

**DISEÑO DE UNA INTERFAZ HEAD UP DISPLAY (HUD) PARA CASCO DE
MOTOCICLETA**

JUAN ALBERTO BERMÚDEZ CADAVID

JULIÁN ANTONIO RÍOS GÓMEZ

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
INGENIERÍA MECATRÓNICA POR CICLOS PROPEDEUTICOS**

FACULTAD DE TECNOLOGÍA

PEREIRA

2015

**DISEÑO DE UNA INTERFAZ HEAD UP DISPLAY (HUD) PARA CASCO DE
MOTOCICLETA**

JUAN ALBERTO BERMÚDEZ CADAVID

JULIÁN ANTONIO RÍOS GÓMEZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero en Mecatrónica

Director:

CARLOS ANDRÉS RODRÍGUEZ PÉREZ

Ingeniero en Mecatrónica

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

INGENIERÍA MECATRÓNICA POR CICLOS PROPEDEUTICOS

FACULTAD DE TECNOLOGÍA

PEREIRA

2015

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

Le agradecemos en primer lugar a Dios, por habernos acompañado y guiado a lo largo de este proceso de formación, por ser nuestra fortaleza en momentos de debilidad y por brindarnos un camino colmado de éxitos y aprendizajes, que nos ha hecho mejores seres humanos cada día.

A la Universidad Tecnológica de Pereira y al semillero de investigación Mecabot, por brindarnos un lugar de formación en donde siempre hay espacio para las nuevas ideas.

A nuestro director, el ingeniero Carlos Rodríguez Pérez por su acompañamiento a lo largo del desarrollo de este proyecto y sus grandes aportes en pro de la mejora continua.

A nuestra asesora la ingeniera María Elena Leyes, por ser un pilar en nuestras vidas, por su gran apoyo a través de estos años de crecimiento personal e intelectual.

A nuestros padres que día a día han sido nuestro más sincero apoyo en todo momento, por ser ese motor que nos impulsa a seguir a través del buen ejemplo y las buenas costumbres, a ellos mil y mil gracias.

RESUMEN

El diseño preliminar de la interfaz Head Up Display (HUD) para casco de motocicleta, se enfoca principalmente en lograr la proyección de información en la visera del casco, permitiendo la centralización de algunas variables inherentes a la conducción de motocicletas, por otro lado se relacionan la conexión e interacción de los dispositivos de hardware necesarios para la implementación de un diseño modular, que permita ser aplicado a cualquier tipo de casco que cumpla con la reglamentación colombiana. Para cumplir con este propósito, se realiza una división de los sistemas del casco en tres niveles: nivel de controlador, nivel de proyección y nivel modular.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	7
1. FUNDAMENTOS GENERALES Y COMPONENTES TECNOLÓGICOS INVOLUCRADOS EN UNA INTERFAZ HUD	9
1.1 ¿QUÉ ES UNA INTERFACE HUD?	9
1.2 PRINCIPIOS GENERALES DE FUNCIONAMIENTO	10
1.2.1 Campo de visión:	11
1.2.2 Luminosidad/contraste:	12
1.2.3 Colimación:	12
1.2.4 Escala:	13
1.2.5 Compatibilidad – HUD:	13
1.3 TIPOS DE INTERFACES	13
1.3.1 HUD fija:	13
1.3.2 HMD :	13
1.4 COMPONENTES PRINCIPALES DE FUNCIONAMIENTO	14
1.4.1 Unidad de proyección:	15
1.4.2 Generador de video:	15
1.4.3 Combinador:	16
1.5 SISTEMAS HUD ACTUALES	17
2. SELECCIÓN DE INTERFAZ HUD, VARIABLES, SOFTWARE Y HARDWARE NECESARIO	22
2.1 SELECCIÓN DE VARIABLES A MONITOREAR	22
2.1.1 Rapidez	23
2.1.2 Temperatura	23
2.1.2.1 Termopar	24
2.1.3 Nivel de combustible	24
2.2 DISPOSITIVO DE ADQUISICIÓN DE VARIABLES	25
2.3 ADECUACIÓN DE SEÑALES ESTABLECIDAS	26
2.3.1 Adecuación de rapidez	27

2.3.2	Adecuación de temperatura	29
2.3.3	Adecuación de nivel de combustible	30
2.4	CÓDIGOS DE PROCESAMIENTO ARDUINO.....	32
2.5	PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN.....	33
2.5.1	Shield Bluetooth.....	33
2.6	GENERACIÓN DE INTERFAZ GRAFICA.....	35
2.6.1	Raspberry	35
2.6.1.1	Dongle USB.....	36
2.6.2	C++	37
2.6.3	Qt	37
2.6.4	Qt creator	37
2.7	PROYECCIÓN.....	37
2.7.1	Cámara en Qt creator.....	37
2.7.2	Comunicación serial	38
2.8	PROPUESTA DE INTERFAZ.....	38
2.9	CONFIGURACIÓN FINAL RASPBERRY	41
3.	DISPOSICIÓN MODULAR DEL HARDWARE	42
3.1	IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA A RESOLVER.....	43
3.2	IDEAS PRELIMINARES.....	43
3.2.1	Proyección por espejos.....	43
3.2.2	Proyección externa	44
3.3	PROPUESTA DE DISEÑO.....	45
3.3.1	software de diseño.....	45
3.4	ANÁLISIS DE COMPONENTES	46
3.4.1	Raspberry pi	47
3.4.2	Picoprojector Sekonix	49
3.4.3	Batería Digipower Re-fuel.....	50
3.4.4	cámara oficial Raspberry pi	51
3.5	PROTOTIPO FINAL	52

3.5.1 Disposición final de los componentes	52
3.6 UBICACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTURA DE DATOS	59
ANÁLISIS DE COSTOS	61
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFIA	68
ANEXOS	74
Anexo 1: Tabla de temperatura termocupla tipo K [54]	74
Anexo 2: Instalación de sistema operativo Raspbian [29, 30]	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Casco para los helicópteros Arpía III	8
Figura 2: HUD en cabina de avión militar	10
Figura 3: Campo de visión	12
Figura 4: NUVIZ Ride HUD	14
Figura 5: Picoprojector DPL	15
Figura 6: Raspberry PI	16
Figura 7: Laminas adhesivas de proyección audiovisual	17
Figura 8: Airbus A380	18
Figura 9: Eurofighter Typhoon	19
Figura 10: BMW serie 6	20
Figura 11: LIVE MAP	21
Figura 12: Diagrama de bloques interfaz HUD	22
Figura 13: Sensor de rapidez	23
Figura 14: termopar tipo k	24
Figura 15: Medidor de combustible	25
Figura 16: Placa Arduino	26
Figura 17: Sensor de rapidez (efecto hall)	27
Figura 18: Sensor de rapidez (efecto hall) nibble alto	28
Figura 19: Sensor de rapidez (efecto hall) nibble bajo	28
Figura 20: Adecuación de señal sensor de rapidez	29

Figura 21: Sensor de temperatura	30
Figura 22: Termopar tipo K	30
Figura 23: Tensión de la resistencia variable.....	31
Figura 24: Adecuación de sensor de combustible	31
Figura 25: Shield Bluetooth Seeed	34
Figura 26: Dongle USB	36
Figura 27: Interfaz creada.....	39
Figura 28: Prueba con video Beam (EPSON).....	40
Figura 29: Imagen obtenida desde el video Beam.....	40
Figura 30: Casco “genérico” Sparco	42
Figura 31: Live Map	44
Figura 32: Nuviz.....	45
Figura 33: SolidWorks.....	46
Figura 34: Plano Raspberry pi	47
Figura 35: Raspberry pi	48
Figura 36: Caja para Raspberry Pi, color azul	49
Figura 37: Picoprojector Sekonix	50
Figura 38: Batería Digipower Re-fuel portable Power Bank.....	51
Figura 39: cámara oficial Raspberry pi	52
Figura 40: Disposición Raspberry pi y batería Power Bank	53
Figura 41: ARPRO®	54
Figura 42: Disposición cámara oficial Raspberry pi	55
Figura 43: Disposición Puerto de carga USB.....	56
Figura 44: Disposición Picoprojector Sekonix.....	57
Figura 45: Cableado del sistema	57
Figura 46: Distribución final vista posterior	58
Figura 47: Prototipo final.....	58
Figura 48: Shield Bluetooth Seeed	59
Figura 49: Caja ignifuga para arduino.....	60
Figura 50: Puerto USB para motocicletas.....	61

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades Raspberry pi.....	35
Tabla 2: Salario promedio entre profesionales.....	61
Tabla 3: Costos en términos de horas trabajadas.....	63
Tabla 4: Costos de los diferentes elementos requeridos para el diseño...64	
Tabla 5: Costos de herramientas requeridas.....	65
Tabla 6: Costos interfaz HUD y propuesta de diseño.....	65

INTRODUCCIÓN

La aparición de los primeros sistemas de visualización frontal en pantallas, va de la mano con la incursión de un término poco conocido, pero que ha ganado un gran peso en la actualidad, se trata de los sistemas Head Up Display (HUD). Dichos sistemas, en sus inicios se diseñaron para que los pilotos de combate militar, pre-Segunda Guerra mundial, lograran obtener información detallada de variables asociadas a su actividad, a través de una micro pantalla que mostraba la información pertinente al usuario sin obstaculizar su campo de visión. El uso de la interfaz HUD con el tiempo se expandió más allá de los aviones de combate y helicópteros militares, aplicándose en algunos aviones comerciales de las empresas Boeing, Airbus entre otras; observándose también algunas aplicaciones en automóviles de alta gama.

Colombia es uno de los países de Latinoamérica que ha realizado una apuesta importante en materia de desarrollo tecnológico en el ámbito militar, en aras de reducir la importación de tecnología y suplir necesidades propias, y esto gracias al sector defensa, que como lo publica el informe del periódico Vanguardia: ***“incluye a entidades como la Industria Militar (Indumil), la Corporación de Ciencia y Tecnología de la Industria Naval, Marítima y Fluvial (Cotecmar) y la Corporación de la Industria de Aeronáutica de Colombia (CIAC). La Policía, por su parte, también avanza en sus propios desarrollos tecnológicos”*** [31]. Esta apuesta por la industria nacional ha permitido desarrollos como el casco para los helicópteros Arpía III, el cual fue realizado como proyecto de grado por el mayor Mauricio Zuleta y mayor Camilo Montenegro, para optar por el título de Administrador Aeronáutico. El casco realizado por los mayores, que se observa en la figura 1, es la primera apuesta en Colombia para la implementación de sistemas de visualización frontal, permitiéndole al piloto obtener en el visor información actualizada de vuelo, coordenadas, distancia de los objetivos y acceso a todo el arsenal disponible del helicóptero [13]

Figura 1: Casco para los helicópteros Arpía III



Fuente: FMG Foro Militar General [21]

El objetivo general de este proyecto es el diseño de una pantalla de visualización frontal (Interfaz HUD) para casco de motocicleta y sus alcances determinar los componentes tecnológicos requeridos para el diseño de una interfaz HUD para casco de motocicleta, identificar las variables más importantes a monitorear con la interfaz HUD, diseñar un sistema mecánico que permita a la interfaz HUD ser modular y poderse implementar en cualquier tipo de casco.

El paso por seguir es establecer un desarrollo por fases: en primera instancia, se busca tener un sistema HUD que sea comparable a los que se encuentran comercialmente en la actualidad; así como, determinar las necesidades de cada componente, en aras de presentar en la interfaz toda la información pertinente al usuario, así como la distribución de los datos en la visera del casco. Dando esto paso a un diseño funcional, con el que se intervenga lo menos posible el casco sobre el que se va a situar el sistema, con el fin de que su instalación sea sencilla y no afecte la protección que este proporciona.

1. FUNDAMENTOS GENERALES Y COMPONENTES TECNOLÓGICOS INVOLUCRADOS EN UNA INTERFAZ HUD

1.1 ¿QUÉ ES UNA INTERFACE HUD?

HUD es una pantalla de visualización frontal o Head-up display por sus siglas en inglés. Muchos autores definen los HUD como “una pantalla capaz de otorgar información a un usuario”, sin embargo estos sistemas no constan solo de una pantalla, por lo tanto es posible afirmar que una HUD es una interfaz que permite presentar información detallada sobre un suceso a un usuario, sin que esto interfiera o cambie su punto de visión habitual.

Con base en esta definición, uno de los ejemplos más claros sobre este tipo de interfaces se encuentra en el mundo de los videos juegos, en los cuales es posible observar en las esquinas de la pantalla o directamente al frente del usuario información sobre la partida que se esté ejecutando, sin que el jugador tenga que desviar por completo la mirada del terreno de juego.

Por otra parte saliendo del entorno virtual y entrando al ámbito real, en la actualidad se encuentran interfaces HUD que son proyectadas sobre cristales y que permiten tener una visión clara del mundo “real”, al tiempo q reciben información digital sobre un suceso específico. En la figura 2 se observa una aplicación industrial de este tipo de interfaz implementada hace varios años, la cual gira entorno a la aeronáutica, más precisamente a pilotos militares, que requieren monitorear variables de vuelo constantemente. En este caso, gran parte de ellos cuentan con un casco que proyecta información en una pantalla o directamente en la cubierta de la cabina. Todo esto sin que los pilotos tengan que alejarse de su campo de visión en algún momento. [28]

En conclusión el propósito principal de estas interfaces es ayudar al usuario a conservar su visión periférica mientras recibe datos inherentes a la actividad que se realice.

Figura 2: HUD en cabina de avión militar



Fuente: Check Out The HUD UI Concepts [14]

1.2 PRINCIPIOS GENERALES DE FUNCIONAMIENTO

Aunque el término HUD aplica no solo para el mundo de los video juegos, sino también para la industria militar, la aviación comercial y el campo automotriz, este tipo de sistemas puede y ha sido adaptado al campo de las motocicletas; en este caso en particular, el proyecto se centra en torno a una interfaz que permite proyectar en el polímero de la visera del casco, información pertinente para el conductor.

En este tipo de interfaz interactúan un número determinado de variables físicas que permiten su funcionamiento. Un HUD al ser un sistema que se basa en la proyección de imágenes se encuentra atado a los principios y propiedades de la luz, como los son la reflexión y refracción.

Se entiende por reflexión al fenómeno que ocurre cuando los rayos de luz que inciden sobre un objeto chocan con este y son desviados de regreso al medio de

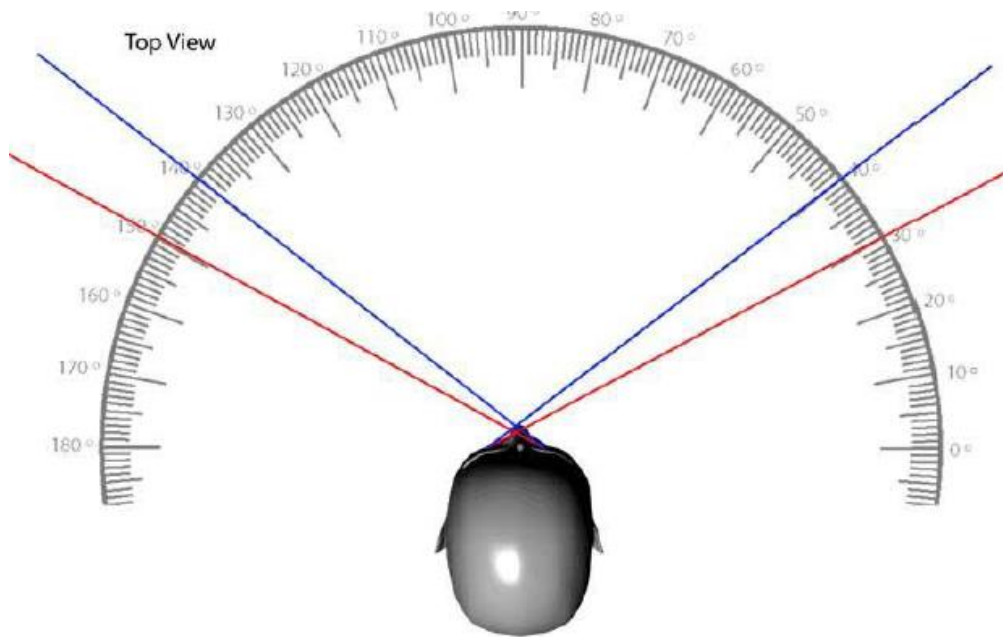
origen [6], en este caso específico la luz que se propaga por un medio, choca contra una superficie de separación (visera de casco), desviando parte de la luz reflejada y refractando el remanente de luz (pasa al segundo medio). La fracción de energía que se transmite al segundo medio depende del tipo de superficie de separación, de la dirección con la que incide sobre la misma y de los índices de refracción de los dos medios. Entendiéndose por refracción al cambio de dirección que experimenta la luz al pasar por un medio (visera de casco), a otro en este caso en particular el medio circundante.[49]

Además de estas propiedades, en el diseño de una interfaz HUD hay otros criterios que juegan un papel importante, a continuación se presentan las anotaciones pertinentes para cada criterio:

1.2.1 Campo de visión:

Indica los ángulos vectoriales en relación con el ojo del piloto y/o conductor, los cuales se observan en la pantalla de visualización, que brinda la información pertinente sin realizar ninguna restricción de las demás longitudes de onda circundantes que existen. Esto permite proyectar la imagen hacia el infinito al mismo tiempo, la cantidad de información es proporcional al tamaño de la pantalla de visualización [18]. En la figura 3 se observa una ilustración, que expresa los grados de percepción del ser humano.

Figura 3: Campo de visión



Fuente: Display Options for Head-Up Information [18]

1.2.2 Luminosidad/contraste:

Debe existir un ambiente de luminancia y contraste adecuado que se ajuste a las variaciones de luz ambiental.

1.2.3 Colimación:

La imagen que se proyecta es colimada, es decir, se alinean los rayos luminosos para producir un haz de luz paralelo. Una vez los rayos de luz son paralelos, el cristalino del ojo humano se centra en el infinito para obtener una imagen clara. Las imágenes colimadas son percibidas hacia el infinito óptico. Esto significa que los ojos del usuario no necesitan centrarse para ver el mundo exterior y la pantalla HUD, en otras palabras se da una percepción de que la imagen se encuentra superpuesta a la realidad. [42]

1.2.4 Escala:

La imagen proyectada debe ser escalada antes de la visualización por parte del conductor. Una imagen superpuesta con el mundo exterior debe conservar una relación proporcional de 1:1, para conservar una escala proporcional a la realidad.

1.2.5 Compatibilidad – HUD:

Los componentes de la interfaz HUD se diseñan para ser compatibles con otros sistemas, en aras de intercambiar información a través de un protocolo de comunicación [26].

1.3 TIPOS DE INTERFACES

En el mundo de las interfaces HUD, existen muchas variaciones en cuanto a su diseño, forma, componentes y distribución. Sin embargo todas obedecen a dos tipos principales, los cuales son: HUD fija y HMD

1.3.1 HUD fija:

Las HUD's fijas son aquellas en donde la proyección se da en una pantalla anclada al chasis del vehículo, por ejemplo, en los aviones se encuentra en la cabina del piloto y en el caso de los automóviles en el parabrisas. Una de las características principales de este tipo de sistema, que se podría considerar una desventaja es el hecho de que el piloto siempre debe tener la mirada puesta en el frente con la cabeza fija en cierto ángulo, para garantizar una correcta visualización de las variables [14].

1.3.2 HMD :

La HMD o Head Mounted Display por sus siglas en inglés, tiene como función principal proporcionar información al usuario en todo momento, independientemente de hacia dónde esté enfocado su punto de visión, para cumplir con este objetivo, los sistemas se adjuntan a un casco donde una micro pantalla ya sea de acrílico o vidrio se encarga de reflejar la proyección, esto representa una gran ventaja al momento de realizar una tarea ya que nunca se pierde de vista la información suministrada.

En el ámbito industrial muchos aviones cuentan con una integración de los dos tipos de sistemas permitiendo así al piloto sacar el mejor provecho de todas las

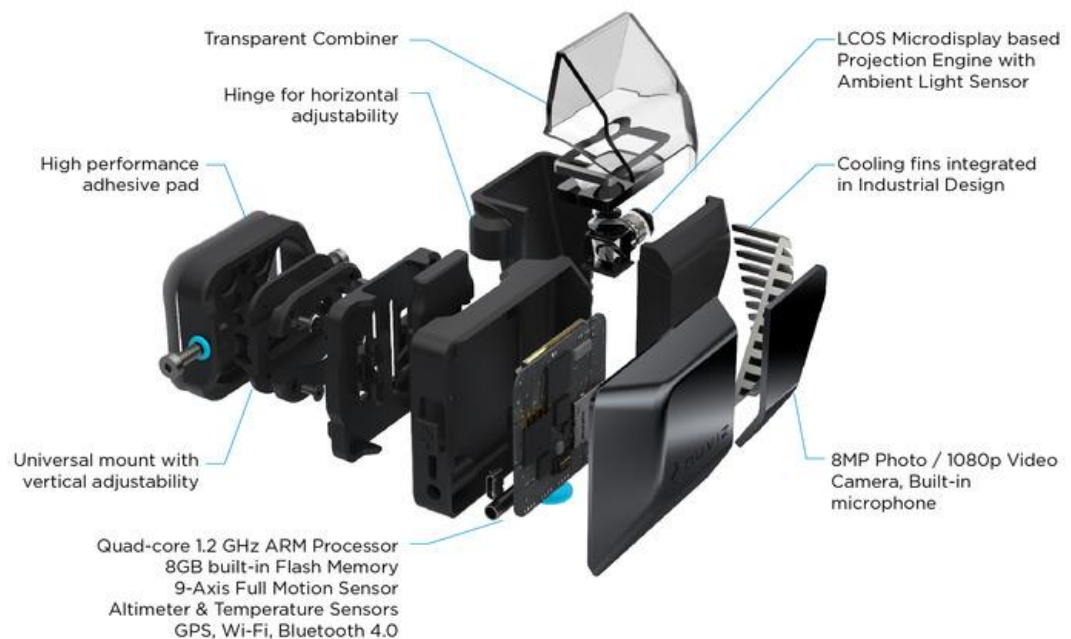
variables que necesita. Por el contrario, los automóviles solo cuentan con HUD fija.

Basados en estas definiciones se podría afirmar que el proyecto que se presenta en este documento se trata de un HMD, sin embargo al proyectarse sobre un acrílico este sería fijo, por lo que es más factible nombrar el sistema como HUD ya que abarca tanto el tipo fijo como HMD [7].

1.4 COMPONENTES PRINCIPALES DE FUNCIONAMIENTO

Un HUD típico contiene tres componentes principales: un equipo de proyección, un combinador y un generador de vídeo. En la figura 4 se observa una vista isométrica de algunos de estos componentes.

Figura 4: NUVIZ Ride HUD



Fuente: Nuviz Motorcycle Hud [41]

1.4.1 Unidad de proyección:

Está formado por un arreglo de lentes, que permite el manejo de un haz de luz a través de diferentes configuraciones; por lo general dichos sistemas utilizan una lente convexa, por sus características de grosor mayores en su centro que en los bordes. También hacen uso de diodos emisores de luz, entre otros componentes, con el fin de tomar una imagen y proyectarla hacia el infinito.

Hoy en día en el mercado se encuentran diversos sistemas que cuentan con estas características como lo es el Picoprojector, el cual utiliza la tecnología DLP (Procesador Digital de Luz) que ofrece diversos adelantos en proyección, gracias al conjunto de chips DLP pico, que alcanzan más o menos el tamaño de la palma de la mano, permitiendo una proyección portátil en cualquier momento y lugar, como se observa en la figura 5. [44]

Figura 5: Picoprojector DPL



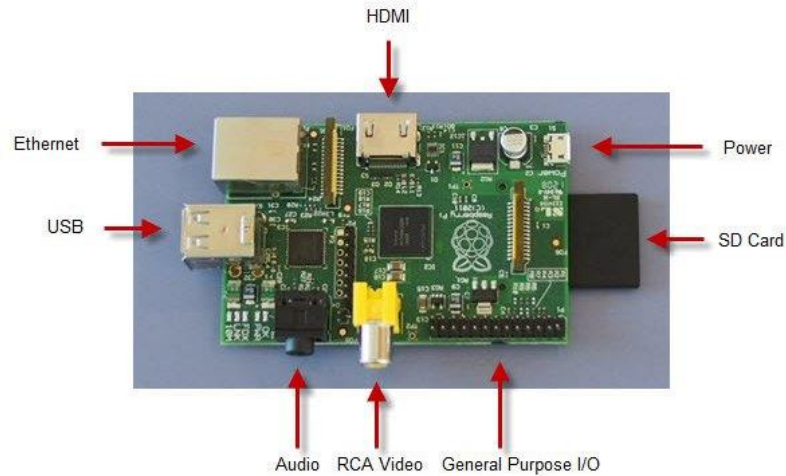
Fuente: Picoprojectores DPL® [45]

1.4.2 Generador de video:

Este equipo permite crear el entorno gráfico de la interfaz HUD; es decir, los símbolos y datos pertinentes, que serán enviados al proyector para ser reflejados y presentados al usuario, así mismo se encargará de todas las operaciones de procesamiento que el sistema requiera.

En el mercado existe una amplia gama de controladores que se encargan de recibir información y procesarla posteriormente. En estos reside toda la inteligencia del sistema y suelen tener las interfaces de usuario necesarias para presentar la información; como es el caso de la Raspberry pi (ver figura 6), la cual es una placa que integra las características de una computadora completa en un solo circuito, que además es de bajo costo. [26]

Figura 6: Raspberry Pi



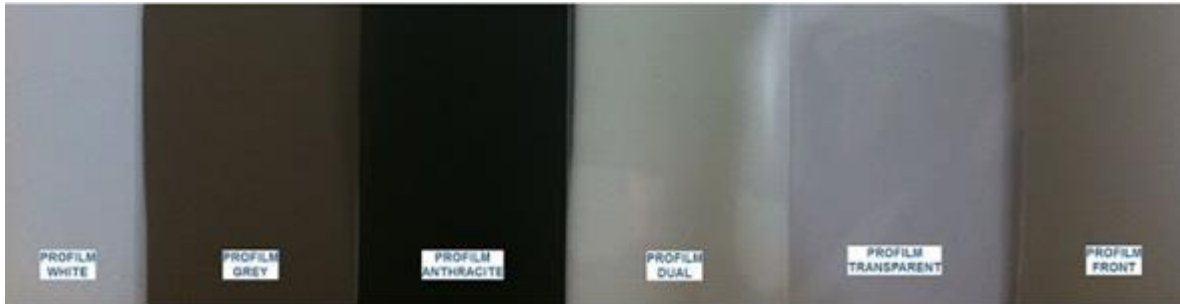
Fuente: Últimas noticias sobre Raspberry Pi [47]

1.4.3 Combinador:

Es una pieza plana, que se fabrica generalmente en un material transparente y se fija directamente frente al espectador. Este se encarga de direccionar la imagen proporcionada por el proyector de tal manera que sea posible observarla en el campo visual del conductor. Generalmente los combinadores poseen recubrimientos especiales que ayudan a reflejar la luz con mayor nitidez. Algunos diseños de combinadores ópticos pueden tener una superficie curvada para reorientar la imagen desde el proyector.

Hoy en día en el mercado se encuentra una variada gama de láminas de proyección específicamente diseñadas para proyectar sobre superficies transparentes, como se observa en la figura 7.

Figura 7: Laminas adhesivas de proyección audiovisual



Fuente: lamina de proyección [32]

Las láminas adhesivas de proyección audiovisual se adaptan a la mayoría de proyectores comerciales y se fijan a objetos como vidrio y acrílico, como es el caso del “PROFILM”, una auto-adhesiva con muy buenas características de proyección. [32]

1.5 SISTEMAS HUD ACTUALES

La tecnología de proyección HUD ha sido el resultado del legado que ha dejado la aviación militar al mundo, debido a la transversalidad de dicho avance en materia de presentación de información, se han presentado importantes avances en materia industrial en el mundo, como es el caso de la aviación comercial (pantallas), el segmento de los video juegos (cascos y pantallas), el campo automotriz (parabrisas), de motocicletas (cascos) y adaptaciones civiles como las Google Glass, entre otros.

Estas aplicaciones han generado importantes cambios en los diferentes segmentos en los que son usados, debido a la necesidad de cada usuario de procesar una gran cantidad de información, ya que esta herramienta demuestra que es posible presentar de forma concreta datos que le permiten al usuario un conocimiento más global de las condiciones inherentes a la actividad que se esté desarrollando.

La empresa aeronáutica europea Airbus, que fabrica el avión de pasajeros más grande del mundo, el (Airbus A 380), ha desarrollado para esta impresionante obra de la ingeniería una interfaz HUD, como se muestra en la figura 8, con un sistema de asistencia de vuelo de última generación, que no solo le entrega información

pertinente al piloto sino que le permitirá tener herramientas esenciales a la hora de pilotar el avión, como lo son: Despegues, aproximaciones y aterrizajes en condiciones de mal tiempo, altitudes inusuales, suministro de información de superficie y las condiciones climáticas entre otras.

Airbus es uno de los ejemplos de los sistemas actuales que utilizan esta tecnología, en aras de facilitar la experiencia de vuelo de sus aeronaves como también aumentar la seguridad de sus pasajeros [1].

Figura 8: Airbus A380



Fuente: QATAR AIRWAYS SELECTS DUAL HUD SYSTEM OPTION FOR ITS NEW A350 XWB AND A380 AIRBUS [46]

En la figura 9, se observa el Eurofighter Typhoon, el cual es un avión de combate que cuenta con características de fiabilidad muy altas; además es muy avanzado en su categoría ya que permite el combate aire-aire y aire-tierra, convirtiéndolo en una aeronave más que completa y eficaz.

El cazabombardero Eurofighter es un esfuerzo conjunto de líneas de montaje en diferentes países como Alemania, Italia, España e Inglaterra; posee además de su impresionante armamento, un sistema de visualización frontal HUD, que le proporciona al piloto un paquete de soluciones indispensables para el combate en el manejo de la aeronave, puesto que no solo le brinda información pertinente al piloto sobre las condiciones de vuelo, sino que le permite acceder al armamento disponible, seleccionar objetivos y todo esto sin perder su campo de visión [19].

De los sistemas de proyección de información más avanzados se encuentran los de los aviones de combate, ya que es en esta industria militar donde surge y se perfecciona constantemente este tipo de sistema.

Figura 9: Eurofighter Typhoon



Fuente: Eurofighter Typhoon [20]

En la figura 10, se observa el nuevo vehículo de la casa matriz alemana BMW, serie 6, este automóvil cuenta con un sistema HUD, que ha sido del agrado de los conductores a nivel mundial debido a que ya no es necesario apartar la vista del camino hacia la pantalla de video ubicada en el tablero, puesto que la información está disponible en el parabrisas del vehículo, permitiendo observar el velocímetro a todo color, instrucciones de velocidad y navegación actuales.

BMW es una de las casas automotrices que ha hecho una apuesta importante en esta tecnología en pro del mejoramiento de la experiencia de manejo de sus vehículos, dando no solo un valor agregado, sino también una herramienta que se puede ver como un accesorio más de seguridad para los conductores [9].

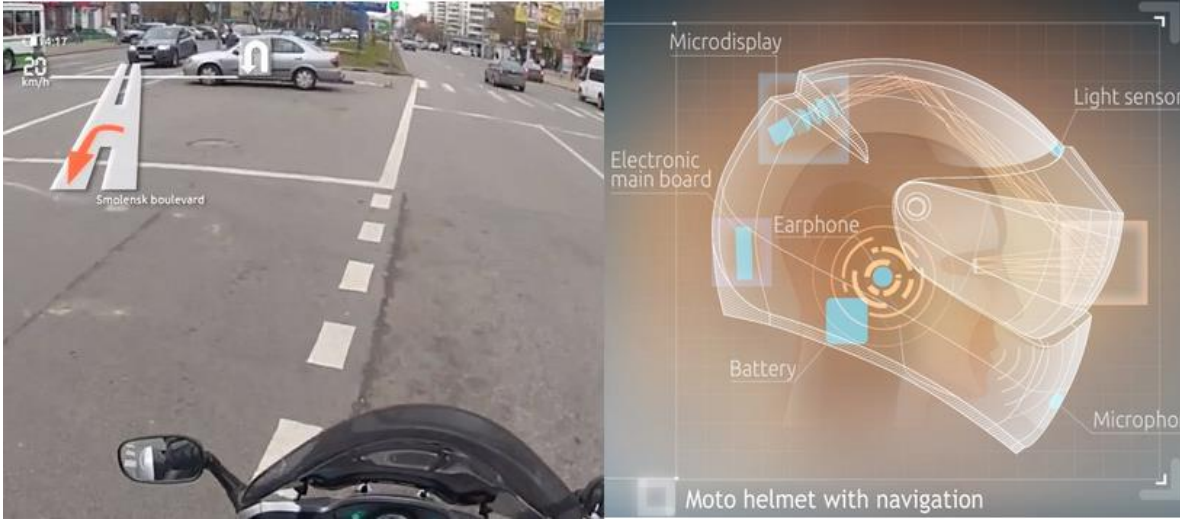
Figura 10: BMW serie 6



Fuente: BMW Head-Up Display [9]

En la figura 11, se observa la aplicación del proyecto LIVE MAP, que consta de un HUD que es usado para presentar lo que sus fabricantes consideran como una de las necesidades más frecuentes de estos días como lo es la ubicación por GPS y mapas virtuales, pero todo esto a través de una pantalla que nos permitirá en “tiempo real”, desplazarnos por las calles de cualquier ciudad que esté debidamente mapeada, sin tener que retirar la vista del frente. Además, el software de procesamiento cuenta con un diseño minimalista que no le permite acceder a juegos como es el caso de Android, todo esto en aras de prevenir la accidentalidad de los usuarios y brindar un producto confiable [33].

Figura 11: LIVE MAP



Fuente: LIVE MAP [33]

2. SELECCIÓN DE INTERFAZ HUD, VARIABLES, SOFTWARE Y HARDWARE NECESARIO.

En la figura 12, se observa la interacción e integración de los diferentes componentes de hardware y software necesarios para llevar a cabo el sistema propuesto, además se aprecia un diagrama de bloques que expresa la interconexión de los mismos; el diseño inicia desde la captura de las variables físicas a través de la plataforma arduino (placa Arduino Uno) y el envío de la información recolectada a través de una Shield Bluetooth, dichos datos son recibidos a través de un Dongle bluetooth ubicado en el puerto USB de la Raspberry pi y finalizando con la proyección de las variables por medio de un picoproector Sekonix.

Figura 12: Diagrama de bloques interfaz HUD



Fuente: [50, 40, 57]

2.1 SELECCIÓN DE VARIABLES A MONITOREAR

La interfaz HUD que se plantea en el presente documento, gira en torno al monitoreo y visualización de ciertas variables inherentes a la conducción de motocicletas, estas variables son: rapidez, temperatura y nivel de combustible. Dado que uno de los propósitos principales es realizar un diseño modular, la obtención de estas variables debe hacerse bajo un mismo dispositivo de captura de información, con el objetivo de abarcar una amplia gama de motocicletas. Teniendo esto en cuenta los vehículos involucrados deben contar con señales digitales en sus sensores. A continuación se presentan las diferentes variables a monitorear así como el principio de funcionamiento que se requiere para darles tratamiento.

2.1.1 Rapidez

La rapidez es una magnitud física que expresa el desplazamiento de un objeto por unidad de tiempo, en este caso específico, la rapidez de una motocicleta colombiana se expresa en kilómetros por hora, ya que un gran número de motocicletas se acogen a la norma técnica colombiana 1000 (NTC 1000), la cual se basa en el sistema internacional de medidas por ende se expresa la rapidez en km/h.

El principio de funcionamiento bajo el cual operan las principales marcas y modelos que circulan en el país, constan de una señal de tensión que es proporcionada por un sensor de efecto hall ubicado en la rueda delantera, como se observa en la figura 13.

Figura 13: Sensor de rapidez



Fuente: Club Bajaj Argentina [15]

2.1.2 Temperatura

Aunque la temperatura de una motocicleta es una medida importante para el cuidado del motor, no todos estos vehículos cuentan con un sensor y/o indicador destinado para ello. Por lo que es necesario incorporar en el diseño del proyecto un sensor que permita monitorear esta variable, para este caso específico un transductor de temperatura (termopar).

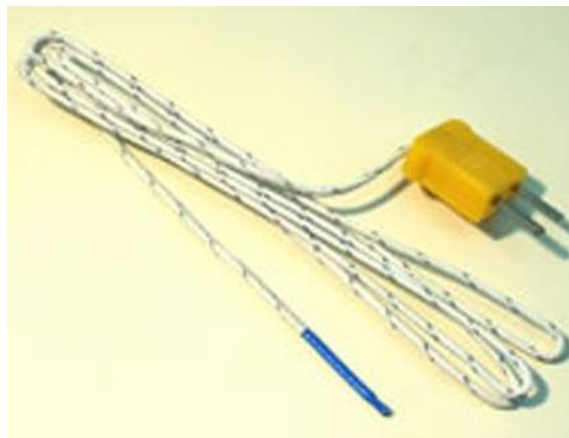
La temperatura normal de funcionamiento de un motor de combustión interna (monocilíndrico) oscila entre los 75 °C y los 90 °C. Esto para los motores no refrigerados por líquido ya que estos aprovechan el aire producido al estar en movimiento, puesto que cuentan con un cilindro provisto de aletas que le ayudan al disipar el calor.

Una temperatura mayor a los 90° puede causar deformación de las piezas móviles y pérdidas de viscosidad del aceite, lo que redundaría en un daño catastrófico en el motor debido al sobrecalentamiento por fricción [36].

2.1.2.1 Termopar

El termopar o termocupla es un transductor que produce una señal de tensión en función de una diferencia de temperatura, su rango puede variar entre los -200 a 1000 grados Celsius, los termopares se encuentran en variados tipos acorde a las necesidades que se requieran, después de realizar una investigación sobre las principales características de estos, se opta por seleccionar una termocupla tipo "k" (ver figura 14), ya que tiene un bajo costo y soporta temperaturas entre -200 y 1373 grados centígrados, lo cual es suficiente para captar las temperaturas del motor, además este tipo de termocupla ofrece una gran resistencia a la oxidación lo que alarga su vida útil.

Figura 14: termopar tipo k



Fuente: Termopar tp01/tipo k sensor termómetro [2]

2.1.3 Nivel de combustible

Esta medida es crucial al momento de conducir una motocicleta a través de largos trayectos, puesto que permite tener más seguridad y elimina inconvenientes a la hora de conducir por periodos prolongados de tiempo o en lugares de difícil acceso, que no cuentan con estaciones de abastecimientos cercanas. El funcionamiento principal se basa en un flotador que al desplazarse varía una resistencia eléctrica interna acoplada al mecanismo, ver figura 15.

Figura 15: Medidor de combustible



Fuente: AliExpress [3]

2.2 DISPOSITIVO DE ADQUISICIÓN DE VARIABLES

Teniendo en cuenta el hecho de que todas las variables definidas anteriormente fluctúan en función del tiempo, se consideran señales análogas, por lo tanto para la captura de estas, es necesario un dispositivo que cumpla con estos requerimientos, además que posea un reducido tamaño. En este caso en particular, se designó un Arduino Uno como se observa en la figura 16.

Arduino Uno es una plataforma de hardware libre, que consta principalmente de un microcontrolador Atmega 328, una placa donde se encuentran todos los componentes electrónicos necesarios (Cristales, reguladores, etc.), además de contar con un entorno de desarrollo basado en C, el cual hace relativamente sencilla su programación.

Figura 16: Placa Arduino



Fuente: Arduino [5]

2.3 ADECUACIÓN DE SEÑALES ESTABLECIDAS

Aunque las señales recibidas por el arduino son eléctricas, no pueden ser enviadas directamente al puerto de entradas del mismo, ya que no son compatibles en términos de tensión, por ello es necesario realizar un acondicionamiento de señal para cada una de las variables, en aras de alcanzar los rangos permitidos por el microcontrolador; cabe resaltar que para cada una de las señales establecidas se requiere un circuito alterno.

Para efectos de simulación de estas señales se hace uso de un potente software de diseño y simulación electrónica, Proteus versión 7.1, desarrollado por Labcenter Electronics, esta interfaz cuenta con todos los componentes, sensores y demás instrumentos requeridos para comprobar la conexión y correcto funcionamiento de los montajes propuestos de manera virtual.

Con el fin de establecer la magnitud y el tipo de señales que serán recibidas desde el vehículo, se tomó como referencia una moto Pulsar 180 de la marca Bajaj distribuida por Autotécnica Colombiana S.A. (Auteco), ya que según FENALCO (federación nacional de comerciantes) ***“En el primer semestre de 2012, la industria de las motocicletas vendió 262.169 unidades, es decir un aumento de 11,4% con respecto al mismo periodo de 2012. La ensambladora que posee la mayor parte del mercado es Auteco”*** [10].

Al ser Auteco la distribuidora de motos que se encuentra con mayor participación

en el mercado colombiano, representa una opción muy viable para la implementación del diseño propuesto.

2.3.1 Adecuación de rapidez

En la figura 17 se observa el comportamiento de la señal proporcionada por el sensor de efecto hall, al momento de ser analizado con un osciloscopio marca ATEN, se aprecia la variación de pulsos a una determinada rapidez.

Figura 17: Sensor de rapidez (efecto hall)



En la figura 18 se observa el valor de tensión entregado por el sensor de efecto hall cuando este se aproxima a un campo magnético, por otra parte en la figura 19 se observa el valor de tensión cuando se aleja del campo magnético.

Figura 18: Sensor de rapidez (efecto hall) nibble alto

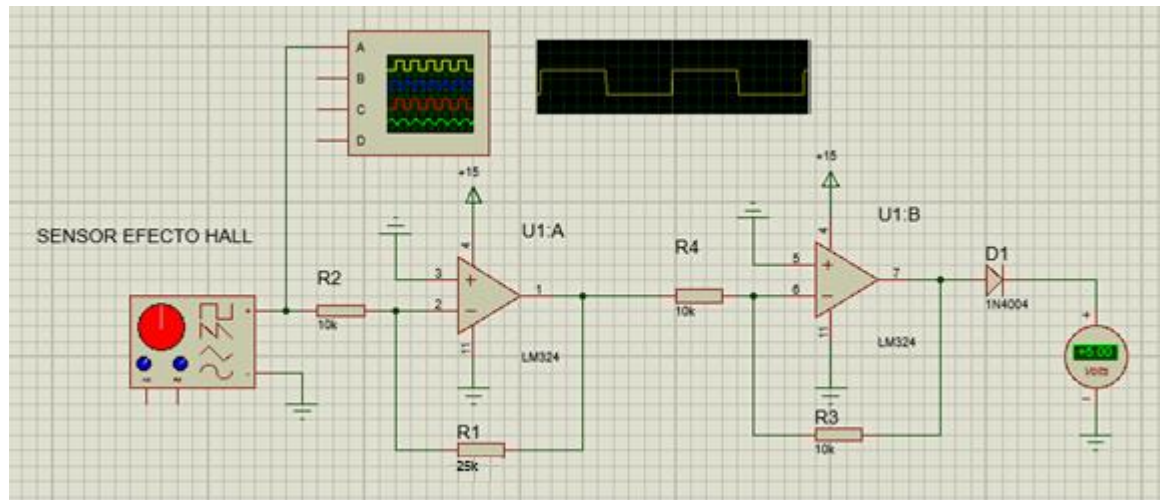


Figura 19: Sensor de rapidez (efecto hall) nibble bajo



Debido a que la tensión entregada por el sensor varía entre un nibble alto y bajo con valores de tensión de 4.3 y 0 voltios continuos, se hace necesario implementar un circuito de acondicionamiento de señal, para dar una ganancia a los datos obtenidos escalando la señal de 0 a 5 voltios, como se aprecia en la figura 20, con el fin de garantizar una adecuada señal de entrada al arduino.

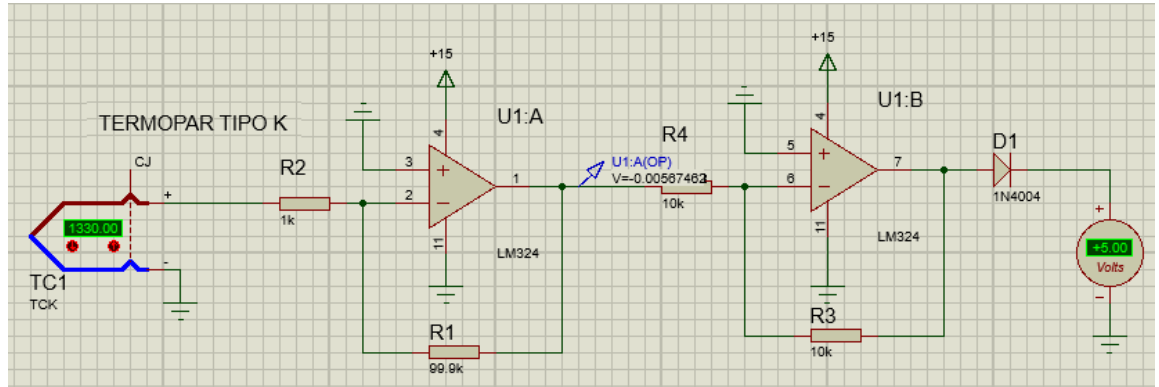
Figura 20: Adecuación de señal sensor de rapidez



2.3.2 Adecuación de temperatura

Debido a que la termocupla tipo K entrega una tensión de 41 microvolts por cada grado Celsius, es necesario llevar estos valores a un rango de 0 a 5 voltios (ver figura 21), el cual es admitido por el microcontrolador, para ello se hace uso de amplificadores operacionales en configuración inversor elevador, los cuales generan una ganancia a la señal proveniente del transductor, en el anexo 1 se encuentra la variaciones de temperatura y sus equivalentes en tensión para el termopar tipo k.

Figura 21: Sensor de temperatura



Con el propósito de realizar una medición de la temperatura del motor de la motocicleta Pulsar 180 GT, se hace uso de una sonda de temperatura tipo k, dicha sonda viene integrada al multímetro digital UNI-T UT55, en la figura 22 se observa el valor de temperatura obtenido. Del motor después de media hora de funcionamiento.

Figura 22: Termopar tipo K



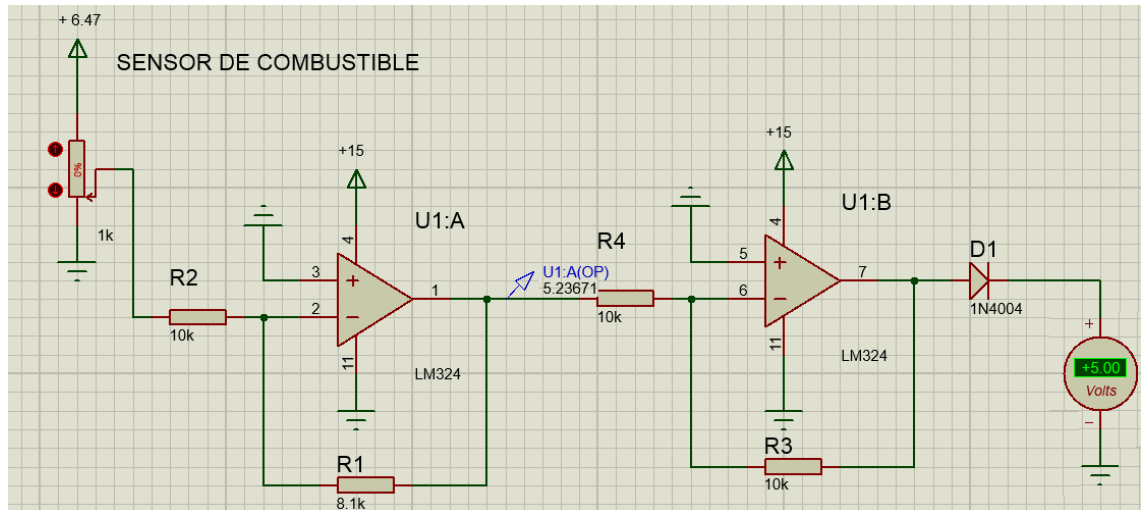
2.3.3 Adecuación de nivel de combustible

Después de realizar varias pruebas a la motocicleta, se obtuvo como resultado que la tensión máxima que se genera a la salida de la resistencia es de 6.47 V con el tanque de combustible lleno, como se observa en la figura 23, por lo que es necesario adecuarla de tal forma que entregue 5 voltios como tensión máxima, para ello se realiza un circuito basado en dos amplificadores operacionales como se observa en la figura 24.

Figura 23: Tensión de la resistencia variable



Figura 24: Adecuación de sensor de combustible



2.4 CÓDIGOS DE PROCESAMIENTO ARDUINO

El código 1 hace referencia al procesamiento de la señal proveniente del sensor de efecto hall, el cual está conectado al pin 12 del Arduino y programado como una entrada digital. El objetivo de este segmento de código, es capturar los flancos ascendentes o descendientes de la señal y el tiempo transcurrido entre cada flanco, con esta información se realizan los cálculos de las revoluciones por minuto.

Código 1: Captura de RPM

```
int getRPM()
{
  int kount=0;
  boolean kflag=LOW;
  unsigned long currentTime=0;
  unsigned long startTime=millis();

  while (currentTime<=sampleTime)
  {
    if (digitalRead(pinSensor)==HIGH)
    {
      kflag=HIGH;
    }
    if (digitalRead(pinSensor)==LOW && kflag==HIGH)
    {
      kount++;
      kflag=LOW;
      digitalWrite (pinLed,HIGH);
    }
    currentTime=millis()-startTime;
  }
}
```

Una vez obtenidas las revoluciones por minuto, se procede a hallar la velocidad angular, la cual es un insumo necesario para el cálculo de la velocidad lineal, como se observa en el código 2.

Código 2: Calculo de velocidad angular y lineal

```
rpm=getRPM();// metodo que se crea mas adelante para configurar las revoluciones por minuto del motor
w = (rpm*6.283183)/60; // se Halla la velocidad Angular
v = w*0.0071;// se halla velocidad Lineal
v2=v*3,6; //se halla la velocidad en km por hora
```

Por otra parte, las señales analógicas de nivel de combustible y temperatura son capturadas a través del pin A0 y A1 del puerto analógico; los valores obtenidos se interpolan a una escala de 0 a 100% para el caso del nivel de combustible y de 0 a 1370 °C para la temperatura. Una vez obtenidos todos los parámetros son enviados a través del Shield Bluetooth hacia el procesador central (Raspberry pi), como se observa en el código 3.

Código 3: Captura de señales analógicas

```
int sensorcombustible=analogRead(A0);  
long nivelcombustible=(sensorcombustible*0.098);  
blueToothSerial.print(nivelcombustible);  
  
int sensortemperatura=analogRead(A0);  
int niveltemperatura=(sensortemperatura*1.34);  
blueToothSerial.print(nivelcombustible);
```

2.5 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

Una vez las variables a monitorear se encuentran debidamente procesadas, es necesario transmitir las al procesador central (Raspberry), el cual se encarga de generar la interfaz gráfica, por motivos de seguridad esta transmisión no puede hacerse con una red física, por lo que es necesario realizarla a través de un protocolo de comunicación inalámbrico como lo es el estándar de comunicación Bluetooth.

2.5.1 Shield Bluetooth

Debido a que la placa arduino por sí sola, no cuenta con la capacidad de transmitir datos de forma inalámbrica, se hace necesario utilizar un hardware complementario, en este proyecto, se plantea el uso del Shield Bluetooth, propiedad de Seeed studio versión 1.1. Que permite una conexión Bluetooth-serial para el envío y recepción de los datos, además está especialmente diseñado para la plataforma arduino y su conexión es relativamente sencilla, en la figura 25 se observa el Shield.

Figura 25: Shield Bluetooth Seed



Fuente: Bluetooth Shield [8]

Para realizar la configuración del módulo Bluetooth, solo basta con implementar unas pocas líneas de código que permiten la configuración de parámetros como rapidez de transmisión, nombre del dispositivo entre otros. Ver código 4.

Código 4: Configuración Bluetooth

```
void setupBlueToothConnection()
{
  blueToothSerial.begin(38400); // Conjunto BluetoothBee BaudRate velocidad de transmisión 38400
  blueToothSerial.print("\r\n+STWMOD=0\r\n"); // establecer el trabajo del bluetooth en modo esclavo
  blueToothSerial.print("\r\n+STNA=MOTOCICLETA\r\n"); // definir el nombre del bluetooth como "Motocicleta"
  blueToothSerial.print("\r\n+STOAUT=1\r\n"); // Permiso dispositivo emparejado
  blueToothSerial.print("\r\n+STAUTO=0\r\n"); // Auto-conexión debe ser prohibido aquí
  delay(2000); // Se requiere este retraso.
  blueToothSerial.print("\r\n+INQ=1\r\n"); // |
  Serial.println("The slave bluetooth is inquirable!");
  delay(2000); // Se requiere este retraso.
  blueToothSerial.flush();
}
```

2.6 GENERACIÓN DE INTERFAZ GRAFICA

Una vez establecidos todos los componentes de hardware necesarios, y capturadas todas las variables a monitorear con su respectiva adecuación es necesario llevarlas a un dispositivo que permita generar una interfaz gráfica amigable con el usuario y que garantice una visualización clara de todos los parámetros establecidos.

2.6.1 Raspberry

La Raspberry pi es una computadora fabricada en una placa de tamaño reducido y de bajo costo, originaria de Reino Unido desarrollada por la fundación Raspberry Pi, en un principio la idea se concibió con el objetivo de incentivar la enseñanza de computación en las escuelas.

Sin embargo por sus cualidades y capacidades se ha convertido en una herramienta utilizada frecuentemente en muchos desarrollos de base tecnológica, en la tabla 1 se observan las principales características.

Tabla 1: Propiedades Raspberry pi

	Model A	Model B
Target Price	20,00 €	28,00 €
SoC	Broadcom BCM2835 (CPU + GPU + DSP + SDRAM)	
CPU	700 Mhz ARM1176JZF-S core	
GPU	VideoCore IV, OpenGL ES 2,0, 1080p30 Full HD HP H.264	
Memory	128 MiB SDRAM	256 MiB SDRAM
USB 2.0 ports	1	2 (via integrated USB hub)
Video outputs	Composite RCA, HDMI	
Audio outputs	3.5 mm jack, HDMI	
Onboard storage	SD / MMC / SDIO card slot	
Low-level peripherals	GPIO pins, SPI, I ² C, UART	
Onboard network	none	10/100 wired Ethernet (RJ45)
Real-time clock	No clock or battery	
Power ratings	500 mA (2.5 Watt)	700 mA (3.5 Watt)
Power source	5 Volt via MicroUSB or GPIO header	
Size	85.60mm x 53.98mm	
Supported OS'es	Debian GNU/Linux, Fedora, Arch Linux	

Fuente: The Raspberry Pi Launch [59]

La Raspberry, al ser una computadora “completa” su funcionamiento se basa en un sistema operativo, son varios los sistemas compatibles con esta placa, pero uno de los más destacados es Raspbian, el cual es distribuido por GNU/Linux, lo que lo hace un conjunto de plataforma libre, además fue especialmente diseñado para el procesador de la Raspberry, por otra parte Raspbian ofrece un entorno de desarrollo de programación basado en Python y con posibilidad de integrar otros lenguajes de programación.

Sin embargo la raspberry al ser una placa reducida no cuenta con un disco duro en el cual guardar toda la información recolectada, así como el sistema operativo que se desea usar, pero cuenta con un zócalo que acepta tarjetas SD de diversas capacidades, dichas tarjetas sirven de almacenamiento para el computador, en esta tarjeta se debe descargar el sistema operativo (Raspbian) el cual puede ser encontrado en la página oficial de raspberry segmento descargas www.raspberrypi.org/downloads/(ver anexo 2).

2.6.1.1 Dongle USB

Los datos enviados a través del arduino, deben ser recibidos por un procesador central (Raspberry pi), el cual se encarga de generar la interfaz a proyectar, para esto es necesario dotarla de una red inalámbrica, con este fin se usa un dispositivo USB, muy compacto pero que cuenta con todas las disponibilidades de un módulo Bluetooth de mayor envergadura, como se observa en la figura 26.

Para la configuración del dispositivo USB en la Raspberry pi basta con abrir el terminal del sistema operativo y escribir en este el comando “apt-get install -y bluetooth bluez-utils blueman” una vez se haya terminado la instalación, es posible acceder a los ajustes del bluetooth desde el menú de la Raspberry.

Figura 26: Dongle USB



Fuente: Mini USB Dongle Bluetooth [37]

2.6.2 C++

Gracias a que la Raspberry pi es una minicomputadora, la forma más eficaz de generar una interfaz gráfica que además permita una comunicación Bluetooth serial, es a través de un lenguaje de programación, en este caso “C ++”, se trata de un lenguaje que usa la programación estructurada y programación orienta objetos, diseñado por el científico de la computación y catedrático Bajarne Stroustrup.

2.6.3 Qt

Qt es una biblioteca usada para el desarrollo de aplicaciones con interfaz gráfica, fue desarrollada como un software de libre distribución y código abierto creado por QT Project, usa como lenguaje de programación “C ++” de forma nativa, sin embargo es posible utilizar otros lenguajes de programación.

2.6.4 Qt creator

Qt creator es un ambiente de desarrollo interactivo diseñado por Trolltech para la creación de aplicaciones con bibliotecas de QT, además es compatible con Linux, una de las grandes ventajas que proporciona este software es el uso de las bibliotecas de QT, ya que proporcionan una interfaz amigable de programación que facilita la creación de entornos gráficos, tan solo con arrastrar botones y programar pocas líneas de código.

Para descargar este software en la Raspberry pi basta con ir a la página oficial de QT en el segmento de descargas (una vez guardado el archivo ejecutable, un asistente de instalación ayuda a la configuración del mismo).

2.7 PROYECCIÓN

Una vez se encuentran instalados todos los complementos de software necesarios para realizar la programación de la interfaz gráfica, así como las variables debidamente adecuadas, se procede a establecer la estructura de programación en el entorno de Qt creator, donde es necesario acceder a la cámara, establecer una comunicación serial y ubicar todos los iconos y botones requeridos.

2.7.1 Cámara en Qt creator

El código 5 hace referencia al procedimiento necesario para acceder a la cámara web conectada a la Raspberry pi, a través de los siguientes comandos es posible crear una ventana de visualización en donde se aprecia la imagen transmitida por el dispositivo.

Código 5: Configuración de la cámara

```
QCamera* camera = new QCamera;  
QCameraViewfinder* viewfinder = new QCameraViewfinder;  
camera->setViewfinder(viewfinder);
```

2.7.2 Comunicación serial

En el código 6, se establecen todos los parámetros necesarios para realizar la conexión serial con el Shield Bluetooth, configurando variables como velocidad de transmisión, puerto de comunicación entre otros.

Código 6: Configuración puerto serial

```
QSerialPort *port; // puntero al objeto que maneja el puerto  
  
void funcion(void)  
{  
    QSerialPort *port = new QSerialPort();  
}  
  
port->setPortName("COM1");  
  
port->setBaudRate(QSerialPort::Baud9600);  
port->setDataBits(QSerialPort::Data8);  
port->setParity(QSerialPort::NoParity);  
port->setStopBits(QSerialPort::OneStop);  
port->setFlowControl(QSerialPort::NoFlowControl);
```

2.8 PROPUESTA DE INTERFAZ

En la figura 27 se observa la interfaz gráfica obtenida en QT creator, la cual muestra en una pantalla principal, una cámara web y los valores de velocidad, temperatura y nivel de combustible superpuestos en la imagen.

Figura 27: Interfaz creada



A manera de prueba y para verificar la integración de todos los componentes se utilizó un proyector video Beam marca Epson, este fue el encargado de proyectar la interfaz gráfica creada sobre una superficie blanca, mostrando el resultado de la interconexión de la Raspberry pi, Arduino UNO, Shield Bluetooth y señales simuladas de los diferentes sensores, como se aprecia en la figura 28, por otra parte en la figura 29 se aprecia con mejor resolución la imagen obtenida.

Figura 28: Prueba con video Beam (EPSON)



Figura 29: Imagen obtenida desde el video Beam



2.9 CONFIGURACIÓN FINAL RASPBERRY

Una vez generada la interfaz gráfica, es de vital importancia al momento de ejecutarla establecer restricciones en la Raspberry pi, esto con el fin de evitar interferencias dentro de la proyección, para esto se hace uso de una serie de códigos que permiten desactivar funciones como la inactividad de la pantalla (ver código 7) y el cursor dentro de la interfaz (ver código 8).

Código 7: Desactivar inactividad de la pantalla

```
$ sudo nano /etc/lightdm/lightdm.conf  
  
[SeatDefaults]  
xserver-command=X -s 0 dpms
```

Código 8: Ocultar cursor

```
$ sudo apt-get install unclutter
```

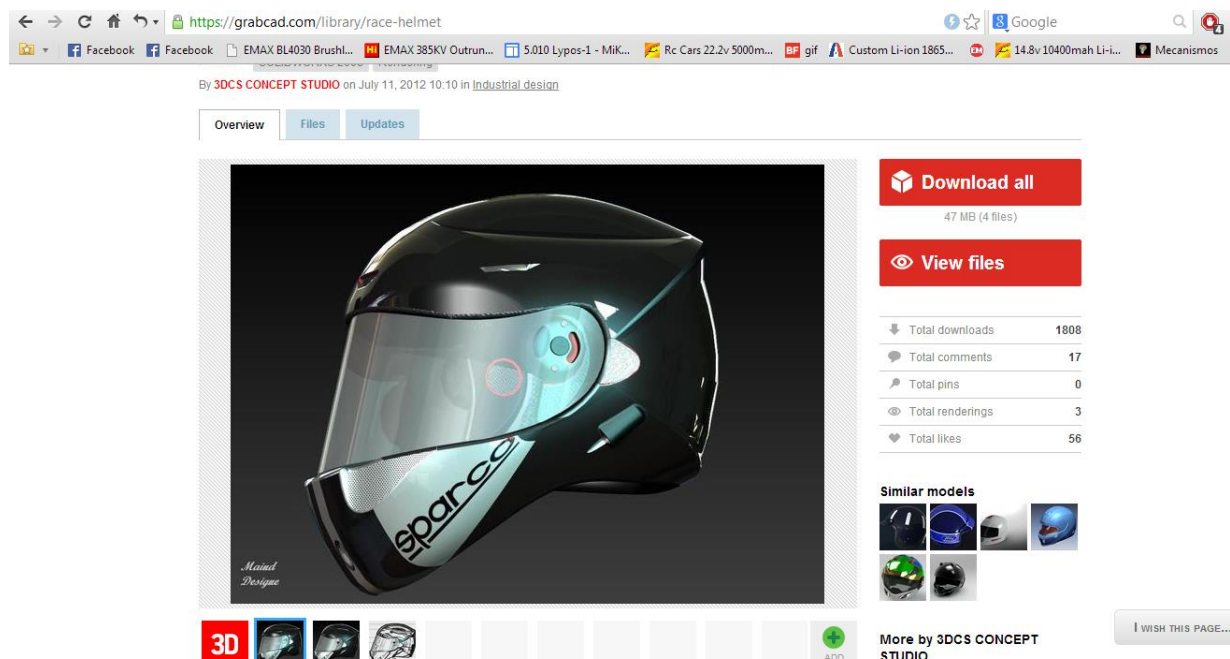
Una vez estas líneas de código han sido implementadas la interfaz gráfica se considera lista para operar.

3. DISPOSICIÓN MODULAR DEL HARDWARE

Este capítulo expone, en términos generales, los criterios más importantes en cuanto al diseño modular de la interfaz HUD, para un casco “genérico” (ver figura 30), en aras de realizar un prototipo virtual, funcional, flexible y armonioso, lo cual se considera un factor determinante a la hora de brindar una solución de seguridad y confort a los futuros usuarios.

Teniendo en cuenta que el sistema HUD será modular, se busca establecer la disposición que tendrá cada componente dentro del casco, así como los diferentes materiales que lo soportan, con el fin de usar el mínimo espacio posible y lograr una proyección adecuada sin dejar de lado el confort del usuario.

Figura 30: Casco “genérico” Sparco



Fuente: GRABCAD [24]

3.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA A RESOLVER

En la actualidad los prototipos más representativos en el mundo de las interfaces HUD para motocicleta son diseños y fabricados desde cero, es decir el chasis en el que se encuentran implementados es diseñado especialmente para los componentes que lo integran, sin embargo esto trae consigo una gran desventaja y es el hecho de la normatividad establecida, ya que el diseño debe ser expuesto a diferentes pruebas que garanticen la seguridad del piloto, por lo que una opción viable es emplear elementos que se puedan acoplar a un casco que ya cuenta con toda la normatividad establecida, pero es entonces que la disposición de los componentes juega un papel fundamental a la hora de seleccionar dispositivos, que no generen alteraciones al diseño estructural del mismo y que cuenten con un tamaño compacto.

El propósito del diseño modular, es adaptar la interfaz HUD a cualquier casco que cumpla con la reglamentación establecida en la norma técnica Colombiana (NTC 4533), en aras de cumplir con la reglamentación necesaria para usuarios de motocicletas en este país.

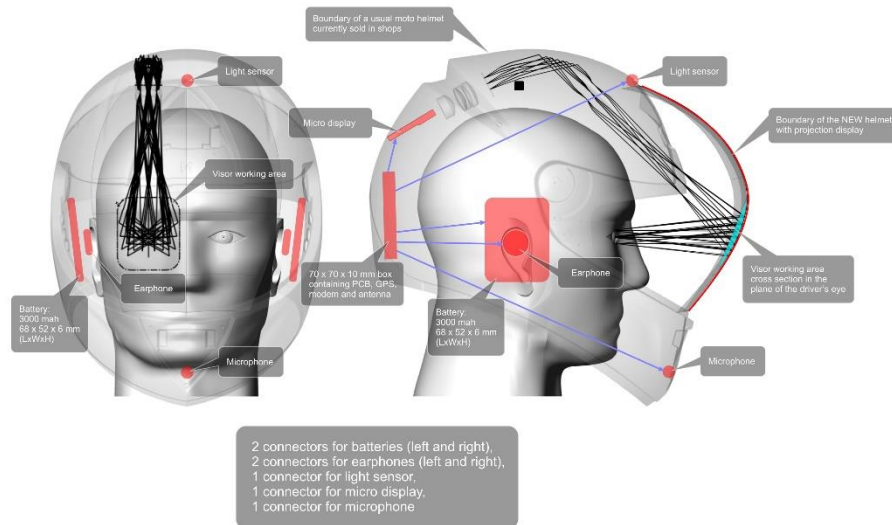
3.2 IDEAS PRELIMINARES

3.2.1 Proyección por espejos

Después de realizar una búsqueda detallada sobre los principios generales de funcionamiento, tipos de interfaces existentes y sistemas HUD actuales, se plantea como una alternativa para el diseño uno de los sistemas más comunes actualmente, el cual se basa en una proyección a través de espejos. En síntesis este sistema cuenta con un microdisplay donde se produce la información, la cual es reflejada hasta lograr una interacción con el usuario, como se observa en la figura 31 [34].

Sin embargo, se descarta el uso de este sistema ya que requiere un espacio considerable para ubicar todos los elementos del proyector, además, este diseño requiere de realizar modificaciones a un casco genérico e hasta llegar al punto de rediseñar el mismo, ya que esto va en contravía del propósito principal del proyecto.

Figura 31: Live Map



Fuente: Live Map helmet boundary and internal components [34]

3.2.2 Proyección externa

Otra gran alternativa de desarrollo llega de manos de los creadores del proyecto NUVIZ, el cual utiliza un microdisplay para la presentación de información al usuario, dicho proyecto fue concebido de forma modular, como se observa en la figura 32, de manera que pueda ser adaptado fácilmente a casi cualquier casco comercial, este dispositivo se encuentra aún en fase de prueba.

Este sistema representa una gran ventaja en términos de tamaño ya que es muy compacto y no requiere mucha intervención en el casco que se implemente, sin embargo la proyección externa no proporciona los objetivos propuestos inicialmente.

Figura 32: Nuviz



Fuente: The first HEAD-UP DISPLAY for MOTORCYCLE HELMETS [27]

3.3 PROPUESTA DE DISEÑO

Luego de realizar un análisis de las ideas preliminares y los diseños más relevantes en materia de interfaces HUD en el segmento de las motocicletas, se determinó en aras de cumplir con los objetivos y alcances propuestos, la selección de materiales tanto de hardware y software que se encuentren comercialmente. Esto en pro de realizar una integración de tecnologías existentes, disminuyendo a su vez los costos inherentes al proyecto; presentando una alternativa de visualización directa hacia la visera del casco y cumpliendo con el requisito preestablecido del diseño modular.

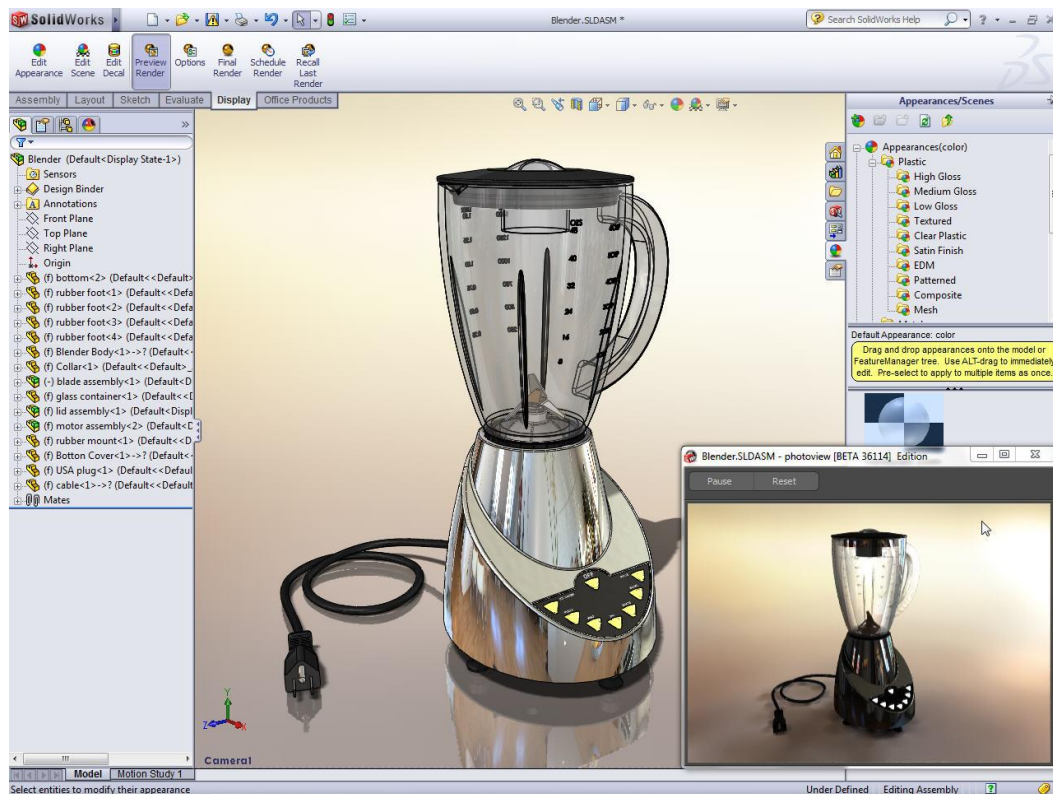
Para ello se realizó una selección de los dispositivos que cumplen con las características señaladas para el diseño, en materia de proyección, procesamiento de información y autonomía energética.

3.3.1 software de diseño

Con el objetivo de tener una visión clara y un acercamiento a la disposición de los elementos dentro del casco, los componentes seleccionados son llevados a un software CAD (diseño asistido por computadora) en este caso SolidWorks, para la realización del prototipo virtual del diseño propuesto.

La selección del software CAD SolidWorks (ver figura 33), se da debido a que es una herramienta de diseño muy poderosa y muy utilizada a nivel mundial, la cual cuenta con soluciones en materia de educación, maquinaria, electrónica, transporte, ingeniería de construcción, servicios de ingeniería entre otros [53], lo cual lo hace una herramienta idónea para el desarrollo del diseño.

Figura 33:



Fuente: MLC CAD systems [38]

3.4 ANÁLISIS DE COMPONENTES

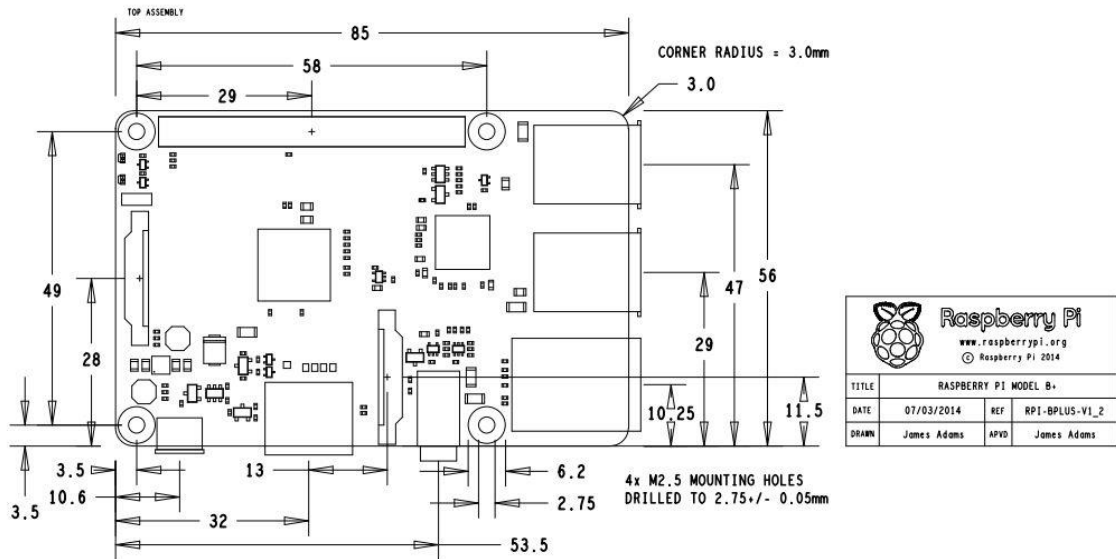
Los componentes ya mencionados en los capítulos anteriores son integrados al diseño digital y escalados 1:1, con el fin de realizar una distribución adecuada del espacio existente dentro del casco de motocicleta.

A continuación se relacionan cada uno de los elementos así como los respectivos parámetros que se tuvieron en cuenta para la digitalización.

3.4.1 Raspberry pi

En la figura 34 se observa un plano 2D de una Raspberry pi y se detalla cada uno de los componentes de la misma, debido a sus medidas es posible inferir que cumple con las especificaciones necesarias.

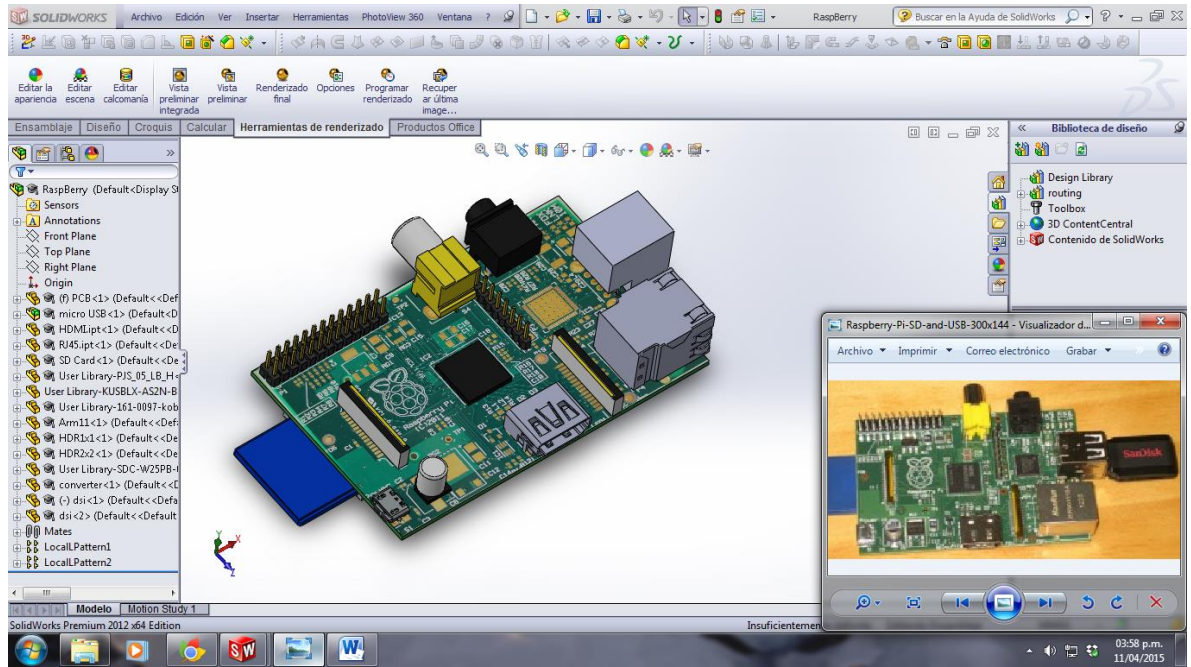
Figura 34: Plano Raspberry pi



Fuente: Tecnología de punta [55]

En la figura 35 se visualiza el modelo virtual de la Raspberry pi y su equivalente real en 3D, lo que permitirá una aproximación muy cercana a la realidad dentro del casco.

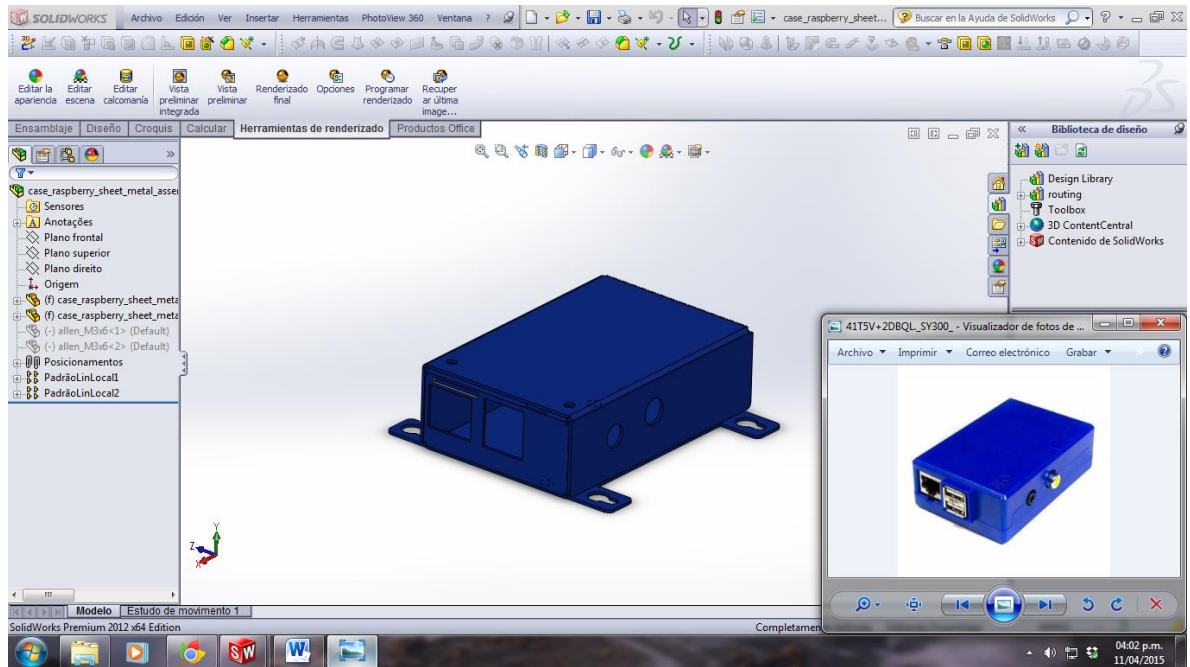
Figura 35: Raspberry pi



Fuente: Raspbian on Raspberry Pi using SD card + USB memory stick, GRABCAD [23, 48]

Por motivos de protección, la Raspberry pi debe ir encapsulada, de este modo se previenen posibles daños al dispositivo o al usuario, en la figura 36 se observa una carcasa que se encuentra comercialmente, la caja de marca ModMyPi, de origen británico cuenta con unas dimensiones de 10,2 x 6,8 x 3 cm y viene en una variedad de colores entre ellos el azul.

Figura 36: Caja para Raspberry Pi, color azul



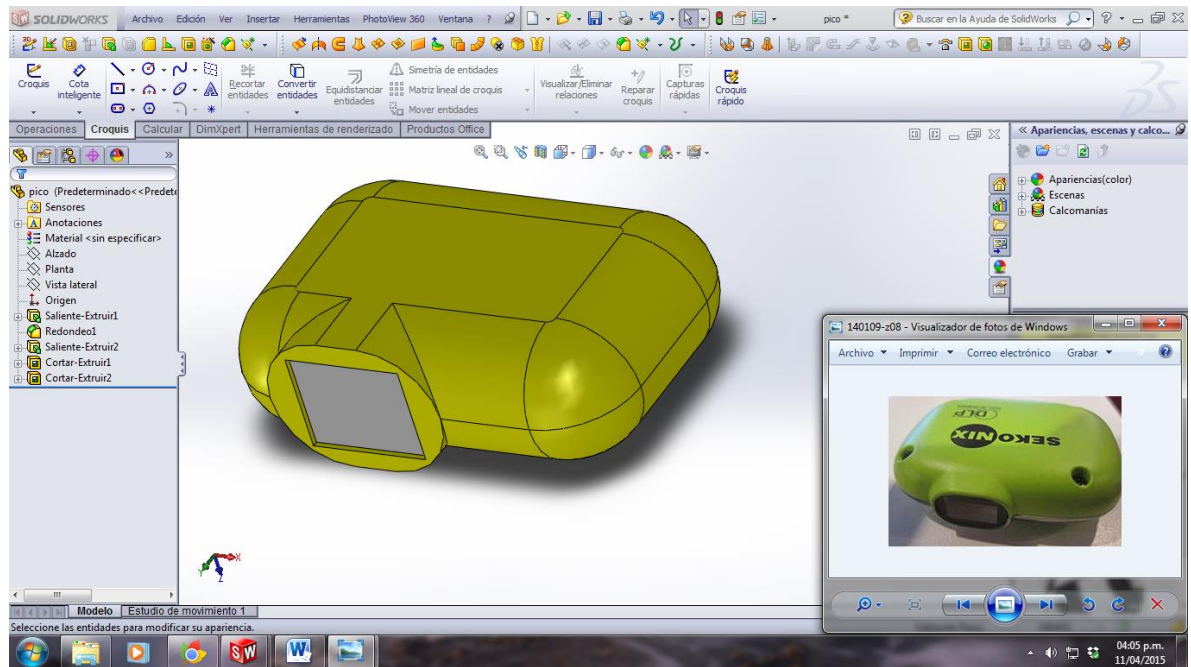
Fuente: GRABCAD, Amazon [23, 4]

3.4.2 Picoprojector Sekonix

El Picoprojector Sekonix utiliza una innovación tecnológica desarrollada por Texas Instruments, el cual posee un chip DLP, con una resolución de 640 * 360 píxeles, esto no es realmente impresionante si se compara a los dispositivos actuales, sin embargo su verdadera innovación se observa al analizar el tamaño del dispositivo que tan solo mide 1 x 1,5 x 0,5 pulgadas o menos y este tamaño abarca toda la estructura del proyector, contando con, el chip DLP, la fuente de luz, el componente electrónico y la óptica [51].

Este pequeño tamaño (llavero), lo convierte en el dispositivo idóneo para diseñar la interfaz, en la figura 37 se observa una comparación del modelo virtual frente al real.

Figura 37: Picoprojector Sekonix

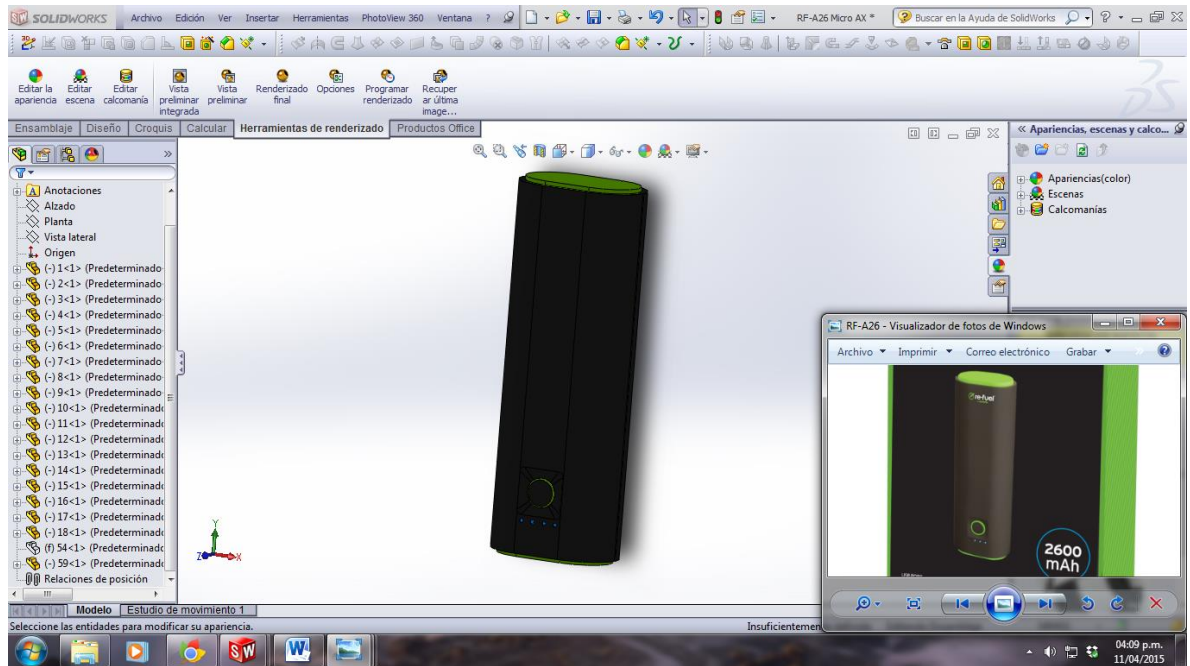


Fuente: DLP [17]

3.4.3 Batería Digipower Re-fuel

La batería externa Digipower Re-fuel de 2600mAh (ver figura 38), brinda para este modelo una compatibilidad con la Raspberry pi, ya que proporciona 5 voltios continuos que garantizan la correcta operación de los dispositivos y gracias a su reducido peso y tamaño (9.7 x 3.5 x 2 cm) es posible su ubicación dentro del casco.

Figura 38: Batería Digipower Re-fuel portable Power Bank



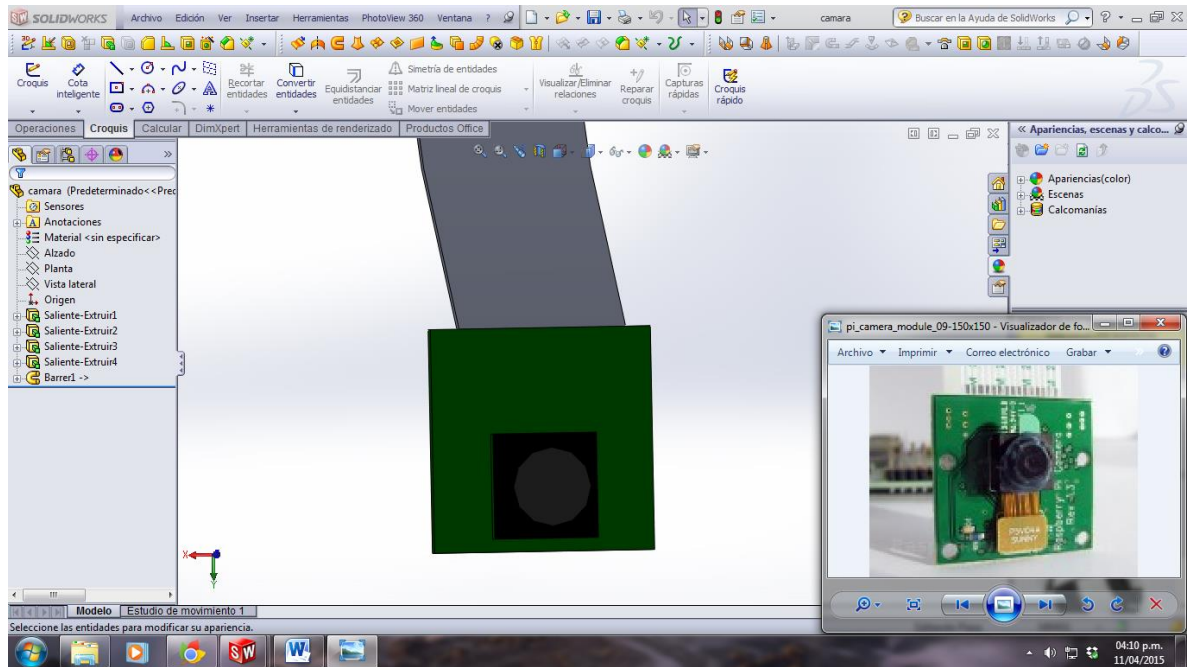
Fuente: Digipower, GRABCAD [16, 25]

3.4.4 cámara oficial Raspberry pi

La fundación Raspberry Pi cuenta con una cámara de referencia OV5647, como se observa en la figura 39, dicha cámara cuenta con unas dimensiones de tan solo 8,5 x 8,5 x 5 mm y toda la placa tiene unas medidas de 25mm x 20mm x 9mm. Lo que la hace ideal no solo en términos de compatibilidad sino que también en términos de resolución ya que cuenta con 5 megapíxeles y con capacidad de realizar grabaciones en videos de hasta 1080p [58].

Las medidas de esta cámara la hacen el dispositivo adecuado para ubicarla en la parte trasera del casco, su resolución permite una clara imagen de la vía que se transita.

Figura 39: cámara oficial Raspberry pi



Fuente: The Official Raspberry Pi Camera Module [58]

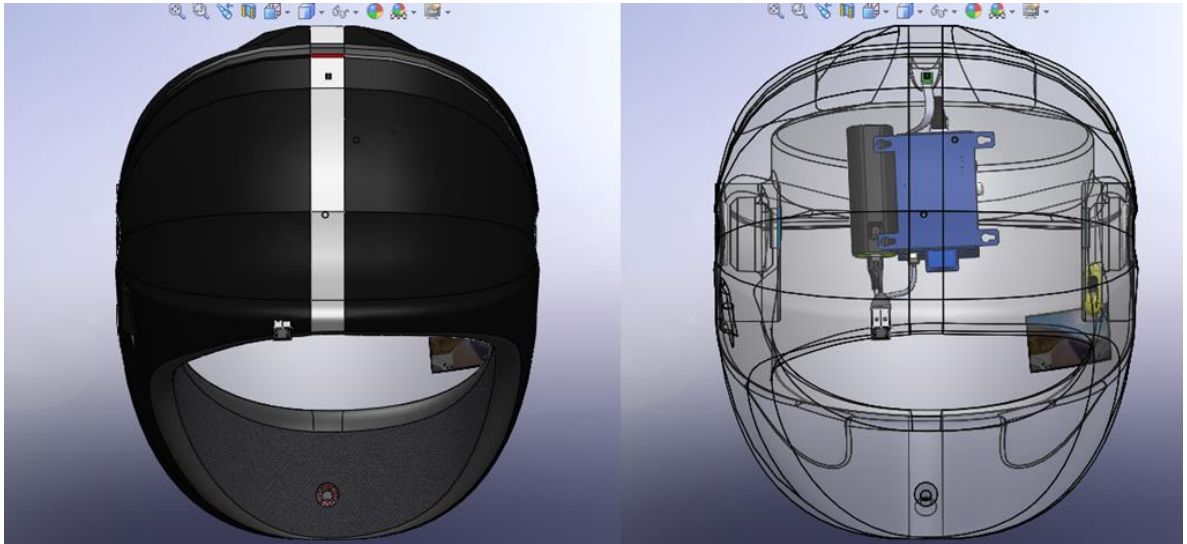
3.5 PROTOTIPO FINAL

Luego de realizar la integración de los componentes al entorno CAD, se determinaron los espacios a utilizar dentro del área otorgada por un casco “genérico”, de acuerdo al espacio disponible se realizó la distribución en términos de tamaño, viabilidad de conexión de los componentes y necesidades inherentes en términos de proyección de la imagen.

3.5.1 Disposición final de los componentes

- ❖ En primer lugar se ubicó el componente de procesamiento (Raspberry pi), junto a su respectiva fuente de alimentación, estos elementos fueron dispuestos en la parte posterior del casco de motocicleta, debido a que son los elementos de mayor envergadura, siendo este el lugar más idóneo para su disposición de acuerdo a su geometría como se observa en la figura 40.

Figura 40: Disposición Raspberry pi y batería Power Bank



En la imagen se aprecia que la fuente de alimentación y la carcasa se encuentran aunadas, a su vez se observan los agujeros de fijación en la carcasa de la Raspberry pi, con esto se pretende anclar la estructura al casco, en aras de velar por la seguridad del usuario y de los componentes propuestos.

De acuerdo a la reglamentación establecida en este país, como lo expresa el tiempo en su publicación de martes 14 de abril de 2015, **“Los cascos que se vendan en Colombia deben cumplir con la norma técnica nacional NTC 4533, según la cual el casco debe estar fabricado en material resistente a los golpes, no debe impedir la visión periférica del conductor (las correas deben ir bien sujetas o amarradas); debe cubrir la cabeza y los oídos hasta la base del cuello, tener un protector de rostro y barbilla, y broches que permitan fijarlo a la cabeza” [35]**, de acuerdo a esto al utilizar un casco genérico como base que cumpla la reglamentación establecida, se da un paso importante en la realización de un diseño modular replicable, además de esto, se pretende cubrir los componentes con una espuma plástica llamada ARPRO® (ver figura 41). El cual es un material de ingeniería que por sus características logra una gran absorción de energía.

Figura 41: ARPRO®

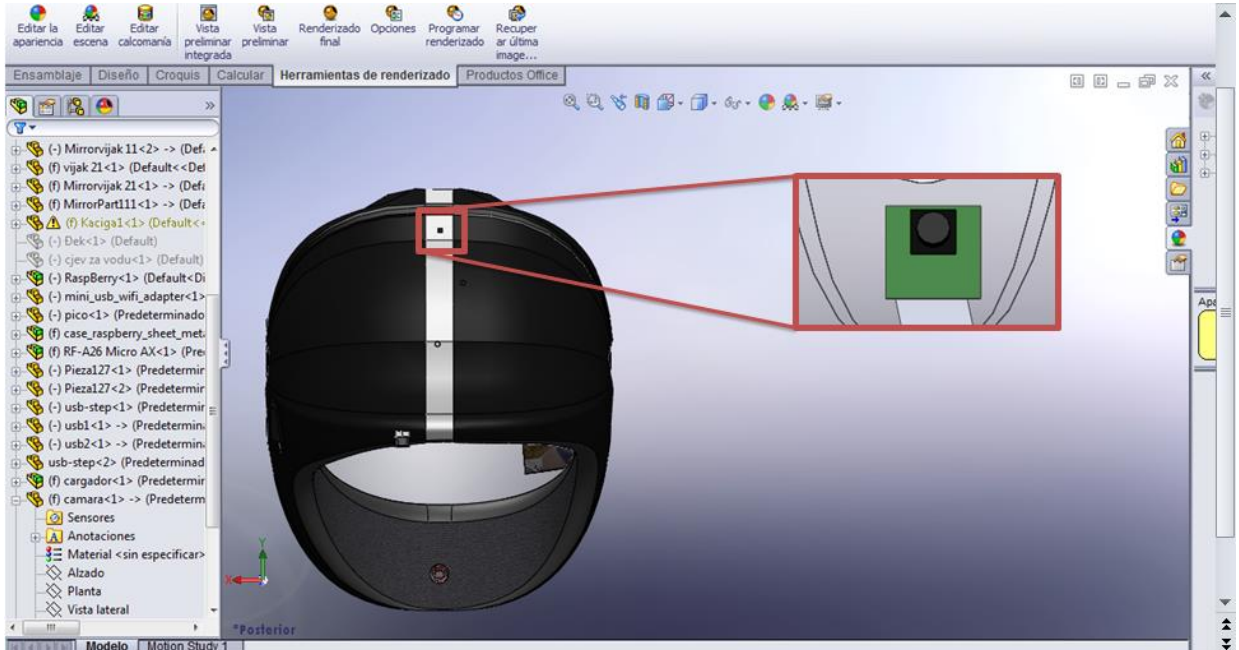


Fuente: Pierrot [43]

Es ideal como protección contra múltiples impactos, gracias a la capacidad de resistir golpes repetidos sin deformación significativa y regresar a su forma original después de la exposición a tensión dinámica; además este compuesto cuenta con una alta resistencia y bajo peso, lo que lo hace ideal para este propósito, logrando así que los componentes al interior del casco se comporten como una unidad sin afectar la integridad estructural del casco y la seguridad del usuario [6].

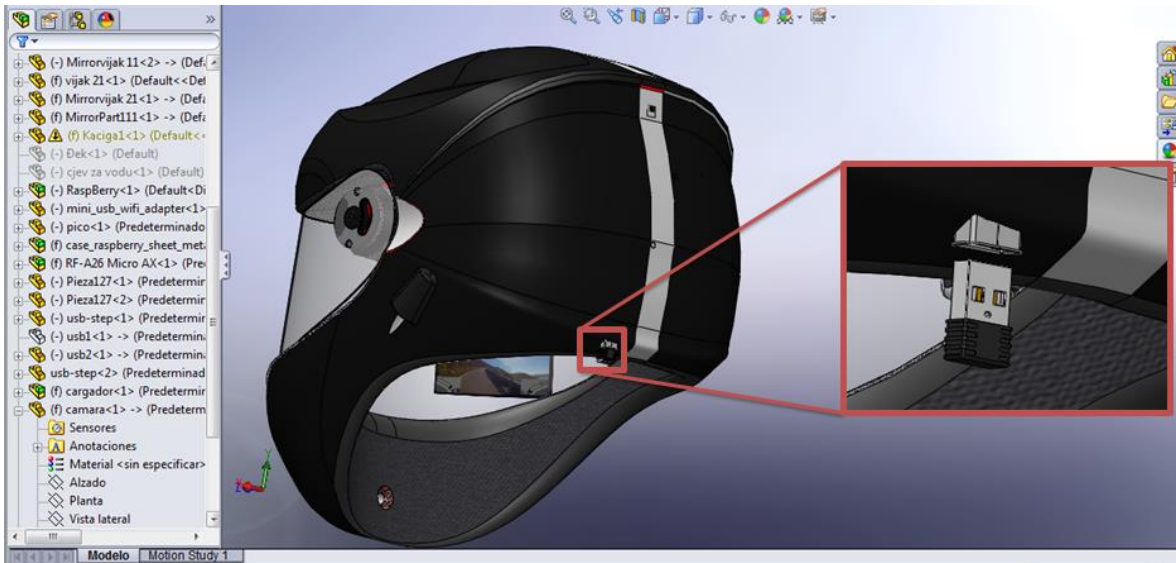
- ❖ En la parte posterior del casco también se encuentra la cámara del sistema (ver figura 42), la cual se centró, permitiéndole al usuario tener un campo de visión de casi 180° en la imagen proyectada, lo cual elimina los llamados “puntos ciegos” de los espejos retrovisores, que elevan el riesgo a la hora de realizar un cambio de vía.

Figura 42: Disposición cámara oficial Raspberry pi



- ❖ En la parte inferior se encuentra ubicado el puerto de carga de alimentación (batería Power Bank), como se observa en la figura 43, el cual posee un conector hembra estándar, que permite la conexión con cualquier dispositivo genérico de carga, que garantiza la tensión y el amperaje suficiente, además cuenta con un tapón para asilar el conector USB de la humedad hasta el momento de carga.

Figura 43: Disposición Puerto de carga USB



- ❖ Al costado derecho del casco se encuentra alojado el Picoprojector Sekonix del sistema, esta localización permite que el dispositivo no interfiera con la visión panorámica del conductor (ver figura 44), además de lograr una buena proyección hacia la lámina de Profilm ubicada en la visera del casco.

Por otra parte al encontrarse cubierto por una espuma protectora se protege la integridad del piloto y del dispositivo en caso de un accidente.

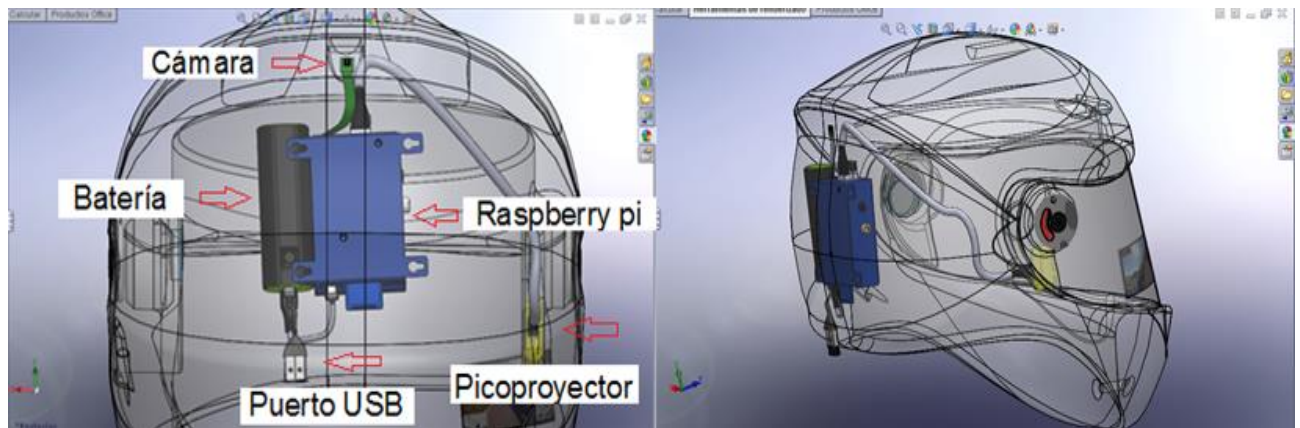
Figura 44: Disposición Picoprojector Sekonix



Fuente: SKULLY Helmets [52]

- ❖ Luego de realizar la distribución de cada uno de los componentes dentro del casco de acuerdo a su tamaño y pertinencia, se ubicaron los cables de conexión necesarios para el funcionamiento del sistema como se observa en la figura 45.

Figura 45: Cableado del sistema



- ❖ En las figuras 46 y 47 se puede apreciar en dos vistas el prototipo propuesto para este diseño.

Figura 46: Distribución final vista posterior

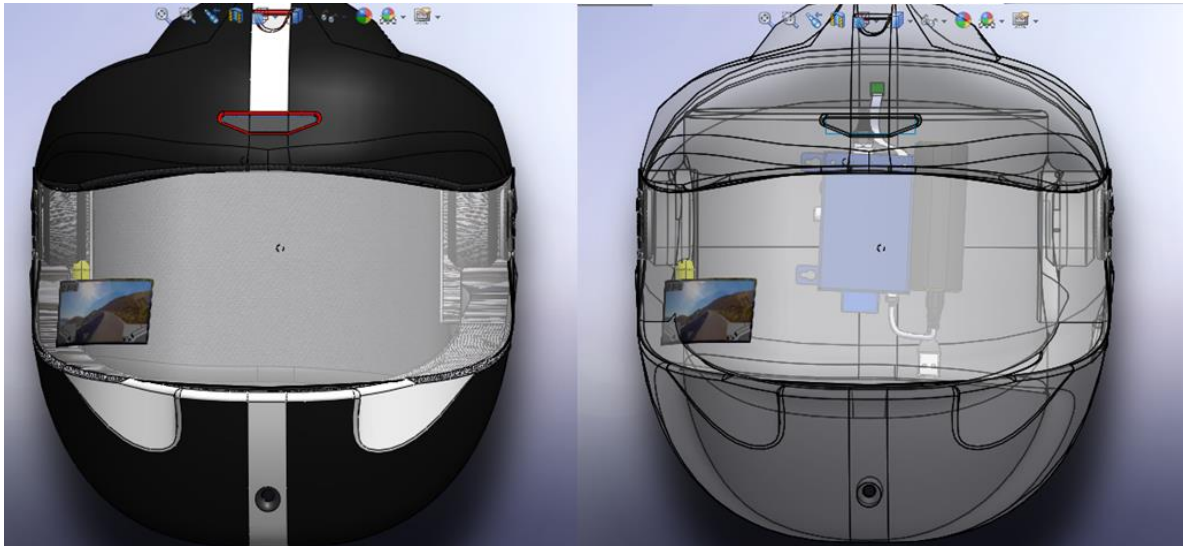
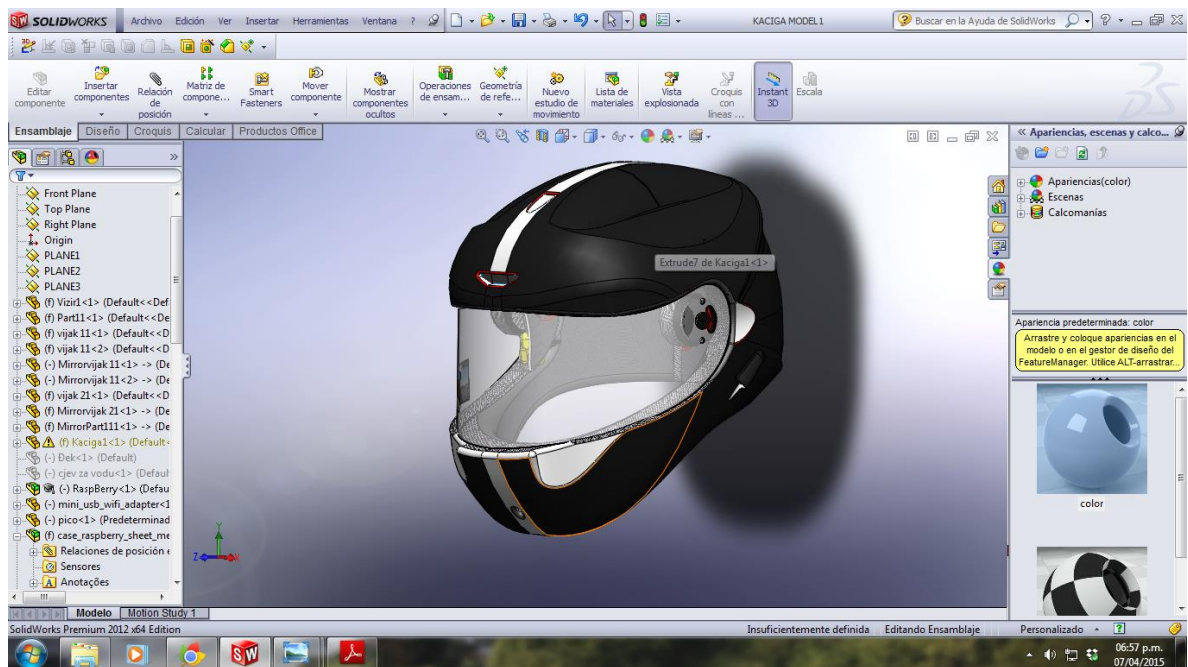


Figura 47: Prototipo final



3.6 UBICACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTURA DE DATOS

La telemetría del sistema está formado por un conjunto hardware y software que posibilita la captura y envío de datos a distancia para ser analizados y procesados. Lo cual permite extraer información del vehículo como la rapidez, temperatura, nivel de combustible entre otros, que se requieran siempre y cuando la moto se encuentre en funcionamiento.

Dicha captura, procesamiento y envío de datos se da a través de la plataforma arduino con el Shield bluetooth como se observa en la figura 48.

Figura 48: Shield Bluetooth Seed



Fuente: Bluetooth Shield [50]

Buscando la protección de los elementos escogidos para el sistema, ya que estos se encuentran expuestos y alojados en la motocicleta, se seleccionó una caja ignífuga para arduino, fabricada en material ABS ignífugo, la cual permite ubicar la placa Arduino Uno con el Shield Bluetooth y los circuitos de acondicionamiento de

señales, en la figura 49 se aprecia la caja mencionada y se observa el espacio restante para la ubicación de los circuitos de acondicionamiento de señal propuestos.

Figura 49: Caja ignifuga para arduino



Fuente: Caja ignifuga para arduino [11]

Con el fin de lograr el envío de información entre el sistema de adecuación y procesamiento, es necesario referenciar los dispositivos a una misma fuente de alimentación, por tal motivo se pretende utilizar un puerto USB para moto como se observa en la figura 50, dicho puerto va conectado a la batería del vehículo y entrega una tensión regulada de 5 voltios, lo que posibilita la conexión de los sistemas propuestos.

Figura 50: Puerto USB para motocicletas



Fuente: cargador USB para moto celular [12]

ANÁLISIS DE COSTOS

Antes de analizar los costos involucrados en este diseño, es necesario conocer la situación salarial actual del país. S.M.L.V colombiano (644.350) y Los salarios promedio entre los profesionales, que han cotizado al sistema de seguridad social en Colombia (ver tabla 2).

Tabla 2: Salario promedio entre profesionales

Tipo de formación	Salario promedio en pesos (\$)
Formación técnica	901.026
Formación tecnológica	1.030.724
Formación universitaria	1.378.027
Especialización	2.396.839
Maestría	3.007.488
Doctorado	4.904.102

Estos salarios, son aproximaciones generales de la retribución académica, según el nivel de formación y pueden variar según el campo de acción. [56]

❖ Los siguientes cálculos, son basados en los salarios promedios, dependiendo del grado de formación en Colombia.

- Cantidad de semanas trabajadas en un mes

$$\frac{30 \text{ Dias}}{1 \text{ Mes}} * \frac{1 \text{ Semana}}{7 \text{ dias}} = 4,29 \frac{\text{Semanas}}{\text{Mes}}$$

- Cantidad de horas trabajadas en un mes

$$4,29 \frac{\text{Semanas}}{\text{Mes}} * 48 \frac{\text{Horas}}{\text{Semana}} = 205.7 \frac{\text{Horas}}{\text{Mes}}$$

- Precio promedio hora, técnico profesional

$$901.026 \frac{\text{Pesos}}{\text{Mes}} \div 205.7 \frac{\text{Horas}}{\text{Mes}} = 4380.29 \frac{\text{Pesos}}{\text{Hora}}$$

- Precio promedio hora, tecnólogo

$$1.030.724 \frac{\text{Pesos}}{\text{Mes}} \div 205.7 \frac{\text{Horas}}{\text{Mes}} = 5010.81 \frac{\text{Pesos}}{\text{Hora}}$$

- Precio promedio hora, Ingeniero

$$1.378.027 \frac{\text{Pesos}}{\text{Mes}} \div 205.7 \frac{\text{Horas}}{\text{Mes}} = 6699.20 \frac{\text{Pesos}}{\text{Hora}}$$

Teniendo como base estos cálculos se elabora una tabla de costos del recurso humano inherente para la realización de las tareas propuestas, en ámbitos como: La implementación, programación y puesta a punto del diseño (ver tabla 3).

Tabla 3: Costos en términos de horas trabajadas

RECURSO HUMANO	TRABAJO A REALIZAR (Mano de obra)	TIEMPO ESTIMADO (horas)	SALARIO/HORA (Monto en pesos)
Técnico Profesional en Mecatrónica	Cableado e instalación total del sistema	8	4380.29
Tecnólogo en Mecatrónica	Programación	36	5010.81
Ingeniero en Mecatrónica	Puesta a punto del prototipo y ajuste de protocolos	5	6699.20
			Σ 248.927.48

- ❖ Costos de los diferentes componentes propuestos, entre sensores y actuadores

Tabla 4: Costos de los diferentes elementos requeridos para el diseño

NOMBRE DEL ELEMENTO	ESPECIFICACION Y/O REFERENCIA	UNID	MARCA	CANTIDAD	PRECIO / UNITARIO IVA incluido	TOTAL
USB Battery Pack for Raspberry Pi	10000mAh w/ 2 x 5V at 2A 512MB Model (B Plus) Project Board Version 3	1	Power Bank	1	75000	75.000
Raspberry pi		1	Raspberry	1	100000	100.000
Bluetooth USB	Bluetooth USB 2.0	1	CRS	1	20000	20.000
Casco de motocicleta	Casco Integral Mt Blade Native-negro Verde Fluor	1	MT	1	160000	160.000
Cámara infrarroja	Camera + 2X Infrared Light For Raspberry Pi	1	Raspberry Battery Tender®	1	50000	50.000
USB para motocicleta	adaptador USB 2.0	1	Texas Instruments	2	20000	40.000
Picoprojector	Sekonix DLP Pico Keychain Projector	1	Texas Instruments	1	500000	500.000
Arduino	Arduino UNO	1	Arduino	1	63.000	63.000
Bluetooth Shield	Serial Bluetooth module	1	Arduino	1	74.000	74.000
Contenedor en ABS ignifugo	Contenedor en ABS ignifugo 7300	1	BOXARDUINO	1	40.000	40.000
Caja Plástica	Carcasa Raspberry Pi B	1	Tecnopura	1	25.000	25.000
Kit MHL	Conector MHL	4	SONY	1	40.000	40.000
Amplificador Operacional	LM 324	1	Texas Instruments	2	1.500	3.000
Termocupla Tipo K	Termopar de acero inoxidable	1	QIERQI QIERQI	1	20.000	20.000
Diodo rectificador	1N4004	1	ON Electronics	3	800	2.400
Paquete De 400 Resistencias	Resistencias de 1/4 W	20	Sual labs	1	12.000	12.000
Espuma ARPRO®	Espuma ARPRO®	1	ARPRO®	1	50.000	50.000
lamina proyección	papel fotográfico transparente	1	profilm	1	50000	50.000
TOTAL						1.324.400

- ❖ Costos de los materiales e implementos básicos, para realizar la instalación del sistema.

Tabla 5: Costos de herramientas requeridas

GASTOS GENERALES	COSTO APROXIMADO (en pesos)
Herramental	70.000
cables	20.000
Conectores	30.000
Manual	50.000
Otros	100.000
	Σ 270.000

- ❖ Costo total del interfaz head up display (HUD) para casco de motocicleta.

Tabla 6: Costos interfaz HUD y propuesta de diseño

Costo total del interfaz head up display (HUD) para casco de motocicleta.	1.324.400
GASTOS GENERALES	270.000
COSTOS EN TÉRMINOS DE HORAS TRABAJADAS	248.927.48
	Σ 1'843.327,48

CONCLUSIONES

- Se logró determinar todos los componentes necesarios para la realización de la interfaz HUD, en términos de dispositivos de adquisición de datos, generación de interfaces y proyección, también fue posible realizar pruebas simuladas en la mayor parte de estos elementos con el fin de verificar su correcto funcionamiento, sin embargo no fue posible verificar el funcionamiento del pico proyector Sekonix, pero se realizó un acercamiento con la ayuda de un Video Beam, de acuerdo a las pruebas realizadas se concluye que los componentes seleccionados cumplen con los requisitos necesarios para crear la interfaz HUD deseada.
- Después de realizar un sondeo de las variables más comunes que intervienen al momento de la conducción de una motocicleta, se determinó que las más relevantes y en las cuales un conductor retira en más ocasiones la vista del camino, es al momento de verificar el estado del combustible, la rapidez a la que viaja y en algunos casos la temperatura del motor, todo esto basado en la experiencia personal a la hora de conducir una moto. Se realizó satisfactoriamente la identificación de estas variables en una motocicleta Pulsar 180 GT, así mismo se pudo establecer el modo de funcionamiento y las adecuaciones necesarias para presentar dicha información en pantalla.
- El tamaño de todos los dispositivos hizo posible su adaptación a un casco “genérico”, para lograr que el sistema fuera modular el procesador central (Raspberry pi) y la batería que alimenta el mismo se acoplaron y recubrieron en una espuma plástica, para así lograr una sola unidad que sea posible ubicar en la parte trasera del casco de forma fácil, sin embargo el picoprojector no fue posible integrarlo a esta unidad por lo que su acople se debe realizar por separado, teniendo esto en cuenta el diseño modular se divide en tres fases. La primera fase es la ubicación de la unidad raspberry/batería, la segunda consiste en ubicar el picoprojector al costado derecho del casco cubierto por una espuma plástica, y en la última fase ubicar el sistema de adquisición debajo del asiento de la motocicleta anclado en su caja protectora. Se concluye entonces que aunque el sistema HUD se puede ubicar en cualquier tipo de casco es necesario realizar algunas modificaciones a este para obtener una correcta distribución

RECOMENDACIONES

- Con la intención de mejorar la propuesta de diseño en términos de reducción de tamaño, se recomienda usar dispositivos más compactos como lo son Intel Edison, arduino mini pro, baterías de mayor capacidad y menor tamaño.
- Se recomienda generar un secuencia de programación, que permita poner la interfaz HUD en modo de hibernación al momento de hacer paradas momentáneas, con el fin de ahorrar energía y agilizar el proceso de reinicio del sistema.
- En pro de la mejora continua, se recomienda integrar un interfaz de conexión entre los diferentes dispositivos móviles existentes y el sistema HUD, en aras de acceder a sistemas de información como el GPS entre otros, mejorando así la experiencia de conducción.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Airbus A380: El mayor avión de pasajeros del mundo, [En línea]. [Citado el 1 de Marzo de 2015] < <http://www.fierasdelaingenieria.com/airbus-a380-el-mayor-avion-de-pasajeros-del-mundo/>>
- [2] Alibaba, [En línea]. [Citado el 4 de Marzo de 2015] <<http://spanish.alibaba.com/product-gs/thermocouple-tp01-k-type-thermometer-sensor-572108370.html>>
- [3] AliExpress, [En línea]. [Citado el 4 de Marzo de 2015] <<http://es.aliexpress.com/item/Free-Shipping-Brand-New-Gas-Tank-Float-Gauge-for-Scooter-Motorbike-125CC-150CC-250CC-GY6-Guaranteed/497805456.html>>
- [4] Amazon, [En línea]. [Citado el 7 de Marzo de 2015] <<http://www.amazon.es/ModMyPi-Caja-para-Raspberry-color/dp/B009BBDCHW>>
- [5] Arduino UNO R3, [En línea]. [Citado el 4 de Marzo de 2015] <<http://www.geekfactory.mx/tienda/arduino/arduino-uno-r3/>>
- [6] ARPRO®, [En línea]. [Citado el 9 de Marzo de 2015] <<http://www.arpro.com/sp/applications/safety.php>>
- [7] Bayer, M., Rash, C., & Brindle, J. (2010). Ch. 3: Introduction to Helmet Mounted Displays. Retrieved from http://www.usaarl.army.mil/publications/HMD_Book09/files/Section%209%20-%20Chapter%203%20Introduction%20to%20Helmet-Mounted%20Displays.pdf January 10, 2014.
- [8] Bluetooth Shield, [En línea]. [Citado el 6 de Marzo de 2015] <http://www.seeedstudio.com/wiki/Bluetooth_Shield>
- [9] BMW Head-Up Display, [En línea]. [Citado el 2 de Marzo de 2015] <http://www.bmw.com/com/en/newvehicles/6series/coupe/2011/showroom/driver_assistance/coloured_hud.html>
- [10] Boletín económico sectorial sector motos, [En línea]. [Citado el 4 de Marzo de 2015] <http://www.fenalcoantioquia.com/res/itemsTexto/recursos/no_12_motos.pdf>
- [11] CAJA IGNIFUGA PARA ARDUINO, [En línea]. [Citado el 9 de Marzo de 2015] <<http://www.todoelectronica.com/caja-ignifuga-para-arduino-p-15426.html>>

- [12] Cargador Usb Para Moto, [En línea]. [Citado el 25 de abril de 2014]. Disponible en <http://articulo.mercadolibre.cl/MLC-425698133-cargador-usb-para-moto-_JM>
- [13] Cascos hechos en casa para la guerra en el aire, [En línea]. [Citado el 8 de septiembre de 2014]. < <https://www.fac.mil.co/cascos-hechos-en-casa-para-la-guerra-en-el-aire>>
- [14] Check Out The HUD UI Concepts, [En línea]. [Citado el 1 de Marzo de 2015] <<http://descendentstudios.com/community/topic/1037-check-out-the-hud-ui-concepts/page-2>>
- [15] Club Bajaj Argentina, [En línea]. [Citado el 3 de Marzo de 2015] <<http://www.club-bajaj.com/t18665-donde-se-encuentra-exactamente-el-sensor-de-velocidad>>
- [16] DIGIPOWER, [En línea]. [Citado el 8 de Marzo de 2015] <http://www.digipowersolutions.com/product_info.php?products_id=839>
- [17] DLP, [En línea]. [Citado el 7 de Marzo de 2015] <<http://www.projector-window.com/projector/ti/ti-140107.htm>>
- [18] Eric Holder & Florian Motz Fraunhofer FKIE, Display Options for Head-Up Information, E-Nav Underway North America 2014, California Maritime Academy, April 3 - 4 2014
- [19] Eurofighter Typhoon, [En línea]. [Citado el 2 de Marzo de 2015] <<http://www.eurofighter.com/the-aircraft>>
- [20] Eurofighter Typhoon, [En línea]. [Citado el 2 de Marzo de 2015] <<http://www.orbxsystems.com/forum/topic/71662-raf-eurofighter-typhoon/>>
- [21] Foro Militar General, [En línea]. [Citado el 9 de septiembre de 2014]. <<http://www.militar.org.ua/foro/fuerzas-armadas-de-colombia-2010-2014-t29527-9750.html> >
- [22] GRABCAD, [En línea]. [Citado el 7 de Marzo de 2015] <<https://grabcad.com/library/raspberry-pi-a>>
- [23] GRABCAD, [En línea]. [Citado el 7 de Marzo de 2015] <<https://grabcad.com/library/raspberry-pi-case-sheet-metal-1>>

- [24] GRABCAD, [En línea]. [Citado el 8 de Marzo de 2015] <<https://grabcad.com/library/race-helmet>>
- [25] GRABCAD, [En línea]. [Citado el 8 de Marzo de 2015] <<https://grabcad.com/library/power-bank-2>>
- [26] Head-up display, Historia, Factores de diseño, Aeronave, Automóviles, Usos del Desarrollo/experimental, [En línea]. [Citado el 9 de septiembre de 2014]. <http://docsetools.com/articulos-enciclopedicos/article_87341.html >
- [27] HUD Motorcycle Helmets, [En línea]. [Citado el 7 de Marzo de 2015] <<http://www.bikebandit.com/community/articles/hud-motorcycle-helmets>>
- [28] HUD, sistemas de información en el parabrisas, [En línea]. [Citado el 1 de Marzo de 2015] <<http://www.xataka.com/gadgets-y-coches/hud-sistemas-de-informacion-en-el-parabrisas>>
- [29] INSTALLING OPERATING SYSTEM IMAGES, [En línea]. [Citado el 6 de Marzo de 2015] <<https://www.raspberrypi.org/documentation/installation/installing-images/README.md>>
- [30] INSTALLING OPERATING SYSTEM IMAGES, [En línea]. [Citado el 6 de Marzo de 2015] <<https://www.raspberrypi.org/documentation/installation/installing-images/windows.md>>
- [31] La industria militar en Colombia toma vuelo, [En línea]. [Citado el 8 de septiembre de 2014]. <<http://www.vanguardia.com/actualidad/colombia/181789-la-industria-militar-en-colombia-toma-vuelo>>
- [32] Lamina proyección, [En línea]. [Citado el 9 de septiembre de 2014]. <<http://www.laminaproyeccion.com/2012/11/productos.html> />
- [33] LIVE MAP, [En línea]. [Citado el 2 de Marzo de 2015] < <https://livemap.info/>>
- [34] LiveMap helmet boundary and internal components, [En línea]. [Citado el 7 de Marzo de 2015] <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:LiveMap_helmet_boundary_and_internal_components.jpg>
- [35] 'Los cascos sí cumplen norma técnica', [En línea]. [Citado el 9 de Marzo de 2015] < <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-5306965>>

- [36] MANUAL DE MECANICA , [En línea]. [Citado el 4 de Marzo de 2015] <<https://galiciavras.files.wordpress.com/2012/11/manual-de-mecanica-de-motos.pdf>>
- [37] Mini Usb Dongle Bluetooth, [En línea]. [Citado el 6 de Marzo de 2015] <http://articulo.mercadolibre.cl/MLC-426450839-mini-usb-dongle-bluetooth-ad2p-100m-xp-vista-window-7-_JM#redirectedFromParent>
- [38] MLC CAD systems, [En línea]. [Citado el 7 de Marzo de 2015] <<https://mlc-cad.com/home/faqs/95-solidworks-faqs/329-what-is-a-solidworks-home-use-license.html>>
- [39] NEWMAN, Richard L. Head-up displays: designing the way ahead. Ilustrada. Avebury Aviation, 1995. 349 p. ISBN 0291398111, 9780291398116
- [40] Notta photo: Geeking out with a Raspberry PI, [En línea]. [Citado el 3 de Marzo de 2015] <<http://gregrob.ca/blog/2012/07/pi-geek/>>
- [41] Nuviz Motorcycle Hud, [En línea]. [Citado el 1 de Marzo de 2015] <<http://r125forum.com/threads/nuviz-motorcycle-hud.8018/>>
- [42] Peterson, S. (2006). Collimation of Airport Tower HUDs. Paper presented at 5th Eurocontrol Innovative Research Workshop and Exhibition in Bretigny sur Orge, France.
- [43] Pierrot, [En línea]. [Citado el 9 de Marzo de 2015] <http://www.pierrot.uk.com/what-design-agency_lithoprinting.html>
- [44] Presentamos el Picoprojector DLP, [En línea]. [Citado el 9 de septiembre de 2014]. <<http://www.ti.com/lscs/ti/dlp-technology/products/dlp-pico-mobile-projectors/pico-mobile-projectors-overview.page>>
- [45] Presentamos el Picoprojector DLP, [En línea]. [Citado el 9 de septiembre de 2014]. <<http://www.dlp.com/es/pico-projector/>>
- [46] QATAR AIRWAYS SELECTS DUAL HUD SYSTEM OPTION FOR ITS NEW A350 XWB AND A380 AIRBUS, [En línea]. [Citado el 1 de Marzo de 2015] <<http://onboard.thalesgroup.com/2012/07/23/qatar-airways-selects-dual-hud-system-option-for-its-new-a350-xwb-and-a380-airbus-fleet/>>
- [47] ¿Qué es Raspberry Pi?, [En línea]. [Citado el 9 de septiembre de 2014]. <<http://arduprojects.blogspot.com/2013/10/definicion-y-usos-de-raspberry-pi.html>>

- [48] Raspbian on Raspberry Pi using SD card + USB memory stick, [En línea]. [Citado el 7 de Marzo de 2015] <<http://www.networkinghowtos.com/howto/raspbian-on-raspberry-pi-using-sd-card-usb-memory-stick/>>
- [49] Reflexión de la luz, [En línea]. [Citado el 1 de Marzo de 2015] <http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3236/html/3_reflexin_de_la_luz.html>
- [50] Robotshop, [En línea]. [Citado el 3 de Marzo de 2015] <<http://www.robotshop.com/en/bluetooth-shield-arduino-master-slave.html>>
- [51] Sekonix shows a tiny DLP projector on a keychain, [En línea]. [Citado el 7 de Marzo de 2015] <<https://semiaccurate.com/2014/01/22/sekonix-shows-tiny-dlp-projector-keychain/>>
- [52] Skully P-1, el casco de moto que te informa en todo momento, [En línea]. [Citado el 9 de Marzo de 2015] <<http://noticias.coches.com/noticias-motor/skully-p-1-el-casco-de-moto-que-te-informa-en-todo-momento/107998>>
- [53] SOLIDWORKS en la Industria, [En línea]. [Citado el 7 de Marzo de 2015] <<http://www.cimworks.es/software3d/solidworksenlaindustria>>
- [54] Tablas de termocuplas y Pt100 [En línea]. [Citado el 25 de abril de 2014]. Disponible en <<http://www.arian.cl/downloads/nt-003.pdf>>
- [55] Tecnología de punta, [En línea]. [Citado el 7 de Marzo de 2015] <<https://apocusantti.wordpress.com/2014/07/15/raspberry-pi-b-actualizacion-del-raspberry-pi/>>
- [56] Tendencias Laborales [En línea]. [Citado el 25 de abril de 2014]. Disponible en <http://www.guiaacademica.com/educacion/personas/cms/colombia/noticias_academicas/2010/ARTICULO-WEB-EEE_PAG-8399580.aspx>
- [57] Texas Instruments' Insanely Small Sekonix Projector - CES 2014 - Hak5, [En línea]. [Citado el 3 de Marzo de 2015] <<http://www.viaway.com/view/33416219/texas-instruments-insanely-small-sekonix-projector-ces-2014-hak5>>
- [58] The Official Raspberry Pi Camera Module, [En línea]. [Citado el 8 de Marzo de 2015] <<http://www.raspberrypi-spy.co.uk/2013/05/the-official-raspberry-pi-camera-module/>>

[59] Wifislax en raspberry pi, [En línea]. [Citado el 6 de Marzo de 2015]
<<http://foro.seguridadwireless.net/live-wifislax/wifislax-en-raspberry-pi/?action=printpage>>

ANEXOS

Anexo 1: Tabla de temperatura termocupla tipo K [54]

TERMOCUPLA K										
milivolts										
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-270	-6.458									
-260	-6.441	-6.444	-6.446	-6.448	-6.450	-6.452	-6.453	-6.455	-6.456	-6.457
-250	-6.404	-6.408	-6.413	-6.417	-6.421	-6.425	-6.429	-6.432	-6.435	-6.438
-240	-6.344	-6.351	-6.358	-6.364	-6.371	-6.377	-6.382	-6.388	-6.394	-6.399
-230	-6.262	-6.271	-6.280	-6.289	-6.297	-6.306	-6.314	-6.322	-6.329	-6.337
-220	-6.158	-6.170	-6.181	-6.192	-6.202	-6.213	-6.223	-6.233	-6.243	-6.253
-210	-6.035	-6.048	-6.061	-6.074	-6.087	-6.099	-6.111	-6.123	-6.135	-6.147
-200	-5.891	-5.907	-5.922	-5.936	-5.951	-5.965	-5.980	-5.994	-6.007	-6.021
-190	-5.730	-5.747	-5.763	-5.780	-5.796	-5.813	-5.829	-5.845	-5.860	-5.876
-180	-5.550	-5.569	-5.587	-5.606	-5.624	-5.642	-5.660	-5.678	-5.695	-5.712
-170	-5.354	-5.374	-5.394	-5.414	-5.434	-5.454	-5.474	-5.493	-5.512	-5.531
-160	-5.141	-5.163	-5.185	-5.207	-5.228	-5.249	-5.271	-5.292	-5.313	-5.333
-150	-4.912	-4.936	-4.959	-4.983	-5.006	-5.029	-5.051	-5.074	-5.097	-5.119
-140	-4.669	-4.694	-4.719	-4.743	-4.768	-4.792	-4.817	-4.841	-4.865	-4.889
-130	-4.410	-4.437	-4.463	-4.489	-4.515	-4.541	-4.567	-4.593	-4.618	-4.644
-120	-4.138	-4.166	-4.193	-4.221	-4.248	-4.276	-4.303	-4.330	-4.357	-4.384
-110	-3.852	-3.881	-3.910	-3.939	-3.968	-3.997	-4.025	-4.053	-4.082	-4.110
-100	-3.553	-3.584	-3.614	-3.644	-3.674	-3.704	-3.734	-3.764	-3.793	-3.823
-90	-3.242	-3.274	-3.305	-3.337	-3.368	-3.399	-3.430	-3.461	-3.492	-3.523
-80	-2.920	-2.953	-2.985	-3.018	-3.050	-3.082	-3.115	-3.147	-3.179	-3.211
-70	-2.586	-2.620	-2.654	-2.687	-2.721	-2.754	-2.788	-2.821	-2.854	-2.887
-60	-2.243	-2.277	-2.312	-2.347	-2.381	-2.416	-2.450	-2.484	-2.518	-2.552
-50	-1.889	-1.925	-1.961	-1.996	-2.032	-2.067	-2.102	-2.137	-2.173	-2.208
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Nota Técnica 3, rev. b, <http://www.arian.cl>

4

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-40	-1.527	-1.563	-1.600	-1.636	-1.673	-1.709	-1.745	-1.781	-1.817	-1.853
-30	-1.156	-1.193	-1.231	-1.268	-1.305	-1.342	-1.379	-1.416	-1.453	-1.490
-20	-0.777	-0.816	-0.854	-0.892	-0.930	-0.968	-1.005	-1.043	-1.081	-1.118
-10	-0.392	-0.431	-0.469	-0.508	-0.547	-0.585	-0.624	-0.662	-0.701	-0.739
0	-0.000	-0.039	-0.079	-0.118	-0.157	-0.197	-0.236	-0.275	-0.314	-0.353
0	-0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.162
30	1.203	1.244	1.285	1.325	1.366	1.407	1.448	1.489	1.529	1.570
40	1.611	1.652	1.693	1.734	1.776	1.817	1.858	1.899	1.940	1.981
50	2.022	2.064	2.105	2.146	2.188	2.229	2.270	2.312	2.353	2.394
60	2.436	2.477	2.519	2.560	2.601	2.643	2.684	2.726	2.767	2.809
70	2.850	2.892	2.933	2.975	3.016	3.058	3.100	3.141	3.183	3.224
80	3.266	3.307	3.349	3.390	3.432	3.473	3.515	3.556	3.598	3.639
90	3.681	3.722	3.764	3.805	3.847	3.888	3.930	3.971	4.012	4.054
100	4.095	4.137	4.178	4.219	4.261	4.302	4.343	4.384	4.426	4.467
110	4.508	4.549	4.590	4.632	4.673	4.714	4.755	4.796	4.837	4.878
120	4.919	4.960	5.001	5.042	5.083	5.124	5.164	5.205	5.246	5.287
130	5.327	5.368	5.409	5.450	5.490	5.531	5.571	5.612	5.652	5.693
140	5.733	5.774	5.814	5.855	5.895	5.936	5.976	6.016	6.057	6.097
150	6.137	6.177	6.218	6.258	6.298	6.338	6.378	6.419	6.459	6.499
160	6.539	6.579	6.619	6.659	6.699	6.739	6.779	6.819	6.859	6.899
170	6.939	6.979	7.019	7.059	7.099	7.139	7.179	7.219	7.259	7.299
180	7.338	7.378	7.418	7.458	7.498	7.538	7.578	7.618	7.658	7.697
190	7.737	7.777	7.817	7.857	7.897	7.937	7.977	8.017	8.057	8.097
200	8.137	8.177	8.216	8.256	8.296	8.336	8.376	8.416	8.456	8.497
210	8.537	8.577	8.617	8.657	8.697	8.737	8.777	8.817	8.857	8.898
220	8.938	8.978	9.018	9.058	9.099	9.139	9.179	9.220	9.260	9.300
230	9.341	9.381	9.421	9.462	9.502	9.543	9.583	9.624	9.664	9.705
240	9.745	9.786	9.826	9.867	9.907	9.948	9.989	10.029	10.070	10.111
250	10.151	10.192	10.233	10.274	10.315	10.355	10.396	10.437	10.478	10.519
260	10.560	10.600	10.641	10.682	10.723	10.764	10.805	10.846	10.887	10.928
270	10.969	11.010	11.051	11.093	11.134	11.175	11.216	11.257	11.298	11.339
280	11.381	11.422	11.463	11.504	11.546	11.587	11.628	11.669	11.711	11.752
290	11.793	11.835	11.876	11.918	11.959	12.000	12.042	12.083	12.125	12.166

300	12.207	12.249	12.290	12.332	12.373	12.415	12.456	12.498	12.539	12.581
310	12.623	12.664	12.706	12.747	12.789	12.831	12.872	12.914	12.955	12.997
320	13.039	13.080	13.122	13.164	13.205	13.247	13.289	13.331	13.372	13.414
330	13.456	13.497	13.539	13.581	13.623	13.665	13.706	13.748	13.790	13.832
340	13.874	13.915	13.957	13.999	14.041	14.083	14.125	14.167	14.208	14.250
350	14.292	14.334	14.376	14.418	14.460	14.502	14.544	14.586	14.628	14.670
360	14.712	14.754	14.796	14.838	14.880	14.922	14.964	15.006	15.048	15.090
370	15.132	15.174	15.216	15.258	15.300	15.342	15.384	15.426	15.468	15.510
380	15.552	15.594	15.636	15.679	15.721	15.763	15.805	15.847	15.889	15.931
390	15.974	16.016	16.058	16.100	16.142	16.184	16.227	16.269	16.311	16.353
400	16.395	16.438	16.480	16.522	16.564	16.607	16.649	16.691	16.733	16.776
410	16.818	16.860	16.902	16.945	16.987	17.029	17.072	17.114	17.156	17.199
420	17.241	17.283	17.326	17.368	17.410	17.453	17.495	17.537	17.580	17.622
430	17.664	17.707	17.749	17.792	17.834	17.876	17.919	17.961	18.004	18.046
440	18.088	18.131	18.173	18.216	18.258	18.301	18.343	18.385	18.428	18.470
450	18.513	18.555	18.598	18.640	18.683	18.725	18.768	18.810	18.853	18.895
460	18.938	18.980	19.023	19.065	19.108	19.150	19.193	19.235	19.278	19.320
470	19.363	19.405	19.448	19.490	19.533	19.576	19.618	19.661	19.703	19.746
480	19.788	19.831	19.873	19.916	19.959	20.001	20.044	20.086	20.129	20.172
490	20.214	20.257	20.299	20.342	20.385	20.427	20.470	20.512	20.555	20.598
500	20.640	20.683	20.725	20.768	20.811	20.853	20.896	20.938	20.981	21.024
510	21.066	21.109	21.152	21.194	21.237	21.280	21.322	21.365	21.407	21.450
520	21.493	21.535	21.578	21.621	21.663	21.706	21.749	21.791	21.834	21.876
530	21.919	21.962	22.004	22.047	22.090	22.132	22.175	22.218	22.260	22.303
540	22.346	22.388	22.431	22.473	22.516	22.559	22.601	22.644	22.687	22.729
550	22.772	22.815	22.857	22.900	22.942	22.985	23.028	23.070	23.113	23.156
560	23.198	23.241	23.284	23.326	23.369	23.411	23.454	23.497	23.539	23.582
570	23.624	23.667	23.710	23.752	23.795	23.837	23.880	23.923	23.965	24.008
580	24.050	24.093	24.136	24.178	24.221	24.263	24.306	24.348	24.391	24.434
590	24.476	24.519	24.561	24.604	24.646	24.689	24.731	24.774	24.817	24.859

°C 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
600	24.902	24.944	24.987	25.029	25.072	25.114	25.157	25.199	25.242	25.284
610	25.327	25.369	25.412	25.454	25.497	25.539	25.582	25.624	25.666	25.709
620	25.751	25.794	25.836	25.879	25.921	25.964	26.006	26.048	26.091	26.133
630	26.176	26.218	26.260	26.303	26.345	26.387	26.430	26.472	26.515	26.557
640	26.599	26.642	26.684	26.726	26.769	26.811	26.853	26.896	26.938	26.980
650	27.022	27.065	27.107	27.149	27.192	27.234	27.276	27.318	27.361	27.403
660	27.445	27.487	27.529	27.572	27.614	27.656	27.698	27.740	27.783	27.825
670	27.867	27.909	27.951	27.993	28.035	28.078	28.120	28.162	28.204	28.246
680	28.288	28.330	28.372	28.414	28.456	28.498	28.540	28.583	28.625	28.667
690	28.709	28.751	28.793	28.835	28.877	28.919	28.961	29.002	29.044	29.086
700	29.128	29.170	29.212	29.254	29.296	29.338	29.380	29.422	29.464	29.505
710	29.547	29.589	29.631	29.673	29.715	29.756	29.798	29.840	29.882	29.924
720	29.965	30.007	30.049	30.091	30.132	30.174	30.216	30.257	30.299	30.341
730	30.383	30.424	30.466	30.508	30.549	30.591	30.632	30.674	30.716	30.757
740	30.799	30.840	30.882	30.924	30.965	31.007	31.048	31.090	31.131	31.173
750	31.214	31.256	31.297	31.339	31.380	31.422	31.463	31.504	31.546	31.587
760	31.629	31.670	31.712	31.753	31.794	31.836	31.877	31.918	31.960	32.001
770	32.042	32.084	32.125	32.166	32.207	32.249	32.290	32.331	32.372	32.414
780	32.455	32.496	32.537	32.578	32.619	32.661	32.702	32.743	32.784	32.825
790	32.866	32.907	32.948	32.990	33.031	33.072	33.113	33.154	33.195	33.236
800	33.277	33.318	33.359	33.400	33.441	33.482	33.523	33.564	33.604	33.645
810	33.686	33.727	33.768	33.809	33.850	33.891	33.931	33.972	34.013	34.054
820	34.095	34.136	34.176	34.217	34.258	34.299	34.339	34.380	34.421	34.461
830	34.502	34.543	34.583	34.624	34.665	34.705	34.746	34.787	34.827	34.868
840	34.909	34.949	34.990	35.030	35.071	35.111	35.152	35.192	35.233	35.273
850	35.314	35.354	35.395	35.435	35.476	35.516	35.557	35.597	35.637	35.678
860	35.718	35.758	35.799	35.839	35.880	35.920	35.960	36.000	36.041	36.081
870	36.121	36.162	36.202	36.242	36.282	36.323	36.363	36.403	36.443	36.483
880	36.524	36.564	36.604	36.644	36.684	36.724	36.764	36.804	36.844	36.885
890	36.925	36.965	37.005	37.045	37.085	37.125	37.165	37.205	37.245	37.285
900	37.325	37.365	37.405	37.445	37.484	37.524	37.564	37.604	37.644	37.684
910	37.724	37.764	37.803	37.843	37.883	37.923	37.963	38.002	38.042	38.082
920	38.122	38.162	38.201	38.241	38.281	38.320	38.360	38.400	38.439	38.479
930	38.519	38.558	38.598	38.638	38.677	38.717	38.756	38.796	38.836	38.875
940	38.915	38.954	38.994	39.033	39.073	39.112	39.152	39.191	39.231	39.270
950	39.310	39.349	39.388	39.428	39.467	39.507	39.546	39.585	39.625	39.664
960	39.703	39.743	39.782	39.821	39.861	39.900	39.939	39.979	40.018	40.057
970	40.096	40.136	40.175	40.214	40.253	40.292	40.332	40.371	40.410	40.449
980	40.488	40.527	40.566	40.605	40.645	40.684	40.723	40.762	40.801	40.840
990	40.879	40.918	40.957	40.996	41.035	41.074	41.113	41.152	41.191	41.230

1000	41.269	41.308	41.347	41.385	41.424	41.463	41.502	41.541	41.580	41.619
1010	41.657	41.696	41.735	41.774	41.813	41.851	41.890	41.929	41.968	42.006
1020	42.045	42.084	42.123	42.161	42.200	42.239	42.277	42.316	42.355	42.393
1030	42.432	42.470	42.509	42.548	42.586	42.625	42.663	42.702	42.740	42.779
1040	42.817	42.856	42.894	42.933	42.971	43.010	43.048	43.087	43.125	43.164
1050	43.202	43.240	43.279	43.317	43.356	43.394	43.432	43.471	43.509	43.547
1060	43.585	43.624	43.662	43.700	43.739	43.777	43.815	43.853	43.891	43.930
1070	43.968	44.006	44.044	44.082	44.121	44.159	44.197	44.235	44.273	44.311
1080	44.349	44.387	44.425	44.463	44.501	44.539	44.577	44.615	44.653	44.691
1090	44.729	44.767	44.805	44.843	44.881	44.919	44.957	44.995	45.033	45.070
1100	45.108	45.146	45.184	45.222	45.260	45.297	45.335	45.373	45.411	45.448
1110	45.486	45.524	45.561	45.599	45.637	45.675	45.712	45.750	45.787	45.825
1120	45.863	45.900	45.938	45.975	46.013	46.050	46.088	46.126	46.163	46.201
1130	46.238	46.275	46.313	46.350	46.388	46.425	46.463	46.500	46.537	46.575
1140	46.612	46.649	46.687	46.724	46.761	46.799	46.836	46.873	46.910	46.948
1150	46.985	47.022	47.059	47.096	47.134	47.171	47.208	47.245	47.282	47.319
1160	47.356	47.393	47.430	47.468	47.505	47.542	47.579	47.616	47.652	47.689
1170	47.726	47.763	47.800	47.837	47.874	47.911	47.948	47.985	48.021	48.058
1180	48.095	48.132	48.169	48.205	48.242	48.279	48.316	48.352	48.389	48.426
1190	48.462	48.499	48.536	48.572	48.609	48.645	48.682	48.718	48.755	48.792
1200	48.828	48.864	48.901	48.937	48.974	49.010	49.047	49.083	49.120	49.156
1210	49.192	49.229	49.265	49.301	49.338	49.374	49.410	49.446	49.483	49.519
1220	49.555	49.591	49.627	49.663	49.700	49.736	49.772	49.808	49.844	49.880
1230	49.916	49.952	49.988	50.024	50.060	50.096	50.132	50.168	50.204	50.240
1240	50.276	50.311	50.347	50.383	50.419	50.455	50.491	50.526	50.562	50.598
1250	50.633	50.669	50.705	50.741	50.776	50.812	50.847	50.883	50.919	50.954

°C 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Nota Técnica 3, rev. b, <http://www.arian.cl>

6

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1260	50.990	51.025	51.061	51.096	51.132	51.167	51.203	51.238	51.274	51.309
1270	51.344	51.380	51.415	51.450	51.486	51.521	51.556	51.592	51.627	51.662
1280	51.697	51.733	51.768	51.803	51.838	51.873	51.908	51.943	51.979	52.014
1290	52.049	52.084	52.119	52.154	52.189	52.224	52.259	52.294	52.329	52.364
1300	52.398	52.433	52.468	52.503	52.538	52.573	52.608	52.642	52.677	52.712
1310	52.747	52.781	52.816	52.851	52.886	52.920	52.955	52.989	53.024	53.059
1320	53.093	53.128	53.162	53.197	53.232	53.266	53.301	53.335	53.370	53.404
1330	53.439	53.473	53.507	53.542	53.576	53.611	53.645	53.679	53.714	53.748
1340	53.782	53.817	53.851	53.885	53.920	53.954	53.988	54.022	54.057	54.091
1350	54.125	54.159	54.193	54.228	54.262	54.296	54.330	54.364	54.398	54.432
1360	54.466	54.500	54.535	54.569	54.603	54.637	54.671	54.705	54.739	54.773
1370	54.807	54.841	54.875							

Anexo 2: Instalación de sistema operativo Raspbian [29, 30]

How to install a Raspberry Pi Operating System image on an SD card. You will need another computer with an SD card reader to install the image.

We recommend most users download [NOOBS](#) which is designed to be very easy to use. However more advanced users looking to install a particular image should use this guide.

DOWNLOAD THE IMAGE

Official images for recommended Operating Systems are available to download from the Raspberry Pi website: raspberrypi.org/downloads

Alternative distributions are available from third party vendors.

WRITING AN IMAGE TO THE SD CARD

With the image file of the distribution of your choice, you need to use an image writing tool to install it on your SD card.

- Insert the SD card into your SD card reader and check which drive letter was assigned. You can easily see the drive letter (for example `G:`) by looking in the left column of Windows Explorer. You can use the SD Card slot (if you have one) or a cheap SD adaptor in a USB port.
- Download the Win32DiskImager utility from the [Sourceforge Project page](#) (it is also a zip file); you can run this from a USB drive.

- Extract the executable from the zip file and run the `Win32DiskImager` utility; you may need to run the utility as administrator. Right-click on the file, and select **Run as administrator**.
- Select the image file you extracted above.
- Select the drive letter of the SD card in the device box. Be careful to select the correct drive; if you get the wrong one you can destroy your data on the computer's hard disk! If you are using an SD card slot in your computer and can't see the drive in the Win32DiskImager window, try using a cheap SD adaptor in a USB port.
- Click `Write` and wait for the write to complete.
- Exit the imager and eject the SD card.