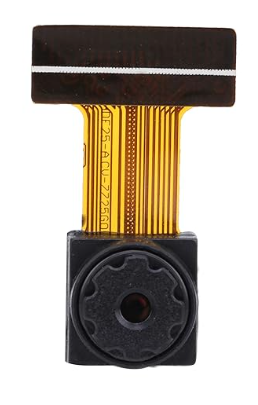
**Diseño de detalle**

Para esta parte tenemos presente que las gafas tendrán los siguientes componentes para cumplir con los objetivos y las normas

Se va a hacer uso de Módulo de cámara, tamaño pequeño 0.3MP OV7725



La elección de la cámara OV7725 de 0.3 megapíxeles (640x480 píxeles) se fundamenta en lograr un equilibrio entre calidad, tamaño y consumo de energía. Aunque existen cámaras con resoluciones mucho más altas, para este proyecto no se requiere un nivel de detalle tan grande, sino una captura de imagen fluida y confiable en tiempo real. Este modelo permite alcanzar hasta 60 cuadros por segundo (fps), lo que significa que puede mostrar imágenes sin retrasos ni interrupciones, algo fundamental en aplicaciones donde la rapidez en la respuesta es más importante que la resolución.

En términos de diseño físico, su tamaño óptico de 1/4 de pulgada (7mmx7mm) y un campo de visión de 25° hacen que la cámara sea lo suficientemente pequeña para integrarse en un dispositivo portátil como unas gafas, sin generar incomodidad o añadir peso excesivo. Además, trabaja con un voltaje muy bajo (1.7V–3.3V en señales de entrada/salida y 3.0–3.3V en la parte analógica, con un núcleo interno de 1.8V). Lo que significa que consume poca energía, lo que ayuda a que la batería del sistema dure más tiempo.

Otro aspecto importante es la calidad de la imagen. Este sensor cuenta con una relación señal-ruido de 40 dB y un rango dinámico de 50 dB, lo que se traduce en imágenes más limpias, con menos interferencias y mejor rendimiento en distintas condiciones de luz. Además, incluye funciones avanzadas como balance de blancos, ajuste de saturación y curva gamma, que pueden programarse fácilmente a través de su interfaz de control SCCB. Esto permite adaptar la cámara a diferentes escenarios sin necesidad de componentes adicionales, lo cual simplifica el diseño y reduce costos.

Finalmente, el diseño de su área de píxel de 6 µm x 6 µm y su exposición electrónica programable entre 1 y 510 líneas le permiten manejar cambios de iluminación de manera flexible y eficiente. En otras palabras, la cámara no solo es compacta y de bajo consumo, sino también versátil. Comparada con sensores de 2 o 5 megapíxeles, que requieren más memoria, más procesamiento y más energía, el modelo OV7725 resulta una solución ligera, estable y perfectamente adaptada a las necesidades del dispositivo, evitando sobrecargar el sistema y garantizando un funcionamiento confiable.

Gracias a su tamaño de píxel de 6 µm x 6 µm y a su exposición electrónica programable entre 1 y 510 líneas, la cámara OV7725 puede adaptarse de manera flexible a diferentes condiciones de luz, manteniendo imágenes claras y estables incluso en ambientes variables. Esto significa que no necesita iluminación perfecta para funcionar correctamente. Además de ser compacta y de bajo consumo, ofrece una versatilidad difícil de encontrar en otros módulos similares. A diferencia de cámaras de 2 o 5 megapíxeles, que demandan más memoria, procesamiento y energía, la OV7725 se presenta como una opción ligera, eficiente y confiable, perfectamente alineada con las necesidades de un dispositivo portátil como unas gafas inteligentes. Con ello se evita sobrecargar el sistema y se asegura un desempeño estable en todo momento.

**ESP32-PICO-D4 Wireless SIP**

Imagen de la pantalla de un celular con letras

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

**Dimensiones**

7mm x 7mm (Espressif Systems, 2025)

**Especificaciones**

La decisión de integrar el ESP32-PICO-D4 Wireless SIP en lugar de otros microcontroladores se basa en su capacidad de ofrecer alto rendimiento en un formato ultracompacto. Con unas dimensiones de apenas 7 × 7 × 1.11 mm, este chip es ideal para proyectos portátiles como las gafas inteligentes, donde cada milímetro cuenta. Su diseño en un solo encapsulado (System-in-Package, SIP) combina procesador, memoria, conectividad y periféricos, reduciendo la necesidad de componentes adicionales y simplificando el montaje.

En el corazón del módulo se encuentra un microprocesador Xtensa® dual-core de 32 bits, capaz de trabajar hasta a 240 MHz, acompañado de 520 KB de SRAM y 448 KB de ROM. Esto significa que tiene potencia suficiente para procesar las imágenes provenientes de la cámara OV7725 en tiempo real, gestionar la comunicación inalámbrica y controlar las demás funciones del sistema, sin depender de un procesador externo. Gracias a esta arquitectura, podemos garantizar que el dispositivo será ágil y eficiente, respondiendo de manera inmediata a las necesidades del usuario.

En cuanto a conectividad, el ESP32-PICO-D4 incorpora de forma nativa Wi-Fi 802.11 b/g/n con tasas de transmisión de hasta 150 Mbps en 802.11n, lo que permite enviar datos de imagen o video hacia un teléfono móvil u otro dispositivo sin retardos perceptibles. Además, incluye Bluetooth 4.2 BR/EDR y Bluetooth LE, lo que abre la puerta a conexiones de bajo consumo energético con aplicaciones móviles o accesorios externos. Esta combinación de Wi-Fi y Bluetooth en un solo chip evita tener que añadir módulos extra, reduciendo costos, consumo y espacio en la placa.

Otro punto clave es su amplia gama de interfaces: ADC, DAC, I2C, SPI, UART, PWM, GPIO, entre otras. Esto le permite integrarse fácilmente con la cámara, los sensores y el resto de los componentes electrónicos del sistema. Todo esto operando con un voltaje bajo de 3.0 a 3.6 V, lo que contribuye a una mayor autonomía de la batería. Además, su rango de operación de –40 °C a 85 °C asegura un funcionamiento confiable en distintas condiciones ambientales.

Si lo comparamos con otros microcontroladores o módulos más grandes (como un ESP32 estándar en módulo ESP-WROOM-32), el ESP32-PICO-D4 ofrece la misma potencia y conectividad, pero en un formato mucho más pequeño y ligero, pensado precisamente para wearables y dispositivos compactos. Esto lo convierte en la opción más adecuada para nuestro diseño de gafas, donde buscamos un balance entre rendimiento, tamaño, eficiencia energética y versatilidad.

**Batería**

Tabla

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

**Proveedores**

Ferroelectronica

Dualtronica

Tecnohobbies del eje

El uso de una batería recargable de polímero de litio (Li-Po) se convierte en una elección estratégica. Este tipo de batería ofrece una alta densidad energética en un tamaño compacto, lo que permite alimentar la cámara, el módulo de procesamiento y los sistemas de conectividad sin añadir un peso excesivo al dispositivo. Al ser ligera y delgada, puede integrarse fácilmente en las patillas de las gafas sin comprometer la ergonomía ni la comodidad del usuario, lo cual es crucial en un producto que se llevará durante largos periodos de tiempo.

La seguridad también respalda esta decisión. Las baterías Li-Po modernas incluyen mecanismos de protección contra sobrecarga, sobredescarga y cortocircuito, que, junto con el uso de módulos de gestión de carga como el TP4056, garantizan un funcionamiento confiable y reducen riesgos eléctricos. Esto es especialmente importante en un dispositivo biomédico de asistencia, donde la seguridad del usuario no puede ponerse en riesgo. Además, estas baterías tienen un ciclo de vida adecuado para dispositivos portátiles y permiten recargas rápidas, facilitando que el usuario no tenga que preocuparse constantemente por la autonomía del equipo.

En términos de adquisición, para la fase de prototipo se pueden obtener baterías Li-Po estándar a través de plataformas de comercio electrónico como AliExpress, Amazon o Mercado Libre, donde se encuentran en diferentes capacidades y tamaños a bajo costo. Para una etapa de desarrollo más avanzada, la compra debería gestionarse mediante proveedores de componentes electrónicos certificados que ofrezcan celdas con pruebas de calidad y cumplimiento de normativas internacionales, como UN38.3 (seguridad en transporte de baterías de litio) y RoHS (restricción de sustancias peligrosas). De esta manera, se asegura que el producto final sea seguro, confiable y esté alineado con las exigencias regulatorias aplicables a dispositivos de asistencia médica.

**Módulo TP4056 con protección**

Imagen de la pantalla de un celular con letras

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

**Proveedores**

Ferroelectronica

El Futuro Electrónico (Cali)

Dualtronica

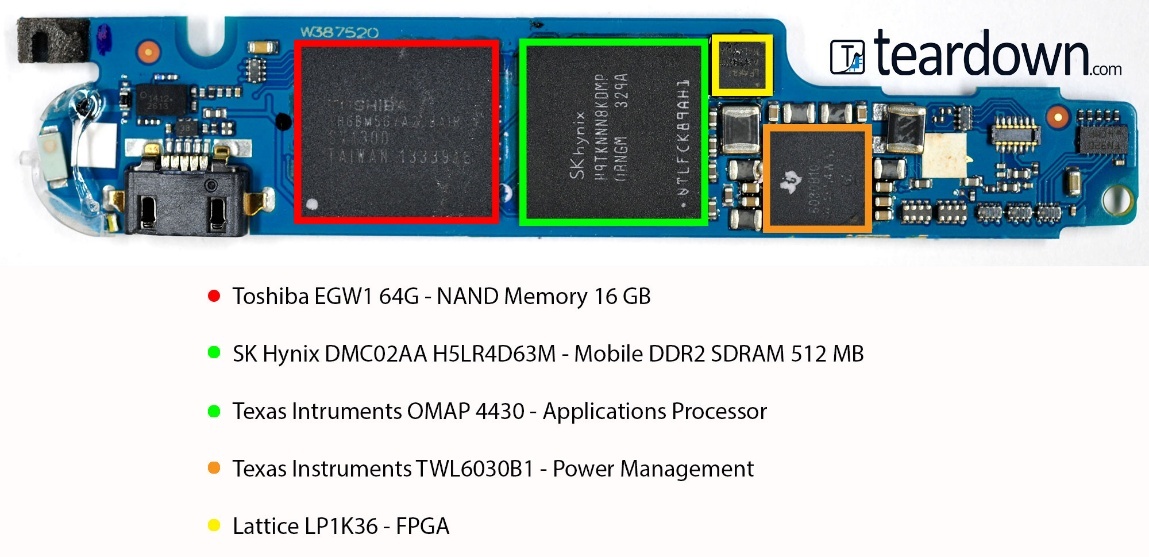
Se adjunta aquí el link del datasheet <https://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/pdf/1132405/ASIC/TP4056.html>

Para poder cargar la batería se usará módulo TP4056 con protección, porque para el diseño de las gafas inteligentes destinadas a personas ciegas, el uso de un módulo de carga para baterías de polímero de litio, como el TP4056 con protección integrada, resulta fundamental. Este componente asegura que la batería pueda cargarse de manera segura mediante el método estándar de corriente constante – voltaje constante (CC-CV), lo cual prolonga la vida útil de la celda y previene riesgos de sobrecarga, sobrecalentamiento o descargas profundas. Incorporar este módulo en el prototipo permite garantizar que el usuario tenga un dispositivo confiable, que pueda cargarse de forma sencilla y sin complicaciones, algo esencial para un producto de uso cotidiano.

La elección de este componente también se justifica porque ofrece versatilidad en el diseño. El TP4056 es un módulo compacto, económico y ampliamente utilizado en dispositivos portátiles, lo que permite integrarlo fácilmente en las patillas de las gafas sin aumentar de manera significativa el peso o el tamaño del marco. Además, su disponibilidad en versiones con puerto Micro-USB o USB-C simplifica la experiencia del usuario, que podrá cargar sus gafas con un cargador común o, en una versión más avanzada, mediante una base de carga magnética. De esta manera, el diseño no solo es funcional, sino que se adapta a las necesidades de accesibilidad que tiene la población con discapacidad visual.

En cuanto a la adquisición del módulo, existen diferentes caminos. Para la fase de prototipo, se puede obtener fácilmente en plataformas de comercio electrónico como Amazon, AliExpress o Mercado Libre, donde se encuentran a bajo costo y con disponibilidad inmediata. En etapas posteriores, cuando el proyecto evolucione hacia la producción, la compra se puede gestionar con proveedores de componentes electrónicos certificados, lo que asegura mayor calidad y cumplimiento de normativas internacionales como RoHS (restricción de sustancias peligrosas). Otra alternativa viable es establecer convenios con distribuidores locales de electrónica, lo cual permitiría reducir tiempos de importación y facilitar el mantenimiento del dispositivo en el futuro.

Tarjeta principal



Es necesario contar con una placa principal robusta que garantice procesamiento, almacenamiento y manejo eficiente de la energía. La placa mostrada integra todos los elementos esenciales para que el sistema funcione de manera autónoma y estable, lo cual facilita el diseño y la implementación del dispositivo.

En primer lugar, el procesador Texas Instruments OMAP 4430 es el núcleo de la placa y permite realizar las operaciones principales de procesamiento de datos, como el reconocimiento del entorno, la gestión de la cámara y la comunicación con el celular o con otros dispositivos externos. Su capacidad para ejecutar aplicaciones de manera fluida lo hace ideal para un sistema que debe interpretar la información visual y traducirla en señales auditivas o hápticas.

La memoria NAND Toshiba EGW1 de 16 GB cumple la función de almacenamiento, permitiendo guardar imágenes, configuraciones y aplicaciones propias de las gafas. Esto es fundamental en un dispositivo de asistencia, ya que facilita registrar información relevante del usuario o mantener en memoria algoritmos de reconocimiento. Complementariamente, la memoria RAM SK Hynix de 512 MB asegura la ejecución en tiempo real de los procesos, dando velocidad al sistema y evitando retrasos en la retroalimentación al usuario.

El módulo de gestión de energía Texas Instruments TWL6030B1 resulta clave para optimizar el consumo de la batería. Como las gafas deben ser ligeras y de uso prolongado, la autonomía energética es un factor crítico. Este chip permite administrar de manera inteligente la carga y distribución de energía, garantizando seguridad en la batería y eficiencia en el rendimiento.

Finalmente, el Lattice LP1K36 (FPGA) ofrece flexibilidad al sistema, ya que permite reconfigurar lógicas de hardware específicas según las necesidades del proyecto. Esto abre la posibilidad de adaptar las funciones de las gafas, por ejemplo, a distintos tipos de alertas o integraciones futuras con sensores adicionales.

Como estas placas no son comerciales la opción mas viable seria desarrollar nuestras placas para que se adapte a nuestro proyecto teniendo en cuenta que lo que se quiere eslograr que la placa se adapte a las gafas y que no este sobredimensionada

Las dimensiones que se plantean para que la placa se adapte a las gafas son

Largo: 70 mm (máximo el tamaño de una patilla de gafas estándar).

Ancho: 18 mm.

Espesor: 6 mm

**Panel táctil (Asus Transformer Touch Controller Board - E89382 - 90NB05B0-R1001)**

Imagen de la pantalla de un computador

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

**Proveedores**

Accesorios Asus

Ferroelectronica

El Futuro Electrónico (Cali)

Pagina de proveedor <https://www.a-accessories.com/laptop/controller-board/touch-controller-board/asus-transformer-touch-controller-board-e89382-90nb05b0-r10010-87587-61751.htm>

Este tipo de módulo permite conectar periféricos como la cámara, micrófono y sensores, todos necesarios para captar el entorno, procesar la información y transmitirla al celular o al sistema de asistencia.

Sus dimensiones son las siguientes

Largo: 100 mm

Ancho: 15 mm

Espesor: 1.5 mm

**El marco**

**Un dibujo de una persona

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.**

El marco de las gafas debe garantizar comodidad para el usuario y, al mismo tiempo, ofrecer un espacio interno suficiente para alojar los componentes electrónicos como la batería, la cámara, el PCB y los sensores. Para lograrlo, se plantea un diseño con refuerzo en la zona frontal, donde se ubicaría la cámara, y en las patillas laterales, que se aprovechan como compartimentos para la batería recargable y el circuito principal. De esta manera, se distribuye el peso de forma equilibrada y se mantiene la estética de unas gafas convencionales, evitando incomodidad o presión excesiva en la nariz o las sienes.

El material más adecuado para la fabricación del marco es el TR-90 (Nylon termoplástico de grado médico), utilizado ampliamente en la industria óptica debido a su resistencia, flexibilidad y ligereza. Este material es biocompatible, no produce alergias ni irritaciones y resiste bien al sudor y a los cambios de temperatura, lo cual es fundamental para un dispositivo que estará en contacto prolongado con la piel del usuario.

En cuanto a la normativa, la elección del material y el diseño deben regirse por estándares internacionales que aseguren la seguridad del usuario. La norma ISO 10993 establece criterios de biocompatibilidad para materiales en dispositivos médicos, garantizando que el marco no cause efectos adversos. Además, el proceso de diseño y producción puede alinearse con la ISO 13485, que regula los sistemas de gestión de calidad en dispositivos médicos. Por otro lado, la directiva RoHS asegura que tanto el marco como los componentes electrónicos estén libres de sustancias peligrosas como plomo o cadmio, reforzando la seguridad del producto final.

Dimensiones

En el caso de las dimensiones para el marco de las gafas se consulta la antropometría de cabeza/rostro humano para definir unas "tallas", esto a partir de identificar que el diseño de marcos de gafas requiere la consideración de medidas antropométricas específicas de la cabeza y el rostro humano, ya que estas determinan parámetros críticos como el ancho total del marco, la longitud de las varillas, la anchura del puente nasal y la altura facial. Entre las medidas más relevantes se encuentran la anchura bizigomática, la distancia interpupilar, la anchura intertemporal, la anchura nasal y la altura nasión–mentón, las cuales permiten establecer un sistema de tallas que garantice ajuste, confort y estabilidad durante el uso. Un estudio reciente plantea un enfoque de diseño paramétrico de monturas, empleando datos antropométricos y modelos tridimensionales de la cabeza para definir las dimensiones óptimas del armazón y así facilitar la personalización y adaptación a diferentes morfologías faciales (Tian et al., 2023). De esta manera, las tallas de marcos (pequeña, mediana y grande) se sustentan en valores derivados de análisis antropométricos, asegurando una correspondencia adecuada entre las dimensiones de la montura y las características anatómicas del usuario.

El estudio realizado por Rosyidi et al. (2016) presenta valores promedio y percentiles de estas medidas en hombres y mujeres adultos, lo que posibilita la creación de un sistema de tallas (S, M, L) para los marcos de gafas. Por ejemplo, se reporta que la anchura de la nariz varía en promedio entre 35,34 mm en mujeres y 37,6 mm en hombres, mientras que el ancho total del marco derivado de la medida intertemporal alcanza aproximadamente 154,17 mm en mujeres y 160,59 mm en hombres en el percentil 95. Asimismo, la longitud de la varilla, medida desde la bisagra del marco hasta detrás de la oreja, se estimó en 98,19 mm en mujeres y 103,22 mm en hombres en el percentil 95, lo que permite establecer dimensiones máximas para una talla grande.

De esta manera, la tabla de tallas para marcos de gafas se fundamenta en medidas antropométricas concretas, donde la talla pequeña corresponde a valores cercanos al percentil 5, la mediana al percentil 50 y la grande al percentil 95. Así, las tallas no son arbitrarias, sino que responden directamente a la variabilidad biométrica observada en la población estudiada. Esto asegura que el producto se adapte a diferentes morfologías faciales, mejorando tanto la ergonomía como la aceptación por parte de los usuarios (Rosyidi et al., 2016).

Interfaz de usuario gráfica, Texto

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

**Espesor del marco en la zona frontal (para electrónica):** 12 mm.

Esto permitirá integrar la cámara frontal y los circuitos sin comprometer la estética.

**Espesor de las patillas laterales:** 15 mm.

En esta parte se puede alojar la batería recargable (Li-Po slim 3.7V, 300–500 mAh), el módulo Bluetooth/Wi-Fi y parte del PCB controlador.

**Espacio reservado para cámara:**

Dimensión: 28 × 27 × 24 mm con un orificio frontal de **7 mm** para el lente.

Ubicación: lateral superior derecho

**Espacio reservado para PCB (Synaptics + lógica):**

Sección interna de 74 × 20 × 8 mm dentro de la patilla.

**Material del marco**

Para determinar que material seria el mejor a usar se tomaron en cuenta diferentes comparaciones entre los materiales.

En el diseño de dispositivos médicos y asistivos, como las gafas inteligentes para personas con discapacidad visual, la selección adecuada del material del marco es fundamental para garantizar biocompatibilidad, seguridad y durabilidad. Uno de los parámetros críticos es la resistencia térmica, ya que el dispositivo estará en contacto directo con la piel del usuario y además alojará componentes electrónicos que pueden generar calor.

De acuerdo con Ratner et al. (2020), la elección de biomateriales debe considerar no solo la compatibilidad biológica, sino también las propiedades físicas y mecánicas que aseguren la funcionalidad a largo plazo del dispositivo. En este sentido, la resistencia térmica permite prevenir deformaciones, pérdida de propiedades mecánicas o liberación de sustancias tóxicas debido a la exposición a temperaturas elevadas.

Asimismo, según Williams (2019), los polímeros utilizados en dispositivos médicos deben mantener estabilidad dimensional y química en condiciones de uso cotidiano, lo que incluye cambios de temperatura ambientales o calor generado por la electrónica.

Por lo tanto, este gráfico de comparación de resistencia térmica es esencial como criterio de selección, ya que permite identificar qué polímeros mantienen un desempeño seguro en el rango de temperaturas al que estarán expuestas las gafas, protegiendo tanto la integridad estructural del marco como la seguridad del usuario.

Gráfico, Gráfico de barras

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

**Figura 1.**

A partir de esta grafica encontramos que muestra la temperatura máxima de servicio de diferentes materiales poliméricos empleados en marcos de gafas o en aplicaciones biomédicas:

* **ABS (~95 °C)** y **PA12 (~120 °C)** presentan la menor resistencia térmica, lo que los hace poco adecuados para aplicaciones donde hay exposición a calor prolongado.
* **PC (~140 °C)** ofrece un desempeño intermedio, con mejor resistencia que ABS y PA12.
* **TR90 (~180 °C)** y **Ultem (PEI, ~170 °C)** se destacan como opciones más seguras, pues soportan altas temperaturas sin perder propiedades mecánicas.
* **PEEK (~250 °C)** presenta la mayor resistencia térmica, siendo el material más avanzado y confiable desde la perspectiva de desempeño; sin embargo, su costo suele ser significativamente más alto, lo que puede limitar su aplicabilidad en productos de uso masivo como unas gafas.

De este análisis se encuentra que, para un balance entre biocompatibilidad, resistencia térmica y costo, el TR90 resulta una excelente elección para el marco de las gafas inteligentes, ya que combina alta estabilidad térmica con ligereza y resistencia mecánica, características necesarias para un dispositivo que debe ser ergonómico, seguro y durable.

Gráfico, Gráfico de dispersión, Gráfico de burbujas

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

**Figura 2.**

La relación entre resistencia mecánica y densidad de los materiales poliméricos es clave, ya que determina la capacidad del marco para soportar esfuerzos mecánicos sin aumentar excesivamente el peso. En dispositivos biomédicos portátiles, la ligereza está directamente relacionada con la comodidad y la aceptación por parte del usuario (Ramadan et al., 2017).

La resistencia a tracción es un indicador fundamental porque mide la capacidad del material de soportar fuerzas de estiramiento antes de romperse. Esto garantiza que el marco no se fracture con el uso continuo, el ajuste sobre el rostro o el montaje de componentes electrónicos. Por otro lado, la densidad influye en el peso total de las gafas, lo cual es determinante para la ergonomía, ya que marcos pesados pueden causar incomodidad y presión excesiva en puntos de contacto como la nariz o las orejas (Han, Ko, Jang, & Hwang, 2021).

De acuerdo con Kutz (2018), la optimización de biomateriales para dispositivos médicos debe balancear estas dos propiedades: materiales con alta resistencia pero baja densidad permiten diseños más delgados, resistentes y livianos, lo cual es ideal para un producto que será usado de manera continua en la vida diaria.

Por lo tanto, este gráfico de resistencia vs densidad es esencial en la selección de materiales para el marco de las gafas, ya que permite identificar cuáles polímeros ofrecen la mejor combinación de durabilidad mecánica y ligereza, asegurando la comodidad del usuario sin sacrificar seguridad estructural.

**Análisis del grafico**

* **ABS (~40 MPa, 1.04 g/cm³)** → Es el material más débil del conjunto, con baja resistencia mecánica aunque de densidad ligera. No es adecuado para soportar esfuerzos prolongados en marcos de gafas.
* **PA12 (~50 MPa, 1.02 g/cm³)** → Mejora frente al ABS en resistencia, manteniendo baja densidad, pero sigue siendo limitado para aplicaciones de alto desempeño.
* **PC (~65 MPa, 1.20 g/cm³)** → Presenta una resistencia moderada, pero su densidad más alta lo hace relativamente más pesado.
* **TR90 (~75 MPa, 1.01 g/cm³)** → Destaca como material óptimo, al combinar una resistencia alta con una de las densidades más bajas, lo que lo convierte en un material ligero, resistente y ergonómico.
* **Ultem (PEI, ~100 MPa, 1.27 g/cm³)** → Ofrece excelente resistencia, pero su alta densidad puede resultar en un marco más pesado, comprometiendo la comodidad del usuario.
* **PEEK (~120 MPa, 1.30 g/cm³)** → Es el material con mayor resistencia, pero también con la mayor densidad y costo, lo que lo hace más adecuado para aplicaciones biomédicas críticas que para gafas de uso diario.

Esto indica que TR90 ofrece el mejor equilibrio entre resistencia y ligereza, justificando su elección frente a otros polímeros. Ultem (PEI) y PEEK son alternativas técnicamente superiores en resistencia, pero resultan menos convenientes por su densidad y costo.

Gráfico, Gráfico de barras

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

**Figura 3.**

En el campo de los biomateriales, el análisis de costos es un criterio esencial para garantizar que los dispositivos médicos de uso externo sean viables, accesibles y sostenibles en el mercado. No basta con que un material posea propiedades mecánicas o térmicas superiores; su adopción también depende de que el costo de producción permita alcanzar una relación equilibrada entre funcionalidad y asequibilidad (Pulugu, Ghosh, Rokade, Choudhury, Arya, & Kumar, 2021).

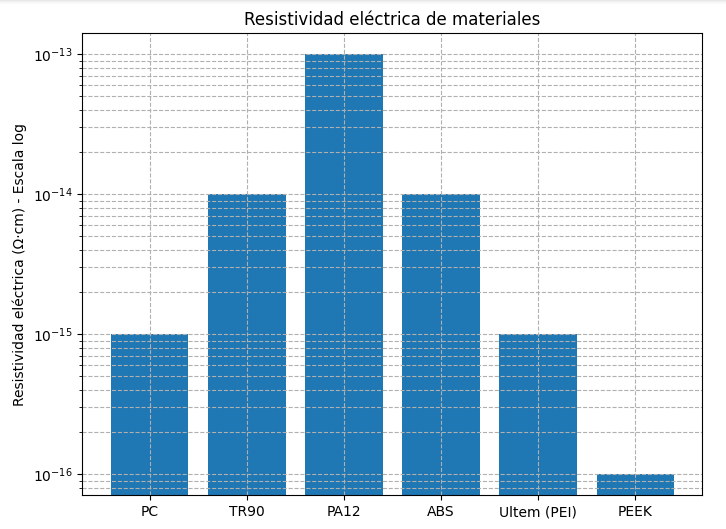
El gráfico presentado evidencia las diferencias de precio entre polímeros de ingeniería y de alto rendimiento. Materiales como PEEK y Ultem (PEI), aunque poseen destacadas características de resistencia y estabilidad térmica, presentan costos muy elevados, lo que limita su uso a aplicaciones de alta especialización. En contraste, polímeros como TR90, PC y ABS ofrecen un bajo costo por kilogramo, siendo más adecuados para dispositivos portátiles y de uso masivo como marcos de gafas, donde la biocompatibilidad, ligereza y economía son factores determinantes para su selección (Puppi, Chiellini, Dash, & Chiellini, 2011).

Desde la perspectiva de biomateriales aplicados a productos de contacto no invasivo, considerar el costo junto con las propiedades funcionales permite seleccionar materiales que no solo cumplan con los requerimientos técnicos, sino que también garanticen la aceptación y escalabilidad en el mercado (Bose et al., 2018).

**Análisis del gráfico**

* **PC y ABS (~2 USD/kg):** Son los más económicos, pero su bajo desempeño mecánico y menor resistencia a largo plazo los hacen menos adecuados.
* **TR90 (~3 USD/kg):** Combina bajo costo con buena resistencia y flexibilidad, consolidándose como la opción más equilibrada para gafas inteligentes.
* **PA12 (~4 USD/kg):** Presenta un costo bajo pero propiedades menos competitivas frente al TR90.
* **Ultem (PEI, ~25 USD/kg):** Aunque técnicamente atractivo, su costo lo hace inviable para productos masivos.
* **PEEK (~80 USD/kg):** Material con desempeño sobresaliente, pero su precio extremadamente alto lo restringe a aplicaciones críticas.

Se determina a partir de este grafico que TR90 es el material más competitivo, pues logra un balance entre costo, propiedades mecánicas, biocompatibilidad y facilidad de fabricación, características claves para marcos de gafas inteligentes.



**Figura 4.**

En el diseño de dispositivos portátiles como los marcos de gafas inteligentes, la resistividad eléctrica de los materiales es un factor crítico porque influye directamente en la **seguridad eléctrica, la compatibilidad con sistemas electrónicos y la protección del usuario**. Un material con alta resistividad actúa como aislante, reduciendo el riesgo de cortocircuitos o descargas que podrían comprometer el desempeño del dispositivo o generar incomodidad al usuario (Park & Lakes, 2007).

Además, desde la bioingeniería se enfatiza que los materiales que estarán en contacto prolongado con la piel deben ser **eléctricamente estables**, evitando acumulación de cargas superficiales que puedan causar irritación, interferencias electromagnéticas o incluso fallos en los sensores integrados en las gafas (Chaudhuri, 2020). Por ello, la selección de polímeros con resistividades adecuadas garantiza tanto la **funcionalidad electrónica** como la **biocompatibilidad eléctrica** en productos de uso cotidiano.

**Análisis del gráfico**

* Todos los polímeros evaluados se encuentran en rangos de **alta resistividad** (10⁻¹³ a 10⁻¹⁶ Ω·cm), confirmando su naturaleza aislante.
* **PA12 (~10⁻¹³ Ω·cm)** muestra la menor resistividad entre los polímeros, lo que lo convierte en el menos eficiente como aislante eléctrico.
* **TR90 y ABS (~10⁻¹⁴ Ω·cm)** ofrecen un buen balance entre aislante eléctrico y desempeño mecánico.
* **PC y Ultem (PEI, ~10⁻¹⁵ Ω·cm)** destacan como aislantes muy eficientes, ideales para reducir riesgos de interferencia con circuitos.
* **PEEK (~10⁻¹⁶ Ω·cm)** presenta la resistividad más alta, siendo el mejor aislante eléctrico, aunque su costo y densidad lo limitan.

Se encuentra que el **TR90 sigue siendo competitivo** porque, además de su bajo costo y buenas propiedades mecánicas, mantiene una resistividad suficientemente alta para garantizar seguridad eléctrica en el uso de marcos de gafas inteligentes.

Gráfico, Gráfico radial

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

**Figura 5.**

En el campo de los biomateriales, la selección del material para dispositivos de uso corporal prolongado, como los marcos de gafas inteligentes, requiere una evaluación multidimensional de propiedades físicas, mecánicas y biológicas. Un gráfico radar permite integrar estos criterios en una sola visualización, facilitando la identificación del material que ofrece el mejor equilibrio entre desempeño, seguridad y costo.

Primero, es fundamental considerar la biocompatibilidad, ya que el contacto directo y prolongado con la piel puede generar reacciones adversas si el material no es estable químicamente o libera compuestos irritantes (Ratner et al., 2020). Asimismo, la densidad y el costo son determinantes prácticos, ya que un marco demasiado pesado afecta la comodidad del usuario, y un costo elevado compromete la viabilidad de producción y accesibilidad en el mercado (Buddy, 2018).

Otro aspecto crítico es la resistividad eléctrica, pues materiales con baja conductividad reducen riesgos de descargas o interferencias con los componentes electrónicos integrados, garantizando seguridad y durabilidad (Williams, 2019). De igual forma, la resistencia mecánica y la temperatura de servicio determinan la capacidad del material para mantener integridad estructural en condiciones de uso cotidiano, incluyendo exposición al calor corporal o al ambiente externo (Heboyan et al., 2022).

De esta manera, el gráfico radar sintetiza propiedades diversas, aportando una herramienta comparativa que responde a la visión integral de la bioingeniería: materiales que no solo cumplen con requisitos técnicos, sino que también aseguran comodidad, seguridad y aceptación clínica del producto final.

**Análisis del gráfico**

El radar muestra que:

* **PEEK** obtiene los valores más altos en resistencia, resistividad y temperatura de servicio, pero presenta el mayor costo y densidad, lo que lo hace poco competitivo para gafas comerciales.
* **Ultem (PEI)** combina buena resistencia mecánica, biocompatibilidad aceptable y resistividad elevada, pero su costo es elevado.
* **PC y ABS** son opciones más accesibles en costo, aunque con limitaciones en biocompatibilidad y desempeño eléctrico.
* **PA12** resalta por su buena biocompatibilidad y baja densidad, pero tiene limitaciones en resistencia mecánica.
* **TR90** destaca como un material balanceado: buena biocompatibilidad, densidad baja (comodidad), costo accesible y resistividad suficiente para aplicaciones con electrónica integrada.

La conclusión del gráfico es que, aunque PEEK y PEI son superiores en desempeño técnico, TR90 representa la opción más equilibrada entre costo, biocompatibilidad, comodidad y seguridad eléctrica, lo que lo convierte en el material más adecuado para el marco de gafas inteligentes.

**Proceso de manufactura**

El proceso de manufactura de unas gafas en TR90 comienza en la etapa de diseño. En esta fase se emplean herramientas de modelado CAD como SolidWorks o Fusion 360 para crear una montura que no solo cumpla con criterios estéticos, sino que también incorpore espacios específicos para alojar componentes electrónicos, tales como la cámara, el microcontrolador ESP32-PICO-D4, la batería y el cableado flexible. El diseño debe contemplar la ergonomía, el peso y la distribución de cargas para garantizar que las gafas sean cómodas y usables en el día a día (Groover, 2015).

Una vez definido el diseño, se selecciona el material TR90, un termoplástico de poliamida semiaromática que se caracteriza por su alta flexibilidad, resistencia a impactos y bajo peso, cualidades que lo hacen especialmente adecuado para monturas de gafas y aplicaciones portátiles. Este material, además, es hipoalergénico y resistente a la deformación por calor, lo que lo convierte en una excelente opción para dispositivos que estarán en contacto directo con la piel y expuestos a condiciones variables de uso (Callister & Rethwisch, 2018).

La fabricación de la montura se realiza mediante moldeo por inyección, proceso en el cual los gránulos de TR90 son fundidos a temperaturas cercanas a 280–300 °C y posteriormente inyectados a presión en un molde metálico de alta precisión. Este método permite obtener piezas con tolerancias ajustadas y reproducibilidad en serie. En este punto es fundamental que el molde incorpore cavidades y guías internas que faciliten posteriormente la integración de los componentes electrónicos. El moldeo por inyección es ampliamente utilizado en la industria de dispositivos médicos y electrónicos debido a su capacidad de producir piezas ligeras, robustas y consistentes (Rosato & Rosato, 2012).

Después del moldeo, se procede a la integración de los componentes electrónicos. El microcontrolador se aloja en la patilla de las gafas, la cámara se coloca en el lateral frontal, y la batería Li-Po se inserta en la patilla contraria para equilibrar el peso. Los cables flexibles se distribuyen a través de microcanales diseñados en la montura, garantizando un acabado limpio y seguro. Para fijar los componentes se utilizan soportes internos o resinas epóxicas. Este paso requiere precisión para no comprometer ni la comodidad del usuario ni la resistencia de la montura (Bos, 2018).

Finalmente, las gafas pasan por un proceso de ensamble final y acabado, que incluye el pulido, el recubrimiento superficial para protección UV y la colocación de lentes y bisagras. Se realizan pruebas de resistencia mecánica, como torsión y caída, junto con pruebas electrónicas de conectividad, autonomía de batería y funcionamiento de la cámara. De esta manera, se asegura que el producto final no solo sea ligero y estético, sino también funcional y confiable en condiciones reales de uso (Groover, 2015).

**Referencias**

Espressif Systems. (2025, 24 de septiembre). *ESP32-PICO-D4* [Ficha de producto]. Mouser Electronics. Recuperado de [https://co.mouser.com/ProductDetail/Espressif-Systems/ESP32-PICO-D4?qs=MLItCLRbWsw7MJlbN3HfdA%3D%3D](https://co.mouser.com/ProductDetail/Espressif-Systems/ESP32-PICO-D4?qs=MLItCLRbWsw7MJlbN3HfdA==&utm_source=chatgpt.com)

Ratner, B. D., Hoffman, A. S., Schoen, F. J., & Lemons, J. E. (2020). *Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine* (4th ed.). Academic Press.

Williams, D. F. (2019). *Essential Biomaterials Science*. Cambridge University Press.

Kutz, M. (2018). *Handbook of materials selection*. John Wiley & Sons.

Han, W. B., Ko, G. J., Jang, T. M., & Hwang, S. W. (2021). Materials, devices, and applications for wearable and implantable electronics. *ACS Applied Electronic Materials, 3*(2), 485–503. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsaelm.0c00724>

Ramadan, K. S., Sameoto, D., & Evoy, S. (2017). A review of piezoelectric polymers as functional materials for microsystems. *Nature Microsystems & Nanoengineering*, 3(1), 1-14. <https://www.researchgate.net/publication/261014204_A_review_of_piezoelectric_polymers_as_functional_materials_for_electromechanical_transducers>

Bose, S., Ke, D., Sahasrabudhe, H., & Bandyopadhyay, A. (2018). Additive manufacturing of biomaterials. *Progress in Materials Science*, 93, 45–111. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2017.08.003>

Puppi, D., Chiellini, F., Dash, M., & Chiellini, E. (2011). Biodegradable polymers for biomedical applications. En *Biodegradable Polymers: Processing, Degradation and Applications* (pp. 545-604). Nova Publishers. <https://www.researchgate.net/publication/234063480_Biodegradable_Polymers_for_Biomedical_Applications>

Pulugu, P., Ghosh, S., Rokade, S., Choudhury, K., Arya, N., & Kumar, P. (2021). A perspective on implantable biomedical materials and devices for diagnostic applications. *Current Opinion in Biomedical Engineering, 18*, 100287. <https://doi.org/10.1016/j.cobme.2021.100287>

Chaudhuri, B. (2020). *Biomedical Engineering Principles*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429243144>

Ritter, A. B., Hazelwood, V., Valdevit, A., & Ascione, A. N. (2011). *Biomedical engineering principles* (2.ª ed.). <https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781439812334_A37902309/preview-9781439812334_A37902309.pdf>

Park, J., & Lakes, R. S. (2007). *Biomaterials: An Introduction*. Springer. <https://books.google.com.co/books?id=bb68wb0R_EAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_book_other_versions_r&cad=1#v=onepage&q&f=false>

Buddy, D. R. (2018). *Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine* (4th ed.). Academic Press. <https://books.google.com.co/books/about/Biomaterials_Science.html?id=9PMU1iYGe34C&redir_esc=y>

Ratner, B. D., Hoffman, A. S., Schoen, F. J., & Lemons, J. E. (2020). *Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine* (5th ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-04379-0> ¿¿¿¿

Williams, D. F. (2014). *Essential Biomaterials Science*. Cambridge University Press. <https://assets.cambridge.org/97805218/99086/frontmatter/9780521899086_frontmatter.pdf>

Heboyan, A., Sichi, L. G. B., Pierre, F. Z., Arcila, L. V. C., de Andrade, G. S., Tribst, J. P. M., … Ausiello, P. (2022). Insights and Advancements in Biomaterials for *Biomedical Applications*. *Journal Name*, *volume*(issue), pages. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9414069/>

Groover, M. P. (2015). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems* (6th ed.). Wiley.

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). Wiley.

Rosato, D. V., & Rosato, D. V. (2012). *Injection Molding Handbook*. Springer.

Bos, R. (2018). *Design for Additive Manufacturing: A Practical Approach for Design Engineers*. Springer.