IoT Smart Helmet With Alcohol Interlock, Geofence Speed Limiting, and Emergency Alerts: Conceptual Design and Acceptability

Javier-Fernando Angulo-Osorio[1]; Gian-Carlos Cruz-Ticlla[2]; José-Miguel Vega-Supo[3]
[1,2,3]Universidad Católica de Santa María, Perú, jangulo@ucsm.edu.pe, gian.cruz@estudiante.ucsm.edu.pe, jose.vega@estudiante.ucsm.edu.pe

***Abstract*– Motorcyclists account for a disproportionate share of road deaths, and conventional helmets provide only passive protection. Following a design science research approach, this paper presents the conceptual design of an Internet of Things (IoT) smart helmet that integrates ignition interlock upon alcohol detection with an MQ-3 sensor, speed limiting to 30 km/h through global positioning system (GPS) geofences in school and hospital zones, impact detection with an MPU-6050 inertial unit, and autonomous emergency alerts over general packet radio service (GPRS) and short message service (SMS). The artifact comprises a two-node ESP32 architecture linked by ESP-NOW, a virtual 3D model, standardized electrical schematics, and control models. Its ex ante evaluation combined an analytical technical assessment, which contrasts each subsystem with published quantitative evidence for the same components, with two independent acceptability surveys of motorcyclists (n = 70 and n = 75). The evidence indicates that GPS accuracy (2.5 m circular error probable) and ESP-NOW latency (below 50 ms) are compatible with the system, whereas SMS notification (8–12 s) and the deceleration strategy are critical. Regarding the specific functions, 77.3% expressed willingness to use the helmet, but only 41.3% preferred automatic speed reduction and 38.7% anticipated an unsafe speed transition, which directs the design toward gradual deceleration profiles preceded by warnings. The results place the concept between technology readiness levels 2 and 3 and define quantitative criteria for its physical verification.**

***Keywords*– Alcohol detection, geofencing, Internet of Things (IoT), road safety, smart helmet.**

Casco Inteligente IoT con Bloqueo por Alcohol, Limitación de Velocidad por Geocercas y Alerta de Emergencias: Diseño Conceptual y Aceptabilidad

Javier-Fernando Angulo-Osorio[1]; Gian-Carlos Cruz-Ticlla[2]; José-Miguel Vega-Supo[3]
[1,2,3]Universidad Católica de Santa María, Perú, jangulo@ucsm.edu.pe, gian.cruz@estudiante.ucsm.edu.pe, jose.vega@estudiante.ucsm.edu.pe

***Resumen*– Los motociclistas concentran una proporción desproporcionada de la mortalidad vial y el casco convencional solo ofrece protección pasiva. Bajo el enfoque de investigación en ciencia del diseño, este trabajo presenta el diseño conceptual de un casco inteligente basado en Internet de las Cosas (IoT) que integra bloqueo del arranque ante la detección de alcohol con un sensor MQ-3, limitación de velocidad a 30 km/h mediante geocercas del sistema de posicionamiento global (GPS) en zonas escolares y hospitalarias, detección de impactos con una unidad inercial MPU-6050 y alertas autónomas por servicio general de paquetes vía radio (GPRS) y mensajes de texto (SMS). El artefacto comprende una arquitectura de dos nodos ESP32 enlazados por ESP-NOW, un modelo virtual 3D, esquemas eléctricos normalizados y modelos de control. Su evaluación ex ante combinó un análisis técnico, que contrasta cada subsistema con evidencia cuantitativa publicada, y dos encuestas independientes de aceptabilidad a motociclistas (n = 70 y n = 75). La evidencia indica que la exactitud del GPS (2,5 m de error circular probable) y la latencia de ESP-NOW (inferior a 50 ms) son compatibles con el sistema, mientras que la notificación por SMS (8 a 12 s) y la desaceleración son críticas. Ante las funciones específicas, el 77,3% declaró disposición de uso, pero solo el 41,3% prefirió la reducción automática y el 38,7% anticipó una transición insegura, lo que orienta el diseño hacia desaceleraciones graduales con aviso. El concepto se sitúa entre los niveles de madurez tecnológica 2 y 3.**

***Palabras clave*– Casco inteligente, detección de alcohol, geocercas, Internet de las cosas (IoT), seguridad vial.**

I. Introducción

Los siniestros de tránsito causan cerca de 1,19 millones de muertes anuales y constituyen la principal causa de muerte entre los 5 y 29 años; los usuarios de vehículos motorizados de dos y tres ruedas representan el 21% de esas víctimas [1]. En la Unión Europea, los conductores de estos vehículos suman el 17% de las muertes viales y duplican la tasa de fallecidos por cada cien mil vehículos registrados respecto a los ocupantes de automóviles [2]. En las Américas, la conducción bajo los efectos del alcohol, la velocidad y el uso del casco figuran entre los factores de riesgo prioritarios [3]. En el Perú, el Observatorio Nacional de Seguridad Vial dedica un informe específico a la siniestralidad fatal con motocicletas [4] y el Decreto Supremo N.° 025-2021-MTC fijó en 30 km/h la velocidad máxima en zonas escolares y hospitalarias [5].

El casco convencional mitiga el daño después del impacto, pero no interviene sobre sus causas. La norma, por sí sola, depende de la voluntad de un conductor cuyo juicio puede estar alterado. La evidencia sobre dispositivos de bloqueo por alcohol muestra que la tecnología sí puede actuar donde falla la voluntad: mientras el dispositivo permanece instalado, el riesgo relativo (RR) de reincidencia se reduce a 0,36, con un intervalo de confianza (IC) del 95% de 0,21 a 0,63 [6]. Trabajos previos han integrado sensores en vehículos y cascos para bloquear el arranque [7]–[12], limitar la velocidad por geocercas [13]–[15] o notificar accidentes [16]–[19]. Sin embargo, rara vez se reúnen estas funciones en un mismo sistema, se especifica la conectividad eléctrica completa o se estudia cómo perciben los usuarios una intervención automática sobre la velocidad.

De este vacío se deriva la pregunta de investigación: ¿qué desempeño técnico cabe esperar de un casco inteligente IoT que integra bloqueo por alcohol, limitación de velocidad por geocercas y alerta autónoma de emergencia, y qué aceptabilidad genera entre motociclistas? El objetivo general es diseñar dicho casco y evaluar ex ante su factibilidad técnica y su aceptabilidad. Los objetivos específicos son: (OE1) diseñar la arquitectura, la conectividad eléctrica y el modelo virtual del sistema; (OE2) determinar el desempeño técnico esperable de cada subsistema a partir de evidencia documentada y modelos de ingeniería; y (OE3) describir la aceptabilidad del problema y de las funciones del sistema entre motociclistas. En correspondencia, el artículo aporta tres resultados: 1) un artefacto de diseño completo, con arquitectura IoT de dos nodos, modelo virtual y especificación de conectividad; 2) un análisis técnico que contrasta cada subsistema con evidencia cuantitativa publicada y deriva criterios de diseño para la desaceleración y la latencia de alerta; y 3) una evaluación exploratoria de aceptabilidad que distingue entre el bloqueo por alcohol y la intervención activa sobre la velocidad. La Sección II revisa los trabajos relacionados; la Sección III describe los materiales y métodos; la Sección IV presenta los resultados; la Sección V los discute; la Sección VI expone las limitaciones y la Sección VII, la conclusión.

II. Trabajos relacionados

Los bloqueos de encendido por alcohol en automóviles se han desarrollado en tesis latinoamericanas con alcoholímetros comerciales [7], con verificación biométrica de identidad para evitar la suplantación [8] y como oportunidad de negocio [9]. En cascos, los desarrollos recientes combinan la detección de alcohol con la verificación de uso del casco [10], [11]. Devakirubai *et al.* reportan una exactitud de detección de

alcohol cercana al 96% y un corte de encendido en menos de 500 ms con un MQ-3 y enlace de radiofrecuencia [12].

La limitación automática de velocidad por geocercas se ha propuesto para vehículos eléctricos en zonas escolares [13] y con ESP32 y el sistema de posicionamiento global (GPS), con identificación de zonas evaluada en simulación y pruebas preliminares [14]. Otro sistema con ESP32 reporta una exactitud superior al 95% en la detección de exceso de velocidad, aunque solo emite alertas [15]. En motocicletas, los proyectos europeos de asistencia al conductor priorizan advertencias hápticas y visuales [20], y la literatura sobre aceptación sostiene que estos sistemas deben asistir al conductor sin tomar el control [21].

En la notificación de accidentes, un sistema empresarial detecta la inclinación de la motocicleta e informa a la empresa [16]; otro depende del teléfono del usuario [17]. Nossam *et al.* envían las coordenadas por la red del sistema global para comunicaciones móviles (GSM) cuando se detecta un accidente o la presencia de alcohol [18], y Barhate *et al.* combinan MPU-6050, NEO-6M y SIM800L con envío simultáneo por servicio de mensajes cortos (SMS) y mensajería instantánea [19]. La Tabla I resume la cobertura funcional de estos trabajos. Ninguno reúne las cuatro funciones del presente sistema ni evalúa con usuarios cómo se percibe la intervención automática sobre la velocidad, que son los dos aportes diferenciales de este estudio.

TABLA I
COBERTURA FUNCIONAL DE TRABAJOS RELACIONADOS

Trabajo	Alcohol	Uso casco	Velocidad	Impacto	Alerta	Usuarios
[7]–[9]	✓	–	–	–	–	–
[10]	✓	✓	–	✓	○	–
[11], [12]	✓	✓	–	–	–	–
[13], [14]	–	–	✓	–	–	–
[15]	✓	–	○	–	○	–
[16], [17]	–	–	–	✓	○	–
[18]	✓	–	–	✓	✓	–
[19]	–	–	–	✓	✓	–
Este trabajo	✓	✓	✓	✓	✓	✓

✓: función incluida; ○: parcial (solo aviso o dependiente del teléfono); –: no reportado.

III. Materiales y métodos

III-A. Enfoque y diseño de la investigación

El estudio adopta el paradigma de investigación en ciencia del diseño (Design Science Research), orientado a crear y evaluar artefactos que resuelven problemas relevantes [22]. Su proceso comprende identificar el problema, definir los objetivos de la solución, diseñar el artefacto, demostrarlo, evaluarlo y comunicarlo [23]; este trabajo abarca el diseño y su evaluación. Es una investigación tecnológica aplicada, con enfoque cuantitativo y alcance descriptivo-exploratorio [24], organizada en dos niveles (Fig. 1). El nivel de desarrollo siguió las fases de Design Thinking [25]: los mapas de empatía con conductores y policías de tránsito se tradujeron en cuatro requerimientos funcionales, uno por función. El artefacto resultante es un diseño detallado compuesto por un modelo virtual 3D, esquemas eléctricos normalizados y modelos de control.

Conforme al marco FEDS, la evaluación es *ex ante*, es decir, previa a la construcción física, y combina una estrategia analítica con una naturalista centrada en usuarios [26]. La primera es un análisis técnico basado en evidencia documental y modelos de ingeniería. La segunda mide aceptabilidad, entendida como el juicio que las personas forman sobre una tecnología antes de usarla, a diferencia de la aceptación, que se forma tras su uso [27]; se basa en dos cortes transversales independientes con muestreo no probabilístico por conveniencia [24]. Por su madurez, el trabajo se sitúa entre los niveles de madurez tecnológica (TRL) 2 y 3: concepto formulado y prueba analítica de sus funciones críticas [28]. Ninguno de los componentes constituye una validación experimental; sus alcances se delimitan en la Sección VI.

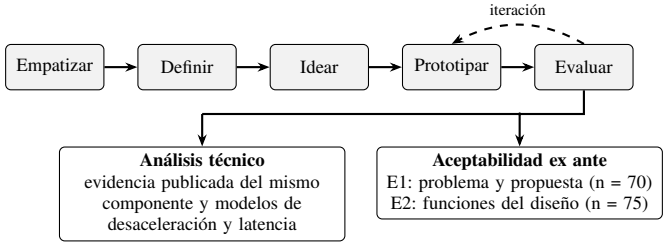


Fig. 1. Organización metodológica del estudio.

III-B. Arquitectura y conectividad del sistema

El sistema consta de dos nodos basados en ESP32-WROOM-32. La unidad casco verifica el uso del casco con tres sensores TCRT5000, mide el etanol del aliento con un MQ-3, detecta impactos con una unidad de medición inercial (IMU) MPU-6050 y emite retroalimentación visual y sonora. La unidad motocicleta recibe el estado del casco por ESP-NOW, obtiene posición y velocidad del NEO-6M, regula el motor con un módulo de transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor (MOSFET) IRF520 y envía las alertas con un SIM800L. Para la verificación en banco prevista, un potenciómetro representa el acelerador y un motor de corriente continua, la carga de tracción. La Fig. 2 muestra el modelado 3D y la Fig. 3, los módulos comerciales empleados. La conectividad eléctrica se especifica por módulos: sensado (Fig. 4), actuación (Fig. 5) y alimentación (Fig. 6) de la unidad casco, y comunicación (Fig. 7) y potencia (Fig. 8) de la unidad motocicleta. Ambas unidades usan la placa ESP32-DevKitC V4 con módulo ESP32-WROOM-32, alimentada por su pin de 5 V, cuyo regulador entrega los 3,3 V del sistema; todos los pines empleados están disponibles en sus conectores [29]. Las interfaces empleadas son el convertidor analógico-digital (ADC), el bus I^2C (inter-integrated circuit), el transmisor-receptor asíncrono universal (UART) y la modulación por ancho de pulso (PWM) del controlador LEDC del ESP32, que también gobierna los diodos emisores de luz (LED). Las entradas analógicas usan ADC1 porque ADC2 no está disponible cuando opera la radio Wi-Fi, y las entradas de reactivación son pines de propósito general (GPIO) del dominio de reloj de tiempo real (RTC) compatibles con el modo ext1 [30]. Los módulos seleccionados son el SIM800L, que requiere de 3,4 a 4,4 V con picos de 2 A [31]; el módulo MOSFET IRF520 con

entrada de control SIG, carga en V+ y V− y alimentación de hasta 24 V [32]; y el convertidor elevador MT3608, que admite de 2 a 24 V de entrada con 2 A de corriente de conmutación [33]. La Tabla II resume las interfaces, los modelos y los parámetros.

Respecto al diseño inicial, se sustituyó el transistor Darlington TIP120 por el módulo IRF520 y se añadieron el SIM800L, para no depender del teléfono del conductor, y el MPU-6050, para detectar impactos. La unidad inercial y el pulsador de cancelación SW1 permiten distinguir un impacto real de una maniobra brusca. Los esquemas también explicitan dos elementos que el diseño inicial no detallaba: el convertidor elevador A7, que obtiene los 5 V que requiere el calentador del MQ-3 a partir de la batería de 3,7 V, y el capacitor C1, que amortigua las caídas de tensión del SIM800L durante la transmisión.

III-C. Lógica de control y modelos de ingeniería

La distancia d entre la posición del vehículo (φ_1, λ_1) y el centro de una zona de riesgo (φ_2, λ_2) se calcula con la fórmula del haversine, con R igual al radio terrestre:

$$d = 2R \arcsin\sqrt{\sin^2\frac{\Delta\varphi}{2} + \cos\varphi_1 \cos\varphi_2 \sin^2\frac{\Delta\lambda}{2}}\,. \qquad (1)$$

Para que el vehículo alcance la velocidad límite v_{lim} al llegar al borde de una zona de radio r, la limitación debe iniciarse a una distancia de activación

$$d_{\text{act}} = r + \frac{v^2 - v_{\text{lim}}^2}{2a_c} + \frac{v}{f} + e\,, \qquad (2)$$

donde v es la velocidad inicial, a_c la desaceleración de diseño, f la frecuencia de actualización del GPS y e el error horizontal esperado. Dentro de la zona, la señal PWM u_k sigue la orden del acelerador $u_{a,k}$ saturada en u_{lim}, con una variación máxima Δu por ciclo que acota la desaceleración:

$$u_k = \text{máx}\big(\,\text{mín}(u_{a,k}, u_{\text{lim}}),\; u_{k-1} - \Delta u\big)\,. \qquad (3)$$

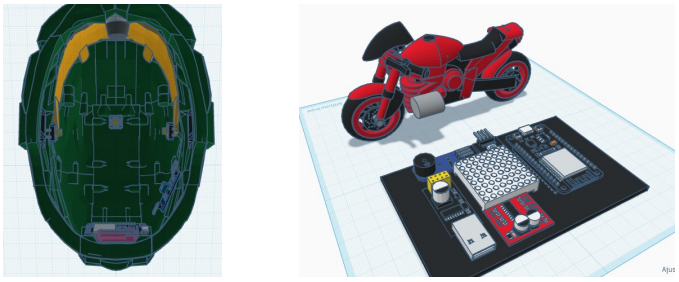
Un impacto se declara cuando la magnitud de aceleración $|\mathbf{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$ supera el umbral a_{th} junto con una velocidad angular anómala; el diseño adopta inicialmente $a_{\text{th}} = 4$ g. Tras la detección se abre una ventana de cancelación $T_{\text{can}} = 10$ s. La latencia total de la alerta se modela como

$$T_{\text{e2e}} = T_{\text{det}} + T_{\text{can}} + T_{\text{fix}} + T_{\text{canal}}\,, \qquad (4)$$

donde T_{fix} es el tiempo de fijación GPS y T_{canal} el tiempo del canal de envío. En el diseño en cascada, T_{canal} equivale al tiempo del servicio general de paquetes vía radio (GPRS) o, si este falla, al tiempo de espera de 15 s más el envío del SMS.

III-D. Análisis técnico basado en evidencia

Para cada subsistema se buscaron resultados cuantitativos en Crossref, OpenAlex, IEEE Xplore, repositorios institucionales y documentación de fabricantes. Se incluyeron fuentes que: 1) empleaban el mismo componente o protocolo; 2) reportaban un valor numérico con sus condiciones de prueba; y 3) correspondían a hojas de datos del fabricante, publicaciones



(a) (b)

Fig. 2. Modelo virtual 3D del sistema en Tinkercad: (a) vista interior del casco con la ubicación de los sensores; (b) unidad motocicleta con su placa electrónica.



(a) ESP32 (b) MQ-3 (c) NEO-6M



(d) MPU-6050 (e) SIM800L (f) IRF520

Fig. 3. Módulos comerciales seleccionados para el diseño.

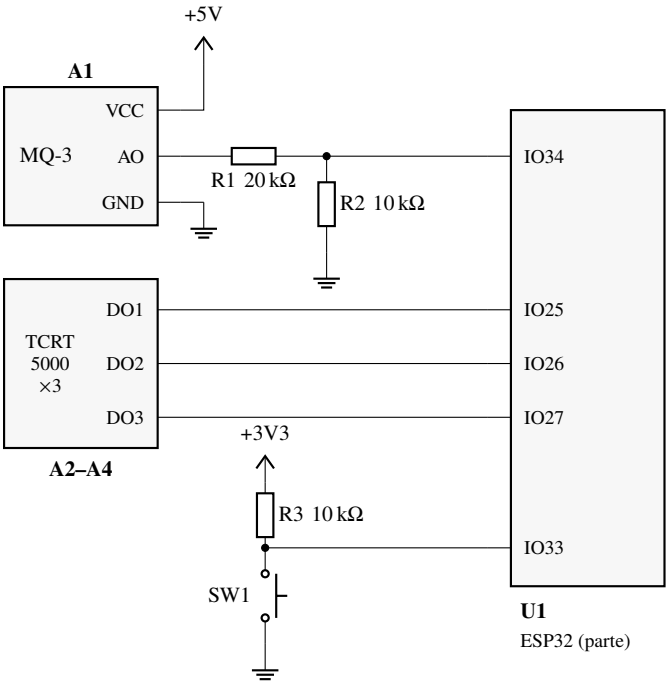


Fig. 4. Esquema de la unidad casco, módulo de sensado: MQ-3 con divisor de tensión, sensores TCRT5000 de uso del casco y pulsador de cancelación. Símbolos según IEC 60617; designadores: U, placa con microcontrolador; A, módulo; R, resistor; SW, pulsador.

arbitradas o documentos académicos verificables. Los valores obtenidos se usan como cotas de referencia y como insumos de (2) y (4). No constituyen mediciones del sistema diseñado.

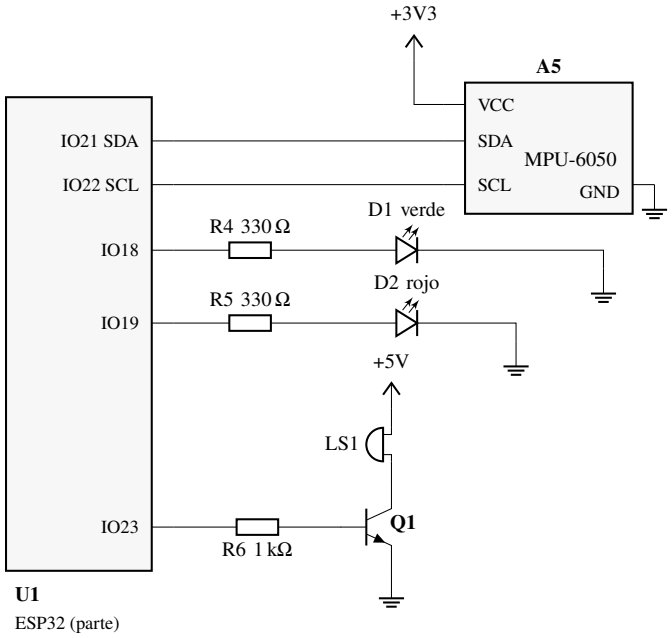


Fig. 5. Esquema de la unidad casco, módulo de actuación: unidad inercial MPU-6050 por I^{2}C, indicadores LED y zumbador LS1 conmutado por el transistor Q1.

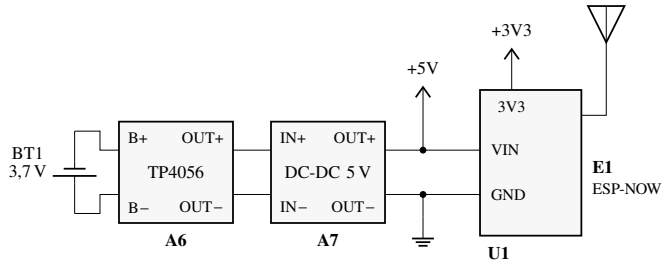


Fig. 6. Esquema de la unidad casco, módulo de alimentación: batería BT1, cargador A6, convertidor elevador A7 de 5 V y antena E1 del enlace ESP-NOW.

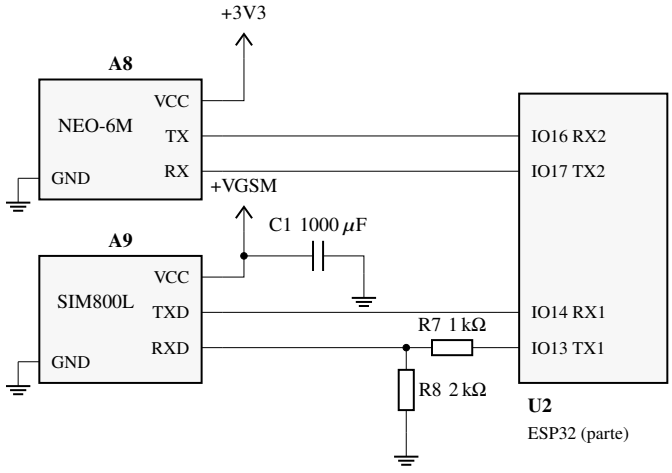


Fig. 7. Esquema de la unidad motocicleta, módulo de comunicación: receptor NEO-6M por UART2 y módem SIM800L por UART1, con capacitor de desacople C1 y divisor R7–R8 en RXD. La red +VGSM es una fuente dedicada para los picos de transmisión GSM.

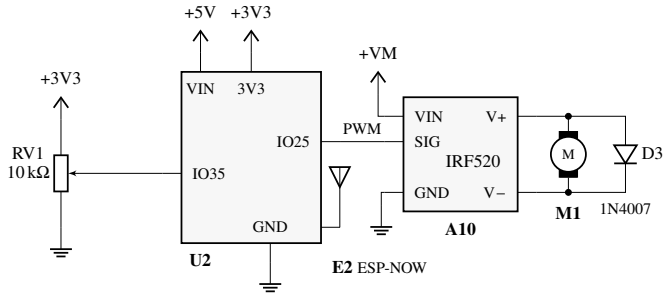


Fig. 8. Esquema de la unidad motocicleta, módulo de potencia: potenciómetro RV1 que representa el acelerador, salida PWM hacia el módulo IRF520, motor M1 con diodo de rueda libre D3 y antena E2. La red +VM alimenta el motor; todas las tierras son comunes.

TABLA II
INTERFACES, PARÁMETROS Y ACONDICIONAMIENTO

Componente	Interfaz	Parámetros y justificación
MQ-3	ADC1, 12 bits	Divisor 1/3 que mantiene la señal bajo 1,7 V con atenuación de 11 dB; precalentamiento inicial superior a 24 h [34].
TCRT5000 (3)	GPIO RTC	Módulo con comparador LM393 cuya salida DO pasa a nivel bajo al detectar reflexión; reactivación ext1 con todas las entradas en bajo [30].
MPU-6050	I^{2}C	400 kHz; rangos de ±16 g y ±2000 °/s [35].
NEO-6M	UART2	NMEA 0183 a 9600 bps; hasta 5 Hz; 2,5 m CEP [36].
SIM800L	UART1	Comandos AT a 115 200 bps; divisor en RXD; fuente de 3,4 a 4,4 V con picos de 2 A y desacople C1 [31].
IRF520	LEDC PWM	Módulo SIG/GND con carga en V+/V− hasta 24 V [32]; 5 kHz, 8 bits. Umbral de compuerta de 2 a 4 V y $R_{DS(on)}$ especificada a 10 V [37]; con 3,3 V conduce parcialmente.
Motor DC	Potencia	Diodo 1N4007 en antiparalelo contra la fuerza contraelectromotriz.
ESP-NOW	802.11	Tramas de acción sin punto de acceso [30].
ESP32-DevKitC V4	5V / 3V3	Placa U1 y U2 con ESP32-WROOM-32; entrada de 5 V y salida regulada de 3,3 V [29].
TP4056 y MT3608	Potencia	Carga con protección de la batería (A6) y elevación a 5 V para el calentador del MQ-3 (A7) [33].

CEP: error circular probable; NMEA: protocolo National Marine Electronics Association; AT: comandos de atención del módem; DC: corriente continua.

III-E. Evaluación de aceptación

La técnica fue la encuesta y el instrumento, un cuestionario estructurado de nueve ítems cerrados administrado en Microsoft Forms, organizado en tres ejes: alcohol, velocidad y alertas. La evaluación inicial (E1), aplicada a 70 motociclistas, exploró la exposición al problema y la aceptabilidad general de la propuesta. La segunda evaluación (E2), aplicada a 75 motociclistas, valoró las funciones específicas del diseño descritas en el cuestionario, como el tiempo de lectura del sensor, la alarma, la transición de velocidad y el formato de la alerta. Los participantes no interactuaron con un sistema físico; por ello, sus respuestas se interpretan como juicios anticipados sobre el funcionamiento descrito, propios de la aceptabilidad [27]. Las muestras son independientes y los ítems no son equivalentes, por lo que E1 y E2 no se comparan como medidas repetidas ni sus diferencias se interpretan como cambios individuales.

Se calcularon proporciones con intervalos de confianza del 95% por el método de Wilson [38]. Una respuesta se consideró favorable solo si expresaba de forma explícita aceptación de la función evaluada. Las respuestas abiertas y la preferencia por un modo solo informativo se reportan por separado. Cada ítem se asoció conceptualmente a un constructo del modelo de aceptación tecnológica (TAM) [39]: utilidad percibida (UP), facilidad de uso (FU) e intención de uso (IU), a los que se añadió seguridad percibida (SP). Esta correspondencia orienta la lectura de los resultados, pero no sustituye una escala validada. Para sistemas de asistencia a la conducción, la referencia validada es la escala de aceptación de Van der Laan, con dimensiones de utilidad y satisfacción [40]; una revisión sistemática de 128 estudios con 6058 participantes reporta una fiabilidad mediana superior a $\alpha = 0{,}83$ [41]. La participación fue voluntaria y anónima: el formulario no solicitó datos de identificación personal y los participantes podían abandonarlo en cualquier momento.

IV. Resultados

IV-A. Desempeño técnico de referencia

Las Tablas III a VI reúnen, por subsistema, la evidencia cuantitativa documentada, sus condiciones de obtención y el criterio que se deriva para el diseño.

Con $v = 50$ km/h, $v_{\text{lim}} = 30$ km/h y $e = 5$ m, la ecuación (2) indica que la limitación debe iniciarse entre 50 y 81 m antes del borde de la zona, según a_c y f (Fig. 9). Con $a_c = 1$ m/s², la reducción dura 5,6 s y recorre 61,7 m. Un cambio brusco de consigna, en cambio, concentra la pérdida de velocidad en muy poco tiempo. Por su parte, la ecuación (4) con los valores de las Tablas IV y V arroja 19 a 23 s si el SMS se envía en paralelo con el canal de datos y 34 a 38 s en el peor caso de la cascada GPRS–SMS. Ambas cifras incluyen la ventana de cancelación de 10 s.

IV-B. Aceptabilidad inicial (E1, n = 70)

La Tabla VII resume la categoría principal de cada ítem. El 85,7% había presenciado o protagonizado conducción de motocicletas bajo los efectos del alcohol y solo el 30,0% conocía con exactitud el límite de 30 km/h en zonas escolares y hospitalarias. La disposición explícita a usar el casco con bloqueo fue del 48,6%. Otro 42,9% eligió la opción de respuesta abierta; sus respuestas no se clasificaron como favorables.

IV-C. Aceptabilidad de las funciones del diseño (E2, n = 75)

La Tabla VIII y la Fig. 10 presentan la distribución completa de E2. El 84,0% consideró que el casco reduciría la conducción bajo los efectos del alcohol y el 77,3% declaró disposición de uso, total o condicionada a ajustes de peso y tamaño. El 20,0% se mostró poco dispuesto porque la lectura del sensor retrasa su rutina. En el eje de velocidad, el 41,3% prefirió la intervención automática, el 36,0% un casco que solo avise y el 18,7% mantener el control propio. El formato de la alerta fue bien valorado por el 93,3%, aunque el 64,0% pidió un mensaje más descriptivo, y el 66,7% prefirió gestionar los contactos desde una aplicación móvil.

TABLA III
Evidencia técnica: detección de alcohol y bloqueo

Indicador	Valor documentado y condiciones	Criterio de diseño
MQ-3: rango	0,05 a 10 mg/L; precalentamiento inicial superior a 24 h [34] *(Hoja de datos, 20 °C, 65% HR)*	Calibrar cada unidad con patrón de 0,4 mg/L antes de fijar el umbral.
MQ-3: recuperación	Cerca de 30 s [42] *(Sistema vehicular con MQ-3)*	Intervalo mínimo de 30 s entre lecturas consecutivas.
Casco con bloqueo	Detección de alcohol ≈96%; corte del encendido en menos de 500 ms [12] *(Casco con MQ-3 y radiofrecuencia)*	Meta de verificación: exactitud ≥95% y corte <0,5 s.
Programas de bloqueo	RR = 0,36 (IC 95%: 0,21 a 0,63) con el dispositivo instalado [6] *(Revisión sistemática Cochrane)*	El efecto se limita al periodo de uso; exige uso sostenido.

HR: humedad relativa; RR: riesgo relativo; IC: intervalo de confianza.

TABLA IV
Evidencia técnica: geolocalización y geocerca

Indicador	Valor documentado y condiciones	Criterio de diseño
NEO-6M: hoja de datos	2,5 m CEP; 0,1 m/s; hasta 5 Hz; fijación de 27 s en frío y 1 s en caliente [36] *(Hoja de datos, cielo abierto)*	Mantener arranque en caliente; $e = 5$ m en (2).
NEO-6M: error en campo	Error medio de 3 a 5 m [19] *(Cielo abierto, ESP32)*	Coherente con $e = 5$ m.
Exceso de velocidad	Exactitud superior al 95% [15] *(ESP32 con GPS)*	Meta de verificación del ingreso a la geocerca.

TABLA V
Evidencia técnica: comunicación y alertas

Indicador	Valor documentado y condiciones	Criterio de diseño
ESP-NOW	5,13 a 46 ms hasta 150 m; pérdidas altas desde 180 m [43]; mediana de 1 a 2 ms entre 20 y 70 m [44]; 23,2 ms de media nodo-pasarela con entrega del 100% [45] *(Campo abierto; interiores; red de sensores)*	Latencia despreciable frente a T_{e2e} en un enlace menor a 2 m.
SIM800L	8 a 12 s con coordenadas GPS [19] *(Sistema ESP32 con NEO-6M)*	El SMS no garantiza por sí solo una alerta en menos de 10 s.

TABLA VI
Evidencia técnica: impacto y desaceleración

Indicador	Valor documentado y condiciones	Criterio de diseño
Impacto (IMU)	Más de 7 g sostenidos 100 ms, sin disparos en badenes, baches ni frenadas [19]; 97 a 99% de exactitud con doble umbral [46] *(Pruebas en ruta; conjuntos de caídas)*	Sustituir el umbral instantáneo de 4 g por umbral con duración mínima.
Frenado automático	0,15 g a 40 km/h manejada con esfuerzo menor a moderado por 16 conductores [47] *(Ensayo de campo en motocicleta)*	Cota de diseño $a_c \leq 1{,}47$ m/s².
Confort longitudinal	La incomodidad crece con la amplitud entre 0,4 y 2 m/s² [48]; los perfiles escalonados se perciben más suaves [49] *(Simulador (23 participantes); pista (36))*	Rampa gradual con $a_c \approx 1$ m/s² precedida de aviso.

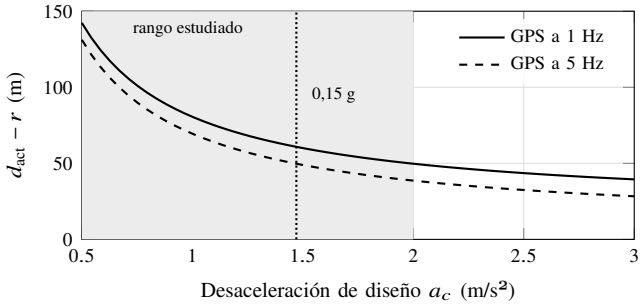


Fig. 9. Distancia de anticipación requerida para reducir de 50 a 30 km/h según (2), con e = 5 m. La franja gris indica el rango de aceleraciones estudiado en confort y la línea punteada, la desaceleración de 0,15 g ensayada en motocicletas (Tabla VI).

TABLA VII
ACEPTABILIDAD INICIAL DEL PROBLEMA Y LA PROPUESTA, E1 (N = 70)

Ítem	Categoría reportada	C.	n	% [IC 95%]
I1	Ha presenciado conducción ebria	–	60	85,7 [75,7; 92,1]
I2	Totalmente dispuesto a usarlo	IU	34	48,6 [37,2; 60,0]
I2	Respuesta abierta (no clasificada)	–	30	42,9 [31,9; 54,5]
I3	Alarma sonora apropiada	UP	55	78,6 [67,6; 86,6]
I4	Conoce con exactitud el límite	–	21	30,0 [20,5; 41,5]
I5	De acuerdo con reducir a 30 km/h	UP	60	85,7 [75,7; 92,1]
I6	Prevé menos atropellos	UP	49	70,0 [58,5; 79,5]
I7	Alerta útil o muy útil	UP	67	95,7 [88,1; 98,5]
I8	Prefiere 2 o 3 contactos	FU	44	62,9 [51,1; 73,2]
I9	Latencia <10 s crítica o muy importante	UP	61	87,1 [77,3; 93,1]

C.: constructo asociado (UP, FU, IU, SP).

TABLA VIII
ACEPTABILIDAD DE LAS FUNCIONES DEL DISEÑO, E2 (N = 75)

Ítem	Categoría reportada	C.	n	% [IC 95%]
P1	Reduciría o erradicaría la conducción ebria	UP	63	84,0 [74,1; 90,6]
P2	Dispuesto (total o con ajustes)	IU	58	77,3 [66,7; 85,3]
P2	Poco dispuesto: la lectura demoraría	FU	15	20,0 [12,5; 30,4]
P3	Alarma valorada como adecuada	FU	59	78,7 [68,1; 86,4]
P4	Prefiere reducción automática	IU	31	41,3 [30,9; 52,6]
P4	Prefiere solo aviso	IU	27	36,0 [26,1; 47,3]
P5	Transición prevista como segura	SP	25	33,3 [23,7; 44,6]
P5	Transición prevista como insegura	SP	29	38,7 [28,5; 50,0]
P6	Impacto alto en atropellos	UP	49	65,3 [54,1; 75,1]
P7	Formato de alerta bueno o excelente	UP	70	93,3 [85,3; 97,1]
P8	Contactos desde aplicación móvil	FU	50	66,7 [55,4; 76,3]
P9	Rapidez de envío adecuada	UP	60	80,0 [69,6; 87,5]

IV-D. Seguridad anticipada de la transición de velocidad

El ítem P5 concentró la valoración menos favorable del estudio. Solo el 33,3% anticipó que la reducción automática a 30 km/h sería muy segura y fluida. Un 28,0% la previó segura pero ligeramente abrupta, el 32,0% poco segura por la inestabilidad que genera y el 6,7% totalmente insegura. En conjunto, dos de cada tres participantes (66,7%; IC 95%: 55,4 a 76,3) anticiparon brusquedad o inseguridad. Este resultado coexiste con el apoyo inicial a la función (85,7% en I5) y con la preferencia dividida entre intervención y aviso en P4.

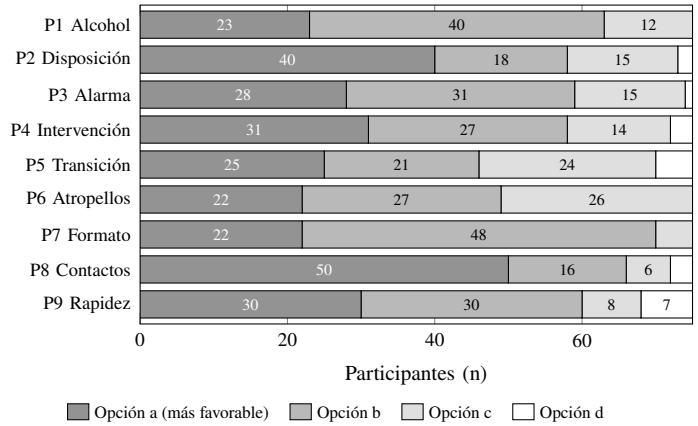


Fig. 10. Distribución de respuestas en E2 por ítem. Las opciones se ordenan de la más favorable (a) a la menos favorable (d).

V. DISCUSIÓN

V-A. Desempeño técnico

La evidencia documentada permite afirmar que los componentes elegidos son técnicamente compatibles con las funciones del sistema, pero no que el sistema, una vez construido, alcance esos valores. La exactitud del NEO-6M, de 2,5 m CEP en hoja de datos y de 3 a 5 m en campo [19], [36], es pequeña frente a las distancias de anticipación de 50 a 81 m que exige la desaceleración gradual. En la geocerca, el factor dominante es la dinámica del vehículo y no el error de posición. Del mismo modo, la latencia de ESP-NOW, de milisegundos a 150 m [43], [44], resulta despreciable para un enlace casco–motocicleta menor a 2 m.

Tres aspectos requieren rediseño. Primero, el objetivo de notificar en menos de 10 s no es alcanzable con la cascada actual: la ventana de cancelación ya consume 10 s y el SMS añade de 8 a 12 s [19]. La latencia debe reportarse desde el cierre de la ventana y ambos canales deben operar en paralelo. Segundo, el umbral instantáneo de 4 g es inferior a los 7 g sostenidos durante 100 ms que evitaron falsas alarmas en ruta [19]. Tercero, el IRF520 conduce parcialmente con 3,3 V en la compuerta [37]. Esto es aceptable en una verificación en banco de baja potencia, pero exige un MOSFET de nivel lógico o un controlador de compuerta para cargas mayores. La aplicación en motocicletas de combustión requiere intervenir el control electrónico del acelerador o del encendido, aspecto que queda fuera del alcance de este diseño.

V-B. Aceptación del usuario

La aceptabilidad difiere según la función. El bloqueo por alcohol obtuvo credibilidad (84,0% en P1) y una disposición de uso del 77,3%, en línea con la eficacia documentada de los bloqueos mientras están instalados [6]. La fricción principal es de facilidad de uso: el 20,0% percibe que la lectura retrasa su rutina, lo que concuerda con el tiempo de recuperación cercano a 30 s del MQ-3 [42].

La intervención sobre la velocidad genera una aceptabilidad más dividida. Que el 36,0% prefiera un casco que solo avise

coincide con la literatura sobre adaptación inteligente de velocidad. En un ensayo neerlandés, el 62% de los conductores aceptó el sistema informativo y el 48%, el obligatorio; la experiencia de uso elevó la aceptación en unos 20 puntos porcentuales [50]. En motocicletas se recomienda asistir sin tomar el control [21], y los sistemas europeos anteponen advertencias hápticas a cualquier corrección [20].

El 38,7% que anticipó una transición insegura admite tres explicaciones compatibles. La primera es la ausencia de aviso previo: en los sistemas de curva, el aviso desaparece al alcanzarse la desaceleración correcta, lo que mejora la aceptabilidad [20]. La segunda es la magnitud y forma del cambio: la incomodidad crece con la amplitud de la aceleración [48] y los perfiles escalonados se perciben más suaves [49]. La tercera es la naturaleza ex ante de la evaluación: sin experiencia de uso, los conductores tienden a sobrestimar el riesgo de una intervención automática, y la exposición real a estos sistemas eleva su aceptación [50]. Aun así, desaceleraciones automáticas de 0,15 g resultaron manejables para conductores reales de motocicleta [47], y trabajos posteriores ajustaron parámetros de frenado autónomo con criterios de aceptabilidad [51]. El rediseño derivado consiste en avisar al entrar en d_{act}, reducir con rampa acotada por (3) y $a_c \leq 1{,}47$ m/s², y ofrecer un modo informativo configurable.

V-C. Viabilidad del sistema

La viabilidad técnica del diseño está respaldada para el sensado y la comunicación entre nodos, y condicionada para la notificación, la etapa de potencia y la integración vehicular. La viabilidad social es favorable para el bloqueo por alcohol e intermedia para la limitación de velocidad. La viabilidad normativa se apoya en el límite de 30 km/h vigente [5]. Sin embargo, el MQ-3 no es un instrumento de medición legal y debe entenderse como barrera preventiva. Estas conclusiones son de viabilidad y aceptabilidad exploratorias. No constituyen una validación.

VI. Limitaciones y trabajo futuro

El artefacto se encuentra en fase de diseño: su evaluación es ex ante y los valores técnicos provienen de estudios con componentes equivalentes, no de mediciones propias. Asimismo, los ítems de E2 describían funciones que los participantes no experimentaron, por lo que miden aceptabilidad y no aceptación. Las muestras son no probabilísticas e independientes, y el cuestionario ad hoc carece de evidencia de validez y confiabilidad, por lo que los resultados no se generalizan a la población de motociclistas. El sensor puede ser eludido si otra persona exhala, limitación que la verificación biométrica atenúa [8]. Como trabajo futuro, el sistema se construirá y se someterá a una verificación en banco con los criterios de las Tablas III a VI. Para el bloqueo por alcohol se adoptará el ensayo de precisión y exactitud de la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) de EE. UU.: con un punto de ajuste de 0,02 g/dL, ningún bloqueo en 20 ensayos a 0,000 g/dL, como máximo un bloqueo en 20 ensayos a 0,008 g/dL y como máximo un desbloqueo en 20 ensayos a 0,032 g/dL [52]. Esta incluye al menos 30 repeticiones por indicador: exhalaciones con patrones de etanol, pasadas por la geocerca, perfiles de desaceleración registrados, caídas simuladas y actividades cotidianas, y alertas cronometradas de extremo a extremo. La aceptación se medirá con la escala de Van der Laan [40], la System Usability Scale (SUS) [53], [54], ítems TAM [39] y una escala de seguridad percibida, en muestras pareadas antes y después de la interacción con el sistema construido.

VII. Conclusión

Respecto a OE1 y OE2, el diseño integra las cuatro funciones en una arquitectura de dos nodos con modelo virtual y conectividad especificada, y la evidencia publicada para componentes equivalentes indica que el GPS, el enlace ESP-NOW y la unidad inercial son compatibles con las funciones del casco. Los puntos críticos son la latencia de notificación, el umbral de impacto y la etapa de potencia. Los modelos de desaceleración y latencia fijan criterios cuantitativos para la verificación en banco.

Respecto a OE3, el bloqueo por alcohol fue la función con mayor aceptabilidad y la limitación automática de velocidad dividió las preferencias. La inseguridad anticipada en la transición, expresada por el 38,7% en E2, señala la desaceleración gradual con aviso previo como prioridad de diseño.

En relación con el objetivo general, el sistema es técnicamente factible en el nivel de diseño y socialmente aceptable en su función de bloqueo, con una madurez entre TRL 2 y TRL 3. Su avance hacia la construcción y el despliegue depende de la verificación experimental, del rediseño de la desaceleración y de la integración con el control del vehículo.

Agradecimiento

Los autores agradecen a la Universidad Católica de Santa María por el apoyo brindado al desarrollo del proyecto.

Referencias

[1] World Health Organization, *Global Status Report on Road Safety 2023*. Geneva, Switzerland: WHO, 2023, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://www.who.int/publications/i/item/9789240086517

[2] A. Silla *et al.*, "A headway to improve PTW rider safety within the EU through three types of ITS," *Eur. Transp. Res. Rev.*, vol. 10, no. 2, 2018.

[3] Organización Panamericana de la Salud, *Estado de la seguridad vial en la Región de las Américas*. Washington, D.C., USA: OPS (in Spanish), 2019, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://iris.paho.org/handle/10665.2/51100

[4] Observatorio Nacional de Seguridad Vial, "Informe de siniestralidad de tránsito con motocicletas, 2021–2022," (in Spanish), Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Lima, Perú, Tech. Rep., Sep. 2023, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://www.onsv.gob.pe/post/informe-de-siniestralidad-de-transito-con-motocicletas-2021-2022/

[5] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, "MTC modifica los límites máximos de velocidad en zonas urbanas (Decreto Supremo N.° 025-2021-MTC)," (in Spanish), Press release, Jul. 2021, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/507197-mtc-modifica-los-limites-maximos-de-velocidad-en-zonas-urbanas

[6] C. Willis, S. Lybrand, and N. Bellamy, "Alcohol ignition interlock programmes for reducing drink driving recidivism," *Cochrane Database Syst. Rev.*, no. 2, 2004, Art. no. CD004168.

[7] E. R. Cupuerán Yánez, "Implementación de un dispositivo de seguridad para el bloqueo de encendido de un vehículo mediante alcocheck," (in Spanish), B.S. thesis, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, 2014, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/3512

[8] L. A. Restrepo Álvarez and J. J. Cardona Salazar, "Diseño de un sistema electrónico que mide el grado de alcoholemia y comprueba por biometría la identidad del conductor de un vehículo," (in Spanish), B.S. thesis, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia, 2015.

[9] A. Berrio Giraldo, "Dispositivo para detección de alcohol en conductores como una oportunidad de negocio," (in Spanish), B.S. thesis, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Medellín, Colombia, 2021, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://repository.unad.edu.co/handle/10596/41375

[10] V. S. Nagaraju, M. Anuradha, M. Charitha, and A. M. Ram, "Intelligent helmet using IoT," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 13, no. 11, 2024, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://www.ijert.org/intelligent-helmet-using-iot

[11] R. Suryawanshi, S. Jagtap, N. Mane, S. Madhikar, Y. Munde, and N. Choudhary, "IoT-enabled smart helmet: Enhancing safety for motorcycle riders through alcohol, drowsiness, and helmet detection," in *Lecture Notes in Networks and Systems*. Singapore: Springer, 2025, pp. 391–405.

[12] N. Devakirubai, G. Parthipan, V. Kaviyarasan, and A. Mohammed Faizal, "Design and implementation of an embedded smart helmet for alcohol detection and ignition interlock," *Int. J. Eng. Extended Technol. Res.*, vol. 8, no. 2, 2026.

[13] H. B. P. Anggoro, "Sistem pengontrol kecepatan otomatis pada kendaraan listrik di zona selamat sekolah dengan fitur geofence," (in Indonesian), B.S. thesis, Universitas Pembangunan Jaya, Tangerang Selatan, Indonesia, 2025, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://eprints.upj.ac.id/id/eprint/11577/

[14] P. S. Govind, S. Xavier, E. S. Swathy, U. Sinan, and A. Mathew, "GPS geofencing based automatic speed control system for school zone safety," *IES Int. J. Multidisciplinary Eng. Res.*, vol. 2, no. 1, p. 173, 2026, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://www.iescepublication.com/index.php/iesijmer/article/view/126

[15] J. A. J. Alsayaydeh, M. F. Yusof, K. S. Mohan, A. K. M. Z. Hossain, and S. Leoshchenko, "Advancing road safety: Precision driver detection system with integrated overspeed, alcohol detection, and tracking capabilities," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 14, no. 12, 2023.

[16] D. L. Lancheros Aguilar and H. N. Rojas Castillo, "Diseño e implementación de sistema de detección de accidentes en motocicleta para un entorno empresarial," (in Spanish), B.S. thesis, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, 2018, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://repository.udistrital.edu.co/items/e4dbee16-d2be-4856-93af-000ea0dde55a

[17] H. F. Sosa Martínez and J. S. Montoya Marín, "App con notificaciones de emergencia para accidentes de moto y red de sensores inteligentes," (in Spanish), B.S. thesis, Universidad Piloto de Colombia, Bogotá, Colombia, 2023, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/12438

[18] S. C. Nossam, G. Pulastya, R. A. Katakam, and M. Khanna, "Alcohol-triggered accident detection and alert system with GSM, GPS, ESP32 integration," in *Proc. 2nd Int. Conf. Intell. Sustain. Power Energy Syst.* SCITEPRESS, 2024, pp. 82–89.

[19] M. Y. Barhate *et al.*, "IoT-enabled vehicle accident detection system using ESP32 with GPS tracking and dual-channel emergency alerts via GSM-SMS and Telegram bot," in *Proc. 1st Eng. Data Anal. Manage. Conf. (EAMCON)*, ser. Advances in Engineering Research. Atlantis Press, 2025, pp. 623–635.

[20] F. Biral, M. D. Lio, R. Lot, and R. Sartori, "An intelligent curve warning system for powered two wheel vehicles," *Eur. Transp. Res. Rev.*, vol. 2, no. 3, pp. 147–156, 2010.

[21] V. Huth, "Motorcycle riders' acceptance of advanced rider assistance systems," in *Driver Acceptance of New Technology*, M. A. Regan, T. Horberry, and A. Stevens, Eds. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2018, pp. 187–206.

[22] A. R. Hevner, S. T. March, J. Park, and S. Ram, "Design science in information systems research," *MIS Quart.*, vol. 28, no. 1, pp. 75–105, 2004.

[23] K. Peffers, T. Tuunanen, M. A. Rothenberger, and S. Chatterjee, "A design science research methodology for information systems research," *J. Manage. Inf. Syst.*, vol. 24, no. 3, pp. 45–77, 2007.

[24] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, and P. Baptista Lucio, *Metodología de la investigación*, 6th ed. México, D.F.: McGraw-Hill Education (in Spanish), 2014.

[25] T. Brown, "Design thinking," *Harvard Bus. Rev.*, vol. 86, no. 6, pp. 84–92, 2008.

[26] J. Venable, J. Pries-Heje, and R. Baskerville, "FEDS: A framework for evaluation in design science research," *Eur. J. Inf. Syst.*, vol. 25, no. 1, pp. 77–89, 2016.

[27] E. Adell, A. Várhelyi, and L. Nilsson, "The definition of acceptance and acceptability," in *Driver Acceptance of New Technology*, M. A. Regan, T. Horberry, and A. Stevens, Eds. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2018, pp. 11–22.

[28] J. C. Mankins, "Technology readiness assessments: A retrospective," *Acta Astronaut.*, vol. 65, no. 9–10, pp. 1216–1223, 2009.

[29] *ESP32-DevKitC User Guide*, Espressif Systems, Shanghai, China, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://docs.espressif.com/projects/esp-dev-kits/en/latest/esp32/esp32-devkitc/user_guide.html

[30] *ESP-IDF Programming Guide: GPIO and ESP-NOW API Reference (ESP32)*, Espressif Systems, Shanghai, China, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/

[31] *SIM800 Hardware Design, V1.09*, SIMCom Wireless Solutions, Shanghai, China, 2016, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://simcom.ee/documents/SIM800/SIM800_Hardware%20Design_V1.09.pdf

[32] *IRF520 N-Ch MOSFET Module*, ProtoSupplies, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://protosupplies.com/product/irf520-n-ch-mosfet-module/

[33] *MT3608: High Efficiency 1.2 MHz 2 A Step Up Converter*, Aerosemi Technology Co., Ltd., Xi'an, China, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://www.olimex.com/Products/Breadboarding/BB-PWR-3608/resources/MT3608.pdf

[34] *MQ-3 Gas Sensor: Technical Data*, Hanwei Electronics Co., Ltd., Zhengzhou, China, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/MQ-3.pdf

[35] *MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification, PS-MPU-6000A-00, Rev. 3.1*, InvenSense Inc., Sunnyvale, CA, USA, 2011.

[36] *NEO-6 u-blox 6 GPS Modules: Data Sheet, GPS.G6-HW-09005-E*, u-blox AG, Thalwil, Switzerland, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://content.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf

[37] *IRF520 Power MOSFET, Document 91017*, Vishay Siliconix, Santa Clara, CA, USA, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://www.vishay.com/docs/91017/irf520.pdf

[38] E. B. Wilson, "Probable inference, the law of succession, and statistical inference," *J. Amer. Statist. Assoc.*, vol. 22, no. 158, pp. 209–212, 1927.

[39] F. D. Davis, "Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology," *MIS Quart.*, vol. 13, no. 3, pp. 319–340, 1989.

[40] J. D. Van der Laan, A. Heino, and D. De Waard, "A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics," *Transp. Res. C, Emerg. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–10, 1997.

[41] J. C. Zoellick, A. Kuhlmey, L. Schenk, and S. Blüher, "Method-oriented systematic review on the simple scale for acceptance measurement in advanced transport telematics," *PLOS ONE*, vol. 16, no. 3, 2021, Art. no. e0248107.

[42] O. O. Alabi, O. A. Adeaga, S. A. Ajagbe, E. O. Adekunle, and M. O. Adigun, "Design and implementation of an alcohol detection driver system," *Int. J. Reconfigurable Embedded Syst.*, vol. 13, no. 2, pp. 278–285, 2024.

[43] M. W. Mutiara, H. A. Kusuma, and T. Suhendra, "Field testing and QoS analysis of ESP-NOW communication on ESP32," in *Proc. FORTEI Int. Conf. Elect. Eng. (FORTEI-ICEE)*, 2024, pp. 82–88.

[44] P. Levush and A. Luchechko, "Performance evaluation of ESP-NOW for low-latency indoor IoT systems," *Adv. Cyber-Physical Syst.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–5, 2026.

[45] K. Smelcerz, "Characterization of latency sources in a MicroPython-based ESP32 edge–cloud sensor network," *Sensors*, vol. 26, no. 17, 2026, Art. no. 5555.

[46] A. Sucerquia, J. D. López, and F. Vargas, "Two-threshold energy based fall detection using a triaxial accelerometer," in *Proc. 38th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. (EMBC)*, 2016, pp. 3101–3104.

[47] G. Savino, M. Pierini, J. Thompson, M. Fitzharris, and M. G. Lenné, "Exploratory field trial of motorcycle autonomous emergency braking (MAEB): Considerations on the acceptability of unexpected automatic decelerations," *Traffic Injury Prevention*, vol. 17, no. 8, pp. 855–862, 2016.

[48] K. N. de Winkel, T. Irmak, R. Happee, and B. Shyrokau, "Standards for passenger comfort in automated vehicles: Acceleration and jerk," *Appl. Ergonom.*, vol. 106, 2023, Art. no. 103881.

[49] S. Horn *et al.*, "User evaluation of comfortable deceleration profiles for highly automated driving: Findings from a test track study," *Transp. Res. F, Traffic Psychol. Behav.*, vol. 105, pp. 206–221, 2024.

[50] H. Katteler, "Driver acceptance of mandatory intelligent speed adaptation," *Eur. J. Transp. Infrastructure Res.*, vol. 5, no. 4, pp. 317–336, 2005.

[51] C. Lucci, G. Savino, and N. Baldanzini, "Does motorcycle autonomous emergency braking (MAEB) mitigate rider injuries and fatalities? Design of effective working parameters and field test validation of their acceptability," *Transp. Res. C, Emerg. Technol.*, vol. 145, 2022, Art. no. 103865.

[52] National Highway Traffic Safety Administration, "Model specifications for breath alcohol ignition interlock devices (BAIIDs)," *Fed. Register*, vol. 78, no. 89, pp. 26 849–26 867, May 2013, Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2013-05-08/html/2013-10940.htm

[53] J. Brooke, "SUS: A "quick and dirty" usability scale," in *Usability Evaluation in Industry*, P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, and I. L. McClelland, Eds. London, U.K.: Taylor & Francis, 1996, pp. 189–194.

[54] A. Bangor, P. T. Kortum, and J. T. Miller, "An empirical evaluation of the System Usability Scale," *Int. J. Human–Comput. Interact.*, vol. 24, no. 6, pp. 574–594, 2008.