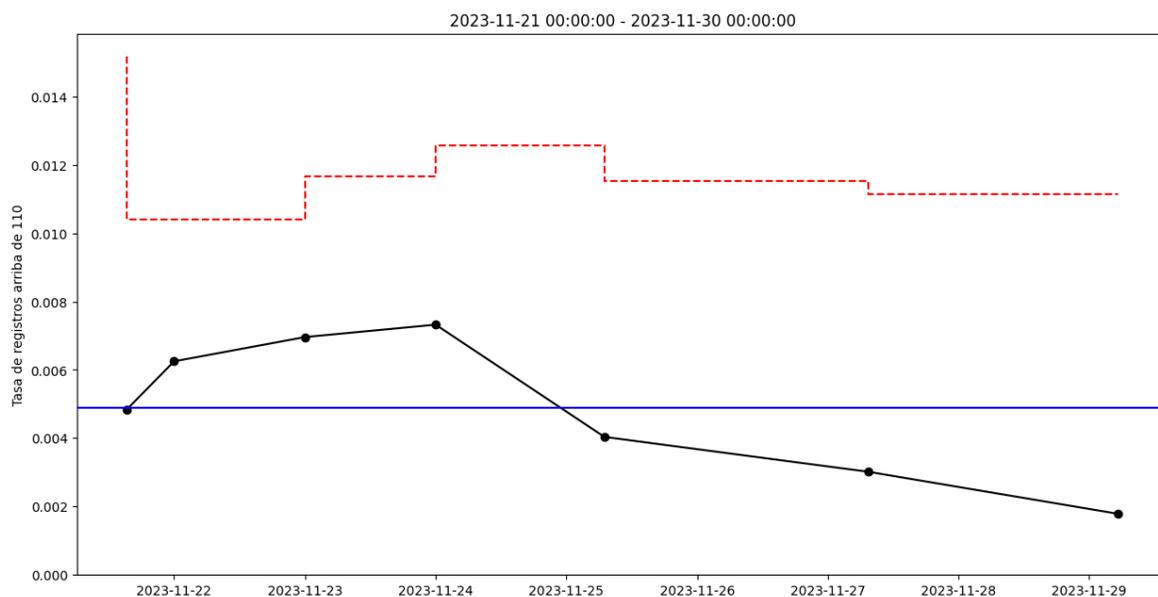
Otra gráfica de control que se propone para el tablero de análisis es la que se muestra en la Figura 2.5 y se conoce como carta p , la cual muestra las variaciones en la fracción de registros de frecuencia cardíaca superiores a 110 lpm (este valor puede cambiar). Para su construcción, en cada día se cuentan los registros superiores a cierto valor límite y se determina la proporción respecto al total de registros del mismo día; los puntos negros son dichas proporciones. Además, la línea azul es la media de las proporciones y la línea roja es el límite de control superior (LCS) que es igual a:

$$LCS = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}}$$

Donde:

- \bar{p} es la media de las proporciones;
- n es el tamaño de los subgrupos.

Cuando n no se mantiene constante entre las muestras, se puede usar el tamaño de cada grupo de datos y se obtienen límites variables como en la gráfica. En este caso todas las proporciones se mantienen por debajo de los límites, sin embargo, se puede observar como a partir del 21 de noviembre hay una subida, para después presentarse una caída del 24 al 29 de noviembre. Esta gráfica puede ser de apoyo para observar tendencias en periodos más grandes de tiempo.

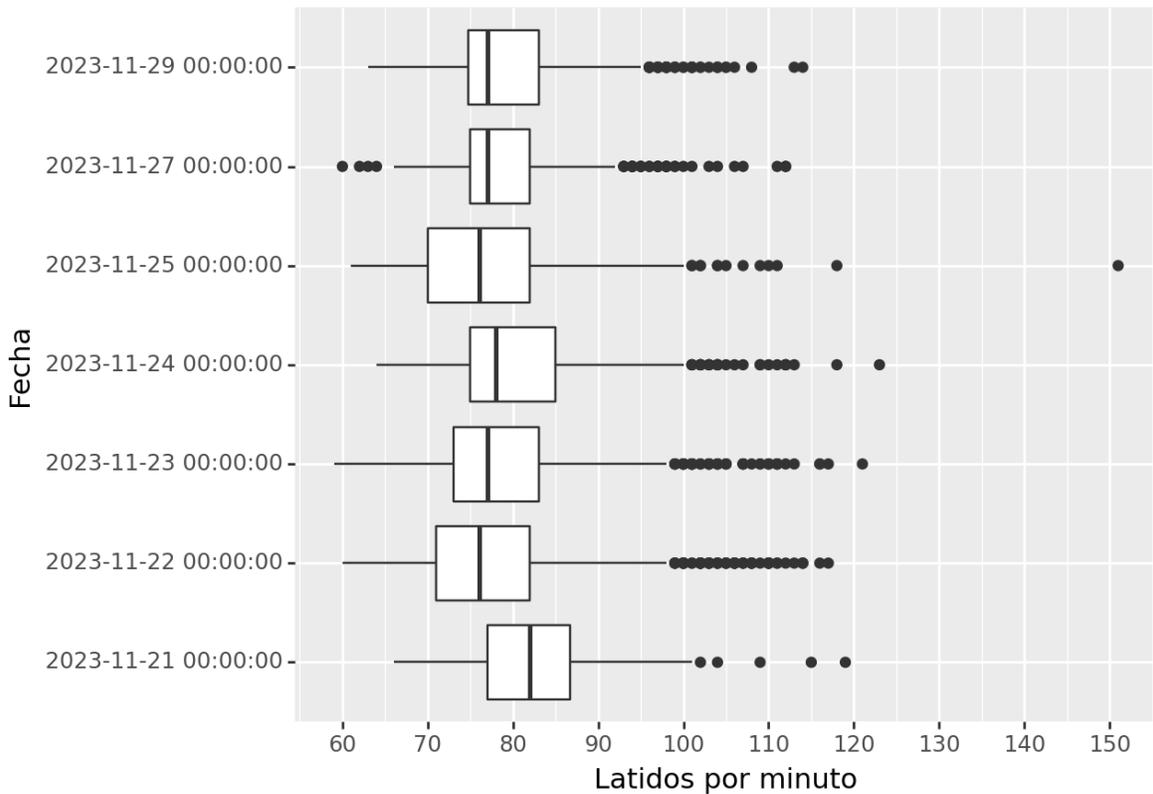


Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.5 Carta de control de la proporción de registros superiores a 110 lpm

Por último, se propone incluir gráficas de caja por día, para comparar la distribución de la frecuencia cardíaca por varias semanas. En la Figura 2.6 se muestran las gráficas de un periodo de 10 días y se puede observar que hubo días completos sin registros, además de los valores atípicos de cada muestra.

Gráficas de cajas del periodo



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.6 Gráficas de caja

Trabajo futuro

Dada la observación realizada por los miembros de Medicina Preventiva de la SICT sobre incluir la presión arterial, se propone esperar a que dicha característica sea incluida en dispositivos económicos, dado que a la fecha los dispositivos con esta tecnología tienen un costo mucho mayor al considerado y, además, no se incluyen en la lista de dispositivos que se pueden conectar a través de Gadgetbridge.

Otra opción es el desarrollo de hardware propio con las características deseadas, sin embargo, esto implicaría un costo adicional y tal vez superior a los dispositivos disponibles, además de capacitación o requerir nuevo personal con los conocimientos necesarios.

Una alternativa más es contar con un convenio de colaboración con alguna empresa productora de bandas inteligentes para tener acceso a

Plataforma tecnológica para detección de alertas, a través del uso de pulseras inteligentes.

los datos crudos generados por los dispositivos a través de su API de desarrollo.

3. Transferencia de información

En la era actual, marcada por el avance tecnológico y la creciente importancia de la salud y el bienestar personal, la recopilación y análisis de datos biométricos se ha convertido en un componente esencial para mejorar la calidad de vida.

Las bandas inteligentes, que monitorizan diversos parámetros físicos y de salud, juegan un papel crucial en este ecosistema de tecnología de la salud. Sin embargo, el verdadero potencial de estos dispositivos reside en su capacidad para transferir y procesar eficientemente los datos recopilados.

En este contexto, se presenta un sistema que facilita la transferencia de datos desde bandas inteligentes hasta un servidor central a través de un *Gateway Raspberry Pi*. Se busca abordar el desafío de integrar de manera eficiente la recopilación de datos en tiempo real con su posterior análisis y almacenamiento.

La clave está en el uso de un Raspberry Pi como un *Gateway* intermedio, que no solo sirve como un puente para la transmisión de datos, sino que también proporciona una plataforma para el procesamiento preliminar de los datos. Esta estrategia garantiza una gestión eficiente del ancho de banda y reduce la carga en el servidor central, optimizando así el flujo general de datos.

Este proyecto representa un paso adelante en la integración de la tecnología *wearable* con sistemas de procesamiento de datos, abriendo nuevas posibilidades en el monitoreo de la salud y el bienestar personal en la era digital.

3.1 Implicaciones tecnológicas

Las implicaciones tecnológicas de implementar un sistema que transfiera información desde bandas inteligentes a un *Gateway Raspberry Pi* son amplias y multifacéticas, en este proyecto se plantean consideraciones importantes en términos de procesamiento de datos, interoperabilidad y escalabilidad. A continuación, se detallan algunas de estas implicaciones:

1. **Avances en la tecnología usable:** La creciente popularidad y sofisticación de las bandas inteligentes reflejan un avance significativo en la tecnología usable. Este proyecto aprovecha la capacidad de estos dispositivos para recopilar datos biométricos, subrayando el papel crucial de la tecnología usable en la monitorización de la salud y el bienestar.
2. **Procesamiento de datos en tiempo real:** La transferencia y procesamiento de datos en tiempo real es una característica esencial del sistema, destacando la importancia y los desafíos de manejar grandes volúmenes de datos de manera rápida y eficiente.
3. **Seguridad y privacidad de los datos:** Dado que el sistema maneja datos biométricos y posiblemente sensibles, la seguridad y privacidad de los datos son de suma importancia. Esto implica la implementación de protocolos de encriptación avanzados, autenticación segura y políticas de privacidad robustas.
4. **Análisis de Big Data y Aprendizaje Automático:** La acumulación de grandes volúmenes de datos biométricos abre la puerta al uso de técnicas de big data y aprendizaje automático para extraer *información significativa*, lo cual puede tener aplicaciones en la medicina personalizada y el bienestar.
5. **Escalabilidad y flexibilidad del sistema:** El sistema debe ser escalable para manejar un aumento en el número de usuarios o en la cantidad de datos. Además, debe ser lo suficientemente flexible para adaptarse a nuevas tecnologías y tipos de dispositivos que puedan surgir.
6. **Impacto en la Atención de la Salud y el Bienestar:** A largo plazo, este tipo de sistema tiene el potencial de transformar la manera en que individuos y profesionales de la salud monitorean y gestionan la salud y el bienestar, facilitando un enfoque más proactivo y basado en datos.

3.2 Arquitectura alterna para transferencia de datos

En el mundo conectado de hoy, la capacidad de transferir datos de manera eficiente de dispositivos usable, como bandas inteligentes, a plataformas de procesamiento y análisis más potentes es crucial. En esta sección se aborda la arquitectura básica necesaria para realizar dicha transferencia de datos.

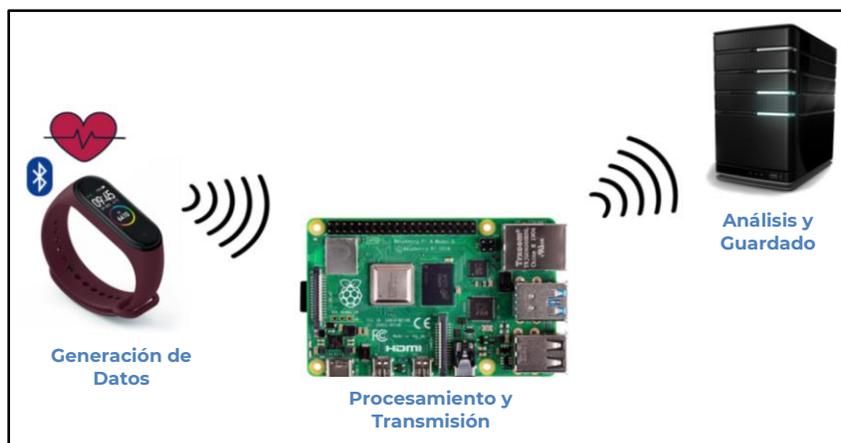
Para llevar a cabo la prueba de concepto, se estableció una cadena de comunicación donde los datos se transmitieron inicialmente a través de un dispositivo equipado con Bluetooth hacia un Gateway basado en Raspberry Pi. Este enfoque aprovecha la eficiencia y la conveniencia del Bluetooth para la transferencia de datos a corta distancia, minimizando así la complejidad y el consumo energético asociados al establecimiento de conexiones inalámbricas. Una vez que los datos fueron recibidos por el Raspberry Pi, se procedió a retransmitirlos hacia un servidor remoto utilizando una conexión 3G bajo el estándar HSPA+.

La elección del 3G HSPA+, a pesar de no ser la tecnología más reciente en términos de redes móviles, se justifica por su amplia disponibilidad y su capacidad para ofrecer velocidades de transmisión de datos significativamente superiores en comparación con las generaciones anteriores de tecnología 3G. Este protocolo de telecomunicaciones permite una transferencia eficaz de datos a través de largas distancias, superando las limitaciones geográficas y garantizando una conectividad constante entre el Raspberry Pi y el servidor, incluso en entornos donde las redes más avanzadas como 4G o 5G no están disponibles o son económicamente inviables.

La implementación de esta prueba de concepto no solo demostró la viabilidad técnica de la solución propuesta, sino que también proporcionó valiosos insights sobre la integración de diferentes tecnologías de comunicación y la gestión eficiente de la transferencia de datos. Además, puso de relieve la importancia de considerar tanto las limitaciones como las potencialidades de cada protocolo de comunicación, con el fin de optimizar el rendimiento del sistema en términos de velocidad, seguridad, alcance y consumo de energía.

Los sensores, recopilan datos biométricos y de actividad que son esenciales en aplicaciones de salud.

Estos datos luego son transmitidos al Raspberry Pi, que actúa como un puente, procesando y reenviando la información a un servidor, aquí, los datos se almacenan, analizan y pueden ser visualizados para su posterior uso. En la Figura 3.1 se ilustran los componentes del sistema.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.1 Arquitectura básica para la transferencia de información

En las siguientes secciones, detallaremos los componentes, cada aspecto para la implementación en un futuro del sistema de transferencia de información, dividiremos la explicación en varias secciones clave:

Componentes del sistema

Bandas Inteligentes: Dispositivos equipados con sensores para recopilar datos biométricos como frecuencia cardíaca, pasos, calidad del sueño, etc. Su capacidad de comunicación inalámbrica, usualmente a través de Bluetooth.

Gateway Raspberry Pi: Actúa como un puente entre las bandas inteligentes y el servidor. Capaz de comunicarse a través de un módulo de comunicación modelo SIM7600X 4G¹. Así mismo, la Raspberry Pi puede realizar procesamiento de datos ligero, como filtrado o compresión.

Servidor: Puede ser un servidor local o basado en la nube. Almacena, procesa y analiza los datos recibidos. Ejecuta la base de datos y las aplicaciones de backend.

Flujo de datos

Los datos se recopilan en las bandas inteligentes y se envían al Raspberry Pi. El Raspberry Pi recibe y procesa los datos, en este proceso puede incluir tareas como el filtrado, la compresión o el

¹ SIM7600 es el módulo LTE Cat 1 que admite los modos de comunicación inalámbrica LTE-TDD/ LTE-FDD/HSPA+/GSM/GPRS/EDGE

formato de estos para su eficiente transmisión. Luego, cumple su función de Gateway al reenviar estos datos procesados al servidor.

Esta transmisión se realiza de manera segura y eficiente, asegurando que la integridad y la privacidad de los datos se mantengan durante todo el proceso. Finalmente, el servidor almacena los datos y los pone a disposición para su análisis y visualización en la aplicación web.

Para la comunicación del flujo de datos usamos el módulo SIM7600X 4G HAT de la serie SIM7600, este es un módulo de comunicación diseñado para ser utilizado con placas de desarrollo como Raspberry Pi, entre otras. Está diseñado para proporcionar conectividad 4G LTE, 3G y 2G a proyectos de IoT (Internet de las Cosas), así como a aplicaciones móviles y embebidas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.2 Módulo de la serie SIM7600, comunicación celular

Características Principales del SIM7600X 4G HAT:

Conectividad Múltiple: Ofrece soporte para redes 4G LTE, 3G (HSPA+) y 2G (EDGE y GPRS), brindando una amplia cobertura de comunicación para diferentes necesidades y ubicaciones.

Compatibilidad con Raspberry Pi: Diseñado para acoplarse fácilmente con las placas Raspberry Pi, lo que lo hace ideal para proyectos de IoT y aplicaciones de desarrollo integrado.

Comunicación de Datos y SMS: Permite el envío y recepción de datos a través de la red celular, así como la capacidad de enviar y recibir mensajes SMS.

Soporte GNSS: Algunas versiones incluyen soporte para GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite), proporcionando funcionalidades de GPS para aplicaciones que requieren localización.

Puertos y Conectores: Generalmente incluye puertos como USB, UART, y una ranura para tarjeta SIM, lo que facilita la conexión a diversos dispositivos y sistemas.

Programación y Control: Se puede controlar mediante comandos AT, lo cual es un estándar en la comunicación con módems y permite una amplia gama de configuraciones y personalizaciones.

Protocolos de comunicación

La integración de tecnologías para la comunicación y transferencia de datos en sistemas embebidos y dispositivos IoT ha experimentado un crecimiento exponencial, siendo el Raspberry Pi uno de los protagonistas clave en este ámbito debido a su versatilidad y capacidad de interconexión. En este contexto, la elección del protocolo adecuado para cada aplicación se convierte en un factor crítico para asegurar tanto la eficiencia en el consumo de energía como la seguridad y la velocidad en la transferencia de datos.

Por un lado, Bluetooth Low Energy (BLE) emerge como una solución óptima para la comunicación entre dispositivos wearables, como bandas inteligentes, y sistemas embebidos como el Raspberry Pi. La característica distintiva de BLE es su diseño enfocado en minimizar el consumo de energía, lo cual es crucial para dispositivos portátiles que operan con baterías de capacidad limitada. Este protocolo permite una comunicación eficiente y continua, ideal para el envío de pequeñas cantidades de datos, como métricas de salud o comandos de control, manteniendo al mismo tiempo una larga duración de la batería.

Por otro lado, cuando la comunicación se establece entre el Raspberry Pi y un servidor remoto, la elección del protocolo de transferencia de datos adquiere una dimensión adicional, centrada en la seguridad y la eficiencia. Protocolos como HTTP/HTTPS, MQTT y FTP ofrecen diferentes ventajas dependiendo de las necesidades específicas del proyecto. HTTP/HTTPS es ampliamente utilizado para aplicaciones web debido a su fiabilidad y compatibilidad con la seguridad mediante SSL/TLS, lo que garantiza una transferencia de datos protegida. MQTT destaca en escenarios IoT por su ligereza y eficiencia en la entrega de mensajes bajo condiciones de red limitadas o inestables, ideal para la telemetría y el control de dispositivos en tiempo real. FTP, por su parte, se adapta mejor a la transferencia de grandes volúmenes de datos, aunque su uso ha disminuido en favor de protocolos más seguros y eficientes.

Los principales protocolos de comunicación que pueden ser implementados con la Raspberry Pi, y que serán una opción viable para transferir los datos desde la pulsera hasta el servidor, son los siguientes:

- **Bluetooth Low Energy (BLE)** para la comunicación entre bandas y Raspberry Pi, optimizando el consumo de energía.
- **HTTP/HTTPS, MQTT o FTP** para la transferencia de datos entre el Raspberry Pi y el servidor, dependiendo de las necesidades de seguridad y eficiencia.

3.3 Comparativa tecnológica

Esta comparativa se centra en dos opciones populares: la integración de un chip de transmisión de datos celular en un Raspberry Pi versus el uso de un teléfono celular. Ambas alternativas ofrecen métodos viables para conectar bandas inteligentes a servidores, pero presentan diferencias significativas en términos de personalización, capacidad de procesamiento, eficiencia energética y practicidad.

Mientras que un Raspberry Pi con un chip celular proporciona una solución altamente personalizable y potente, un teléfono celular ofrece una ruta de implementación más sencilla y eficiente energéticamente.

Esta comparativa busca explorar las ventajas y limitaciones de cada opción para ayudar a determinar la mejor elección según las necesidades específicas del proyecto.

Raspberry Pi con módulo de conectividad celular

Ventajas:

- **Personalización avanzada:** El Raspberry Pi ofrece una plataforma altamente personalizable. Esto permite a los desarrolladores adaptar tanto el hardware como el software a necesidades específicas, como el procesamiento de datos en tiempo real o la integración con otros sensores y dispositivos.
- **Capacidades de procesamiento:** Con su capacidad de procesamiento relativamente potente, el Raspberry Pi puede manejar tareas complejas como el análisis de datos en el dispositivo, reduciendo la necesidad de enviar grandes cantidades de datos al servidor.
- **Conectividad versátil:** Al integrar un chip celular, el Raspberry Pi no solo se beneficia de la conectividad móvil, sino que también puede utilizar otras formas de conectividad como Wi-Fi o Ethernet, lo que ofrece flexibilidad en diferentes entornos.

Desventajas:

- **Complejidad técnica:** Configurar y mantener un sistema basado en Raspberry Pi con un chip celular puede ser más complejo y requerir conocimientos técnicos más avanzados.
- **Costos asociados:** Además del costo del chip celular y el Raspberry Pi, puede haber costos adicionales en términos de desarrollo, mantenimiento y uso de datos celulares.
- **Gestión de energía:** El consumo de energía puede ser un desafío, especialmente en aplicaciones móviles o remotas donde el suministro de energía es limitado.

Uso de un teléfono celular inteligente

Ventajas:

- **Facilidad de uso y configuración:** Los teléfonos celulares son dispositivos ya configurados y optimizados para la conectividad celular. Esto simplifica enormemente el proceso de establecer una conexión a Internet.
- **Portabilidad y eficiencia energética:** Los teléfonos celulares están diseñados para ser portátiles y eficientes en términos de energía, lo que los hace adecuados para aplicaciones donde estos factores son críticos.
- **Disponibilidad y accesibilidad:** Los smartphones son dispositivos comunes y accesibles, lo que puede reducir los costos iniciales y facilitar la implementación en una variedad de contextos.

Desventajas:

- **Limitaciones de personalización:** Los teléfonos tienen limitaciones en cuanto a personalización y extensibilidad en comparación con un sistema basado en Raspberry Pi.
- **Dependencia de la plataforma:** Los smartphones están atados a sus sistemas operativos y políticas de aplicaciones, lo que puede limitar el control sobre el software y el acceso a los niveles más bajos del hardware.
- **Seguridad y actualizaciones:** Dependiendo de un dispositivo de consumo para funciones críticas puede presentar desafíos en

términos de seguridad y dependencia de las actualizaciones del fabricante.

La elección entre un Raspberry Pi con un chip y un teléfono celular para transferir datos desde bandas inteligentes a un servidor depende en gran medida del contexto del proyecto.

Factores como la necesidad de personalización, la complejidad del procesamiento de datos, la movilidad, la eficiencia energética y los costos desempeñan un papel crucial en esta decisión.

Mientras que un Raspberry Pi ofrece mayor flexibilidad y potencial de procesamiento, un teléfono celular destaca por su facilidad de uso, eficiencia energética y accesibilidad. La evaluación de estos aspectos ayudará a determinar la mejor opción para un proyecto específico.

El proyecto que se desarrolló previamente (De La Torre et al., 2023), para realizar la transferencia primero se tenía que recolectar la información de la aplicación de Gadgetbridge, ésta generaba una base de datos de dos maneras diferentes, la primera era desde la misma aplicación, la cual se puede configurar para que la base de datos sea generada automáticamente cada cierto tiempo; la segunda opción es que el propio usuario podía guardar los datos de manera manual, y decidir cómo y dónde se guardaba.

Sin embargo, esta manera no fue factible de implementar, debido a que era necesario interactuar con el celular inteligente del usuario y acceder a los archivos que se generaban internamente en el teléfono, lo que podría considerarse como una invasión a la privacidad de las personas.

Por esta razón, se consideró el desarrollo de una aplicación móvil que permitiera obtener los datos de manera automática de la base de datos.

Uno de los principales retos en esta alternativa fue la estandarización de la aplicación para que pudiera ser ejecutada en cualquier dispositivo de los usuarios, es decir, que tuviera la capacidad de ejecutarse en cualquier sistema operativo o versión que tuvieran los teléfonos inteligentes de los usuarios.

Para evitar esta complicación, se seleccionó una tecnología que permite desarrollar aplicaciones para ejecutarse en diferentes plataformas:

React Native

Es un framework de JavaScript de código abierto que es utilizado para desarrollar aplicaciones en diferentes sistemas operativos, incluyendo

Android, iOS, macOS, tvOS, Windows, entre otros; y que permite el uso de React² con características nativas de estas plataformas (Eisenman, 2023). Además, se puede utilizar para aplicaciones de realidad virtual con Oculus.

Tal como se desarrolla en React, en React Native también se utiliza JSX, una mezcla entre JavaScript y XML, para la presentación y escritura de las interfaces. Internamente, invoca a través de API's el renderizado en Objective-C (para plataformas basadas en iOS) o Java (para plataformas basadas en Android).

Las aplicaciones renderizan en tiempo real "UI components" y no "webviews"³, es decir, aunque la base de la codificación es la misma, no son los mismos componentes que se renderizan en un dispositivo móvil que en una página web, ya que los componentes para renderizarse aprovechan las bibliotecas del host (sistema operativo) donde se está ejecutando la aplicación, en lugar de HTML y CSS como se hace normalmente en las aplicaciones web (Meta Platforms, n.d.).

Una de las ventajas principales del por qué se selecciono está plataforma fue la reducción de los recursos necesarios para la construcción de la aplicación móvil, ya que, si se tienen conocimientos previos con React, es sencillo cambiar a este nuevo framework. Por otro lado, una desventaja es que no se cubren todas las capacidades que ofrecen los diferentes sistemas operativos, sin embargo, React Native ofrece la particularidad de incluir otros lenguajes como Objective-C y Java en su desarrollo para profundizar en esto. Un ejemplo es la aplicación de gestión de anuncios para Facebook para Android, que comparte el 87% de la base del código con la versión para iOS (Chedeau, 2015).

3.4 Diseño de pruebas

Para evaluar la integración exitosa de un chip de transmisión de datos celular en un Raspberry Pi, se diseñaron y llevaron a cabo una serie de pruebas de conectividad. Estas pruebas se realizaron específicamente

² Es una librería utilizada para construir interfaces de usuario, enfocada principalmente para desarrollo de aplicaciones web

³ UI Components son componentes internos utilizados en el desarrollo de software para las aplicaciones nativas de las plataformas iOS y Android, por otro lado, Webviews son los componentes enfocados en permitir que las aplicaciones se puedan mostrar en cualquier explorador web como por ejemplo Chrome para teléfonos celulares.

para verificar que el módulo celular estuviera correctamente instalado, configurado y capaz de comunicarse eficientemente con la red celular.

Además, se identificaron los casos de uso que la aplicación a desarrollar debía cumplir, considerando las características necesarias para la automatización de la transferencia de la información al servidor que contiene la aplicación de análisis de datos ya desarrollada (De La Torre et al., 2023), tal como se mostró en la Figura 3.1.

Pruebas realizadas en Raspberry Pi

Se realizaron 6 pruebas para comparar diferentes aspectos de la Raspberry Pi que son necesarios para el proyecto:

- **Prueba de reconocimiento del hardware.** El objetivo fue verificar que el Raspberry Pi reconoce correctamente el chip de transmisión de datos celular. El procedimiento es el siguiente:
 - Encender el Raspberry Pi con el chip celular conectado.
 - Verificar que el sistema operativo del Raspberry Pi detecta el hardware celular.
- **Prueba de configuración de red.** El objetivo fue asegurar que el chip celular está correctamente configurado para acceder a la red celular. El procedimiento fue el siguiente:
 - Se configuro el chip con los parámetros necesarios para la red celular, como APN (Nombre del Punto de Acceso), nombre de usuario y contraseña, si es necesario.
 - Utilizar comandos a través de un terminal o un software de interfaz para establecer y verificar estas configuraciones.
- **Prueba de conexión a la red celular.** EL objetivo fue confirmar que el chip celular puede conectarse a la red celular y mantener una conexión estable. El procedimiento que se realizó fue el siguiente:
 - Comprobar la señal y el registro en la red utilizando comandos AT (AT+CSQ para la calidad de la señal, AT+CREG para el estado del registro en la red).
 - Intentar realizar una llamada de datos o enviar un mensaje SMS para confirmar la funcionalidad operativa.

- **Prueba de transmisión de datos.** EL objetivo fue verificar la capacidad del chip para transmitir y recibir datos a través de la red celular. El procedimiento fue el siguiente:
 - Establecer una conexión de datos (usando comandos como AT+CGATT para la conexión a la red GPRS).
 - Realizar una prueba de ping a un servidor externo o acceder a una página web para confirmar la transmisión de datos.
- **Prueba de estabilidad de rendimiento.** EL objetivo fue evaluar la estabilidad de la conexión y el rendimiento de la transmisión de datos. El procedimiento fue el siguiente:
 - Mantener la conexión activa durante un período prolongado para evaluar la estabilidad.
 - Medir la velocidad de transmisión de datos y la latencia para evaluar el rendimiento.
- **Pruebas de reacción a interrupciones.** EL objetivo fue determinar cómo el sistema maneja las interrupciones en la conexión. El procedimiento fue el siguiente:
 - Simular interrupciones en la conexión (como apagar y encender el módulo celular).
 - Verificar si el sistema se reconecta automáticamente y mantiene la integridad de los datos.

Pruebas realizadas en la aplicación móvil

La aplicación cuenta principalmente con 4 capas, dentro de cada una de estas es necesario comprobar si el flujo de los datos, la lectura de la información y el envío al servidor se están realizando de manera correcta.

- **Gestión de la sesión.** Cada uno de los usuarios puede registrarse y tener una cuenta, la cual se puede vincular a uno o más dispositivos (bandas inteligentes). Las pruebas para esta funcionalidad se enfocaron en corroborar que la sesión se mantuviera conectada en todo momento, y para eso se obtenía la información de la sesión en la memoria temporal de la aplicación, cuando esta se borraba, automáticamente se cerraba la sesión de la aplicación.

- **Lectura de base de datos.** Gadgetbridge puede configurarse para que guarde una base de datos cada cierto tiempo, estos son registros en crudo de la información generada por las bandas inteligentes y que se archiva en formato de SQLite. Dentro de las pruebas de esta capa, era necesario validar que la información que se estuviera leyendo era de una base de datos válida de Gadgetbridge y que la información realmente correspondiera a lo que se subiría al servidor.
- **Carga de información.** En este apartado, se valida la comunicación por internet con el servidor, la cual posteriormente será cargada. Es una validación de conectividad.
- **Generación de indicadores.** Se pueden generar algunos indicadores que muestran una comparación previa con los rangos considerados normales para una situación en reposo y con actividad.

3.5 Resultados de pruebas funcionales

En esta sección se muestran los resultados obtenidos de las pruebas descritas anteriormente, se describen individualmente para el módulo de conectividad con la Raspberry Pi y para la aplicación móvil desarrollada.

Resultados de Raspberry Pi

- **Prueba de reconocimiento del hardware**

El Raspberry Pi identifica con éxito el chip celular, lo que se evidencia por la aparición del dispositivo en la lista de dispositivos USB o en los registros del sistema.

- **Prueba de configuración de la red**

El chip celular acepta y almacena correctamente los parámetros de configuración de la red. Las respuestas a los comandos AT confirman la correcta configuración de los parámetros de red.

- **Prueba de conexión a la red celular**

El chip muestra una señal celular adecuada y está registrado correctamente en la red.

Capacidad de realizar una llamada de datos o enviar un SMS, demostrando funcionalidad operativa básica.

- **Prueba de transmisión de datos**

El chip establece una conexión de datos exitosa. La prueba de ping o acceso a una página web confirma la capacidad del chip para transmitir y recibir datos.

Resultados de la aplicación de celular

- **Gestión de la sesión**

Para iniciar la sesión, por el momento aún no se puede registrar desde la aplicación y solo se puede realizar desde el servidor, sin embargo, se continúa trabajando en esta interfaz para que se puedan registrar los usuarios desde esta.

En la Figura 3.2 se pueden observar las interfaces relacionadas a las sesiones en la aplicación, en el lado izquierdo se muestra una imagen sencilla en la cual se tiene que agregar el usuario y la contraseña registrado en el servidor, y de lado derecho, el botón cambiará de acuerdo con la cuenta asociada después de iniciar sesión, la cual se guardará en caché y se mantendrá activa hasta cerrarla.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.2 Inicio de Sesión

- **Lectura y subida de la base de datos**

Gadgetbridge guarda la información en crudo en el sistema de archivos del celular cada cierto tiempo, la cual se puede configurar con un mínimo de una hora o se puede descargar directamente en la aplicación en cualquier momento, sin embargo, Gadgetbridge no permite configurar el envío de la información por internet, por eso se integró en la aplicación una forma de subir los registros al servidor.

Bienvenido: UsuarioCesar

Ubicación Base de Datos

Seleccionar Base de Datos Gadgetbridge

Actualizar Exportar Cargar al Servidor Cerrar Sesión

Timestamp	Device	User	Raw Intensity	Steps	Raw Kind	Heart Rate
1664741280	1	1	69	0	80	255
1664741340	1	1	67	0	80	255
1664741400	1	1	64	0	80	255
1664741460	1	1	30	0	80	255
1664741520	1	1	53	0	80	255
1664741580	1	1	66	0	80	255
1664741640	1	1	42	0	80	255
1664741700	1	1	56	0	80	255
1664741760	1	1	41	0	80	255
1664741820	1	1	39	0	80	255

Página 1

Estadísticas

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.3 Información leída de la Base de Datos de Gadgetbridge

En la Figura 3.3 está la interfaz que muestra con paginación toda la información recolectada por Gadgetbridge en su base de datos, se ajustó de manera que a través de un botón se pueda seleccionar una base de datos desde cualquier ubicación del sistema de archivos del teléfono. En caso de que no cargue automáticamente la información, se agregó el botón “Actualizar” para recargar la interfaz, ya que, en ocasiones, debido a que es demasiada la información, no responde adecuadamente la aplicación.

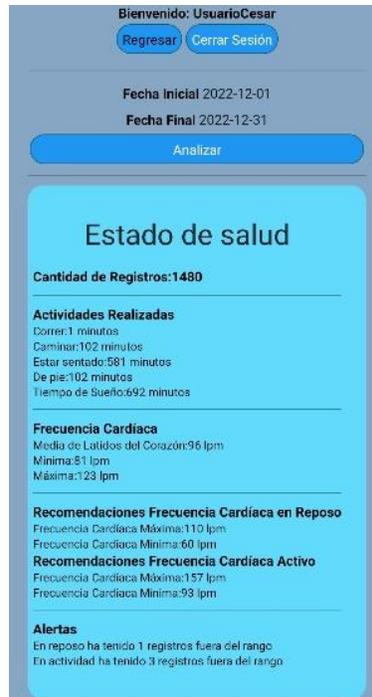
También se incluyó un botón para “Exportar” la información, es decir, guarda el archivo con un formato de SQLite en la ubicación del dispositivo a elección del usuario, y el botón “Cargar al Servidor” se encarga de enviar todos los registros al servidor a través de internet (sean datos celulares o una red inalámbrica).

- **Generación de Indicadores**

Dentro de la misma aplicación se hace un análisis previo y conciso de algunos indicadores a partir de la frecuencia cardíaca, de los datos que cada usuario genera con sus actividades cotidianas registradas con la banda inteligente. Actualmente se realiza un conteo de las posibles alertas que el usuario tiene, a partir de las mediciones normales médicas que deberían tener.

Estos indicadores solo son mostrados de manera numérica, y solo pueden ser entre dos fechas seleccionadas por el usuario, sin embargo, no se hacen gráficos detallados como se hacen actualmente en el servidor.

Algunas de las bandas registran las actividades que realiza el usuario, tal como caminar, correr, dormir, sin embargo, solo es una aproximación del tiempo dedicado a cada una de estas, debido a que, hay algunos registros que no se guardan de una manera correcta, esta información puede variar dependiendo de la banda inteligente utilizada, debido a que cada marca maneja diferentes parámetros de identificación y ajuste, por ejemplo hay bandas que ciertas actividades las catalogan como caminar, pero ese mismo registro, otras bandas la catalogan como correr.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.4 Información leída de la Base de Datos de Gadgetbridge

Para la frecuencia cardíaca, se incluyen de manera predeterminada los valores máximos y mínimos para dos estados: en reposo y en actividad extrema. Al hacer un análisis personalizado de cada usuario (por parte de doctores o especialistas en el tema) se pueden ajustar estos valores para que sean adecuados a cada persona, estos análisis se pueden realizar en la aplicación web ya desarrollada.

Además, de acuerdo con estas mediciones de máximos y mínimos, se cuentan la cantidad de registros que sobrepasen los rangos y se muestran al usuario final, esto puede servir para una vista previa de cómo se encuentra de salud el usuario, con el objetivo de que, si el conteo pasa un umbral definido por el médico especialista, tenga la necesidad de

realizarse un estudio para identificar si se ha generado un problema de salud.

Plataforma tecnológica para detección de alertas, a través del uso de pulseras inteligentes.

4. Desarrollo de la aplicación web

Los nuevos módulos incorporados en la aplicación web permiten observar el comportamiento de la frecuencia cardíaca. Estos módulos son: I) Gráfica de control por día, II) Gráfica de cajas por semana y III) Gráfica de control en tiempo real.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.1 Gráficos de control por día en periodos de cuatro horas

En la Figura 4.1 se pueden observar los módulos desarrollados en forma de listado para acceder a estos desde la aplicación.

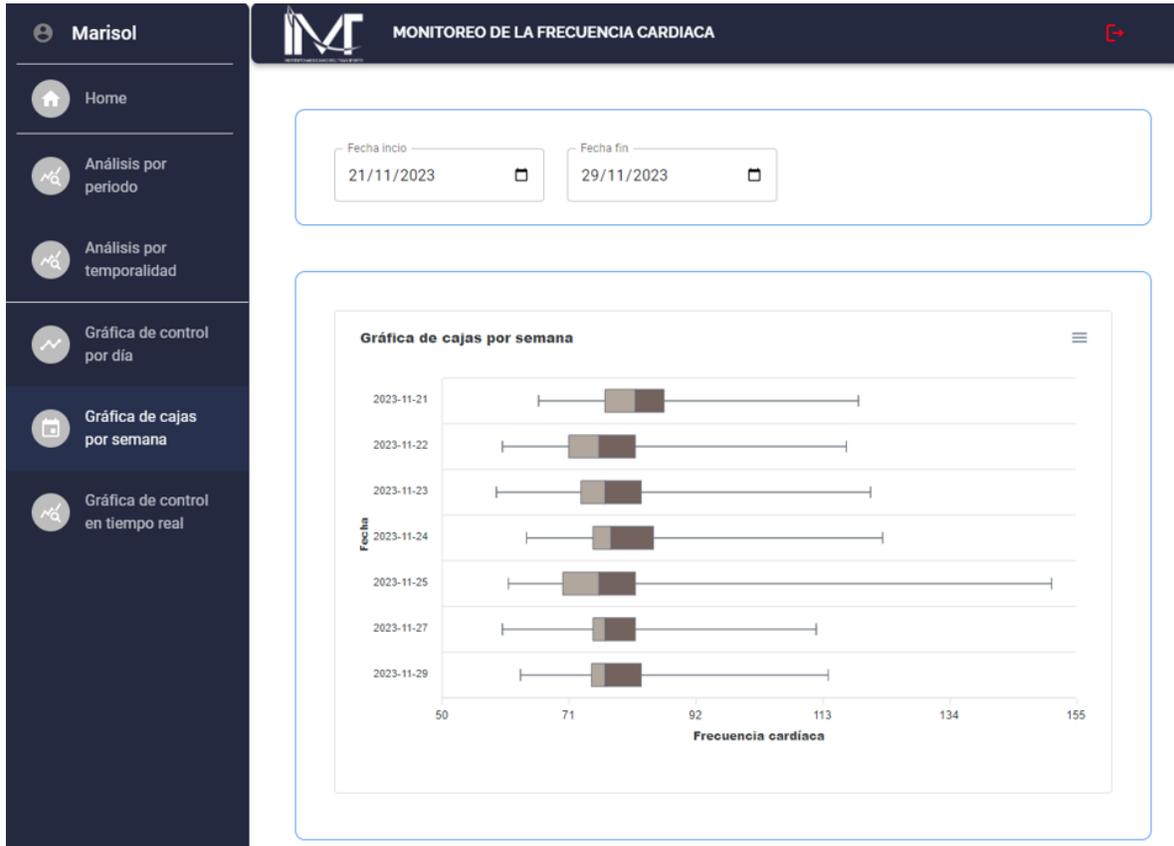
Grafica de control por día. En esta gráfica se representa un análisis a lo largo del tiempo de la frecuencia cardíaca y su comparación respecto a los límites considerados como adecuados (60 y 100). La información aparece dividida por periodos de tiempo de 4 horas de un día en específico. Como resultado se tienen 4 gráficas, la primera muestra un periodo de las 00:00 a.m. a las 06:00 a.m., la segunda de las 06:00 a.m. a las 12:00 pm, la tercera de las 12:00 p.m. a las 18:00 p.m. y la última de las 18:00 p.m. a las 00:00 a.m. En la Figura 4.2 se muestran los gráficos de control correspondientes al día 29 de noviembre de 2023 en periodos de cuatro horas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.2 Gráficos de control por día en periodos de cuatro horas

Gráfica de cajas por semana. En esta gráfica se representa un análisis de la distribución de la variable frecuencia cardíaca a partir de un periodo de tiempo definido por el usuario. Se presenta un selector de fechas para la elección de una fecha inicio y una fecha fin. Para un mejor análisis se recomiendan periodos de una semana. En la Figura 4.3 se muestran las gráficas de cajas del 21 al 29 de noviembre de 2023.

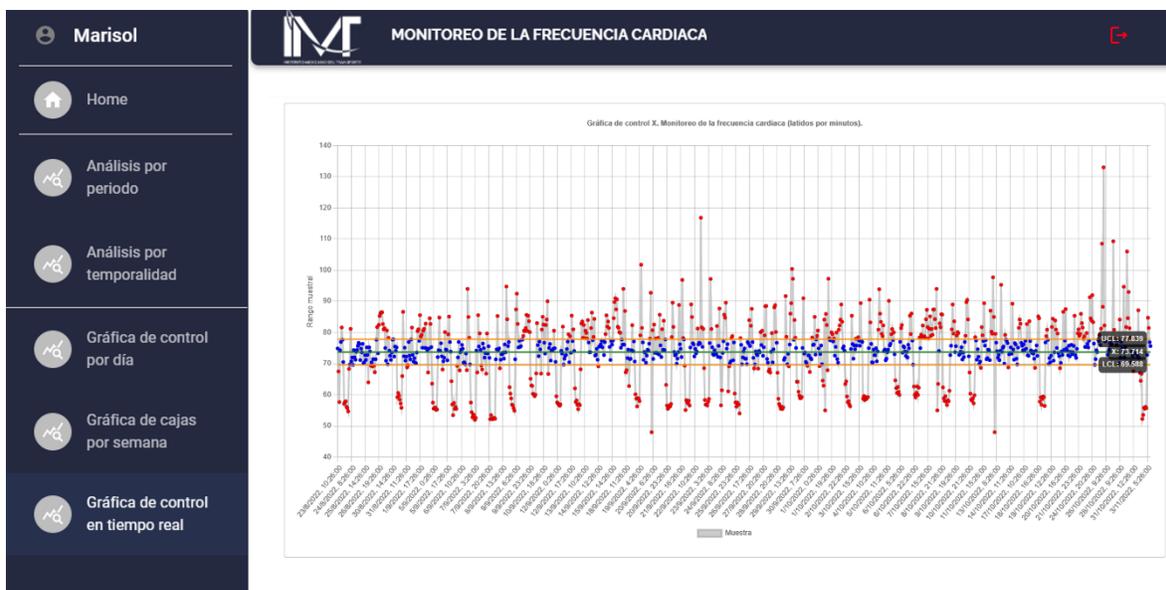


Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.3 Gráficos de control por día en periodos de cuatro horas

Gráfico de control en tiempo real. Este gráfico muestra la frecuencia cardíaca cada cierto tiempo del día actual. El objetivo es monitorear de manera inmediata su comportamiento y con ello poder tomar decisiones, por ejemplo, mandar a revisión médica al individuo. En la Figura 4.4 se muestra la gráfica que permite visualizar su comportamiento.

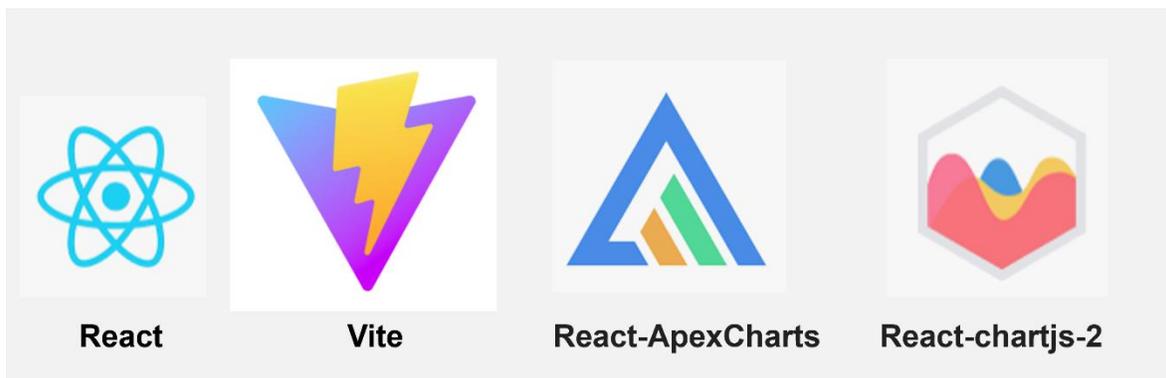
Plataforma tecnológica para detección de alertas, a través del uso de pulseras inteligentes.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.4 Gráfica de control para monitorear el día actual

Para el desarrollo de estos módulos se continuó trabajando con el entorno: React y Vite. Adicional a ello, se utilizó React-ApexCharts y react-chartjs-2, estas son bibliotecas de gráficos interactiva y de código abierto para la visualización de datos en la aplicación web. En la Figura 4.5 se muestran las tecnologías utilizadas para el desarrollo de los nuevos módulos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.4 Entorno de desarrollo

Conclusiones

El transporte de carga ha evolucionado sustancialmente durante los últimos años gracias a los adelantos tecnológicos y la mejora de las vías de comunicación, como resultado, las empresas ahora pueden tener mayor control de sus unidades, conocer en cada momento su ubicación, realizar el pago en las casetas de cuota a través de dispositivos de RFID, conocer el desempeño del motor, el consumo de combustible, e incluso conocer la temperatura de la carga.

Sin embargo, estos cambios no han beneficiado a los conductores de los vehículos de carga, ya que con dichos controles y una competencia cada vez más reñida en el sector transporte, se ha incrementado la exigencia hacia los choferes, descuidando sus descansos y su salud. El objetivo de la plataforma desarrollada es el de mejorar el seguimiento a la salud de los choferes y adicionalmente, apoyar con el cumplimiento de la norma NOM-087-SCT-2-2017 de los tiempos de conducción.

El desarrollo de la infraestructura tecnológica ha sido diseñado para trabajar en tiempo real, sin embargo, para esto se requiere acceder directamente al sistema operativo de cada una de las pulseras considerando sus diferentes modelos.

Para acceder a las diferentes pulseras se empleó la aplicación gadgetbridge para la transferencia y recolección de datos, además se desarrolló una aplicación móvil como puente entre gadgetbridge y la pulsera para obtener la información. Esta herramienta nos limita en obtener los datos en tiempo real de la banda, debido a que agrupa y actualiza los registros cada hora.

El actual desarrollo está limitado a la disponibilidad actual de tecnología y recursos para lograr su implementación. Es posible que en un futuro el avance tecnológico permita disponer de dispositivos de bajo costo que además de medir la frecuencia cardíaca sean capaces de dar seguimiento a otros parámetros, permitiendo una evaluación más completa de los individuos.

Por otra parte, de ser adoptado por las propias empresas o incluso como medida preventiva por las entidades de gobierno correspondientes, se podrían adquirir los dispositivos directamente del fabricante y a un menor

Plataforma tecnológica para detección de alertas, a través del uso de pulseras inteligentes.

costo. Esto haría posible la selección de los sensores, los tipos de datos, su recolección y la descarga de la información, facilitando así la obtención, transferencia y análisis de datos.

Bibliografía

- ABC Cincinnati. (2023). *Cincinnati man says Apple Watch saved his life after he collapsed during walk*. Recuperado el 24 de noviembre de 2023 de <https://www.wcpo.com/news/health/cincinnati-man-says-apple-watch-saved-his-life-after-he-collapsed-during-walk>
- Arakawa, T. (2021). *A Review of Heartbeat Detection Systems for Automotive Applications*. *Sensors*. <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/18/6112>
- Bayoumy, K., Gaber, M., Elshafeey, A., Mhaimed, O., Elshazly, M., Dineen, E., Marvel, F., Martin, S., Elshazly, M., Muse, E., Turakhia, M., Tarakji, K. & Elshazly, M. (2021). *Smart wearable devices in cardiovascular care: where we are and how to move forward*. *Nature Reviews Cardiology*, 18(August), 581–599. <https://doi.org/10.1038/s41569-021-00522-7>
- Berrones, L. (2020). *Autotransporte de carga en México: producción y empleo*. *Análisis Económico*, 35(90), 147–172. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2020v35n90/Berrones>
- Berrones, L., Cano Olivos, P., Sánchez Partida, D. & Martínez Flores, J. (2018). *Lesiones, enfermedades y accidentes de trabajo de los conductores del autotransporte de carga en México*. 47–55. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1946>
- Chedeau, C. (2015). *Keynote at react-europe 2015*. https://www.youtube.com/watch?v=PAA9O4E1IM4&ab_channel=ReactEurope
- De la Torre E., Moreno E., Barrón M. y Piña J. (2023). *Evaluación del uso de bandas inteligentes para detección de riesgos en el transporte*. [Publicación Técnica 738]. México: Instituto Mexicano del Transporte.
- El Economista (2022). *Déficit de choferes de carga crecerá este año a 56,000*: Canacar. Recuperado el 08 de noviembre de 2023 de <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Deficit-de-choferes-de-carga-crecera-este-ano-a-56000-Canacar-20220908-0159.html>

Eisenman, B. (2023). *Chapter 1. What Is React Native?* Vol. 1st Edition. O'Reilly. <https://www.oreilly.com/library/view/learning-react-native/9781491929049/ch01.html>

Fundación Mapfre (2023), *Infarto de Miocardio y conducción*. Recuperado el 31 de mayo de 2023, de <https://www.fundacionmapfre.org/educacion-divulgacion/seguridad-vial/movilidad-segura-salud/sabias-que/infarto-miocardio-conduccion-segura/>

Gutiérrez, A. (2023). *Chofer de camión con ladrillos muere de infarto frente al Teatro Principal*. E-consulta, recuperado el 22 de mayo de 2023, <https://www.e-consulta.com/nota/2023-03-27/seguridad/chofer-de-camion-con-ladrillos-muere-de-infarto-frente-al-teatro-principal>

Hassan, M., Malik, A., Fofi, D., Karasfi, B. & Meriaudeau, F. (2020). *Towards health monitoring using remote heart rate measurement using digital camera: A feasibility study*. *Measurement*, 149, 106804. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.07.032>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2023). *Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas*. https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?c=13159

Jacob, A., Akkara, J., & Vineetha, N. (2020). *Effect of geometry on driver heart rate*. *Transportation Research Procedia*, 48(2019), 3188–3196. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.163>

Lu, K., Karlsson, J., Dahlman, A., Sjöqvist, B. & Candefjord, S. (2022). *Detecting Driver Sleepiness Using Consumer Wearable Devices in Manual and Partial Automated Real-Road Driving*. IEEE Xplore. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3127944>

Nelson, B., & Allen, N. (2018). *Accuracy of Consumer Wearable Heart Rate Measurement During an Ecologically Valid 24-Hour Period: Intraindividual Validation Study*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6431828/>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT]. (2018). *Norma oficial Mexicana NOM-087-2-2017, Que establece los tiempos de conducción y pausas para los conductores de los servicios de autotransporte federal*. recuperado el 17 de noviembre de 2023 de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5529381&fecha=28/06/2018#gsc.tab=0

-
- Sosa, S. (2023) *Operador de tráiler pierde la vida por infarto en carretera de Ciudad Victoria*. Milenio, recuperado el 22 de mayo de 2023, <https://www.milenio.com/estados/operador-trailer-muere-infarto-carretera-ciudad-victoria>
- Palomera, J. (2016). *Monografía de México* (completa). Recuperado el 7 de 11 de 2023, de http://vinculando.org/documentos/monografia_mexico.html
- Pilkington-Cheney, F., Afghari, A., Filtness, A., Papadimitriou, E., Lourenco, A., & Brijs, T. (2021). *The i-DREAMS intervention strategies to reduce driver fatigue and sleepiness for different transport modes*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/MT-ITS49943.2021.9529340>
- Prieto, G., Cruz, N., Alor, G., Sánchez Cervante, J., Rodríguez Mazahua, L. & Guarneros, L. (2022). *Wearable Devices for Physical Monitoring of Heart: A Review*. MDPI, 1–60. <https://www.mdpi.com/2079-6374/12/5/292>
- Research-and-Markets. (2023). *Smart Wearable Market - Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2023-2028)*. <https://www.researchandmarkets.com/reports/4769754/smart-wearable-market-growth-trends-covid-19>
- Sinnapolu, G. & Alawneh, S. (2018). *Internet of Things Integrating wearables with cloud-based communication for health monitoring and emergency assistance*. Internet of Things, 1–2, 40–54. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2018.08.004>
- Studer, L., Paglino, V., Gandini, P., Stelitano, A., Triboli, U., Gallo, F. & Andreoni, G. (2018). *Analysis of the Relationship between Road Accidents and Psychophysical State of Drivers through Wearable Devices*. MDPI Applied Sciences, 1–17. <https://doi.org/10.3390/app8081230>
- WHO. (2023). *Road traffic injuries*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
- Wolkow, A. P., Rajaratnam, S. M. W., Wilkinson, V., Shee, D., Baker, A., Lillington, T., Racc, F. A. F. O. E. M., Roest, P., Marx, B., Chew, C., Tucker, A., Haque, S., Schaefer, A., & Howard, M. E. (2020). *The impact of heart rate-based drowsiness monitoring on adverse driving events in heavy vehicle drivers under naturalistic conditions*. Sleep Health: Journal of the National Sleep Foundation, 6(3), 366–373. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2020.03.005>

Plataforma tecnológica para detección de alertas, a través del uso de pulseras inteligentes.

Anexo 1

Encuesta aplicada a especialistas en medicina del transporte



PLATAFORMA TECNOLÓGICA PARA DETECCIÓN DE ALERTAS, CON BASE EN DATOS TOMADOS CON PULSERAS INTELIGENTES.

Nombre: _____ . Años de experiencia _____ .

Institución: _____

1.- ¿Considera que la información proporcionada, es útil para identificar problemas de salud en el conductor?

2.- ¿Existe algún tipo de consideraciones que deberíamos tener en cuenta para identificar rangos o secuencias de datos que pudieran ser motivo de alerta?

3.- ¿Tiene alguna sugerencia con respecto al despliegue o análisis de información que pudiera ser de utilidad para dar seguimiento al estado de salud de un chofer?

4.- ¿Qué deberíamos tomar en cuenta al momento de configurar alertas basadas en la frecuencia cardiaca para el caso de personas hipertensas o que tengan algún otro padecimiento como diabetes, etc.?



COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



Km 12+000 Carretera Estatal 431 "El Colorado-Galindo"
San Fandila, Pedro Escobedo
C.P. 76703
Querétaro, México
Tel: +52 442 216 97 77 ext. 2610

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>