

# Universidad ORT Uruguay

## Facultad de Ingeniería

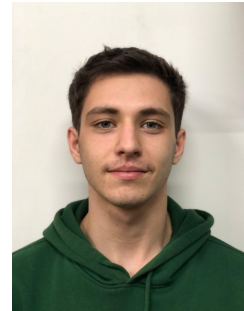
Obligatorio 2 - Entrega Final

Proyecto Integrador 2

### OPTISHOP

“Optimización de supermercados y experiencia del cliente”

Nicolás Ciappesoni (265309) - Lucas Martínez (267254) - Juan Francisco Pirez (269941)  
Estudiantes de Ingeniería en Electrónica



#### **Profesores:**

Emiliano Espíndola  
Andrés Ferragut  
Juan Pedro Silva

19 de Diciembre de 2023

**Introducción:**

En la actualidad, la experiencia de compra en supermercados puede ser ineficiente y, en ocasiones, frustrante para los usuarios. Los problemas comunes incluyen la falta de información que poseen las administraciones sobre la congestión en diferentes secciones del supermercado debido a una mala distribución de los productos, la pérdida de oportunidades de ahorro debido a la falta de conocimiento sobre promociones específicas, y la espera prolongada en los mostradores de servicio sin una forma eficiente de gestionar turnos.

Este proyecto se centra en el desarrollo de un carrito inteligente para supermercados que aborde estos problemas de manera integral, a través de la implementación de tecnologías como sensores de geolocalización y un sistema de pantalla integrada diseñado para mejorar la experiencia de compra.

Este innovador carrito incorpora diversas funciones destinadas a facilitar la navegación de los usuarios por el establecimiento, proporcionar información relevante sobre las promociones y agilizar el proceso de servicio en los mostradores evitando así la formación de filas que obstaculizan la libre circulación y reduciendo las esperas prolongadas.

**Descripción**

Las características Principales de nuestro proyecto se basan en tres grandes funcionalidades:

**Generación de Mapa de Calor:**

El carrito inteligente, dotado de sensores y tecnología de geolocalización mediante un Inertial Measurement Unit (IMU), permite realizar un seguimiento en tiempo real de la ubicación de los usuarios. Utilizando señales de tokens de wifi distribuidos estratégicamente como checkpoints en el supermercado, se determina con precisión la posición del carrito en el establecimiento.

A partir de esta información recopilada, se genera un mapa de calor interno que identifica las áreas más concurridas del supermercado. No obstante, es importante destacar que estos mapas de calor no se exhiben a los usuarios; en su lugar, se utilizan internamente para la administración del establecimiento. De esta manera, la gestión del flujo de clientes y la planificación eficiente de recursos se optimizan, permitiendo al personal del supermercado conocer las zonas más congestionadas y tomar decisiones informadas para mejorar la distribución de productos o servicios.

**Display de Promociones:**

El carrito cuenta con un display integrado que muestra promociones y ofertas según la ubicación del usuario en el supermercado. De esta manera, se ofrece información relevante y oportunidades de ahorro mientras los usuarios exploran diferentes secciones del establecimiento.

Esta característica no solo mejora la experiencia de compra, sino que también crea un ambiente más atractivo para los usuarios al ofrecerles incentivos únicos y adaptados a su ubicación actual. En definitiva, esta funcionalidad no solo brinda un valor añadido a los consumidores, sino que también representa una estrategia efectiva para aumentar la participación y la satisfacción del cliente en el proceso de compra.

### **Sistema de Turnos Remotos:**

Con la finalidad de maximizar la eficiencia y ahorrar tiempo a los usuarios, el carrito inteligente implementa una función innovadora que permite la gestión remota de turnos para acceder a los mostradores de servicio en el supermercado. Este sistema agiliza significativamente el proceso, mejorando la experiencia global de compra.

Desde la comodidad del carrito, los usuarios tienen la capacidad de solicitar su turno para los mostradores de servicio. Una vez realizado, el número asignado se muestra de manera clara y visible en la pantalla integrada en el carrito, brindando a los usuarios información instantánea sobre su posición en la fila.

Para mejorar aún más la experiencia, cuando el turno del usuario se acerca, una bocina integrada en el carrito emite una señal auditiva distintiva, sirviendo como un recordatorio amigable para que el usuario se dirija hacia la zona correspondiente. Este sistema no solo optimiza el tiempo de espera, sino que también ofrece una mayor flexibilidad a los usuarios al permitirles realizar otras actividades mientras esperan, en lugar de permanecer en una fila estática.

Esta función de gestión remota de turnos no sólo aporta comodidad a los usuarios, sino que también contribuye a la eficiencia general del establecimiento, asegurando que los servicios se brinden de manera más fluida y organizada. En última instancia, esta innovación refleja nuestro compromiso de mejorar cada aspecto de la experiencia de compra en el supermercado mediante la implementación de tecnologías que hacen que el proceso sea más eficiente y agradable para todos.

### **Descripción técnica de la solución:**

El sistema comprende una placa ESP8266 ubicada en el carrito, la cual se conecta a Internet para la transmisión y recepción de datos. Esta placa está equipada con un módulo inercial (IMU) que proporciona datos de aceleración en tiempo real. La integración de estos datos se lleva a cabo en la misma placa ESP8266 mediante el método de suma de Riemann, permitiendo obtener la posición en tiempo real del carrito durante su recorrido en el supermercado.

Para mejorar la precisión de la posición, se añade una placa ESP-01, la cual se encarga de conectarse a diferentes puntos de WiFi distribuidos estratégicamente en el local. La información sobre la ubicación detectada se transmite a la placa principal a través de la consola serial, permitiendo así la corrección de posibles errores acumulativos inherentes al proceso de integración.

Los datos de posición obtenidos se envían a la plataforma ThingsBoard, donde se genera un mapa de calor. Este mapa visualiza el recorrido del usuario en el supermercado, ofreciendo una representación gráfica de la frecuencia de visita a diferentes zonas del establecimiento.

Con el fin de proporcionar información al usuario, se incorpora un display controlado por la placa principal. Este display muestra el número de fila en el mostrador de servicio solicitado y presenta publicidad específica según la ubicación del carrito en el supermercado. Además, se implementa una bocina que emite una señal auditiva cuando el turno del usuario está próximo, siendo la activación de la misma gestionada por la placa principal.

Todo el sistema está alimentado por una batería portátil, asegurando así su autonomía durante el recorrido del carrito en el supermercado.

El segundo componente físico del sistema consiste en las placas ESP-01, las cuales desempeñan la función de repetidores de WiFi. Estas placas se distribuyen estratégicamente por todo el supermercado con el objetivo de mejorar la precisión del sistema.

Cada placa ESP-01 ha sido programada de manera individual, asignándole un nombre único. Esta programación personalizada permite asociar cada placa con una posición específica en el supermercado. Este enfoque se conoce como el método de ubicación con WiFi, donde la identificación única de cada repetidor contribuye a la determinación precisa de la ubicación del carrito en tiempo real dentro del establecimiento.

### Materiales

Para llevar a cabo las pruebas y demostraciones en el salón de laboratorio, se requerirá una serie de materiales, principalmente componentes electrónicos que faciliten la manipulación de los datos de posicionamiento, así como elementos que permitan proporcionar información al cliente. A continuación, se presenta una lista detallada de estos materiales:

- Placa ESP8266
- Placa ESP-01
- Módulo Inercial (IMU)
- Display LCD
- Carro de compras
- Fuente de alimentación para placa ESP8266 (batería)
- Módulo Buzzer Activo (alarma sonora)
- Maqueta
- Encoder rotativo

Estos componentes se seleccionaron considerando su capacidad para facilitar la recolección y procesamiento de datos de posicionamiento, así como para ofrecer una experiencia demostrativa completa al cliente. La maqueta proporcionará un entorno controlado y replicable para llevar a cabo pruebas exhaustivas y demostraciones efectivas en el laboratorio. La combinación de estos materiales permitirá evaluar y validar el rendimiento del sistema en diferentes escenarios simulados.



## **Pruebas de concepto**

El proyecto experimentó avances significativos, logrando el éxito en la realización de las pruebas de concepto que inicialmente se establecieron. Cada una de estas pruebas representó una valiosa oportunidad de aprendizaje, proporcionando una comprensión detallada de las capacidades individuales de los dispositivos utilizados, así como de las limitaciones y precauciones esenciales para el desarrollo del sistema.

La primera prueba de concepto se centró en la evaluación de la ESP8266 y se llevó a cabo incluso antes de la presentación del anteproyecto. La información recopilada durante esta fase influyó directamente en la decisión de optar por un sistema híbrido, tal como se detalla en la descripción del proyecto.

Las pruebas posteriores se enfocaron en el Dashboard y los mapas de calor, inicialmente basándose únicamente en el posicionamiento de las placas, y se complementaron más tarde con la información del IMU. Durante la fase de prueba de concepto del mapa de calor, se llevaron a cabo evaluaciones detalladas para comprobar aspectos críticos, como la relación pixel-metro, el tamaño de los 'círculos' en el mapa de calor y la intensidad de los mismos.

Con estas fases ya completadas, el grupo estaba en posición de presentar el primer prototipo con estas funcionalidades incorporadas.

La siguiente fase se centró en el display, donde la prueba de concepto no solo sirvió para determinar cómo mostrar la información de manera efectiva sino también para obtener una comprensión más precisa de la velocidad con la que cambia la información en la pantalla. y la integración exitosa de estas funcionalidades en el prototipo anterior condujo al desarrollo del prototipo 2.

Finalmente, se llevaron a cabo pruebas relacionadas con la bocina de aviso de turno y la visualización de ofertas y propagandas en tiempo real. Durante la fase de prueba de la bocina, se realizaron evaluaciones para determinar el volumen que presentaba y qué tipos de sonidos podían generarse, permitiendo así ajustar y optimizar la experiencia sonora.

Simultáneamente, las pruebas de la propaganda en tiempo real sirvieron para obtener información sobre la velocidad con la que el sistema capta nuevos puntos de acceso wifi. Se identificó que este proceso es un tanto lento, lo que sugiere que con dispositivos más avanzados podríamos mejorar de manera significativa esta capacidad. Además, en esta etapa, se constató que la placa principal no podía conectarse a dos wifis simultáneamente, como se explicó anteriormente. Como solución a este inconveniente, se incorporó la placa ESP-01 para gestionar la conectividad wifi, mejorando así la eficiencia del sistema.

Tras la exitosa conclusión de estas fases, el grupo se preparó para presentar el producto final.

Cada contratiempo identificado durante la realización de las pruebas de concepto fue abordado y resuelto con prontitud dentro de los plazos establecidos en el diagrama de Gantt. Esta estrategia garantizó que cualquier problema identificado durante el proceso de pruebas fuera tratado de manera oportuna y eficiente, permitiendo así el cumplimiento de los hitos y objetivos establecidos en el cronograma del proyecto. La capacidad para resolver y corregir los errores en los tiempos planificados contribuyó significativamente al progreso fluido y exitoso del proyecto en todas sus fases.

## **Riesgos y problemas**

A partir de la investigación inicial realizada y que fue debidamente documentada en el anteproyecto, se determinó que los posibles riesgos o problemas asociados al proyecto están directamente relacionados con el sistema de posicionamiento diseñado. Esto puede incluir aspectos como una mala conexión entre las placas, lo que podría resultar en la transmisión de datos incorrectos, o incluso en el tiempo de demora entre las conexiones, generando la posibilidad de que la información obtenida sea obsoleta cuando se logre la conexión exitosa.

Adicionalmente, como se explicó en la descripción del proyecto y fue mencionado en el anteproyecto, la investigación primaria destacó que el módulo inicial presenta un error acumulable. La importancia de abordar este error de manera adecuada se resaltó en el anteproyecto, ya que su falta de corrección podría afectar de manera significativa el producto final, llegando incluso a hacerlo obsoleto. Es fundamental tener en cuenta que estos aspectos críticos fueron debidamente considerados y mencionados en el anteproyecto como parte integral de la identificación y gestión de riesgos.

En el documento del anteproyecto se especificaron tres niveles de proyecto, cada uno representando diferentes grados de complejidad y la cantidad de características que se planea incorporar en la solución final. A continuación, se detalla en qué consiste cada nivel.

### **Mínimo Producto Viable:**

Este nivel implica que el sistema de localización y posicionamiento funcione correctamente, permitiendo la lectura y análisis de datos enviados a la nube para la creación de mapas de calor. Además, se incluye la capacidad de obtener ofertas relacionadas a la ubicación a través de la pantalla integrada al carro.

### **Producto Estándar:**

En este nivel, se incorporan las características del Mínimo Producto Viable y se agrega la funcionalidad de indicar en los mapas de calor los puntos en los que los clientes se mantienen detenidos por más tiempo. Esto proporciona precisión en el manejo de datos de los productos más visitados. También se añaden opciones en la pantalla para solicitar un número y recibir alertas sonoras al aproximarse el turno, optimizando así los tiempos de espera en las filas y permitiendo a los usuarios realizar otras tareas mientras esperan.

### **Producto Premium:**

Este nivel, que se implementó en su totalidad a excepción de la funcionalidad de los códigos QR, presenta características adicionales que mejoran significativamente la experiencia del usuario. Además de contar con las funcionalidades de los niveles anteriores, el Producto Premium incorpora la opción de códigos QR. Sin embargo, debido a la decisión de prescindir de la funcionalidad de los códigos QR para acceder a los dashboards, ahora el usuario puede acceder a estos dashboards a través de Internet en ThingsBoard.

Esta variación asegura que el acceso a la información en tiempo real sobre las filas y las alertas de proximidad al turno se realice de manera eficiente y directa mediante la conexión a Internet. La alarma en este nivel continúa emitiendo sonidos que varían según la proximidad del turno o puede no emitir sonido si el usuario ya se encuentra en la zona del mostrador solicitado. Además, el dashboard en línea permite mostrar información adicional sobre productos específicos y facilita la solicitud de un número para la fila de los

mostradores de servicio. La opción de los códigos QR se mantiene como una alternativa para futuras implementaciones, sujeta a disponibilidad de recursos financieros y de tiempo.

Se añade un encoder a todas estas características por necesidad. Inicialmente concebido como una alternativa para medir distancias, tras diversas pruebas se concluyó que la mejor utilización del encoder era determinar la dirección en la que nos dirigimos y realizar la integración en consecuencia. Dado que nuestra integración solo funciona de manera óptima sólo hacia adelante, esta solución resuelve dicho problema. Ahora, los datos de posición avanzan hacia adelante, ajustando el signo según la información del encoder.

## **Desarrollo de la bitácora**

En la siguiente sección se detalla la bitácora desde la determinación del problema hasta las soluciones técnicas propuestas para el desarrollo de carritos inteligentes en supermercados

Desde el inicio del proyecto el 15 de agosto, se llevaron a cabo varias etapas fundamentales.

Inicialmente, se plantearon distintas ideas para abordar la problemática identificada. El enfoque se centró en la implementación de carros inteligentes en supermercados, incorporando sensores para localización, la creación de mapas de calor y una pantalla como actuador. Esta última tenía la capacidad de mostrar ofertas y publicidades, adaptándose a la ubicación específica del usuario.

En fechas posteriores, se realizaron pruebas significativas con ESP 01 para mejorar la detección dentro del supermercado.

Estas pruebas resultaron exitosas, permitiendo filtrar señales wifi y, en consecuencia, mejorar la precisión del sistema. De manera simultánea, se avanzó en la formalización del anteproyecto, se diseñaron imágenes ilustrativas y se llevaron a cabo búsquedas de materiales específicos.

El trabajo se focalizó en explorar ThingsBoard, donde se llevaron a cabo pruebas y experimentos para implementar mapas de calor y widgets. Además, se adquirieron componentes clave como el módulo IMU y el display.

La programación de ESP-01 como punto de acceso wifi fue un hito importante, aunque se enfrentaron desafíos notables en la conexión con ThingsBoard y en el manejo del módulo IMU, superando problemas relacionados con la conexión I2C.

En el desarrollo del proyecto, se enfrentaron desafíos en la conexión a ThingsBoard y en la integración del módulo IMU. Se exploraron diversas alternativas para la localización, incluyendo el envío de coordenadas a ThingsBoard para su integración con el mapa de calor. Se abordaron desafíos adicionales en la conexión a ThingsBoard y con el módulo IMU. Se continuó con mejoras en el código del IMU y se exploraron alternativas para la localización. Se realizó la primera solicitud de compras para adquirir el módulo IMU y el display. Las pruebas sobre la precisión de la señal strength de los beacons revelaron desafíos en el cálculo de la distancia. Se exploraron diversas opciones de localización, incluyendo la implementación de un encoder como solución de respaldo.

Luego de enfrentar problemas en la normalización de valores del ángulo de giro, se tomó la decisión de abandonar la idea del acelerómetro y adoptar el plan de respaldo con el encoder.

Se continuó con pruebas del encoder rotativo y se inició la implementación del filtro para la posición basado en el encoder. Sin embargo, la precisión y confiabilidad del sistema se vieron afectadas.

Se diseñaron filtros para la aceleración y velocidad, pero se enfrentaron a errores significativos. Se concluyó que rastrear correctamente la posición con el IMU era imposible.

Se optó por un plan de respaldo utilizando un encoder rotativo, y se realizaron pruebas exitosas con el envío de datos a la nube y la visualización de puntos móviles en el mapa de calor de ThingsBoard.

En las etapas finales del proyecto, se abordó la limitación de la placa principal ESP8266 que no podía conectarse a dos wifis simultáneamente, implementando una solución con otra placa (ESP01) para manejar las conexiones.

El equipo logró superar desafíos técnicos y optimizar el rendimiento del sistema, finalizando con éxito la transmisión y procesamiento de datos entre placas ESP8266 y ESP01 el 23 de noviembre.

## **Análisis Preliminar de Soluciones para la Localización en Espacios Cerrados**

A continuación, se presenta una descripción detallada y técnica de la solución propuesta para abordar el problema planteado anteriormente en el proyecto, junto con las posibles alternativas consideradas durante la fase de investigación y desarrollo. El objetivo principal del proyecto se centra en la localización precisa de cada carrito en un espacio cerrado.

En las primeras etapas, se exploraron diversas opciones para lograr este objetivo. Se descartó la posibilidad de utilizar rastreo por GPS, ya que la precisión de esta técnica, con un margen de error de 15 metros, resulta inadecuada para ubicar de manera específica a una persona en un entorno cerrado.

Se investigaron alternativas basadas en dispositivos distribuidos en el local que proporcionan información de ubicación. Una opción considerada fue el uso de beacons conectados mediante Bluetooth a cada carrito inteligente. Sin embargo, se identificó una limitación presupuestaria en el costo de los beacons, lo que afectaría la viabilidad económica del proyecto.

La tecnología RFID, que implica el uso de dispositivos activos y pasivos para enviar información por radiofrecuencia, fue otra alternativa evaluada. A pesar de su precisión, se encontró que su aplicación requeriría una cantidad significativa de dispositivos activos, elevando los costos y superando el presupuesto disponible.

En la búsqueda de alternativas para aplicar la técnica de triangulación, se investigó un método que utiliza la intensidad de la señal WiFi emitida por un dispositivo para estimar su distancia. Se determinó que este enfoque podría implementarse de manera más accesible utilizando placas de desarrollo ESP-01.

Además, se exploró un proceso de trackeo basado en un módulo inercial electrónico equipado con acelerómetro y giroscopio integrados. A pesar de sus capacidades, se identificó el fenómeno del "drift", un error acumulativo en la información recolectada, lo que podría afectar la precisión a lo largo del tiempo.

Después de analizar estas tecnologías, se llegó a la conclusión de que la mejor opción sería implementar un sistema híbrido. Este enfoque combinaría el seguimiento del movimiento del



carrito mediante un módulo inercial (IMU) y corregir posibles errores utilizando el cálculo de la distancia hacia un punto de acceso WiFi. Cabe destacar que esta elección se respalda en las conclusiones detalladas en el anteproyecto, donde se consideraron y evaluaron cuidadosamente las ventajas y limitaciones de cada enfoque.

## **Diseño de Mapa de calor**

En las etapas del proceso previstas en el anteproyecto, se determinó comenzar por una de las principales funcionalidades del sistema como lo es el mapa de calor.

El mismo se trata de una imagen dinámica en la que se ve el plano de un espacio cerrado cualquiera, y sobre la cual se agregan puntos de posición a tiempo real ilustradas a modo de mapa de calor.

El mismo debe poder verse desde un dashboard en Thingsboard, por lo que la investigación de cómo implementar esta característica comenzó en la búsqueda de un widget que se adapte a la idea.

En la plataforma se disponen de varios widgets simples para implementar en los proyectos, incluidos algunos con funciones relacionadas con mapas y geolocalización. Sin embargo, ninguno de ellos cumplía con los requisitos ni está creado como para superponerlo con un mapa de calor, por lo que la idea del equipo terminó en la creación de un widget propio, adecuado a las características necesarias y editable en cualquier aspecto para adaptarse progresivamente a cada etapa por la que se transita.

El concepto de mapa de calor es un concepto universal y que está aplicado en muchas áreas de la industria. Su implementación por código puede ser simple pero se requiere de tiempo de investigación, pruebas y perfeccionamiento para que esté listo para utilizar en el proyecto (tiempo que no está previsto en la organización del cronograma). Por estas razones se buscaron implementaciones ya creadas, que se puedan editar y sean fáciles de aplicar en nuestro widget.

La primera a la que se llegó es una librería abierta de javascript, de mapas de calor dinámicos llamada heatmap.js por Patrick Wied.

Como una opción mucho más simple y aún así editable, se encontró simpleheat.js de mourner.

En este punto el objetivo fue añadir las librerías a un widget de thingsboard, proceso que no fue posible a pesar de la opción de importar recursos. Ésta traba llevó a la solución de no incluir alguna de las librerías en su totalidad, sino las funciones importantes que permiten la generación de un mapa de calor. Se eligió Simpleheat, ya que es un código simple que genera puntos del formato de mapa de calor sobre un elemento de Canvas en Javascript, y nuestra implementación radicó en generar un espacio en el widget sobre el que se puedan dibujar los elementos gráficos, teniendo una imagen de fondo.

## **Funcionamiento del widget HEATMAP**

El programa que corre en el widget consta de una función que se ejecuta cada vez que los datos disponibles en Thingsboard son actualizados. Es decir, cada vez que se recepciona un paquete MQTT, nuestro widget va a estar al tanto y ejecutar el siguiente guión.

Primero se recorren los arrays donde se encuentran los datos recepcionados, tomando los strings con varias posiciones contenidas en él, para tomar cada una y agregarla al heatmap.

El agregado consta de una verificación de posición, usando una función llamada “zonaProhibida”, la cual chequea que la posición a agregar no se encuentra fuera del mapa o sobre una zona no deseada, como puede ser sobre una góndola. Una vez verificado esto se ejecuta la función de la librería simpleheat, que agrega los puntos a un array y a su vez los dibuja sobre el Canvas.

## **Implementación de módulo MPU-9250**

Este módulo consiste en un acelerómetro, un giróscopo y un magnetómetro.

Su funcionamiento no es simple, así que el equipo decidió disponer de una librería para la comunicación entre la placa principal y el módulo, y que además aplica un filtrado pasa bajos para eliminar el ruido de frecuencias más altas y una calibración automática que se hace tomando valores iniciales de aceleración en todos los ejes. La librería es MPU\_9250WE de Wolfgang Ewald.

El subproceso de implementación de éste módulo fue el más largo dentro del proyecto. En el mismo se hicieron numerosas pruebas de concepto, investigaciones, cálculos, y se tomaron decisiones basadas en el tiempo, los conocimientos y el presupuesto disponible. A lo largo de esta sección se verán detalladamente las etapas transitadas en orden cronológico, hasta llegar a la conclusión y al sistema final.

En una primera instancia, una vez que se realizaron las conexiones entre el módulo y la esp8266 y se implementó la librería, se empezó por observar los datos provistos para planear cómo procesarlos de manera correcta y así obtener lo deseado.

Los mismos son valores de aceleración, que vistos utilizando el Serial Plotter de arduino IDE, se pudo ver que contaban con mucha cantidad de ruido, y eran sumamente sensibles a movimientos o rotaciones. Para llegar desde los mismos a una posición debemos hacer una integración de cada valor en el tiempo discreto, o lo que es conocido en el área matemática como “suma de Riemann”, una vez para obtener valores de velocidad, y una segunda vez para llegar a la posición.

En nuestro empeño por perfeccionar la funcionalidad del dispositivo Inertial Measurement Unit (IMU), nos encontramos con desafíos inherentes a la acumulación de errores, especialmente en relación con la inclinación del IMU. Detectamos que incluso los movimientos mínimos indeseados de este dispositivo podían resultar en la generación de datos inexactos, lo que comprometía la precisión de la información recopilada.

Para abordar este problema, implementamos una solución innovadora mediante el diseño y la aplicación de un conjunto de filtros discretos, específicamente del tipo IIR (Infinite Impulse Response). Estos filtros fueron estratégicamente configurados con ceros y polos para construir un pasa altos, con el objetivo de contrarrestar la influencia continua generada por las variadas inclinaciones del dispositivo.

La función principal de estos filtros IIR es eliminar las componentes de baja frecuencia, lo que en este caso implica la supresión de la información continua indeseada originada por las inclinaciones del IMU. Al implementar este enfoque, logramos mitigar de manera efectiva los errores acumulativos asociados con las inclinaciones del dispositivo, mejorando así la confiabilidad de las mediciones de aceleración y giro.

Esta implementación no solo corrige los datos erróneos causados por movimientos no deseados, sino que también garantiza que el carrito inteligente pueda seguir integrando información precisa y confiable. Nuestra dedicación a la mejora continua y la resolución proactiva de desafíos técnicos nos permite ofrecer a nuestros usuarios una experiencia de navegación más precisa y libre de errores en su recorrido por el supermercado.

En nuestra búsqueda de la precisión óptima en la obtención de datos del módulo sensor, dedicamos una considerable cantidad de tiempo y esfuerzo al perfeccionamiento de los filtros discretos. Reconociendo la importancia crítica de minimizar el ruido en los datos, el equipo realizó extensas pruebas y evaluaciones de diversos enfoques hasta alcanzar el filtro que consideramos como óptimo.

Cada filtro discreto explorado representó un intento de abordar el desafío de obtener mediciones más limpias y confiables. Estos filtros fueron sometidos a pruebas de concepto meticulosas para comprender mejor su desempeño en diferentes condiciones y escenarios. Entre las múltiples opciones exploradas, se incluyó el filtro de Kalman, una herramienta conocida por su capacidad para estimar estados en sistemas dinámicos.

A pesar de las expectativas iniciales, el filtro de Kalman no proporcionó los resultados deseados después de una serie de pruebas exhaustivas y ajustes. Las razones detrás de esta elección se basaron en la necesidad de encontrar un equilibrio entre la complejidad del filtro y su efectividad en el contexto específico de nuestro proyecto.

Tras la compleja fase de implementación anteriormente mencionada, nos enfrentamos al desafío adicional de obtener la posición del carrito mediante el giroscopio. Esta tarea era esencial, ya que el IMU solo podía detectar movimientos hacia adelante o hacia atrás. Para superar esta limitación y lograr un desplazamiento en todo el plano del supermercado, decidimos emplear el giroscopio en conjunto con conceptos básicos de trigonometría.

La lógica detrás de esta decisión radicaba en la capacidad del giroscopio para proporcionar información sobre la rotación, permitiéndonos determinar hacia qué lado nos estábamos moviendo. Con una aplicación cuidadosa de conceptos trigonométricos, pudimos traducir la información del giroscopio en datos de posición en un plano bidimensional.

Este enfoque fue sometido a rigurosas pruebas de concepto, y los resultados fueron excepcionales. La combinación del giroscopio con la trigonometría demostró ser una solución efectiva, proporcionando datos precisos sobre la posición del carrito. Esta etapa representó un hito crucial en nuestro proyecto, ya que superamos una de las limitaciones clave del IMU y demostramos la viabilidad de nuestro enfoque para lograr una navegación completa y precisa en el supermercado.

La prueba de concepto no solo validó la eficacia de nuestra solución, sino que también marcó un paso significativo hacia la conclusión exitosa de nuestro proyecto. La capacidad de determinar la posición del carrito de manera precisa y en tiempo real abrió nuevas posibilidades para una experiencia de compra mejorada y más eficiente en el supermercado.

Por ultimo, con el objetivo de abordar de manera efectiva los desafíos en la interacción del proyecto, hemos implementado una solución ingeniosa que restringe el movimiento del carrito inteligente exclusivamente hacia adelante o hacia atrás. Esta mejora se logra a través de la integración de un dispositivo crucial conocido como encoder. Esta solución surge del hecho que la integración hacia solamente un sentido entrega valores coherentes que pueden ser usados para nuestro proyecto.

¿Qué es un Encoder? Un encoder es un dispositivo electromecánico que convierte el movimiento angular o lineal en señales eléctricas para su interpretación. En el contexto de nuestro proyecto, hemos incorporado un encoder para determinar la dirección del movimiento del carrito. Este componente es esencial para monitorear y cuantificar los desplazamientos, permitiéndonos conocer con precisión si el carrito se desplaza hacia adelante o hacia atrás.

#### Funcionamiento del Sistema:

Cuando el carrito se mueve hacia adelante, el encoder registra este desplazamiento y proporciona una señal que indica dicho movimiento. De manera análoga, cuando el carrito se desplaza hacia atrás, el encoder genera otra señal, indicando claramente la dirección del movimiento. Este feedback es esencial para el sistema, ya que permite ajustar dinámicamente la velocidad del carrito según la dirección en la que se desplaza.

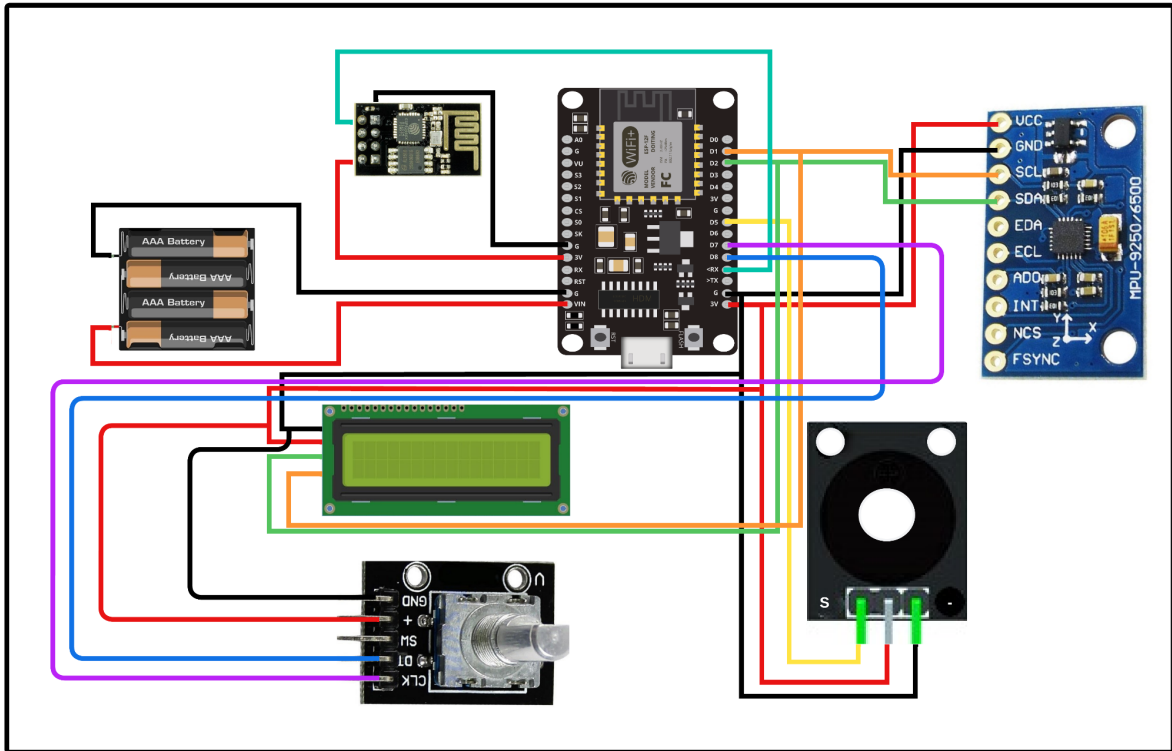
#### Integración con la Velocidad:

Es crucial destacar que la cuenta de integración, responsable de calcular la posición del carrito, se mantiene constante independientemente de la dirección del movimiento. La única diferencia radica en el signo de la velocidad, que se ajusta según la señal proporcionada por el encoder. Esta implementación garantiza una consistencia en el proceso de integración, permitiendo que el sistema responda de manera precisa y predecible a las acciones del usuario.

En última instancia, esta mejora no solo soluciona los problemas de interacción previamente identificados, sino que también aporta una mayor fiabilidad y control direccional al carrito inteligente. La combinación de la restricción de movimiento y la integración del encoder representa un paso significativo hacia una experiencia de usuario más fluida y coherente en la navegación por el supermercado.

#### Diagrama de conexiones:

En la siguiente imagen, se presentan los esquemas de conexión del circuito electrónico. Se evidencia la interconexión de los siguientes componentes: IMU, ESP8266, Buzzer activo, Fuente de alimentación, Display, ESP-01, Encoder rotativo.



## Mejoras Futuras del Carrito Inteligente: Innovación Continua para mejorar la experiencia de compras

En nuestro compromiso constante con la innovación y la mejora continua, estamos explorando emocionantes modificaciones para el carrito inteligente que revolucionarán la experiencia de compra en supermercados. Estas futuras mejoras se centran en proporcionar a los usuarios herramientas aún más avanzadas y convenientes durante su recorrido por el establecimiento.

### 1. Navegación Personalizada y Eficiente:

Considerando la necesidad de optimizar la navegación en el supermercado, planeamos incorporar una pantalla más potente en el carrito inteligente. Esta pantalla avanzada permitirá a los usuarios seleccionar un producto específico, y el carrito trazará la ruta más eficiente desde la posición actual del usuario hasta el lugar donde se encuentra el producto deseado. Esta función no solo facilitará la búsqueda de productos, sino que también hará que la experiencia de compra sea más rápida y sin complicaciones.

### 2. Pago Directo desde el Carrito:

En línea con la evolución de las tecnologías de pago, estamos explorando la posibilidad de integrar un sistema de pago directo en el carrito inteligente. Siguiendo el modelo de las cajas automáticas modernas, los usuarios podrán escanear los productos, realizar el pago directamente desde el carrito y, opcionalmente, depositar los artículos sobre una balanza

para una verificación rápida. Esto agilizará significativamente el proceso de compra, ofreciendo a los clientes una opción conveniente y sin complicaciones.

### 3. Personalización a Través de la Identificación del Usuario:

Para brindar una experiencia más personalizada, estamos evaluando la implementación de un sistema de inicio de sesión en el carrito inteligente. Los usuarios podrán acceder a sus perfiles personales, permitiéndoles adaptar la experiencia de compra según sus preferencias individuales. Desde la disposición de productos en el mapa interno hasta la presentación de ofertas y promociones, el carrito se ajustará automáticamente para satisfacer las necesidades específicas de cada cliente.

Estas mejoras no solo buscan hacer que la experiencia de compra sea más eficiente y agradable, sino que también reflejan nuestro compromiso continuo de anticipar y satisfacer las crecientes expectativas de los consumidores. Estamos emocionados por el potencial de estas innovaciones para transformar la forma en que las personas realizan sus compras diarias, proporcionando una experiencia personalizada y sin inconvenientes en cada visita al supermercado.

### **Reflexión Final y aprendizajes del Proyecto:**

Al reflexionar de manera autocrítica sobre el proyecto, se revelan valiosas lecciones que abarcan desde aspectos destacados hasta adaptaciones esenciales. Este análisis aborda los matices del aprendizaje, destacando tanto lo positivo como las áreas que requerían ajustes, considerando las limitaciones temporales y presupuestarias.

Desde el comienzo, se establecieron prototipos como metas a alcanzar, si bien se mantenía la conciencia de posibles cambios debido a los márgenes de error acumulable en cada componente. La gestión de estos errores acumulables condujo a la introducción de componentes adicionales dedicados exclusivamente a mitigar problemas no anticipados en la fase inicial o a abordar aspectos que evolucionaron de manera imprevista.

Uno de los desafíos destacados fue la problemática asociada al módulo inercial MPU-9250. Aunque el rendimiento del giroscopio fue destacado, la integración discreta de la aceleración presentó errores significativos, lo que llevó a la implementación de diversos filtros digitales discretos, tanto diseñados internamente como el filtro de una biblioteca. Aunque se logró una mejora sustancial en la calidad de los datos, aún persistían desafíos para movimientos bidireccionales, lo que condujo a la incorporación de un encoder rotativo para determinar la dirección del carro de compras.

Otro punto de inflexión surgió con la necesidad de ajustar la funcionalidad de la placa ESP-8266, encargada del procesamiento de datos. La exigencia de mantener una conexión constante a una red wifi para enviar datos a la nube se vio afectada por cambios en la red, resultando en la introducción de la placa ESP-01 y una comunicación serial con la placa ESP-8266 para superar esta limitación.

Estas experiencias, aunque desafiantes, han fortalecido nuestro enfoque para futuros proyectos, enfatizando la importancia de la flexibilidad, la adaptabilidad y la continua búsqueda de soluciones innovadoras. Cada obstáculo ha sido una oportunidad para aprender y mejorar, consolidando no solo un carrito inteligente funcional, sino también un equipo capacitado para afrontar los desafíos en la intersección de la tecnología y la innovación.

Además, esta reflexión destaca la complejidad inherente al manejo de presupuestos limitados, especialmente cuando se trata de tecnologías avanzadas como el IMU. Aunque las limitaciones de costos impactaron en la elección del IMU, reconocemos que una opción más avanzada podría haber mejorado significativamente la precisión y reducido los tiempos de desarrollo. A pesar de estas restricciones, nos enorgullece haber creado un carrito inteligente funcional que incorpora soluciones innovadoras, demostrando nuestra capacidad para superar obstáculos y lograr resultados significativos.

En retrospectiva, cada desafío presentado durante el proyecto ha sido una oportunidad valiosa para aprender y mejorar nuestras habilidades. Mirando hacia el futuro, nos sentimos capacitados para abordar desafíos más grandes y seguir innovando en la intersección de la tecnología y la vida cotidiana.

## **Referencias y materiales consultados:**

Módulo Inercial MPU-9250:

- Hoja de datos del MPU-9250
- Foros y comunidades en línea, como Arduino Forum, Raspberry Pi Forums, y Stack Exchange.

Placa ESP-8266:

- Documentación oficial de Espressif
- Foro de la comunidad ESP8266 en GitHub
- **Foro oficial de Espressif**

Placa ESP-01:

- Página de productos ESP-01
- Guía de inicio rápido del ESP-01
- **Esquemáticos y detalles técnicos**

Encoder Rotativo:

- Tutorial sobre encoders rotativos
- Datasheet del encoder KY-040
- Foros de discusión y tutoriales en Arduino Stack Exchange

Buzzer Activo:

- Datasheet Buzzer Activo
- Guía de uso y ejemplos en Arduino
- Foros y preguntas frecuentes en Adafruit

Display Arduino con I2C:

- Documentación de la librería LiquidCrystal\_I2C para Arduino
- Guía de inicio para displays LCD I2C con Arduino
- Foros y discusiones en el sitio oficial de Arduino

**Enlace al código final de Github:**

[https://github.com/SisCom-PI2-2023-2/proyecto-carritos-inteligentes/blob/main/Archivos/codigos%20Arduino/codigo\\_principal.ino](https://github.com/SisCom-PI2-2023-2/proyecto-carritos-inteligentes/blob/main/Archivos/codigos%20Arduino/codigo_principal.ino)