



Universidad
Carlos III de Madrid

**Departamento de Teoría de la Señal y
Comunicaciones**

PROYECTO FIN DE CARRERA

Implementación de un sistema de guiado visual.

Autor: Julio César Moya González

Tutor: Fernando Pérez Cruz

Leganés, 25 de Abril de 2012

Título: Implementación de un sistema de guiado visual.

Autor: Julio César Moya González.

Director: Fernando Pérez Cruz.

EL TRIBUNAL

Presidente: José Manuel Sánchez Pena

Vocal: José Miguel Leiva Murillo

Secretario: Matilde Pilar Sánchez Fernández

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 25 de Abril de 2012 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

A mi familia más cercana, en especial a los que ya no están y han marcado mi camino.

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es el de implementar y adecuar un sistema de comunicación e interacción con el ordenador, suplantando la interacción (hombre-máquina) del ratón convencional usando la mano, por el direccionamiento del puntero usando la mirada. Para ello se hará uso de un programa de software libre llamado "ITU GazeTracker" desarrollado por la universidad de Copenhague y un sistema hardware compuesto de una cámara y dos lámparas. Enfocando el uso de este sistema a un programa de comunicación basado en pictogramas "JavaPlapoons" también de software libre, cuyos principales demandantes son personas con algún tipo de discapacidad física.

La motivación del proyecto es, primero el de desarrollar un sistema que pueda ser la base para futuros desarrollos de la Universidad Carlos III de Madrid, y segundo que se implemente un sistema lo más económicamente posible.

Palabras clave: Eye Tracker, seguimiento de mirada, Sistema Remoto.

ABSTRACT

The main objective of this Project is to build and adjust a system of communication and interaction with the computer, supplanting the computer mouse interface (man-machine) using the hand, by using the gaze. This will be possible by using a free software program called "ITU GazeTracker" developed by the university of Copenhaguen and a hardware setup formed by a camera and two lamps. Focusing the use of the system to a specific communication program based on pictograms called "JavaPlaphoons" also free software, the main users are people with physical disabilities.

The motivation behind this Project is first to develop a system that could be the first step for futures development of the University Carlos III of Madrid, and the second reason is the implementation of a system as economically as possible.

Keywords: Eye Tracker, Gaze Tracker, Remote System.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	X
ÍNDICE DE TABLAS Y ECUACIONES	XI
1. INTRODUCCIÓN Y SOLUCIÓN PROPUESTA.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS	2
1.3. ESTADO DEL ARTE.....	3
1.3.1. EMPRESAS PRIVADAS	3
1.3.1.1. SISTEMA DE TOOBI.....	3
1.3.1.2. SISTEMA DE EYE-TECH.....	4
1.3.2. OTROS SISTEMAS	5
1.3.2.1. SISTEMA THE EYEWRIER	5
1.4. SOLUCIÓN PROPUESTA.....	6
2. TEORÍA DE FUNCIONAMIENTO: EYETRACKERS.....	9
2.1. OJO HUMANO	9
2.1.1. DIAFRAGMA	10
2.1.2. PUPILA.....	10
2.1.3. RETINA	10
2.1.4. FÓVEA.....	10
2.1.5. BASTONES.....	11
2.1.6. CONOS.....	11
2.2. PRECISIÓN VISUAL EN EL CAMPO DE VISIÓN	12
2.3. MOVIMIENTOS OCULARES.....	12
2.3.1. MOVIMIENTOS COMPENSATORIOS	12
2.3.2. MOVIMIENTOS SACÁDICOS.....	13
2.3.3. MOVIMIENTOS DE FIJACIÓN	13
2.4. ÁNGULO DE VISIÓN	13
2.5. CONFIGURACIONES HARDWARE.....	15
2.5.1. SISTEMA HEADMOUNTED	15
2.5.2. SISTEMA REMOTE.....	15
2.6. CARACTERÍSTICAS DE LA LUZ IR EN LOS EYETRACKERS	16
2.7. TIPOS DE ILUMINACIÓN	17
2.7.1. BRIGHT PUPIL	17
2.7.2. DARK PUPIL.....	19
3. IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE.....	21
3.1. MATERIAL INDISPENSABLE	21
3.1.1. MATERIAL	21
3.1.2. HERRAMIENTAS.....	21
3.2. PRESENTACIÓN DE ELEMENTOS.....	22
3.2.1. CÁMARA	22
3.2.2. ÓPTICA	22
3.2.3. FILTRO	23
3.2.4. DIODOS IR	23
3.2.5. MATERIAL ADICIONAL.....	24
3.3. MONTAJE.....	25
3.3.1. SISTEMA DE CAPTACIÓN	26
3.3.2. SISTEMA DE ILUMINACIÓN	26
3.3.3. SOPORTE PRINCIPAL.....	27
3.4. DETALLES TÉCNICOS DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES.....	28
3.4.1. CUERPO DE CÁMARA: DCC1545-M	28
3.4.1.1. CARACTERÍSTICAS.....	28
3.4.1.2. ROLLING SHUTTER	30
3.4.1.3. TRANSMISIÓN DE DATOS.....	30
3.4.1.4. ESTRUCTURA DE LOS EXTREMOS USB USADOS.....	30
3.4.2. ÓPTICA MPL8-16	31
3.4.2.1 ANILLOS DE AJUSTE	31
3.4.2.1.1 DISTANCIA FOCAL	31
3.4.2.1.2 IRIS	31
3.4.2.1.3 FOCO.....	32
3.4.3. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.....	32
3.4.4. CORRECCIÓN IR.....	32
3.4.5. MONTURA	33
3.4.6. FILTRO (OPCIONAL)	33

4. SOFTWARE	35
4.1. FUNCIÓN DEL SOFTWARE	35
4.1.1. SOFTWARE DE THORLABS	36
4.1.2. ITU GAZE TRACKER	36
4.1.3. JAVAPLAPHOONS	37
4.1.3.1 MOUSECLICK()	38
4.2. INSTALACIÓN DE SOFTWARE	39
4.2.1. REQUISITOS MÍNIMOS	39
4.2.2. INSTALACIÓN SOFTWARE THORLABS	39
4.2.3. INSTALACIÓN Y DESARROLLO SOFTWARE ITU GT	40
4.2.4. INSTALACIÓN Y DESARROLLO SOFTWARE JAVAPLAPHOONS	40
5. PUESTA EN MARCHA	42
5.1. AJUSTE DE HARDWARE	43
5.2. AJUSTE DE ITU GT	46
5.3. AJUSTE DE JAVAPLAPHOONS	48
6. CALIBRACIÓN Y PRUEBAS	50
6.1. TARGET	50
6.2. EXACTITUD Y PRECISIÓN	50
6.3. CÁLCULO DE PRECISIÓN	52
6.4. PROPIEDADES DEL USUARIO	54
6.5. ESTIMULO DE LA CALIBRACIÓN	55
6.6. PRUEBAS DE CALIBRACIÓN	55
7. PRESUPUESTO Y CONCLUSIONES	59
7.1. Presupuesto	59
7.2. Conclusiones	61
7.2.1. Objetivos alcanzados	61
7.2.2. Líneas futuras	62
ANEXOS	64
ANEXO A: CÁLCULO DE LAS RESISTENCIAS USADAS EN LOS DIODOS	64
ANEXO B: DATASHEET VTE 1295-2H	66
ANEXO C: SEGURIDAD OCULAR EN EL USO DE LUZ IR-A	67
ANEXO D: SISTEMA DE SUJECIÓN DE LAS LÁMPARAS	73
ANEXO E: DIMENSIONES Y ESTRUCTURA DE LA DCC-1545M	74
ANEXO F: ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DCC-1545M	76
ANEXO G: GUÍA DE INSTALACIÓN DEL SOFTWARE DE LA CÁMARA THORLABS	78
ANEXO H: CONEXIÓN DE LA DCC-1545M (CAMERA MANAGER)	80
ANEXO I: GUÍA DEL PROGRAMA CAMERA VIEWER	83
ANEXO J: POSIBLES ERRORES Y SOLUCIONES	88
ANEXO K: INFORMACIÓN ÚTIL EN LA COMPRA DEL MATERIAL	90
ANEXO L: FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA ITU GT	91
ANEXO M: DISEÑO DEL SOPORTE PRINCIPAL	96
ANEXO N: FOTOGRAFÍAS DEL SISTEMA	99
ANEXO Ñ: INFORME DE PLANIFICACIÓN	100
GLOSARIO DE TÉRMINOS	103
BIBLIOGRAFÍA	106

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: SISTEMA HEADMOUNTED DE TOBII.....	4
ILUSTRACIÓN 2: SISTEMA REMOTE DE TOBII.....	4
ILUSTRACIÓN 3: CAJA VIRTUAL.....	4
ILUSTRACIÓN 4: SISTEMA TME DE EYETECH.....	4
ILUSTRACIÓN 5: HEADMOUNTED DEL PROYECTO “THE EYEWRIER”.....	5
ILUSTRACIÓN 6: DESCRIPCIÓN DEL OJO HUMANO.....	9
ILUSTRACIÓN 7: LOCALIZACIÓN INTERNA DE ELEMENTOS OCULARES.....	10
ILUSTRACIÓN 8: DETALLE DE LA FÓVEA Y CÉLULAS FOTOSENSIBLES.....	11
ILUSTRACIÓN 9: DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE CONOS Y BASTONES.....	11
ILUSTRACIÓN 10: GRÁFICA DE AGUDEZA VISUAL.....	12
ILUSTRACIÓN 11: ÁREA DE INTERÉS PROYECTADA EN LA FÓVEA.....	13
ILUSTRACIÓN 12: ÁNGULOS DE VISIÓN.....	14
ILUSTRACIÓN 13: CÁLCULO DEL ÁREA DE INTERÉS.....	14
ILUSTRACIÓN 14: ÁNGULO DE VISIÓN.....	15
ILUSTRACIÓN 15: EJEMPLO DE SISTEMA REMOTO.....	16
ILUSTRACIÓN 16: EJEMPLO DE SISTEMA HEADMOUNTED.....	16
ILUSTRACIÓN 17: REFLEJOS EN LA SUPERFICIE DE LA CORNEA, GLINTS.....	17
ILUSTRACIÓN 18: REFLEJOS DE PURKINJE.....	18
ILUSTRACIÓN 19: GEOMETRÍA USADA PARA EL CÁLCULO DE POSICIÓN DE LOS REFLEJOS.....	18
ILUSTRACIÓN 20: ILUMINACIÓN Y REFLEJO EN EL OJO DE P1.....	18
ILUSTRACIÓN 21: DARK PUPIL.....	19
ILUSTRACIÓN 22: BRIGHT PUPIL.....	19
ILUSTRACIÓN 23: THORLABS DCC1545-M.....	22
ILUSTRACIÓN 24: ÓPTICA ARECONT VISION MPL 8-16.....	22
ILUSTRACIÓN 25: FILTRO OPTEKA HD 720NM.....	23
ILUSTRACIÓN 26: DIODO IR VTE1291-2H.....	23
ILUSTRACIÓN 27: MONTAJE SISTEMA DE CAPTACIÓN.....	26
ILUSTRACIÓN 28: CASQUILLO LÁMPARAS LED.....	27
ILUSTRACIÓN 29: DIMENSIONES CASQUILLO.....	27
ILUSTRACIÓN 30: FORMA DE LOS EXTREMOS DEL CABLE USB USADO.....	30
ILUSTRACIÓN 31: DISEÑO DE LA ÓPTICA MPL8-16.....	31
ILUSTRACIÓN 32: PROYECCIÓN DE LA IMAGEN SIN Y CON CORRECCIÓN DE IR.....	33
ILUSTRACIÓN 33: FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE ITU GAZE TRACKER.....	36
ILUSTRACIÓN 34: EJEMPLO DE PLAFÓN.....	37
ILUSTRACIÓN 35: BOTÓN CLICK DE RATÓN.....	38
ILUSTRACIÓN 36: GUI DEL CLICK DE RATÓN.....	38
ILUSTRACIÓN 37: VENTANA INICIAL SOFTWARE DE THORLABS.....	44
ILUSTRACIÓN 38: ICONO DE REESCALADO.....	44
ILUSTRACIÓN 39: ILUMINACIÓN UNIFORME DE LA CARA.....	45
ILUSTRACIÓN 40: ICONO DE PROPERTIES.....	45
ILUSTRACIÓN 41: VENTANA DE PROPERTIES.....	46
ILUSTRACIÓN 42: VENTANA INICIAL SOFTWARE GT.....	46
ILUSTRACIÓN 43: AJUSTES EYE Y PUPIL.....	47
ILUSTRACIÓN 44: AJUSTES DE GLINTS.....	47
ILUSTRACIÓN 45: VENTANA DE RESULTADOS DE CALIBRACIÓN.....	48
ILUSTRACIÓN 46: TARGET.....	50
ILUSTRACIÓN 47: VALORACIÓN DE ACCURACY Y PRECISIÓN.....	51
ILUSTRACIÓN 48: EJEMPLO CÁLCULO DE DESVIACIÓN.....	52
ILUSTRACIÓN 49: CÁLCULO DE LA DIFERENCIA ANGULAR.....	52
ILUSTRACIÓN 50: CÁLCULO DEL GRADO DE DESVIACIÓN.....	53
ILUSTRACIÓN 51: RESULTADOS PRIMERA CALIBRACIÓN.....	56
ILUSTRACIÓN 52: RESULTADOS SEGUNDA CALIBRACIÓN.....	56
ILUSTRACIÓN 53: RESULTADOS TERCERA CALIBRACIÓN.....	57

ÍNDICE DE TABLAS, DIAGRAMAS Y ECUACIONES

TABLA 1: MATERIAL ADICIONAL.....	24
TABLA 2: MODELOS DE CÁMARAS.....	28
TABLA 3: CÁLCULO DE ACCURACY Y PRECISIÓN	53
DIAGRAMA 1: COMPOSICIÓN DEL SISTEMA	7
DIAGRAMA 2: PLANTEAMIENTO DE MONTAJE	25
DIAGRAMA 3: SOFTWARE DEL SISTEMA	35
DIAGRAMA 4: PASOS A SEGUIR PARA PROBAR EL SISTEMA.....	42
DIAGRAMA 5: COLOCACIÓN HARDWARE I	43
DIAGRAMA 6: COLOCACIÓN HARDWARE II	43
DIAGRAMA 7: PROPIEDADES DEL USUARIO	54
ECUACIÓN 1: ALGORITMO PARA EL CÁLCULO DEL ÁNGULO DE VISIÓN	15
ECUACIÓN 2: CÁLCULO DEL REFLEJO DE LA CORNEA (PCR)	18
ECUACIÓN 3: CÁLCULO DEL VALOR CUADRÁTICO MEDIO.....	52

1 INTRODUCCIÓN Y SOLUCIÓN PROPUESTA.

En esta sección se hará una breve introducción del proyecto y del por qué de su motivación y objetivos. Seguidamente se mostrará el estado actual del arte así como la solución propuesta para este proyecto.

1.1 Introducción

En este documento se presenta un proyecto fin de carrera que tiene el objetivo de implementar un sistema alternativo al uso del ratón convencional para su uso por parte de personas con discapacidad. Este sistema se basa en la estimación del posicionamiento de la mirada para poder mover el ratón. La realización de este sistemas puede tener diferentes configuraciones, en este proyecto se ha elegido la configuración de un sistema remoto compuesto por: una cámara y dos lámparas infrarrojas. De ese modo se da una posible solución, con la elección y la disposición de los diferentes materiales usados. Tratando de construir un producto de similares características que uno del mercado profesional pero de bajo coste.

Esta tecnología puede ser una posible solución en la comunicación diaria para personas con alguna discapacidad. Es por ello que el objetivo principal del proyecto es plantar las bases de un sistema para el guiado visual del ratón, enfocando esta tecnología a facilitar la comunicación a personas con discapacidad, pero podría usarse en otros ámbitos diferentes. La cantidad de posibles usos en diferentes aplicaciones tanto a nivel comercial como de investigación es amplia.

El servicio que se quiere dar a personas con cierto grado de discapacidad es el de facilitar el uso del ordenador mediante sus ojos, y de esta forma poder interactuar con los diferentes programas de ordenador que usen normalmente de una manera rápida y sencilla. Estos sistemas de guiado visual existen hoy día en el mercado, pero debido a su alto coste económico no todas las personas pueden permitirse su compra. Es por ello que con este proyecto se pretende dar una solución lo más económicamente posible manteniendo una buena relación calidad-precio. Con esta última premisa se mantendrá un nivel de coste razonable para facilitar futuras implementaciones de este sistema.

1.2 Motivación y objetivos

La principal motivación de este proyecto fin de carrera es dar respuesta a una petición realizada a la Universidad Carlos III de Madrid por parte del colegio de educación especial Peñalara de Madrid. Los alumnos de este centro sufren diferentes grados de discapacidades físicas y psíquicas. Dicha petición es la de dar una alternativa al modo de uso de diferentes programas de ordenador a algunos de los alumnos del centro. Ya que para su comunicación y trabajo diario con los profesores hacen uso de programas con barridos de imágenes. Estos barridos se mueven por los elementos de acción de la pantalla, normalmente imágenes, dibujos en los que el usuario se detiene en la que quiere mediante una "acción" de pausa del barrido, dependiendo de la minusvalía esta acción puede variar (es común el uso de pulsadores cercanos a la cabeza). Este método da una solución en la comunicación del usuario con su entorno, pero del mismo modo puede resultar frustrante, tedioso, y lento para la persona que lo usa al tener que estar viendo el pictograma (acción, imagen, ...) a expresar mucho antes de que el barrido se centre sobre él. Con la alternativa de posicionarse sobre el pictograma haciendo uso de la mirada se lograría que la comunicación y el trabajo del usuario con los diferentes programas de ordenador fuese mucho más rápido y eficaz. Evitando de esa manera posibles frustraciones.

El sistema descrito en este documento pretende dar respuesta a personas con alguna discapacidad, en concreto la gente que más se beneficiaría serían personas afectadas de parálisis cerebral que no controlan ninguna parte de su cuerpo, tan solo la mirada, es por ello que la tecnología de guiado visual sería una de las pocas maneras con las que pudieran acceder a un ordenador, y de ese modo a un comunicador que les permitiera expresarse sin necesidad de usar los programas actuales de barrido por imágenes.

Otra motivación importante es la de dar una solución económicamente más reducida que los sistemas actuales en el mercado, los cuales se mueven en el orden de los 15.000 euros en adelante. El coste elevado de estos productos hace difícil su compra por parte de los alumnos del colegio Peñalara. Así pues, otro de los puntos del proyecto es la de reducir el coste final del producto, y de ese modo pueda ser una opción económicamente más accesible para aquellos que quieran probar el producto.

La motivación no es construir un sistema innovador ni definitivo, sino recopilar toda la información posible y dar una solución inicial. Con ello se sentaran las bases para que en un futuro algún otro alumno de la Universidad Carlos III de Madrid continué este proyecto y pueda continuar trabajando en el sistema, tanto en las líneas de hardware como de software.

Otra motivación es el aprendizaje. En este proyecto se quiere explorar los principios físicos y teóricos de una tecnología puntera. La idea es que el estudiante asuma toda la responsabilidad del proyecto, siempre bajo la supervisión y apoyo de su tutor, que acompañara y guiará al alumno desde el inicio hasta la finalización de los principales objetivos. Dado que se trata del trabajo de una sola persona y se dispone de un tiempo limitado para su realización, la carga de trabajo debe ser la suficiente como para ser un proyecto retador, sin excederse para que sea posible

su finalización en unos plazos razonables. Uno de los alicientes de este tipo de trabajos es que permite al estudiante enfrentarse con problemas reales con los que deberá lidiar es su futura carrera profesional y aplicar muchos de los conceptos teóricos y prácticos aprendidos durante su formación en la universidad. Además, permite al estudiante tener una visión global de una nueva tecnología y adquirir nuevos conocimientos. Ya que será necesario en la realización del proyecto la implementación física de elementos hardware (componentes electrónicos, cableado, etcétera), cómo el manejo de diferentes lenguajes de programación y la implementación de software.

El objetivo final de este proyecto es el de obtener un sistema de guiado visual de bajo coste para el manejo del ratón de un ordenador y su uso en un programa de comunicación para personas con discapacidad.

1.3 ESTADO DEL ARTE

En esta sección se hablará de algunos de los sistemas que se disponen en el mercado actual. Sistemas de guiado visual comercializados y otros sistemas de acceso libre y gratuito. Actualmente existen varios sistemas en el mercado desarrollados por empresas privadas y otros tantos sistemas de particulares. La inmensa mayoría de ellos están basados en los mismos principios físicos de funcionamiento que se describirán más adelante, y en los que se basaran la solución aportada en este proyecto.

1.3.1 Empresas privadas

En cuanto a las principales empresas privadas que comercializan sistemas completos de “Seguimiento de mirada” (Eye Tracking), software propio y hardware propio caben destacar las siguientes:

1.3.1.1. Sistema de Tobii

Esta empresa Sueca está considerada como una de las más punteras. Dispone de diferentes sistemas tanto sistemas remotos (ilustración 2) como sistemas montados sobre la cabeza, headmounted (ilustración 1). Como grandes ventajas ofrece un proceso de calibración de entre 2-5-9 puntos como máximo (en el Capítulo 6 se describirá en que consiste dicha calibración). Otro punto de interés es que dispone de una caja imaginaria “box” (ilustración 3) en la que un usuario puede mover la cabeza y aún así, el sistema puede seguir detectando la posición de la mirada. Los Eye Trackers de Tobii tienen diferentes cajas imaginarias de movimiento para la cabeza según el modelo. Un cuadro de movimiento de la cabeza más grande permite mayor grado de libertad del usuario para moverse, proporcionando una mayor comodidad. De este modo se puede seguir los movimientos del usuario sin necesidad de perder la calibración inicial. Según sus especificaciones tienes una libertad de movimiento dentro de una caja virtual con unas dimensiones de 44 x 22 x 30 cm. Su principal inconveniente es el precio, el producto en el mercado es de unos 15.000 euros.



Ilustración 1 :Sistema Headmounted



Ilustración 2: Sistema Remote



Ilustración 3: Caja virtual

1.3.1.2. Sistema de EyeTech

Otra empresa puntera en el mercado de desarrollo y diseño de Eye Trackers es EyeTech. A diferencia de Tobii se centran en los sistemas remotos (ilustración 4). Dispone de unas características similares a las de su competidora Tobii, como la de una gran libertad de movimiento por parte del usuario. Según la hoja de especificaciones del producto puedes tener un grado de libertad de 25 x 16 x 19 cm (caja virtual).



Ilustración 4: Sistema TM3 de EyeTech.

Su sistema se ajusta a la parte inferior de cualquier pantalla. Como se puede observar dispone de dos lámparas de Infrarrojos a ambos lados y una cámara en el centro. En este caso su inconveniente vuelve a ser el precio que ronda los 20.000\$. Desde el manual de funcionamiento de este producto se puede extraer una serie de características:

- La distancia aproximada del usuario al sistema es de alrededor de 60 cm.
- Disponen de una lente de 16mm de distancia focal, aunque puede variar.
- La longitud de onda de la luz infrarroja (IR) es de **880 nm**.

1.3.2 Otros sistemas

Son eyetrackers que provienen del mundo de la investigación, particulares, etcétera. Como ejemplo de estos proyectos:

1.3.2.1. The eyewriter

Es un proyecto desarrollado por un grupo de programadores con el fin de poder realizar un sistema de bajo coste que pudiera dar una solución a una persona totalmente incapacitada. Con este sistema se consigue que dicha persona pueda volver a dibujar usando sus ojos. Si se quiere saber más visitar :

<http://www.eyewriter.org>

El software ha sido desarrollado por ellos mismos, es de código libre y está en continuo desarrollo por parte de la comunidad de internautas. La configuración elegida por ellos es la Headmounted. La siguiente ilustración muestra cómo es.



Ilustración 5: Headmounted del proyecto "The eyewriter".

Como soporte de los elementos necesarios se usan la montura de unas gafas en las que se les adapta los elementos necesarios (Webcams y luces IR) para la detección de la posición de la mirada.

También existen diferentes proyectos de software libre que podemos descargar desde la red. El principal problema radica en que son soluciones poco robustas en general, su desarrollo es continuo por parte de la gente que quiere involucrarse en estos proyectos. Algunos ejemplos más : Opengazer, Trackeyer ó como la solución que se ha elegido para este proyecto: ITU Gaze Tracker, proyecto desarrollado por la Universidad de Copenhaguen. Es posible descargar el software y obtener cierta información en:

<http://www.gazegroup.org>

1.4. Solución propuesta

La solución escogida para dar respuesta a los alumnos del colegio Peñalara es la implementación de un sistema remoto, que pueda posicionarse cerca del monitor y que sea lo menos agresivo posible para el usuario final. Sin necesidad de tener aparatos alrededor de la cabeza. El sistema tendrá la opción de ajustarse a diferentes tamaños de pantalla.

Este sistema se compondrá de dos partes, una parte de hardware: que se compone de todos los elementos externos necesarios para el buen funcionamiento del sistema, y la otra parte constará del software oportuno. Será necesario el uso de dos programas diferentes. Uno de ellos será el que detectara la mirada y extraerá las características principales con las que se estimará hacia que lugar se esta prestando atención. Dentro de la red tenemos unas cuantas posibles elecciones. Finalmente se escogió el software de código libre llamado ITU Gaze Tracker desarrollado por la universidad de Copenhague. Es una herramienta gratuita para la detección, procesamiento y seguimiento de las imágenes capturadas de los ojos. El otro programa a utilizar es otro programa de código libre y gratuito llamado JavaPlaphoons. Este programa es usado por los alumnos del colegio Peñalara de forma habitual. Dentro de este último programa será necesario implementar la acción de clickeado de ratón. El sistema descrito en este proyecto puede dividirse en dos partes:

- Hardware:**
- Cámara.
 - 2 lámparas de diodos infrarrojos.
 - Así como del material de control e implementación de estos elementos. Potenciómetros, resistencias, cableado, soporte, filtro.
- Software:**
- Programa de control para la cámara.
 - Programa "ITU Gaze Tracker" (C#) para la detección y captación de los ojos.
 - Programa "JavaPlaphoons" (Java) para la representación de pictogramas. Donde será necesario la implementación de clases.

Para un mejor entendimiento de la solución propuesta se presenta un diagrama de flujos del funcionamiento del sistema:

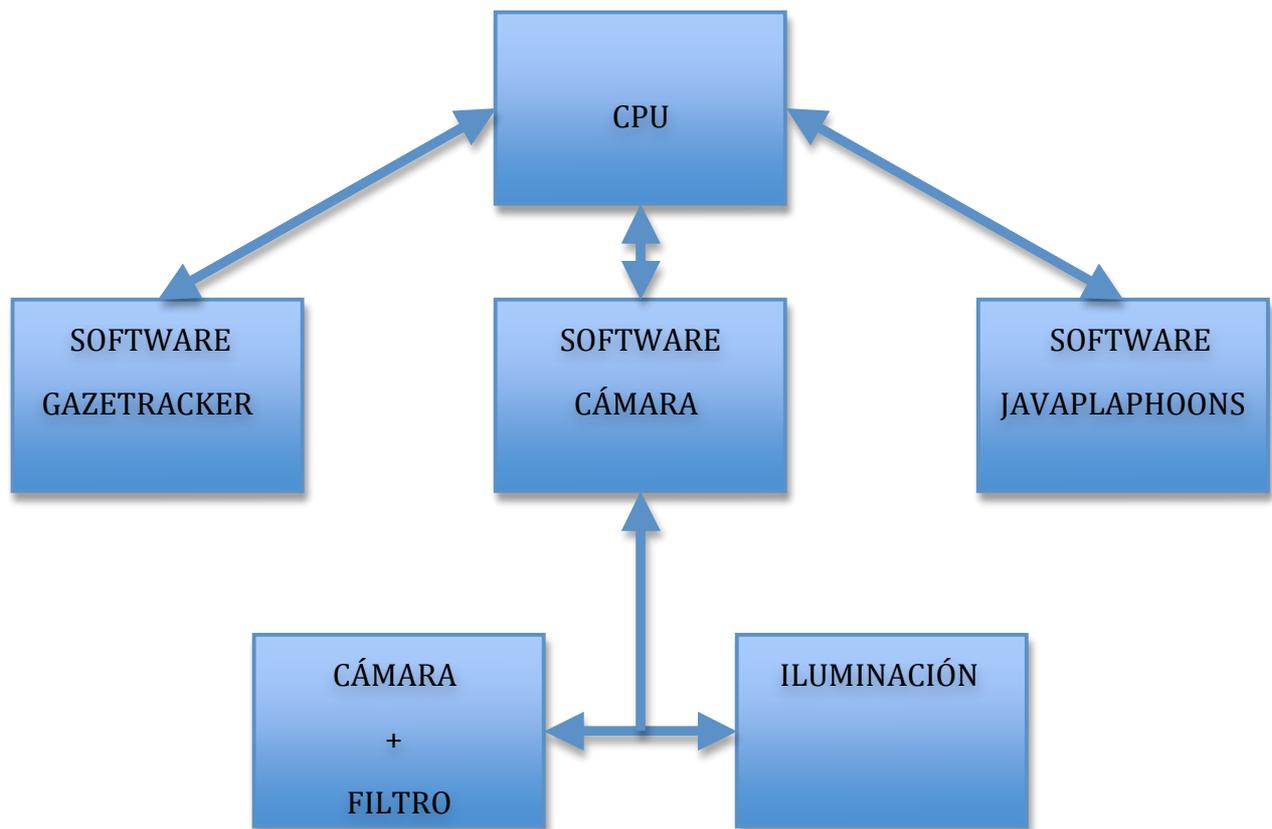


Diagrama de flujos 1: Composición del sistema.

2 TEORÍA DE FUNCIONAMIENTO: EYE TRACKERS

En esta sección explicaremos cuales son los principios teóricos básicos en que se basan los sistemas de seguimiento de mirada para poder funcionar y extraer las principales características que necesita. De este modo se podrá entender mejor su funcionamiento. Debido a que el principal protagonista en la interacción de este sistema es el ojo, pasaremos primero a describirlo brevemente, así como una serie de conceptos que entiendo son imprescindibles para un buen entendimiento del funcionamiento del sistema.

2.1. El ojo humano

Es parte clave en el funcionamiento del sistema ya que conociendo como funciona se pueden aprovechar sus características y peculiaridades para poder sacar la estimación de hacia donde estamos prestando atención con la mirada.

El ojo humano se comporta prácticamente como lo haría una cámara de fotos. La luz reflejada por los objetos entra en el ojo atravesando un conjunto de lentes y proyecta la imagen sobre la retina, análogamente con una cámara de fotografía y para su mejor entendimiento, el papel de la retina sería la película de revelado o el CCD para el caso de cámaras digitales. Finalmente la imagen captada por la retina es transmitida al cerebro mediante el nervio óptico. Dentro de este proceso cada parte del ojo (ver Ilustración 6), tiene un trabajo concreto. Pero me centraré en explicar brevemente las partes que considero importantes.

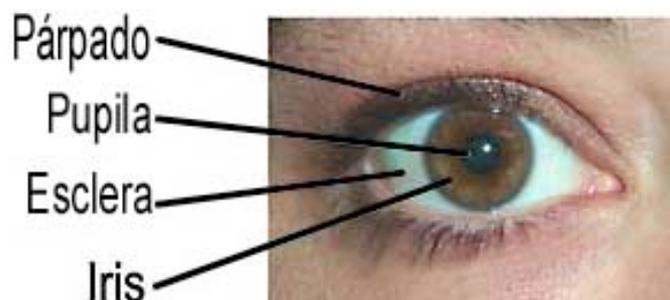


Ilustración 6: Descripción del ojo humano.

2.1.1. Diafragma:

El ojo es capaz de adaptarse a distintos niveles de iluminación gracias a que el diafragma formado por el **iris** puede cambiar de diámetro proporcionando un agujero central por donde entra la luz. Para realizar esta adaptación el iris está conformado por una serie de músculos que se contraen y expanden dependiendo de las necesidades.

2.1.2. Pupila:

Es una apertura dilatable en el centro del iris. Su tamaño varía entre 2 mm para iluminación intensa, y 8 mm para situaciones de poca iluminación. Estos cambios de tamaño se dan para los cambios de intensidad en las longitudes de onda (λ) del espectro visible que van de los 380nm a 760nm aproximadamente. Tiene la misión de regular la cantidad de luz que entra dentro del ojo.

2.1.3. Retina:

La retina de los seres humanos es un tejido sensible a la luz situado en la superficie interior del ojo (ilustración 7).

Es parecido a una tela donde se proyectan las imágenes. La luz que incide en la retina desencadena una serie de fenómenos químicos y eléctricos que finalmente se traducen en impulsos nerviosos que son enviados hacia el cerebro por el nervio óptico.

2.1.4. Fóvea:

Es una pequeña depresión en la retina (ilustración 7, 8). En ese lugar es donde más conos se concentran por unidad de superficie, con lo que la resolución es mucho mayor que en otro lugar de la retina. La fóvea y la zona de alrededor que todavía tiene buena resolución de imagen ocupan unos 2 grados de visión, de los 120° de campo visual que tiene un ojo.

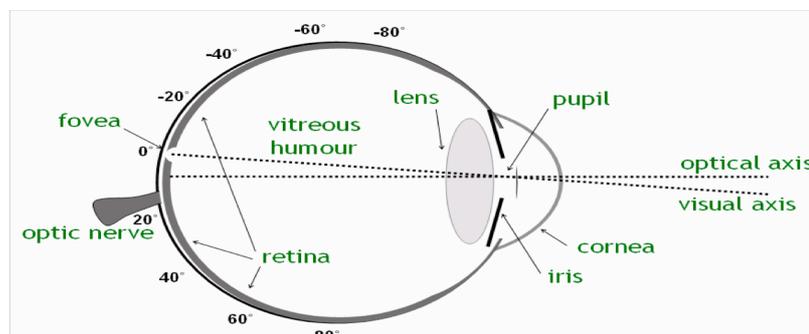


Ilustración 7: Localización interna de elementos oculares

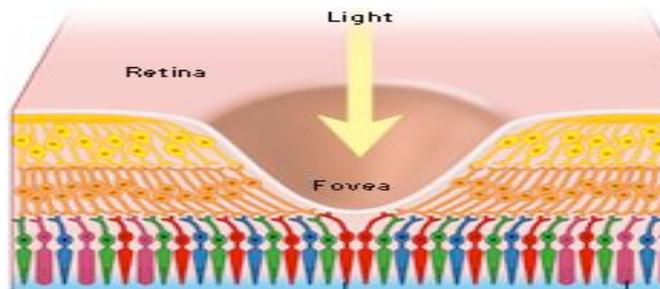


Ilustración 8: Detalle de la fovea y células fotosensibles

Se sabe que en la retina existen dos tipos de células fotosensibles diferentes los conos y los bastones que paso a describir:

2.1.5. Bastones:

Los bastones son mucho más sensibles que los conos a la intensidad luminosa y aportan a la visión del color aspectos como el brillo y el tono, son los responsables de la visión en condiciones de baja iluminación y se concentran en zonas alejadas de la fovea.

La cantidad de bastones que una persona puede disponer podría acercarse a los 100 millones.

2.1.6. Conos:

Los conos son los responsables de la visión en color, se estima que disponemos de unos 6 millones de estos fotorreceptores. Dentro de los conos disponemos de tres tipos los cuales son sensibles al rojo, verde, y al azul (ilustración 8). Son poco sensibles a la intensidad de la luz y proporcionan la visión fotópica, percepción visual con altos niveles de iluminación. Por eso sólo se activan cuando los niveles de iluminación son suficientemente elevados.

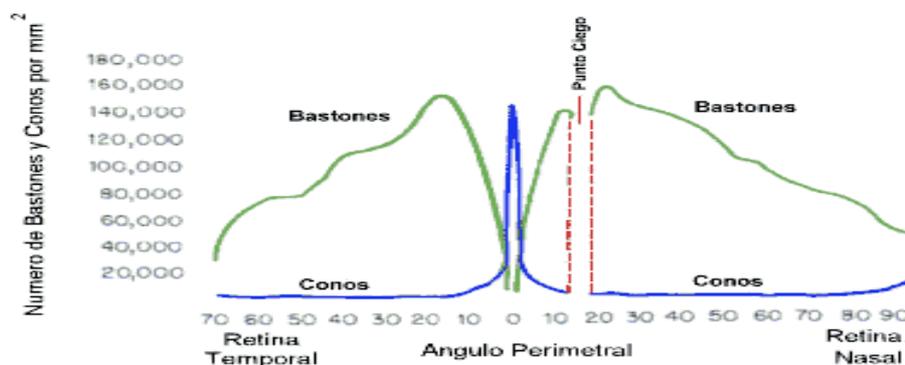


Ilustración 9: Distribución del número de conos y bastones.

Como se puede ver en la ilustración anterior (ilustración 9), en la cual el ángulo perimetral representa el ángulo relativo de la fovea, esta está densamente poblada por conos, y por lo tanto la imagen entrante se percibe más claramente,

más nítida que en el resto. La densidad de los conos disminuye bruscamente en cuanto nos alejamos del centro de la fovea. También se puede ver que en el centro de la fovea no tenemos bastones. Otro lugar a destacar es nuestro punto débil, que es el lugar donde el nervio óptico sale de la retina, es el llamado punto ciego. El punto ciego del ojo no contiene ni bastones, ni conos.

2.2. Precisión visual en el campo de visión.

La habilidad para percibir detalle espacial en el campo de visión se le llama precisión visual (visual acuity). Los límites de esta precisión visual pueden estar dados por una naturaleza neuronal u óptica. La precisión visual humana decrece rápidamente en cuanto nos alejamos de la fovea, tal y como se puede ver en la siguiente ilustración (ilustración 10).

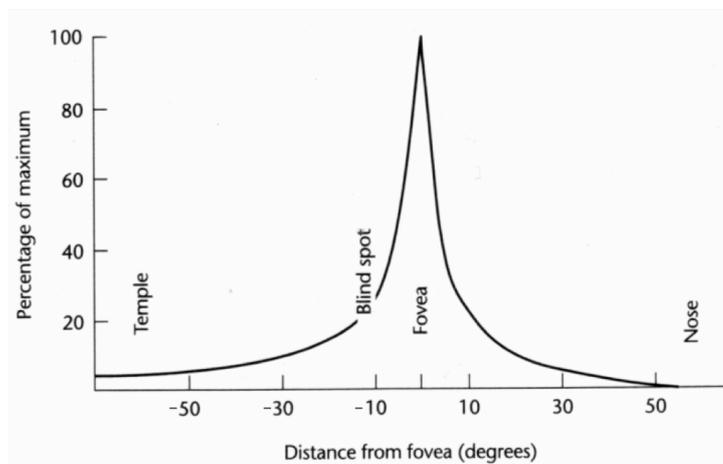


Ilustración 10: Gráfica de agudeza visual.

Con esto se quiere demostrar que aunque una persona pueda percibir detalladamente en el centro de la fovea también es posible percibir bastante detalle en el resto de la fovea y alrededor de la retina

2.3. Movimientos oculares.

El ojo humano a lo largo del día realiza una serie de movimientos involuntarios y voluntarios que paso a describir y que son tomados en cuenta en los algoritmos de los sistemas de estimación visual:

2.3.1. Movimientos compensatorios:

Son movimientos reflejos y por tanto involuntarios que implican la participación coordinada de ambos ojos. Surgen como un mecanismo de fijación del campo visual ante movimientos de la cabeza o del tronco. Su funcionamiento depende de la actuación de los sistemas vestibulares y optocinéticos. Tenemos que destacar aquí la funcionalidad del denominado *Reflejo Vestíbulo Ocular (VOR)*. Estos sensores responden muy rápidamente (en unos 16 ms.) y producen la señal adecuada para que se ocasione un movimiento ocular que compense un desplazamiento de la cabeza asegurando estabilidad en la imagen retiniana. Por

ejemplo, en un caso en que nos desplazamos de un lugar a otro y en ese movimiento nuestra cabeza se desplazara 30° a la izquierda, el VOR iniciaría la ejecución de un movimiento compensatorio de 30° a la derecha. Asegurando así la estabilidad de la imagen visual.

2.3.2. Movimientos sacádicos:

Son movimientos voluntarios y nos permiten visualizar diversas zonas de una escena; los utilizamos para dirigir la mirada a diversas zonas de la escena y facilitar así la recogida de información. En esencia su objetivo no es otro que el de disponer la imagen visual en la **fóvea**. Sin que seamos conscientes de ello alrededor de 230.000 movimientos sacádicos son ejecutados a lo largo de un día.

2.3.3. Movimientos de fijación:

Los ojos sólo permanecen relativamente quietos para enfocar una zona concreta de la escena durante periodos de tiempo muy breves, frecuentemente de 200 a 350 ms de duración.

Nosotros percibimos las imágenes moviendo los ojos y fijando los mismos en las áreas de la imagen o partes concretas de una escena que nos interesan. Estas áreas de interés son colocadas en la fóvea. De esa forma el ojo está dirigiendo la atención a una parte concreta de la imagen que esta captándose toda entera en la retina, y dirigiéndola para que encaje en la **fóvea**, de ese modo se puede extraer con mayor grado de precisión y detalle ese área de interés. La siguiente ilustración muestra cómo se proyectaría un área de interés concreta en la fóvea.

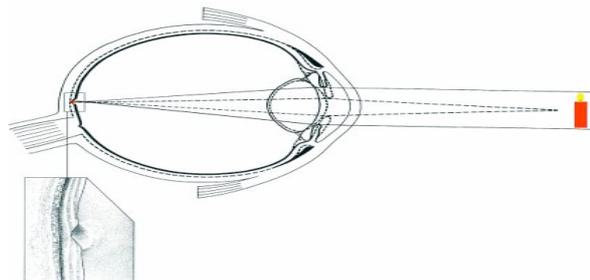


Ilustración 11: Área de interés proyectada en la fóvea.

2.4. Ángulo de visión.

El ángulo de visión indica el rango visible de la imagen (plano) determinado por el ángulo que se forma desde el centro de la fóvea, la cual tiene una longitud de unas $2''$, al extremo horizontal, vertical, diagonal de la imagen u/o escena. A estas medidas se las denominan respectivamente, ángulo de visión horizontal, ángulo de visión vertical y ángulo de visión diagonal (ilustración 12).

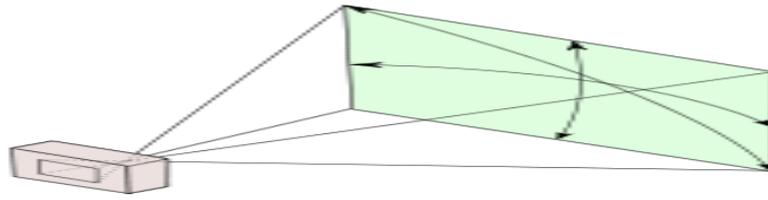


Ilustración 12: Ángulos de visión.

Por ejemplo, si enciendes una linterna sobre una pared en una habitación oscura puedes observar que la luz forma cierta proyección sobre la pared. El tamaño y forma depende del tamaño de la linterna y la distancia a la que estas del muro. La razón por la que afecta la distancia al tamaño de la proyección es porque la luz se dispersa con un ángulo específico desde la linterna. Por ello si quisieras obtener el área de la proyección sobre la pared de esa linterna deberías concretar la distancia a la que estas de la pared. Sin embargo, y aquí está la clave, si usamos el ángulo de dispersión como indicador del tamaño podemos fácilmente calcular el tamaño de proyección para diferentes distancias usando trigonometría.

El mismo razonamiento planteado con esa linterna es usado para referirnos al ángulo de visión del ojo humano. La imagen es formada en la retina y a diferencia de la linterna nuestro ojo absorbe la luz en lugar de emitirla.

Cuando nos referimos al ángulo de visión del ojo debemos tener en cuenta el tamaño de la fovea, ya que es la parte de la retina que usamos para colocarnos sobre los puntos que deseamos sacar mayor precisión y detalle. El tamaño del ángulo de visión de la fovea varía entre 1-2°. El área cubierta por la fovea será una proyección del tamaño de la misma, y por lo tanto esa será la zona en donde en ese momento estemos obteniendo el máximo detalle y resolución, nuestro punto de atención, el área de interés. No es necesario centrar el punto de interés en el centro de la fovea, ya que al igual que con el ejemplo de la linterna cuanto más nos alejamos del objeto de interés mayor será nuestro campo de visión definido y bien detallado. Por el contrario cuanto más nos acerquemos el punto de interés al ojo ese área se reducirá (ilustración 13).

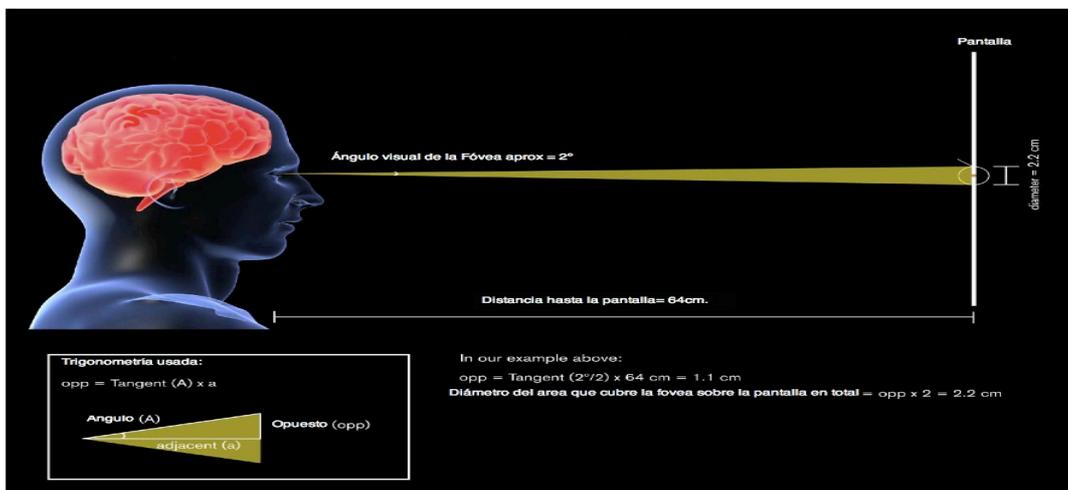


Ilustración 13: Cálculo del área de interés proyectada por la fovea a una distancia de 64cm.

El ángulo de visión α es por tanto el ángulo de la imagen recibida de la escena (lugar de atención) al que llamaremos “s”, y que pasa a través de las diferentes lentes del ojo hasta la superficie de la fovea.

Dada una distancia d , que va desde las lentes del ojo hasta la escena en particular. El ángulo de visión puede ser calculado mediante la fórmula siguiente:

$$\alpha = 2 \arctan \frac{s}{2d}.$$

Ecuación 1: Algoritmo para el cálculo del ángulo de visión.

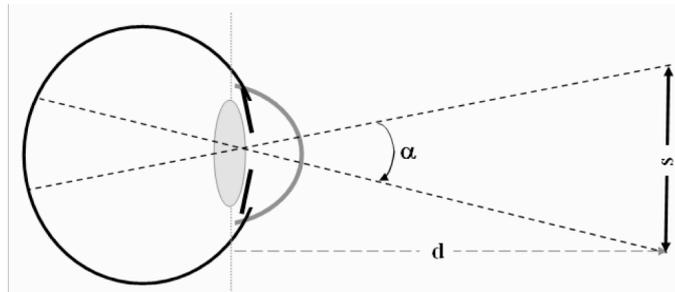


Ilustración 14: Ángulo de visión α .

La ilustración 14 muestra el ángulo de visión α de una zona en particular “s” a una distancia “d” en particular. El ángulo de visión reflejado sobre la retina se le llama *campo de visión*. Horizontalmente es sobre 180° y verticalmente tiene unos 120° . De este modo una persona es capaz de ver normalmente una escena de 180° x 120° .

2.5. Configuraciones del Hardware

La disposición de los elementos hardware necesarios: cámara + iluminación IR (infrarroja) puede variar. Pero las dos principales configuraciones de los elementos que componen el sistema son dos:

- Headmounted
- Remote

2.5.1. Headmounted

Son los sistemas en los cuales todo el hardware se adapta a la cabeza del usuario mediante algún medio: gafas, cascos, gorras, gomas, etcétera (ilustración 16). En estos sistemas adaptados a la cabeza deben siempre estar la fuente de iluminación IR y la cámara. Estos elementos se sitúan bastante cerca del ojo.

2.5.2. Remote

Son el resto de sistemas en los que los elementos hardware están alejados del usuario. Normalmente se componen de un grupo de fuentes de iluminación IR

y una cámara. Este modo de funcionamiento es menos intrusivo para el usuario ya que la cámara y las luces están lejos ($\pm 600\text{mm}$) del usuario final, ver ilustración 15.

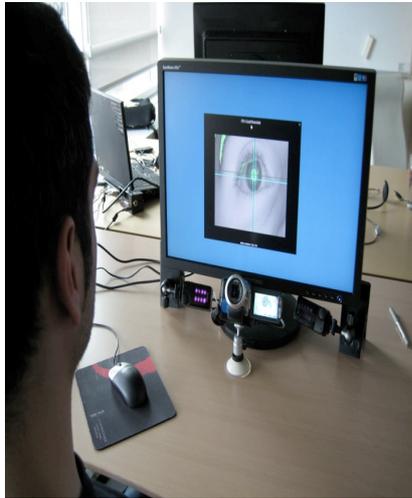


Ilustración 15: Ejemplo de Sistema Remote.



Ilustración 16: Ejemplo de Headmounted.

2.6. Características de la luz IR en los eyetrackers.

La inmensa mayoría de los sistemas de gaze tracking usan la luz infrarroja (IR) por diferentes motivos que paso a describir.

La luz es normalmente producida por diodos emisores de luz tipo LED como los que hemos usado para construir nuestro sistema, de los que entraremos más en detalle después, ahora se expondrán los motivos del uso de luz IR en estos sistemas.

Hay dos principales razones para el uso de este tipo de luz :

- El uso de este tipo de fuente de luz favorece y aumenta la calidad de la imagen captada lo que facilita el análisis y la estimación de la mirada.
- La luz infrarroja no es visible por el ojo humano, de ese modo la luz expuesta al ojo no es molesta y ayuda al usuario a no distraerle de su foco de atención.

La luz infrarroja es reflejada por la retina a la superficie de la cornea, creando puntos de reflexión los cuales son proyectados en la imagen como puntos brillantes. Estos puntos brillantes son llamados "glints" (destellos), reflejos de la cornea (ilustración 17).



Ilustración 17: Reflejos en la superficie de la cornea, glints.

La posición de esos reflejos con respecto a la pupila son normalmente usados para la estimación de la mirada por parte de los programas de detección.

Otro punto clave es hacer buen uso de una iluminación adecuada mediante las luces infrarrojas, ya que usando la cantidad de luz apropiada y dirigiéndola adecuadamente nos va a dar una serie de mejoras de calidad en cuanto a términos de niveles de intensidad y contraste se refieren. Eso facilita el procesado posterior de la imagen. Además el uso de luz en el rango de IR es un método no intrusivo de darnos una imagen muy bien contrastada sin molestar al usuario con iluminación artificial. Sin olvidar en todo momento mantener unos niveles de radiación de IR que garanticen la salud del usuario (ver Anexo C).

2.7. Tipos de iluminación

Para poder extraer la información necesaria y poder seguir al ojo se disponen de dos maneras diferentes de iluminación: Bright Pupil y Dark Pupil.

2.7.1. Bright Pupil:

La traducción literal sería “Pupila brillante”, consiste en situar cerca del ojo, normalmente cercano a su eje, luz Infrarroja (IR) y aprovechar la propiedad reflectante de la retina en las longitudes de onda cercanas a las IR. De este modo la retina hace de espejo y retro-ilumina por detrás a la pupila quedando esta iluminada. Este fenómeno es el mismo suceso de ojos rojos que ocurre cuando captamos una fotografía con una cámara cuyo objetivo está muy cercano al Flash de la cámara y disparamos a una persona a la altura de sus ojos.

Esta técnica saca partido del primer reflejo sobre la superficie de la cornea, el cual normalmente es llamado como el primer reflejo de Purkinje (P1), como se muestra en la ilustración 20. La separación entre la pupila y el reflejo de la cornea varía con la rotación del ojo, pero no lo hace variar significativamente con los movimientos de translación de la cámara (headmounted) porque la luz IR y la cámara están sujetas al mismo sitio y por lo tanto se mueven a la vez. La P1 sirve como punto de referencia con respecto a la posición de la pupila (figure 3). La línea estimada de la mirada es calculada midiendo la separación entre el centro de la pupila y el centro del P1. Al igual que los ojos se mueven, el cambio en la línea de la

mirada es proporcional al vector diferencia entre esos puntos. La relación geométrica (en una dimensión) entre la mirada y la separación del reflejo de la pupila-cornea (PCR) es dado por la ecuación siguiente:

$$PCR = k \sin(\theta)$$

Ecuación 2: Cálculo del reflejo en la cornea (PCR).

θ es la línea del ángulo de visión de la mirada con respecto a la fuente IR de iluminación y la cámara; k es la distancia entre el iris y el centro de la cornea, el cual se asume que es esférico. Siguiendo esta configuración el ojo puede ser seguido por este sistema mientras no sobrepase unos giros de 30° o 40° . Esto significa que el reflejo ya no quedaría dentro de los límites y perderíamos la referencia P1.

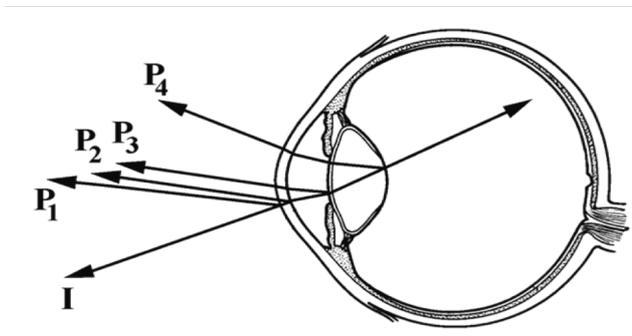


Ilustración 18: Reflejos de Purkinje.

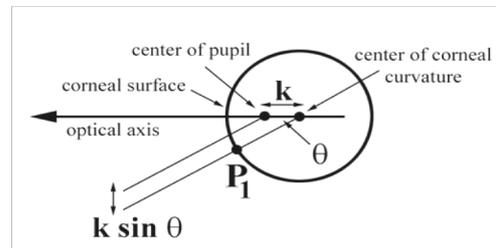


Ilustración 19: Geometría usada para el cálculo.

En la ilustración 18 se muestran varios reflejos de Purkinje dentro del ojo. A nosotros nos va a interesar el P1. La ilustración 19 muestra la geometría usada para calcular la línea de la mirada, usando la separación entre P1 y el centro de la pupila.

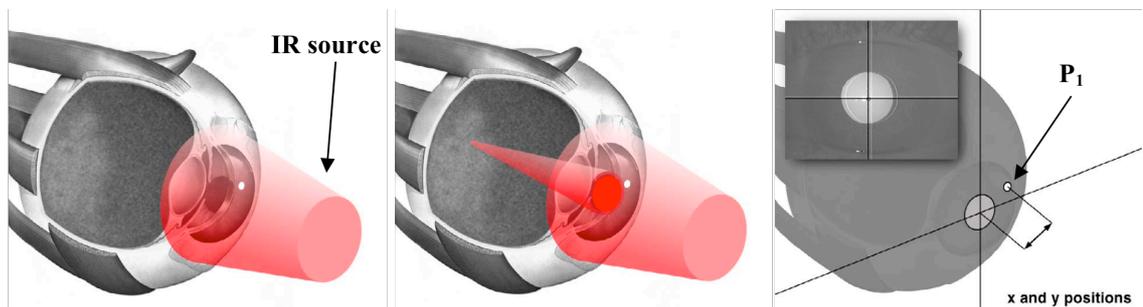


Ilustración 20: Iluminación del ojo y reflejo de P1.

Con la ilustración 20 queda claro de una forma práctica lo descrito hasta ahora. En la primera imagen una fuente de luz IR ilumina al ojo. En la siguiente cuando se alinea la iluminación perfectamente con el ojo, retro-ilumina a la pupila por detrás reflejándose la luz en la retina. La última imagen muestra el centro de la

pupila y el reflejo de la cornea (P1) y cómo son detectadas. El vector diferencia es computado por la ecuación PCR.

2.7.2. Dark Pupil:

En este caso la fuente de iluminación IR esta alejada del eje óptico, lo que hace que la pupila quede más oscura que el iris. Pero se rige por los mismo principios físicos de uso del primer reflejo de Purkinje descritos en el apartado anterior.



Ilustración 21: Dark Pupil.



Ilustración 22: Bright Pupil.

Las ilustraciones anteriores muestran cómo quedaría iluminada la pupila y el contraste con las demás partes del ojo. En la ilustración 21, al tener la iluminación alejada del usuario la pupila queda totalmente oscura. En la ilustración 22 la iluminación se coloca en el eje óptico de la persona con lo que queda iluminada la pupila.

3 IMPLEMENTACIÓN HARDWARE

En este punto se explicará cómo se ha desarrollado la construcción del hardware del sistema. La solución expuesta a continuación es una posible solución en cuanto a materiales elegidos y su disposición final. Ya que se podría haber elegido otra totalmente diferente en cuanto a materiales y disposición. Además se nombrarán los elementos escogidos, y se dejará para más adelante su descripción más técnica.

3.1. Material necesario

Para la realización del sistema y en especial la parte del hardware del sistema será necesario de una serie de elementos que necesitaremos usar en un momento u otro a lo largo de la implementación y que paso a enumerar:

3.1.1. Material:

- Cuerpo de cámara.
- Mini-Trípode.
- Óptica.
- Diodos led infrarrojos.
- Filtro Infrarrojo.
- Resistencias.
- Placa de fibra.
- Potenciómetro Lineal.
- Interruptor.
- Adaptador de corriente (ver Anexo K).
- Clavija hembra para el adaptador de corriente.
- Soportes para lámparas.
- Guías deslizantes.
- Hilo, cable. Rígido y flexible.
- Madera (opcional).
- Tornillos.

3.1.2. Herramientas:

- Destornilladores.
- Alicates de punta plana y corte.
- Segueta.
- Lija.
- Pegamento ultrafuerte.
- Soldador de punta fina.
- Desoldador.
- Estaño.
- Polímetro.

3.2. Presentación de los elementos

Primero se mostraran los elementos que componen el material del sistema y que son de obligada compra: Cuerpo de cámara, óptica, filtro (opcional) y diodos IR.

3.2.1. Cámara:

Para la captación de la imagen se eligió el cuerpo de cámara de la casa Thorlabs , el modelo concreto es el DCC1545M (ilustración 23).



Ilustración 23: Thorlabs DCC1545-M

3.2.2. Objetivo:

La óptica escogida por su montura (CS-mount que encaja sin necesidad de adaptador extra con la cámara) y características fue la MPL8-16 de la casa Arecont Vision (ilustración 24).



Ilustración 24: Óptica Arecont MPL 8-16

3.2.3. Filtro

El filtro infrarrojo que colocaremos en la óptica es opcional, pero se recomienda su uso. Para este proyecto ha sido elegido el filtro de la casa Opteka (Opteka HD 720nm, Φ 35 mm, ver ilustración 25).



Ilustración 25 : Filtro Opteka HD 720nm

3.2.4. Diodos IR

Para la iluminación se tienen dos opciones: comprar lámparas de IR ya fabricadas o como ha sido la elección elegida en este proyecto, comprar los diodos aparte y hacer la lámpara por nosotros mismos con su consecuente abaratamiento de coste.

Los diodos elegidos son el modelo VTE1291-2H (ver Anexo B para ver sus características). Pueden ser adquiridos en alguna tienda especializada. Sino son el mismo modelo mirar la hoja de especificaciones y obtener unos parecidos.



Ilustración 26: Diodo IR VTE1291-2H.

3.2.5. Material adicional

Hasta aquí sería la compra del material principal. Ahora pasaré a mostrar el material adicional que compone el sistema hardware. Para la parte de regulación del sistema será bueno adquirir en alguna tienda especializada: adaptador de corriente, potenciómetro lineal (embellecedor, opcional), clavija hembra para el adaptador de corriente, resistencias, placa de vidrio, interruptor, mini-trípode. La siguiente tabla muestra los elementos descritos:

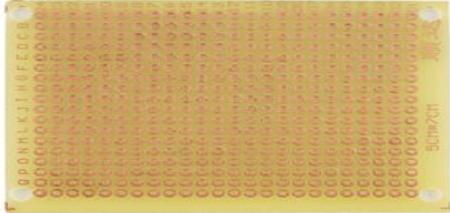
 <p>Potenciómetro lineal</p>	 <p>Embellecedor</p>
 <p>Resistencias</p>	 <p>Placa de fibra.</p>
 <p>Adaptador de corriente</p>	 <p>Interruptor</p>
 <p>Adaptador macho.</p>	 <p>Mini-trípode</p>

Tabla 1: Material adicional.

3.3. Montaje

Hasta aquí todo el material que necesitamos. Ahora describiré los pasos que se han seguido para la construcción del sistema.

Su montaje se podría dividir en Sistema de Captación, Sistema de Iluminación, Soporte principal. El siguiente diagrama enmarca cada acción a desarrollar en cada uno de estos elementos.

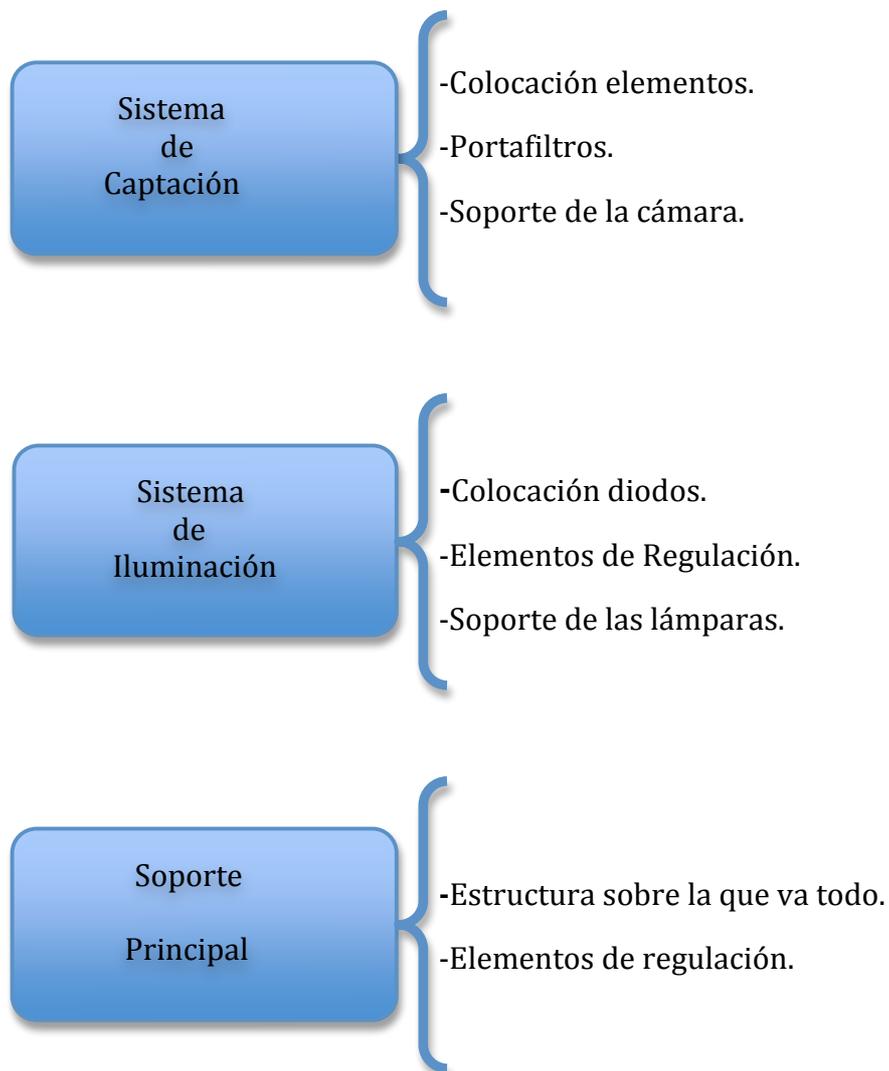


Diagrama 2: Planteamiento de montaje

3.3.1. Sistema de captación

Para esta parte comenzaremos montando todo lo relacionado con el sistema de captación de imágenes (ilustración 27). Para ello necesitamos el cuerpo de la cámara Thorlabs, la óptica, el filtro. Para empezar necesitamos retirar la tapa protectora del sensor en el cuerpo de la cámara. Quitamos la tapa protectora trasera de la óptica y la enroscamos cuidadosamente. Al no necesitar ningún tipo de adaptador extra sólo es necesario encajar la óptica en la cámara. La montura de ambos coincide, CS mount. Para la parte de adaptar el filtro necesitamos usar algún elemento extra, ya que no coincide el diámetro de la óptica, $\Phi 30\text{mm}$, con los $\Phi 35\text{mm}$ del filtro. En mi caso me he decidido a usar un poco de velcro. Pero se podría usar cualquier cosa que nos contrarreste la holgura de ambos elementos. Como soporte usaremos el mini-trípode, sólo necesitamos colocar la parte inferior de la cámara sobre el cuerpo del tornillo que sobresale del mini trípode.



Ilustración 27: Montaje sistema de captación.

Al mini-trípode le debemos retirar las tres patas y quedarnos con sólo la cabeza donde irá la cámara. Esta irá después colocada sobre el soporte principal.

3.3.2. Sistema de iluminación

En esta parte vamos a montar la parte de iluminación. Para ello será necesario coger los diodos led VTE1291-2H y un lugar sobre los que los montaremos. En este proyecto se decidió comprar unas lámparas LED de uso doméstico (ilustración 28, 29) e intercambiar los diodos. También es posible coger un trozo pequeño de placa de vidrio y montar los diodos sobre ella. Para ambas soluciones será suficiente con ver el esquema de los elementos siguiendo el Anexo A para ver su colocación.



Ilustración 28: Casquillo lámpara LED.

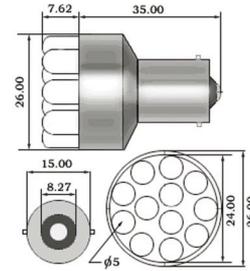


Ilustración 29: Dimensiones Casquillo.

Para abrir las lámpara de Led es necesario de un pequeño destornillador, para ir haciendo un poco de palanca de modo que podamos retirar el casquillo. Una vez abierto haremos uso del desoldador para ir retirando los diodos.

Para una correcta adaptación de la corriente que atravesará los diodos será necesario colocar unas resistencias, su cálculo y su disposición en el circuito puede ser consultado en el Anexo A. Ahora, y conociendo la polaridad de los diodos usamos el soldador y el estaño para ir fijando los diodos IR del modelo VTE1291-2H. En principio se pensó en poner 12 diodos. Pero una vez montado y probando con sólo una lámpara se vio que era excesiva la cantidad de luz irradiada. Con lo que en principio será suficiente con colocar de 9-6 diodos para una correcta iluminación. Cómo soporte base para las lámparas se decidió usar un retenedor de puertas. Sobre esta base y haciendo uso de piezas que tengo de otros elementos he cogido la parte móvil de la Webcams de la Ps3, “eyetoy”. Para saber más sobre este montaje ver Anexo D.

Para poder tener cierto grado de movilidad y libertad a la hora de ajustar las lámparas a diferentes tamaños de pantallas se ha pensado en introducir unos rieles en el soporte principal donde irán colocadas las lámparas, aprovechando la imantación del soporte del retenedor de puertas. El uso de estos soportes con imán facilita la manipulación de la lámpara de diodos: como la posibilidad de mover la lámpara a lo largo del riel dependiendo de las circunstancias en que nos encontremos (tamaño de la pantalla), el límite mínimo y máximo para el uso de las lámparas es de 35 – 80cm. Al mismo tiempo el imán da un buen agarre y firmeza a la sujeción de las lámparas.

3.3.3. Soporte Principal.

Para la parte de soporte de todo el sistema se ha escogido una solución en concreto, pero está puede variar en su totalidad y en la disposición de los elementos. Aquí se explicará el soporte realizado.

El material elegido para la disposición final de los materiales ha sido la madera, debido a su fácil manejo y bajo coste. Para ello compraremos un pequeño tablón de contrachapado. Una vez diseñado la disposición del lugar donde irá cada elemento podemos, o bien cortar nosotros mismos los trozos de madera, o bien ir a un carpintero para que lo corte. El dibujo del diseño se puede ver en el Anexo M.

En el trozo de la base irán las guías, dos, donde pondremos las lámparas al final. Por ello será necesario realizar unos pequeños taladros a la madera para colocar unos tornillos que puedan sujetar a estas guías. En la parte superior será necesario realizar un agujero con las medidas de la base del mini-trípode. Para realizarlo será necesario de una herramienta de carpintería muy específica, en mi caso he tenido que ir a un carpintero para que pudiera hacerlo (también los agujeros del frontal y la parte posterior). Una vez tenemos el hueco para la sujeción de la cámara, untamos con pegamento ultrafuerte tanto la base de la cabeza del mini- trípode, como la base del agujero que tenemos y unimos ambas partes. Dejando un periodo de tiempo de unos 20 minutos para su completa fijación. Una vez este listo podemos colocar el resto de componentes. El potenciómetro y su embellecedor (frontal), clavija hembra para el adaptador de corriente y el interruptor (posterior). Además del soldado del respectivo cableado entre los diferentes componentes usando cable flexible.

3.4 Detalles técnicos de los elementos principales

3.4.1. Cuerpo de cámara: DCC1545M.

En esta sección explicaremos las especificaciones disponibles en el modelo DCC1545M. En la siguiente tabla se muestra los detalles concretos de este modelo (significado de su nomenclatura), y de otros diferentes de la misma casa.

3.4.1.1. Características

Short form for DCx camera		DC	XX	X	-	X
C	CMOS					
U	CCD					
Shutter						
22	CCD Progressive Scan					
15/16	CMOS Rolling Shutter					
Resolution						
3 – XGA	1024 x 768 (0,78MP)					
45 – SXGA	1280 x 1024 (1,30MP)					
Color format						
M	Monochrome					
C	Color					

Tabla 2: Modelos de cámaras.

Como podemos ver en esta última tabla la cámara elegida dispone de un sensor CMOS con Rolling Shutter para la captura de una escena. En cuanto a la

resolución tenemos la SXGA (1280 x 1024 píxeles) y el color del formato es monocromo, blanco y negro.

El cuerpo de la cámara y en especial el sensor es un elemento fundamental dentro de la cadena de captación de imagen. Se ocupará de la adquisición de las imágenes mediante un sensor CCD o CMOS en este caso, para su posterior procesamiento. Con lo que deberá guardar un nivel de calidad adecuado en su captura.

Para la elección de la cámara a escoger me base en una serie de características:

- Gran resolución de imagen.
- Características del sensor para trabajar con infrarrojos.
- Optimización del software ITU Gaze Tracker.
- Funcionalidad en la transferencia de información (USB) en la transferencia de imágenes

Dadas estas necesidades la opción principal a elegir es la DCC1545M de Thorlabs. Es una cámara de relativo bajo coste, unos 300 euros, y aporta todas las ventajas para poder obtener un gran resultado. Es una cámara de alta resolución. El gran tamaño de su sensor de captura, de tecnología CMOS de 1/2" le hace destacar sobre cualquier otra posible opción dentro del mercado. Con una resolución SXGA, (Super Extended Graphics Array) de 1280 x 1024 píxeles, con una profundidad por cada uno de ellos de 8 bits. Es más que suficiente para obtener una buenísima calidad en la adquisición de la imagen. Su gran tamaño y "reducido" coste se debe a otra de sus principales características y es que es una cámara monocromo, con lo que su salida será en blanco y negro. Evitando la separación de colores y el coste añadido de tener 3 sensores más diferentes para la captación del rojo, verde y azul.

Otra gran característica es su reducido tamaño y la posibilidad de transferencia de datos mediante un cable USB. Esto facilita y dispone de una velocidad de transferencia de las imágenes máxima de 480 Mbps. Esto nos da un límite máximo de:

Número de píxeles por imagen = $1280 \times 1024 = 1.310.720$ píxeles.

Cada píxel tiene una profundidad de 8 bits. Por lo tanto:

$1.310.720 \times 8 = 10.485.760$ bits/imagen.

Esto nos deja que teniendo una capacidad de transferencia máxima de 480 Mbps tenemos que para una captura con su máxima resolución (tenemos la posibilidad de bajarla) disponemos de un número de:

$480.000.000 \text{ bits} / 10.485.760 \text{ bits} = \text{aprox. } 48 \text{ imágenes/segundo}$

3.4.1.2. Rolling shutter

Con el método de Rolling Shutter la información cargada en los píxeles se borra y se expone una fila tras otra. Al final de la exposición, las líneas son leídas secuencialmente. Como esto da lugar a un retardo de tiempo entre la exposición de la primera y las últimas filas del sensor, la captura imágenes de objetos en movimiento se ve distorsionada. Pero como no va a ser usada para captar objetos en movimiento esto nos da igual. El sistema de Rolling Shutter ofrecen una densidad de píxeles mayor en comparación con el obturador global para sensores CMOS.

3.4.1.3. Transmisión de datos

El Standard del USB 2.0 especifica una velocidad de transmisión de datos de 480 MBit/sg entre los diferentes equipos que estén interconectados. La cámara Thorlabs usa el USB 2.0 Bulk mode para la transmisión de imágenes. La transferencia de archivos mediante Bulk (granel) se usa cuando quieres enviar una ráfaga grande de datos, por ejemplo se suele usar para transferir la información a una impresora o un scanner.

No hay ninguna garantía de ancho de banda o latencia. Para asegurarnos de una transmisión libre de errores, el ancho de banda máximo para el intercambio de imágenes esta limitado a 416 MBit/sg.

3.4.1.4. Estructura de los extremos del USB usados

En la parte de conexionado del Host será necesario que cuente con una entrada de USB. En los estemos del cable (ilustración 30) que se va a usar, por un lado viene equipado con el Standard-A de conexionado (cuatro pins, imagen izquierda), del lado del cuerpo de la cámara Thorlabs viene equipado con el Standard-B (cuatro pins, imagen derecha).

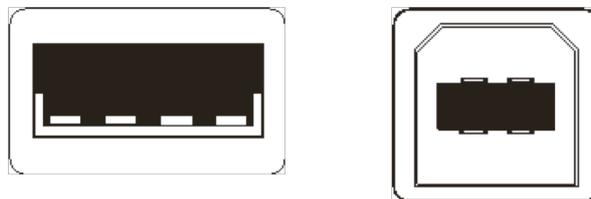


Ilustración 30: Forma de los extremos del cable USB usado.

3.4.2. ÓPTICA MPL8-16

Pare el sistema y tras examinar características de diferentes productos, se eligió la “MPL8-16” de Arecont Vision. Es una lente varifocal de 8-16 mm, con diafragma y foco de ajuste manual (ilustración 31).

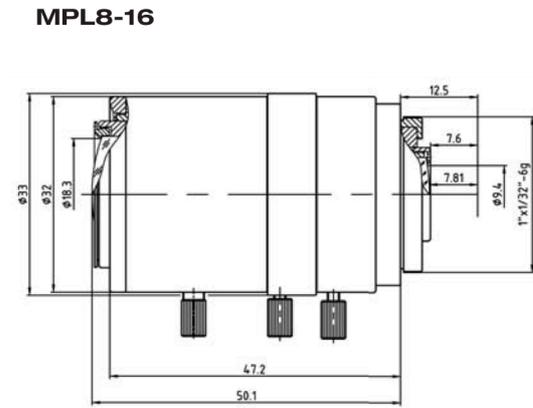


Ilustración 31: Diseño de óptica MPL8-16

De izquierda a derecha de la óptica tenemos la disposición de los anillos de ajuste manual : el anillo de distancia focal , el de iris y el anillo de foco.

3.4.2.1 Anillos de ajuste:

Son los diferentes anillos ajustables manualmente. Para poder variarlos es necesario soltar el tornillo, y una vez tenemos el nivel deseado en cada caso, se vuelve a apretar. Paso a describir cada uno de ellos.

3.4.2.1.1 Distancia focal

La distancia focal es la que existe entre el objetivo y el punto en que los haces de luz que atraviesan la óptica convergen en el eje óptico. Es en este punto donde el objetivo está enfocado, y se le denomina punto focal. Los objetivos pueden tener una distancia focal fija o variable. Al variar esta distancia conseguimos un menor o mayor acercamiento. Se le llama zoom.

3.4.2.1.2 Iris

Es un elemento fundamental en una cámara, se encarga de que la cantidad de luz que capta se dirija al sensor de imagen. Su apertura se ajusta mediante una combinación de diafragmas integrados en el objetivo. Este mecanismo se llama iris y actúa exactamente como la pupila del ojo humano. Al abrir y cerrar dichos diafragmas cambia el diámetro de la apertura, con lo que se controla la cantidad de luz que pasa por ella. El grado de apertura del iris se expresa mediante el número F.

3.4.2.1.3 Foco

Para enfocar una imagen en el sensor CMOS, se debe hacer coincidir el punto focal sobre el plano del sensor mediante el ajuste del anillo de enfoque del objetivo (focus). De esta forma obtendremos una imagen nítida.

3.4.3. Características principales

Entre sus principales características están que:

Es una lente varifocal cuya variación de distancias focales va desde los 8-16mm. De esta forma tenemos cierto margen de maniobra a la hora de ajustar la imagen del usuario en la cámara. Siendo posible hacer uso de un extensor adicional (sería necesario su compra), es un multiplicador, en caso que los 16mm no fueran suficientes. En el mercado existen multiplicadores de x1'5, x2, con lo que se puede llegar a los 32mm de distancia focal.

Esta adaptada para trabajar con sensores de 1/2". Al tener un formato de imagen de 1/2" podemos sacar el máximo rendimiento de captura de la cámara ya que dispone de un sensor CMOS del mismo tamaño.

Tenemos las posibilidad de variación focal y de apertura de diafragma manual. Dispone de los anillos correspondientes para su variación manual y dispone de corrección de IR y montura CS.

Como se ha dicho, el uso y la importancia de la luz infrarroja es clave para el buen funcionamiento del sistema. Dentro de las diferencias entre ópticas tenemos una muy clara, que es si dispone de corrector de IR o no. La óptica elegida si dispone de esta corrección que se pasara a explicar a continuación.

3.4.4 Corrección IR

La longitud de onda de luz infrarroja es más larga que las longitudes de onda de los colores en la luz visible. En consecuencia, cada longitud de onda de la luz tiene un punto focal diferente. Cuando la luz visible e infrarroja entra en una lente ordinaria no se centran en el mismo plano (sensor, película). El punto focal IR se desplaza. Este "cambio de enfoque" da como resultado que la imagen quede algo borrosa, el contraste queda reducido y la calidad general de imagen es inferior. La ilustración 32 muestra este problema en una lente estándar y otra con corrección de IR.

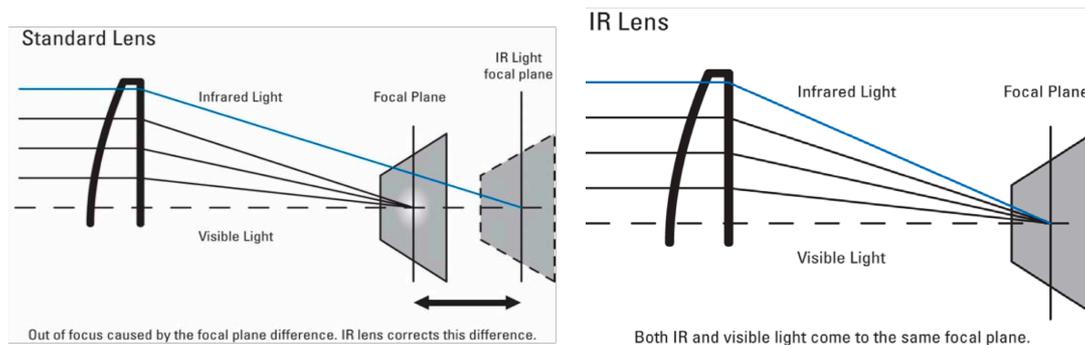


Ilustración 32: Proyección de la imagen sin y con corrección IR.

Con la corrección de IR se trata de compensar esa diferencia de enfoque. Con lo que los IR se quedarán enfocados en el plano focal correcto, o por lo menos mucho más cerca que otros objetivos que no llevan esta corrección. El resultado es un mejor enfoque de la imagen, más nítida, con más contraste y una mejor calidad de imagen.

3.4.5. Montura

En cuanto a la montura de la óptica decir que es del tipo CS. Estas siglas se refieren a la manera de ajustar la óptica a la cámara (ambas deben coincidir). Siendo ésta la misma que usa la cámara. Sino coincidieran sería posible el uso de adaptadores para otros diferentes monturas, como por ejemplo la montura tipo C. Para ajustarla debemos hacer coincidir la óptica con la montura del cuerpo de la cámara y hacer girar la óptica hasta que quede bien ajustada.

5.4.6. Filtro (opcional)

Delante de la óptica podemos colocar un filtro que impida la entrada a la cámara de la luz visible y deje pasar las longitudes de onda que nos interesan. Dentro de los diferentes proveedores del filtros y dado el diámetro poco común de la lente. Es necesario adaptar el filtro de 35mm de diámetro a la óptica de 32mm de alguna forma. La opción escogida es mediante velcro. Pero se podría haber usado cualquier otro material que contrarrestara la holgura. Del filtro decir que corta hasta los 720 nm.

4 SOFTWARE

En esta sección se hablará de todo lo relativo al software usado en este proyecto. Primero se pasará a describir los principales programas que se usan, así como la implementación aportada. Seguidamente se darán los pasos necesarios para instalar los programas.



Diagrama 3: Software del sistema.

En el anterior diagrama vemos cómo se distribuye el funcionamiento de los diferentes programas y su orden dentro del sistema. Ahora se explicará que función tiene cada uno de ellos.

4.1. Función del Software:

4.1.1 Software de Thorlabs

Es el programa que trae el cuerpo de la cámara y puede ser de utilidad para el ajuste de los parámetros de la cámara, como pueden ser la velocidad de frame, tiempo de exposición, ganancia, etcétera.

4.1.2. ITU Gaze Tracker

El ITU Gaze Tracker es un software para el procesado y detección de las características necesarias para el guiado visual de los ojos. Es un programa de código abierto (open source), con esto se pretende que se continúe desarrollando el software por parte de todo aquel que quiera participar en la mejora del programa. Además, proporciona una alternativa de bajo coste a los sistemas de gaze tracker haciendo que esta tecnología sea más accesible. Esta desarrollado por el Gaze Group de la Universidad IT de Copenhague y otros colaboradores ajenos a la universidad. También cuenta con el apoyo de la “Communication by Gaze Interaction Association” (COGAIN), una asociación que aglutina información, recursos, profesionales en la interacción visual y que aporta un lugar de reunión para todos los que estén interesados en dicha tecnología.

El software está lanzado bajo dos tipo de licencias, una gratuita para su desarrollo de código y otra comercial:

- Licencia Open Source: Se basa en la licencia GPLv3, está orientada principalmente a proteger la libre distribución, modificación y uso de software. Su propósito es declarar que el software cubierto por esta licencia es de software libre gratuito y de ese modo protegerlo de intentos de apropiación que restrinjan esas libertades a los usuarios.
- Licencia comercial: Si se desea sacar una versión comercial del sistema descrito en este proyecto habría que ponerse en contacto con los principales desarrolladores del código (Gaze Group).

Desde su página web se anima a usuarios y desarrolladores para probar y continuar desarrollando el software. Toda la GUI del programa de Gaze Tracker se basa en WPF (Windows presentation foundation) y está disponible en .Net 3.5.

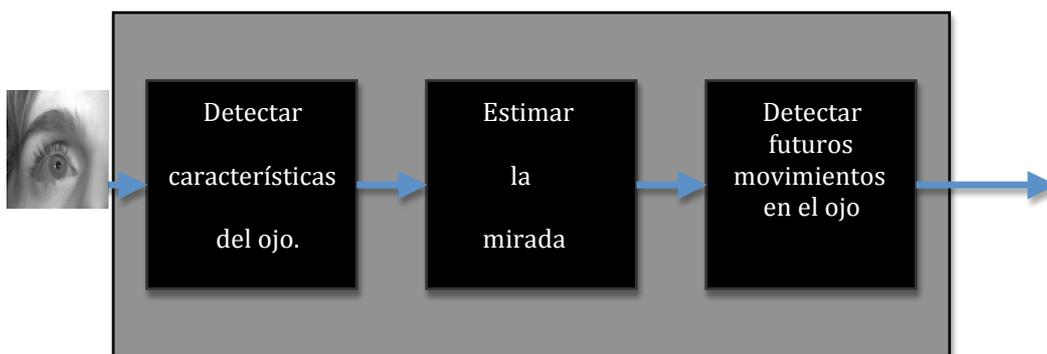


Ilustración 33: Diagrama de funcionamiento del software ITU Gaze Tracker.

Siguiendo la ilustración 33, el primer paso es la captación de la imagen por parte de la cámara que después es transferida al ordenador. El software de ITU Gaze Tracker va a extraer algunas de las características de los ojos desde esa imagen, por ejemplo el centro de la pupila, glints. Estas características de los ojos se asignan al programa de seguimiento de la mirada a través de un proceso

de calibración que el usuario realiza antes de comenzar. Tras estimar estas características el programa determinara la posición hacia donde se esta mirando. Por último el programa detectará si ha habido algún movimiento en la mirada.

4.1.3. Javaplaphoons

Es un programa pensado para gente con alguna discapacidad, para personas con dificultades motrices (parálisis cerebral, por ejemplo) su principal finalidad es facilitar el acceso a la comunicación diaria, el aprendizaje de la lectoescritura, la escritura y el control del ordenador. Es un programa desarrollado por Jordi Lagares y es totalmente open source. Cualquiera puede aportar a su desarrollo y ampliación. Más información en: www.lagares.org.

Su funcionamiento se basa en la creación de “Plafones” son tablas en las que se pueden ir añadiendo pictogramas en las cuales se pueden mostrar imágenes, palabras, etcétera. La siguiente ilustración muestra cómo estaría compuesto uno de estos Plafones (ilustración 34).

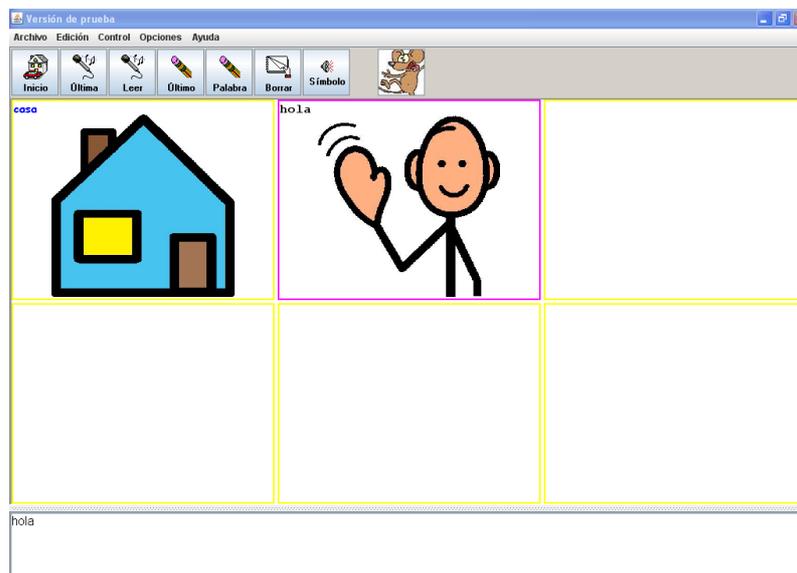


Ilustración 34: Ejemplo de Plafón.

Para acceder y ejecutar cada pictograma el programa incluye una opción de barrido por pantalla que selecciona durante un tiempo predeterminado los pictogramas. El usuario accede a las diferentes casillas dónde están los gráficos (símbolos, palabras, sílabas, letras...) para ir configurando aquello que se quiere expresar.

La persona que lo utiliza va seleccionando uno a uno los símbolos deseados y éstos se van ordenando en la línea de mensaje (zona inferior de la pantalla) destinada para esta función. Una vez completado el contenido de lo que se desea expresar, se puede escuchar, imprimir o guardar en un procesador de textos. Dentro del programa irá la siguiente implementación:

4.1.3.1 MouseClick

Es una implementación dentro del programa de JavaPlaphoons desarrollado por el autor de este proyecto. Tiene la función de simular el click del ratón para que una vez estemos moviendo el ratón con la mirada podamos ejecutar la funcionalidad del click izquierdo del ratón.

Se ha insertado un nuevo botón en la ventana principal de JavaPlaphoons.



Ilustración 35: Botón para el click de ratón.

Este nuevo botón ejecuta la clase VentanaClick y su interface gráfica quedando de la siguiente manera:

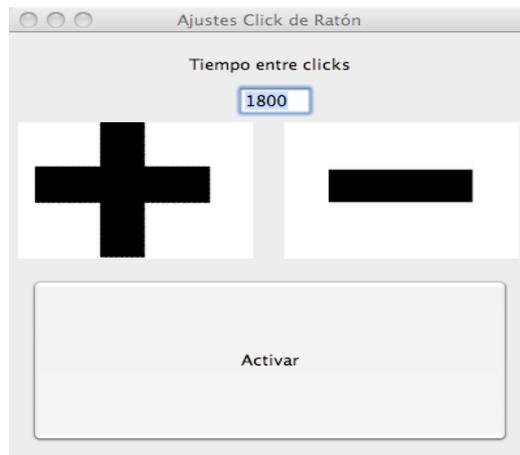


Ilustración 36: GUI del click de ratón.

El tiempo entre clicks está escalado en milisegundos. Los botones de más y menos son para variar dicho tiempo. Y el botón Activar/Desactivar para comenzar ó parar el click del ratón.

Para su programación ha sido necesario el uso de la clase Robot (API de Java). Esta clase se usa para generar eventos de entrada del sistema para realizar pruebas, demos y otras aplicaciones que requieren del control del ratón y el teclado. También ha sido necesario que se ejecutara en un nuevo Thread (proceso) a parte de la aplicación Javaplaphoons.

4.2. Instalación de software

4.2.1. Requisitos mínimos

Cada programa de instalación tiene unos requisitos mínimos para funcionar. Pero para tener unos requisitos únicos se han descrito los más restrictivos:

En cuanto al hardware del ordenador es recomendable:

- Procesador Intel o AMD con dos ó más núcleos.
- 1GB o más de memoria RAM.
- Dispositivo de entrada USB2.0

En cuanto al software y Sistema operativo:

- Microsoft Windows XP Service Pack 3
- Microsoft .Net Framework 3.5 SP1
- Máquina virtual de java (JVM) 1.4

Para el funcionamiento del sistema será necesario la instalación de los programas que hemos hablado anteriormente.

Cada instalación tendrá un cometido:

- Software de control y drivers de la cámara Thorlabs.
- Software de detección y estimación de la mirada, ITU Gaze Tracker.
- Software de comunicación mediante pictogramas, JavaPlaphoons + implementación del click de ratón.

De estos tres programas necesarios sólo el programa de la Thorlabs no es gratuito. Este software viene en un CD con el cuerpo de la cámara.

4.2.2. Instalación software Thorlabs

Para poder hacer un uso rápido de la cámara necesitamos seguir los siguientes puntos para la perfecta integración del programa en el ordenador en que vaya a ser usado. Para ello habrá que seguir los siguientes pasos. Los pasos detallados de la instalación se pueden ver en el ANEXO G:

1. Debemos instalar los Drivers que va a usar la cámara, estos vienen en el CD de instalación de la cámara.
2. Debemos quitar la tapa antipolvo que cubre el cuerpo de la cámara y reemplazarlo por un objetivo.
3. Conectar el interface de la cámara usando un cable USB.
4. Comenzar la instalación del programa "uc480 Viewer".

5. Conectar la cámara haciendo click en la parte superior izquierda del programa "uc480 Viewer" en el botón "Initialize". Para poder ver la imagen capturada en el programa.

El software viene provisto de información de las librerías que pueden ser usadas en caso de querer desarrollar aplicaciones que puedan trabajar con la cámara.

4.2.3. Instalación y desarrollo del software ITU GT

Para poder instalar el programa deberemos descargarlo de la página web:

<http://www.gazegroup.org/downloads>

O si deseamos bajarnos el código fuente para poder compilar y desarrollar código debemos hacer uso de alguna aplicación como Subversion e ir a la página:

<http://sourceforge.net/projects/gazetrackinglib>

El lenguaje íntegro de programación es C#. El lenguaje de programación se basa en Emgu C#* Open CV wrapper. Emgu es un wrapper para el OpenCV, escrito íntegramente en C#.

Como gran inconveniente a la hora de desarrollar este programa esta la falta de información de las clases y métodos usados, con lo que dificulta mucho el desarrollo del programa. Como entorno de desarrollo para programar se puede usar Visual Studio.

4.2.4. Instalación y desarrollo software de JavaPlaphoons

Como ha sido necesario la implementación de código la versión usada en este proyecto no coincide con la que se puede descargar de manera gratuita desde:

<https://www.lagares.org>

Para su instalación descomprimir el archivo .zip y ejecutar el .jar, eso lanzara la aplicación. Si se desea modificar o desarrollar el programa decir que está escrito íntegramente en Java, se recomienda el uso de NetBeans como herramienta de desarrollo. Se dispone de cierta información de cómo se estructura el programa, aunque puede resultar insuficiente.

La implementación de MouseClick junto al programa Javaplaphoons y la compilación realizada del ITU Gaze Tracker se adjuntará en el proyecto.

* Será necesario de disponer de una versión de Net.Framework, con la 3.5 basta.

5 PUESTA EN MARCHA

En esta sección se describirá los pasos necesarios para el ajuste de los elementos del sistema. Para una correcta configuración de todos los elementos que lo componen. Los pasos a seguir deberían seguir el siguiente orden:

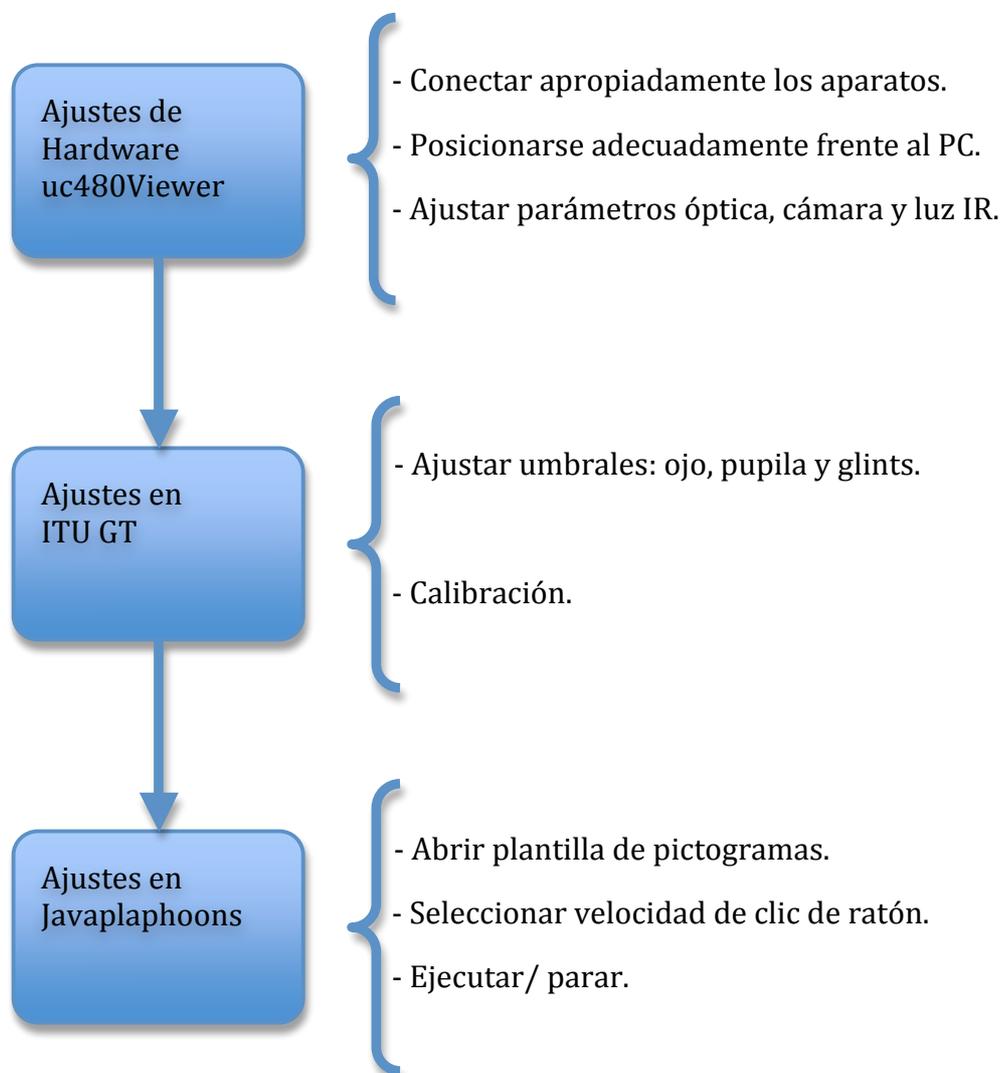


Diagrama 4: Pasos a seguir para probar el sistema.

5.1. Ajustes de Hardware

Primero de todo deberemos comprobar que el hardware del sistema esta conectado adecuadamente. Empezaremos para ello quitando la tapa de protección del sensor CMOS de la cámara DCC1545M y enroscando en su lugar la óptica Arecont (en caso de que no estuviera montada). Recordar que este ajuste debe hacerse suavemente y haciendo coincidir las marcas de la óptica y el cuerpo de la cámara. Una vez tenemos la óptica bien sujeta se procede a colocar la cámara en el soporte. Se enrosca en sentido de las agujas del reloj y dejamos trincada la cámara, aunque después será preciso hacer un ajuste mayor para que la imagen coincida con el tiro de la cámara. Después se coloca el filtro de IR (aconsejable) y conectamos el cable USB, una punta al cuerpo de la cámara y la otra a una entrada USB del PC. El diagrama 5 ilustra la colocación descrita.

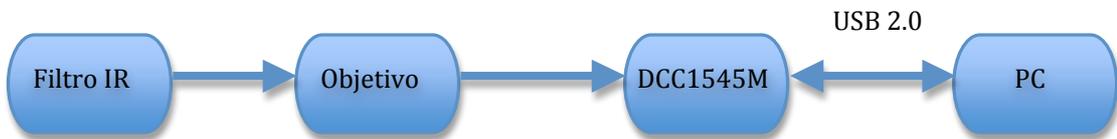


Diagrama 5: Colocación Hardware I.

Ahora ajustamos las guías donde van las lámparas de IR a la longitud de las esquinas inferiores del monitor. Cerciorándonos que el cable del adaptador de corriente esta conectado tanto a la red de alimentación (220 voltios) como por detrás del soporte principal (diagrama 6).

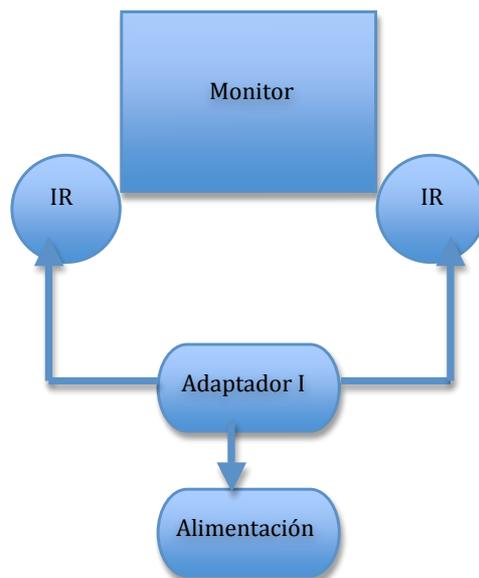


Diagrama 6: Colocación Hardware II.

Colocamos la cámara debajo del monitor y nos posicionamos a una distancia adecuada frente al monitor, aconsejándose unos 60 centímetros de distancia entre la cámara y el usuario, este valor es una aproximación que dependerá de las circunstancias. La altura también podría variar pero se aconseja que la cabeza quede ligeramente más alta que el sistema de cámara y luces IR. Apretamos el interruptor de detrás de soporte principal.

Ahora pasaremos a ajustar los parámetros de la cámara y la cantidad de luz IR. Para ello necesitamos hacer uso del programa uc480Viewer (ver ANEXO I). Ejecutamos el programa y clikeamos en la parte superior izquierda en el botón "Initialize" para empezar a capturar imagen.

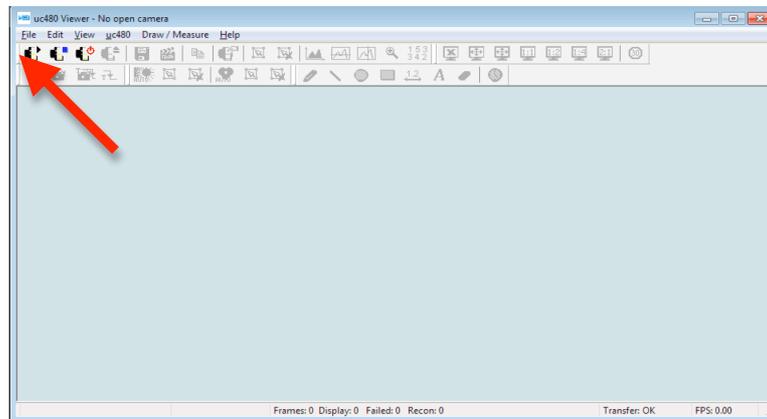


Ilustración 37: Ventana inicial software Thorlabs.

Asegurarse que la tapa protectora de la óptica ha sido retirada. En ese momento deberíamos tener imagen en la ventana principal. De no tener eso aparecerá una ventana negra, puede que configurando los parámetros siguientes se solucione*. Ahora deberemos realizar el ajuste final a la posición de la cámara. Para ello quitamos el freno del trinque y posicionamos la cámara hasta que la imagen del usuario quede bien centrada. Trincamos la cámara y apretamos el botón "Scale Display to Window size" (se reajusta a la pantalla, ilustración 38).



Ilustración 38: Icono de Reescalado

* De no tener imagen habría que comprobar que el cable USB está bien conectado y que nuestro PC reconoce nuestro dispositivo (DCC1545M). En el ANEXO J se pueden ver posibles problemas que pueden surgir y sus posibles soluciones .

Ahora es el momento para ajustes de la óptica. Cuanto más abramos el iris más cantidad de luz entrará al sensor, pero del mismo modo afectará a nuestra profundidad de campo. Teniendo posiblemente muy crítico el foco, con lo que al más leve movimiento del usuario, la imagen quedará “rozada” de foco o lo que es lo mismo ligeramente desenfocada (la detección de características puede verse afectada). Por ello se recomienda no abrir por completo el iris de la óptica, manteniendo una buena relación entre apertura de iris y el resto de características. Por eso se debe:

- 1º Posicionar bien las luces de IR. Direccionándolas a la cara del usuario.
- 2º Regular la potencia de intensidad luminosa mediante el potenciómetro.

1º El buen posicionado de las luces se podrá comprobar con la buena relación de luces y detalle que tengamos en la imagen. Esto se comprueba en que no nos queda una imagen con sombras, y que está iluminada uniformemente toda la cara (ilustración 39). Otro detalle de una buena iluminación es que podamos apreciar bien los reflejos de las lámparas en la superficie de la cornea (Purkinje 1).

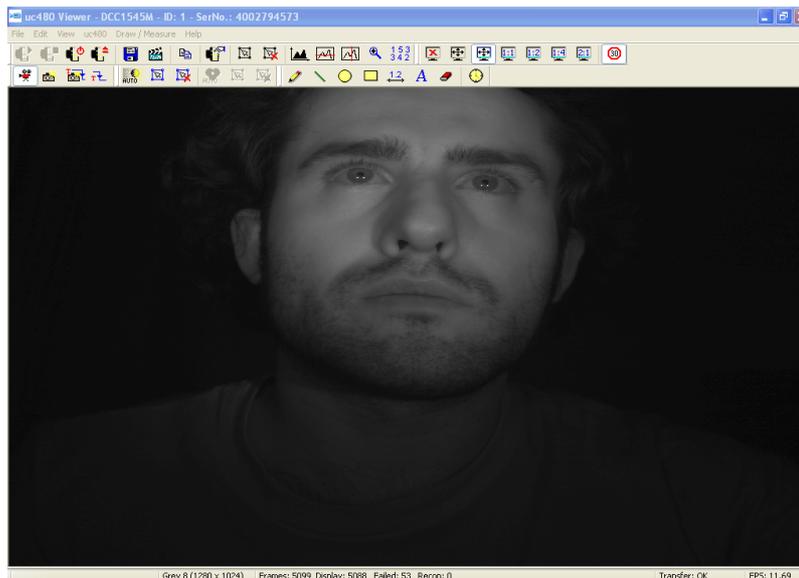


Ilustración 39: Iluminación uniforme de la cara.

2º Se puede hacer uso del potenciómetro de las lámparas de IR para dar o quitar intensidad luminosa en la imagen. Finalmente, y en cuanto a ajustes de la óptica se refiere ajustamos el anillo de enfoque. Una buena apreciación de buen enfoque en la imagen será ver el detalle de reflejo en los ojos.

Ahora deberíamos estar viendo una imagen del usuario centrada, enfocada y bien iluminada. Es el momento de afinar una serie de parámetros de la cámara. Tras haber pulsado el botón de “Properties”, Ilustración 40, una nueva ventana con una serie de pestañas nos aparecerá (ilustración 41).



Ilustración 40: Icono de Properties.

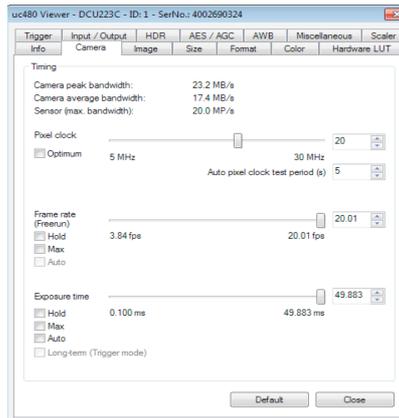


Ilustración 41: Ventana de Properties.

En esta ventana se configuran todos los aspectos importantes de la captura de la imagen: como el Píxel clock, Frame Rate y el exposure time. Estos elementos junto a la iluminación (luz, iris) que tengamos son determinantes a la hora de obtener una imagen nítida y contrastada. Cuanto mejor calidad de imagen sea la que obtengamos más fácil será el trabajo posterior de detección y procesado de características que necesitamos sacar de los ojos. Por eso el papel de obtener un escenario propicio para la buena extracción de características. Este se conseguirá manteniendo un compromiso entre la cantidad de luz que llega al sensor y los parámetros descritos de captura de la cámara.

Guardamos el archivo .ini con los valores ajustados en la carpeta “Debug” del programa GT:

- **File > Save Parameters > to file > uc480 > Guardar**

Cerramos el “Camera Viewer” y abrimos el programa GT (ver Anexo L).

5.2. Ajustes de ITU GT

Ejecutamos el GT accediendo a la carpeta:

- **Debug > GazeTrackerUI.exe**

Aparecerá una ventana como la de la lustración 42, donde tendremos la imagen que estemos capturando.



Ilustración 42: Ventana inicial software GT.

Seleccionamos en la pestaña “Visualization” el modo “processed”, después colocas la imagen en modo pantalla completa en el icono de frame.

Ahora en la ventana inicial el botón de “Setup” para acceder a la selección del modo y a los ajustes de umbrales. Seleccionas “Remote Binocular”, que es el sistema que hemos elegido y ajustas en la pestaña de “Advanced” el umbral de “Eye” y “Pupil” hasta que quede una imagen parecida a la siguiente ilustración 43. El color rojo te dice el umbral que has colocado para detectar la pupila y el rectángulo amarillo para detectar los ojos. También podemos ver los destellos, glints, de las dos lámparas.

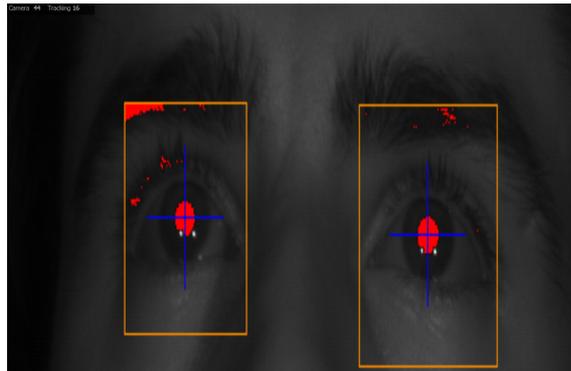


Ilustración 43: Ajuste de Eye y Pupil.

Lo siguiente que se debe ajustar son los Glints de cada ojo. Su umbral se ajusta con unas cruces de color amarillo. Tras ajustar todos los parámetros y si estamos en modo de imagen “Processed” tendríamos algo como la ilustración 44.

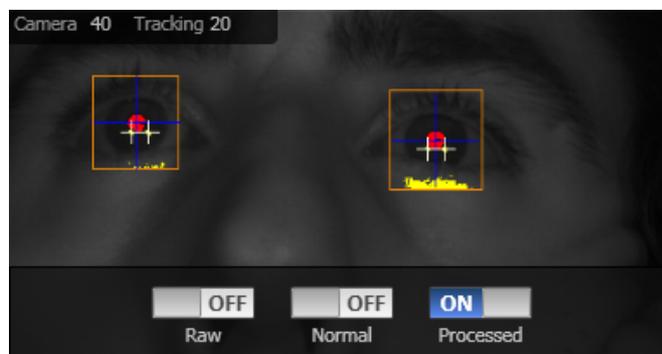


Ilustración 44: Ajuste de glints.

El tiempo empleado en el ajuste puede variar bastante hasta encontrar los valores adecuados y que el sistema se mantenga estable. El principal elemento de estabilidad es una buena iluminación y detalle de los ojos, de ese modo se facilita la detección de las características del ojo. Una vez que observamos que se mantienen detectadas pupila, ojo y destellos se puede empezar la calibración (previamente se ajusta el número de Targets, fondo, etcétera, en la pestaña Calibration). Si es una calibración válida (ilustración 45) damos a “Continue” y abrimos el programa de JavaPlaphoons.

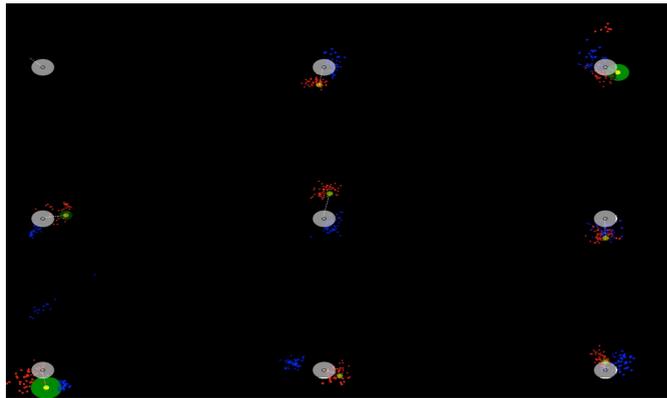


Ilustración 45: Ventana de calibración.

En la ventana de calibración se muestran las muestras obtenidas durante el proceso tanto del ojo derecho (azul) e izquierdo (rojo). Así como la desviación obtenida a cada Target.

5.3. Ajustes de JavaPlaphoons

Seleccionamos un Plafón con el que vamos a trabajar. Apretamos el botón de MouseClick y damos al botón de “Start” en el GT. Tras esto el control del ratón y la dirección del mismo lo tendrá la mirada.

6 CALIBRACIÓN Y PRUEBAS

En esta sección se da una manera de poder interpretar los resultados obtenidos tras la calibración del sistema, y la manera que tiene de representar los resultados. Así como de proporcionar una forma objetiva de comparar el grado de fiabilidad del eye-tracker. Es difícil que la calibración del eye-Tracker sea la misma de un experimento a otro ya que las condiciones de ese momento pueden cambiar

6.1. Targets

Para poder comparar los valores captados y la posición de lo que se esta mirando se hace uso de unos puntos de referencia llamados "target". El valor de regencia del target que se usará para luego sacar los resultados de calibración es su centro, de color blanco o negro (el color puede variar, ilustración 46).

Estos targets o puntos de referencia aparecerán al usuario siguiendo un patrón correspondiente al tamaño de la pantalla, sacando de esta manera los puntos máximos del ángulo de visión que servirán para sacar los límites de referencia de la pantalla para el software del programa.

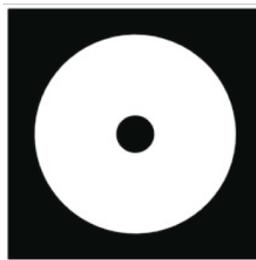


Ilustración 46: Target.

6.2. Exactitud y precisión.

Entre los diferentes parámetros de medidas para describir la calidad del uso de un eye Tracker las más importantes son la robustez de seguimiento de la mirada (robustez del programa), la exactitud (accuracy) y la precisión. Son parámetros objetivos de la calidad de un sistema. Estas pueden variar debido a las variaciones entre usuarios y por las propiedades ambientales de donde se realice el experimento. Durante la captura de datos, estas tres medidas cuentan con la mayoría de errores en la captación de muestras y por eso son usadas como indicadores de calidad y validación para el buen funcionamiento del eye-tracker.

Un sistema con buena exactitud y precisión proveerá de mayor número de datos validos y dará con mayor exactitud los lugares donde el usuario esta prestando atención con la mirada.

Exactitud:

Accuracy es la palabra inglesa que hace referencia y se define como un valor expresado por la media entre la posición real y la medida tomada por el eye - tracker, en las ilustración 47 se hace referencia.

Precisión:

También llamado desviación. Es un valor definido como la capacidad del eye- Tracker de reproducir fielmente el mismo punto de la mirada con el que se ha medido. Mide la variación de las muestras tomadas según le van llegando haciendo uso de la media cuadrática (RMS) de las sucesivas muestras. Ese valor nos dará la desviación típica entre muestras.

En la siguiente ilustración se muestra el comportamiento de la accuracy y la precisión. La exactitud es presentada como la media entre los puntos donde la persona esta mirando (los puntos oscuros) y los puntos medidos por el eye Tracker (las cruces rojas). Las medidas de precisión muestran lo fielmente que el eye Tracker ha reproducido una muestra de la mirada (la desviación entre las X) y son calculadas usando la media cuadrada (RMS) de las sucesivas muestras.

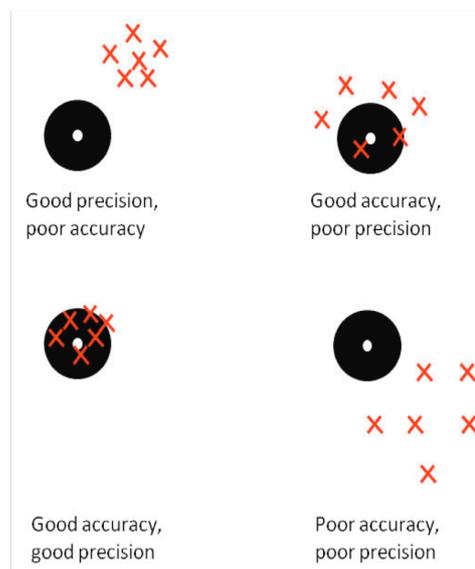


Ilustración 47: Valoración de Accuracy y Precisión.

Las medidas de exactitud y precisión son dadas en términos de ángulo de visión. En la siguiente figura la línea roja discontinua muestra la dirección visual del usuario. Mientras que la continua representa la estimación dada por el eye

Tracker. El ángulo de visión es representado como la desviación en grados entre las dos líneas, ilustración 48.

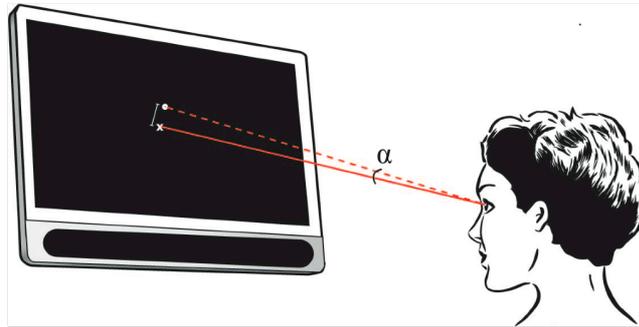


Ilustración 48: Ejemplo cálculo de desviación

6.3. Cálculo de la Precisión

Su cálculo se realiza haciendo uso del valor cuadrático medio de las sucesivas muestras que se van tomando de nuestros ojos. Se haya calculando el valor cuadrático medio de las sucesivos puntos (en grados de Angulo de visión θ_i , entre los sucesivas muestras x_i, y_i), se toma para cada ojo (en caso de sistemas Remote, uno para Headmounted) y se da como una media de los dos. La fórmula matemática es la siguiente:

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_i^2} = \sqrt{\frac{\theta_1^2 + \theta_2^2 + \dots + \theta_n^2}{n}}$$

Ecuación 3: Cálculo del valor cuadrático medio.

Donde θ es el ángulo de visión expresado en grados y n es el número de muestras almacenadas. Usando las diferentes muestras de ángulo visual obtenemos la diferencia angular entre la muestra 1 y la muestra 2 (ilustración 49). La precisión es calculada para cada ojo individualmente y como una media de ambos.

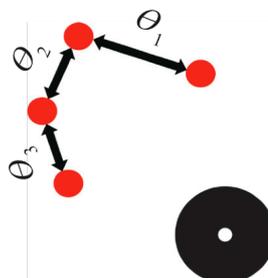


Ilustración 49: Cálculo de la diferencia angular.

En el programa a usar ITU Gaze Tracker la precisión es calculada como la desviación típica del conjunto de datos, que es equivalente al valor cuadrático

medio normalizado por la media. Precisión basada en desviación típica es normalmente menos dependiente del numero del frame rate (fps).

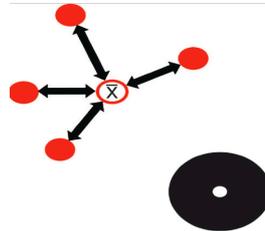


Ilustración 50: Cálculo del grado de desviación.

Dependiendo del sistema de Tracking que estemos usando la accuracy y la precisión se calculará de diferente manera. La siguiente tabla ilustra esto último:

	Accuracy	Precisión
HeadMounted	Calculo de la media al centro de la pupila de todas las muestras.	SD del centro de la pupila con respecto todas las muestras
Binocular	Calculo de la media al centro de los "Glint" de todas las muestras.	SD del centro de los Glint con respecto a todas las muestras capturadas.

Tabla 3: Cálculo de Accuracy y Precisión.

Las muestras capturadas se refiere a cada punto de referencia (Target) en cada caso. Aparte del hardware y del software que estamos usando hay una serie de variables que también juegan un papel importante a la hora de afectar a la Accuracy y la Precisión, estas son:

- Las propiedades del usuario.
- El tipo de iluminación ambiental que haya.
- Estimulo de la calibración

6.4. Propiedades del usuario

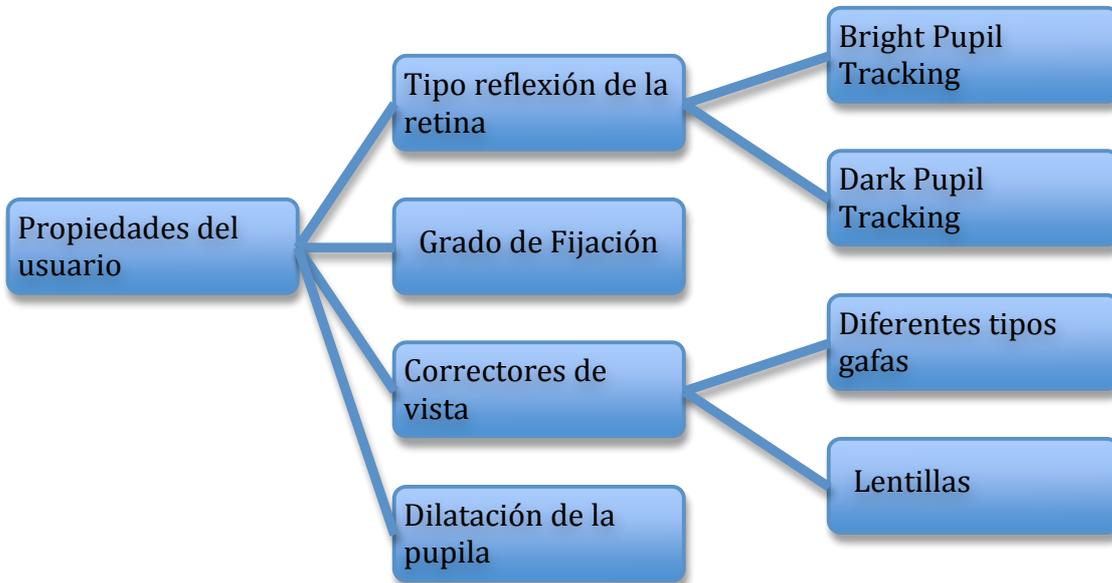


Diagrama 7: Propiedades del usuario.

El anterior diagrama muestra las diferentes propiedades de un usuario que pueden afectar a la accuracy y a la precisión de una calibración.

El tipo de reflexión de la retina se refiere a que dependiendo de la persona es preferible usar técnicas Bright Pupil o dark Pupil. Debido a que hay una gran variación de respuesta en la retina en todas las personas. Esto viene de un estudio en el que el principal hallazgo fue que la intensidad de la pupila se correlaciona con el tamaño de la pupila. Con grandes tamaños de pupila se producen valores de alta intensidad, pero también muestra una gran variación entre los individuos. Esto apoya la idea de que a pesar de que el tamaño de la pupila tiene un fuerte efecto sobre la respuesta de los Tracking de Bright pupil, no es el único factor involucrado. En el mismo estudio (Nguyen, mirar bibliografía) trató de determinar si la etnia podría explicar parte de la respuesta diferencial de los individuos, sin embargo, debido al pequeño tamaño de muestra no se observaron efectos fuertes. Independientemente de estos resultados constató que la gente de diferentes etnias tiene diferentes características y sus respuestas son diferentes dependiendo del tipo de Tracking (Dark o Bright pupil).

La capacidad de fijación se refiere a cómo de bien una persona es capaz de fijarse en un punto específico con los dos ojos. Existen ligeras diferencias entre la fijación de las coordenadas proporcionada por el ojo izquierdo y derecho, y en algunos individuos esta diferencia puede ser bastante grande.

Las propiedades de iluminación dadas en el lugar donde situemos el sistema también pueden afectar a la accuracy y a los valores de precisión. Ya que ambos dependen de la iluminación.

6.5. Estímulos de la Calibración

En general, a mayor número de targets para la calibración mejores resultados obtendremos. El software de GT nos da la opción de calibrar con 9, 12 y 16 puntos de referencia. Al final la calidad de la calibración dependerá del número de imágenes que la cámara produce para cada punto de referencia. Eso significa al final más o menos muestras que el sistema será capaz de procesar.

6.6. Pruebas de Calibración

Para realizar unos test mucho más concluyentes y certeros se necesitarían de unas herramientas de medida que no se disponen (fotómetros, chin-rest, ojos artificiales). En su defecto se tratará de mantener unas condiciones ambientales y de posicionado del sistema lo más estables posibles. A continuación se muestran una serie de datos de los elementos usados durante las pruebas:

Pantalla Samsung de 20".

Procesador AMD Athlon 64, 2,2GHz, 896 MB de RAM

Distancia del usuario al monitor es de 600 mm.

Número de Targets usados: 9.

Para evitar la luz exterior y otro tipo de luces artificiales las pruebas se harán en completa oscuridad. De ese modo se buscará tener cierto grado de homogenización entre las pruebas.

Una vez se ha conseguido tener cierta estabilidad con el programa GT paso a comentar ciertos datos de la configuración de Tracking:

- Eye: Sensibilidad = 4, Range = 30-188
- Pupil: Sensibilidad = 27, Range = 5-33
- Glint: Sensibilidad = 89, Range = 1-50

El tiempo empleado en dejar el sistema estable ha sido de unos 7 minutos. Este tiempo puede variar hasta encontrar el ajuste necesario para dejar cierta estabilidad que haga posible la calibración.

El sistema esta trabajando con alrededor de unas 40-50 imágenes/segundo. Ese será aproximadamente el mismo número de muestras que se obtendrán por cada ojo por cada Target mostrado en pantalla.

Paso a realizar una primera calibración:

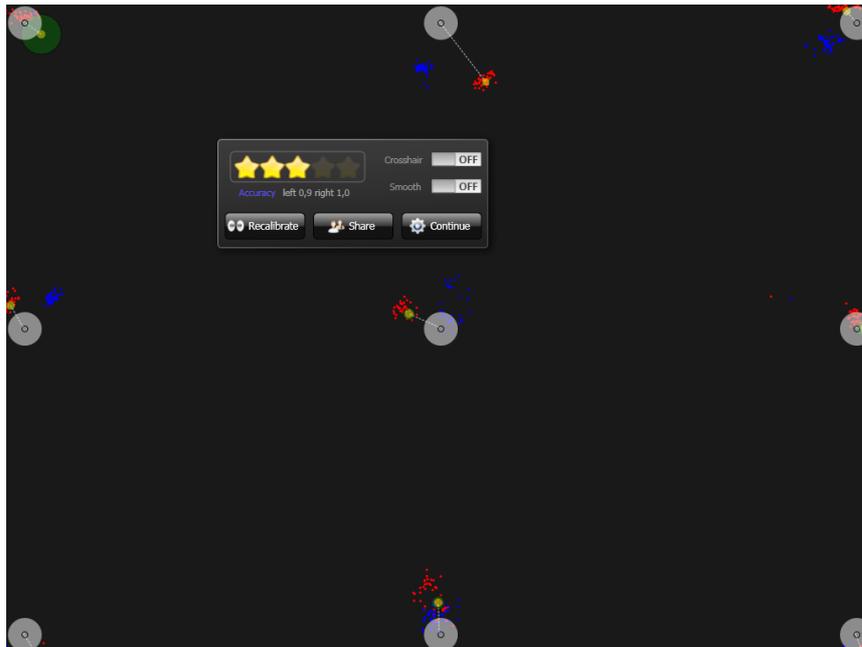


Ilustración 51: Resultados Primera Calibración.

Viendo la pantalla de Feedback del programa GT se tiene una Accuracy de 0.9° para el ojo izquierdo y de 1° para el ojo derecho. Se puede observar que en general se ha obtenido una buena separación en cuanto a muestras obtenidas por cada ojo (rojo = izquierdo, azul = derecho). La accuracy no es todo lo buena que sería necesario en los Targets de la parte de arriba, ya que están alejados de los propios Targets.

Realizando una segunda recalibración con las mismas condiciones descritas antes se tiene:

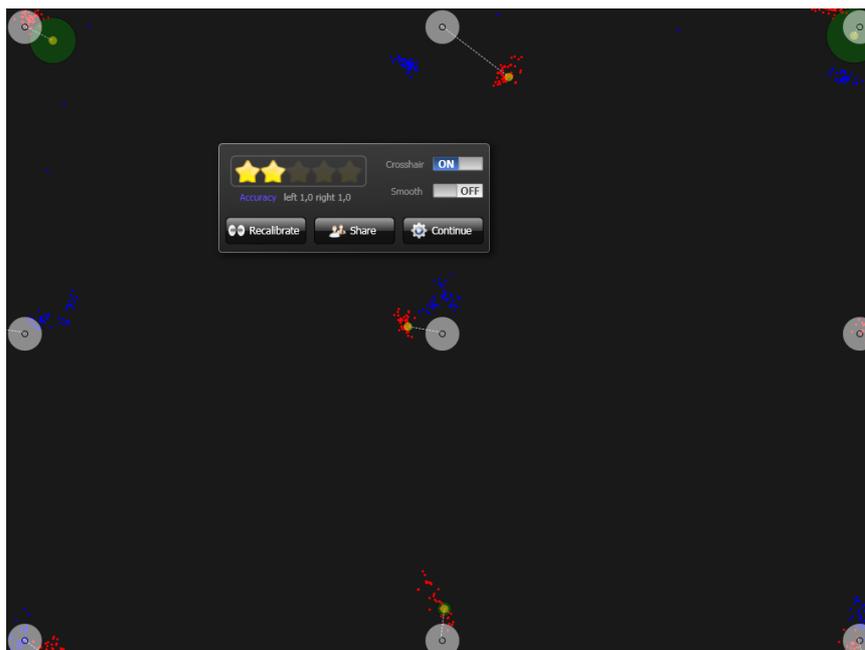


Ilustración 52: Resultados segunda calibración.

Observando el Feedback se tiene una Accuracy de 1° para cada ojo. Se vuelve a tener una no muy buena Accuracy para la parte de arriba del monitor e incluso ha empeorado en algunos puntos de la pantalla.

En una tercera recalibración:

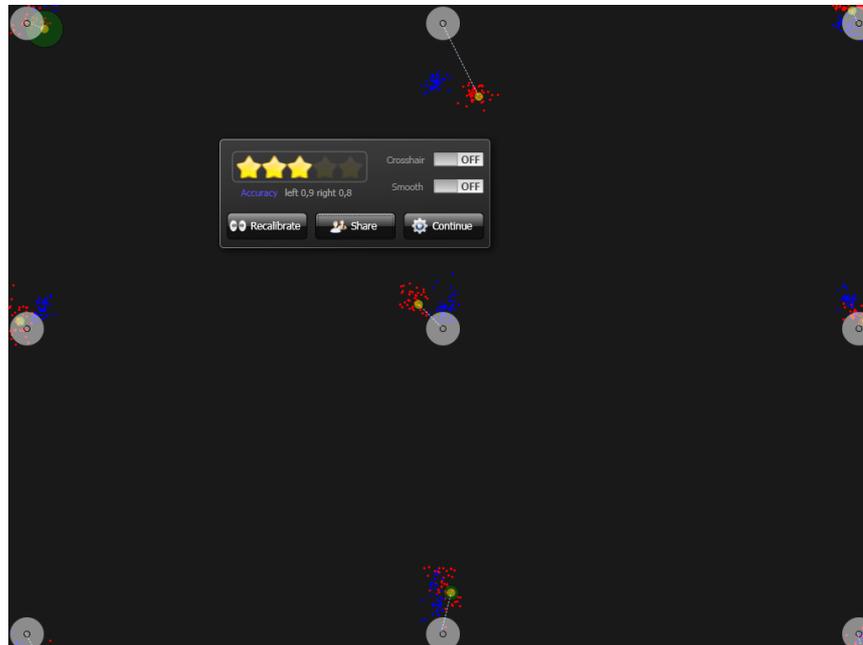


Ilustración 53: Resultados tercera calibración.

Se obtiene una Accuracy de 0,9° para el ojo izquierdo, y 0,8° para el ojo derecho. Se ha mejorado en la Accuracy en términos generales y se ha obtenido una aceptable Precisión en los Targets (muestras alrededor de los Targets). Para que sirva de referencia y como se dijo en el Capítulo 1, los eyetrackers comerciales suelen tener una Accuracy menores de 0,5°.

7 PRESUPUESTO Y CONCLUSIONES

En esta sección se aporta el desglose de los costes por la realización de el proyecto. Se desglosara tanto los gastos de personal como el coste del material y las herramientas. Las fases del trabajo son las siguientes:

FASE I	Búsqueda y análisis de información	200 horas
FASE II	Fabricación del Hardware	30 horas
FASE III	Desarrollo de Software	20 horas
FASE IV	Pruebas y mejoras	340 horas

La tabla anterior muestra las fases en las que ha estado dividido el proyecto y el tiempo de duración aproximado de cada una de ellas. El tiempo total es de 590 horas. Teniendo como referencia que una hora de trabajo tiene un coste de 30 euros, el coste personal final asciende a 17.700 euros. La siguiente tabla muestra los distintos elementos de material usado, el número de ellos y su correspondiente coste.

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO(euros)
Cámara DCC1545-M	x1	300,15
Óptica MPL 8-16	x1	206,5
Filtro Opteka	x1	20
Mini-Trípode	x1	5
Diodos VTE-1291-2H	x18	4 (0,3 ud)
Resistencias	x4	0,6(0,15 ud)
Placa de fibra	x1	2,8
Potenciómetro Lineal	x1	0,4
Interruptor	x1	0,5
Adaptador de corriente	x1	5
Clavija hembra	x1	0,6
Guías deslizantes	x2	3(1,5 ud)
Otros gastos*		10

* En este gasto van elementos como la madera, tornillos, hilo y cable.

El coste de la herramienta usada queda desglosado en la siguiente tabla:

HERRAMIENTA	CANTIDAD	PRECIO(euros)
Ordenador	x1	500
Monitor	x1	180
Destornilladores	X3	6
Alicates	X2	8
Pegamento	x1	4
Soldador y Punta	X1	15
Desoldador	x1	6
Estaño	x1	1,5
Polímetro	x1	25

En la siguiente tabla se muestran la tabla completa de costes y otros gastos (desplazamientos, llamadas, etc.).

CONCEPTO	IMPORTE
Coste personal	17.700 €
Coste material	558,5 €
Coste herramienta	745,5 €
Otros gastos	300 €
Subtotal	19.304 €

I.V.A. (18%)	3475 €
TOTAL	22.779 €

El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de 22.779 €.

El ingeniero proyectista,

Fdo: Julio César Moya González

El coste total de este proyecto no correspondería con el coste de fabricación de los sucesivos montajes que se quisieran montar del hardware del sistema. Ya que para futuros montajes sólo serían necesarias alrededor de 30 horas para la fabricación del hardware. Teniendo como referencia el coste aproximado de un operario de 15 €/hora tenemos:

CONCEPTO	IMPORTE
Coste personal	450 €
Coste material	558,5 €
Coste herramienta	745,5 €
Subtotal	1754 €
I.V.A. (18%)	315 €
TOTAL	2.069 €

El precio aproximado de un equipo completo: sistema hardware, ordenador, monitor, etc. sería de unos 2069 €.

7.2. CONCLUSIONES

7.2.1. Objetivos alcanzados

El principal objetivo propuesto era el de dar una solución de bajo coste de un producto de guiado visual que sirviera de partida para futuros proyectos del departamento y que pudiera satisfacer las necesidades de los alumnos del colegio Peñalara de Madrid. Este objetivo ha sido alcanzado, ya que se ha presentado un sistema hardware completamente propio donde se ha tratado de guardar una buena relación calidad/precio en la construcción del sistema. Tal vez la expectativas personales no se hayan visto cubiertas del todo, en cuanto a la robustez y fiabilidad del producto software, ya que eran unas expectativas vistas en el inicio del proyecto sin tener en cuenta el verdadero funcionamiento de estos sistemas de guiado visual y su verdadera problemática.

En cuanto al autor del proyecto también ha adquirido nuevos conocimientos sobre el funcionamiento de los sistemas de guiado visual. Dichos conocimientos eran nulos al inicio del proyecto, con lo que fue necesario un periodo largo de recopilación de información y entendimiento de funcionamiento de los diferentes programas, elementos, etcétera. Los conceptos teóricos y físicos han sido puestos en práctica con la realización de un sistema propio. Tanto del sistema principal (Remote), como de un sistema a parte (Headmounted) para su uso en diferentes pruebas. El presente proyecto como experiencia personal me ha servido para involucrarme y tratar de entender una tecnología completamente desconocida hasta la fecha de inicio del proyecto.

7.2.2. Líneas futuras

En este punto se mencionarán los posibles futuros desarrollos que se pueden hacer a partir de la solución aportada. Tanto a nivel de Hardware como de Software.

7.2.2.1. Hardware:

- Se podrían mejorar los soportes de las lámparas de diodos para que se adaptaran directamente a las esquinas inferiores de los monitores. Esta mejora se podría realizar mediante el uso de unas pinzas que engancharan los diferentes monitores. Del mismo modo se podría usar alguna superficie adherente como pegatinas de velcro, para cualquier tipo de monitor.
- Se podrían probar otras lámpara de diodos de diferentes longitudes de onda y potencia de irradiación, para de ese modo obtener una iluminación que mejore la detección de los elementos de extracción de características del programa ITU Gaze Tracker. A su vez se debería realizar un estudio más profundo de los niveles de potencia total de radiación de la lámparas y confirmar en mediciones prácticas que los datos del Datasheet del diodo coinciden, para calcular con mayor grado de exactitud los umbrales de radiación IR a los que se esta exponiendo con el sistema, ver Anexo C.
- Probar otras cámaras con diferentes características: Webcams, cámaras caseras, cámaras de teléfonos móviles, etcétera. Y así poder abaratar costes, apreciar mejoras, diferencias en el funcionamiento.

7.2.2.2. Software:

En el funcionamiento global se puede trabajar en agrupar y hacer más sencillo la manera de configurar y trabajar con los distintos programas. Ya que es preciso usar tres programas diferentes. Se podría reducir a uno sólo, además de trabajar en el guardado de características. Para que una vez un usuario se ha configurado el sistema, no tenga porque repetirlo en sucesivos usos.

Mejoras del software ITU Gaze Tracker :

- Se podía mejorar la robustez del programa en cuanto a la detección de las características del ojo. Esta mejora se encaminaría en trabajar en nuevos algoritmos de detección o mejorar los existentes, adaptándolos al problema y a las personas con las que se va a probar el sistema de guiado visual.
- Se podría trabajar en mejorar la opción de guardado de características de un usuario, para de ese modo una vez el sistema este ajustado a un usuario fuera posible guardarlos y recuperarlos en otra ocasión. Esto facilitaría el proceso de ajustes y calibración de programa.
- Se podría trabajar en crear una caja imaginaria (box), donde se pudiera mover el usuario sin que se perdiera la detección de las características del usuario.
- Trabajar en mejorar los desajustes de calibración una vez esta el sistema en marcha y así evitar la recalibración.

- Ajustar unos parámetros básicos (time exposure, pixel clock) para situaciones de ausencia de luz, de ese modo se podría reducir el tiempo de ajuste del GT ya que no sería necesario el uso del programa Camera Viewer.

Mejoras en JavaPlaphoons:

- Desarrollar nuevos mecanismos de ejecución de los pictogramas. Estos sistemas podrían estar basados en métodos estadísticos de probabilidad de las posibles imágenes que tienen porcentajes más altos de ser ejecutados por el usuario. Recogiendo información estadística del usuario que está usando el sistema para aprovecharla en sucesivos usos.
- El click de ratón se puede mejorar para que en vez de ser un botón agregado al programa de javaplaphoons sea un programa totalmente externo, por ejemplo una aplicación flash en la que también se podría implementar la funcionalidad del click derecho.

ANEXO A: Cálculo de la resistencia usada en los diodos.

Para adecuar el paso de corriente (I) por los diodos debemos colocar unas resistencias para que regulen su paso a través de ellos. En este apartado se describe que valor de resistencia es el que necesitamos. Para los siguientes cálculos será necesario hacer uso de la ley de Ohm.

$$V = I \times R$$

Ecuación: Ley de Ohm.

Como para la alimentación del circuito se va a utilizar un adaptador de corriente continua de 12 voltios y 1000 miliamperios, para adecuar el paso de corriente por los diodos y para su correcta variación de potencia de emisión de IR, será necesario también el uso de un potenciómetro, que no es más que una resistencia a la que podemos regular su valor:

Teniendo en cuenta la hoja de especificaciones de los diodos tenemos un $V_F = 1.5$ voltios (tensión directa). Como corriente normal de trabajo en estos diodos tomaremos para el cálculo medio 20 miliamperios (mA) de corriente.

De este modo serán necesarios 4.5 voltios por rama (irán tres diodos) y por cada una de las ramas necesitaremos 20 mA. El valor de la Resistencia para el caso de 9 diodos se puede calcular como:

$$R = (V_{\text{alimentación}} - V_{\text{diodos}}) / (20\text{mA} \times n^{\circ} \text{ de ramas})$$
$$R = (12 - 4.5) / (0.02 \times 3) = 125 \text{ ohmios}$$

Para el caso de 6 diodos:

$$R = (Alimentación - Diodos) / (20\text{mA} \times n^{\circ} \text{ de ramas})$$
$$R = (12 - 4.5) / (0.02 \times 2) = 187^* \text{ ohmios}$$

Para ambos valores la potencia de la resistencia necesaria será de $\frac{1}{2}$ watio. Esto queda demostrado haciendo uso de la ecuación 4 de la siguiente manera:

$$P = V \times I = \text{Vatios.}$$

Ecuación 4: Algoritmo para el cálculo de la potencia.

$$P = V \times I = 7.5\text{v} \times 0.06\text{a} = 0.45 \text{ vatios, para el caso de 9 diodos.}$$

$$P = V \times I = 7.5\text{v} \times 0.04\text{a} = 0.3 \text{ vatios, para el caso de 6 diodos.}$$

Como comercialmente en una tienda, los valores de potencia en una resistencia son de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ y 1 Watio es sólo posible decantarse por las de $\frac{1}{2}$ watio para ambos casos. La siguiente ilustración muestra la disposición de los componentes.

* Debido a que el valor que nos ha dado no es un valor normalizado escogeremos el inmediatamente valor normalizado que exista en el mercado de componentes que será 180 o 220 ohmios.

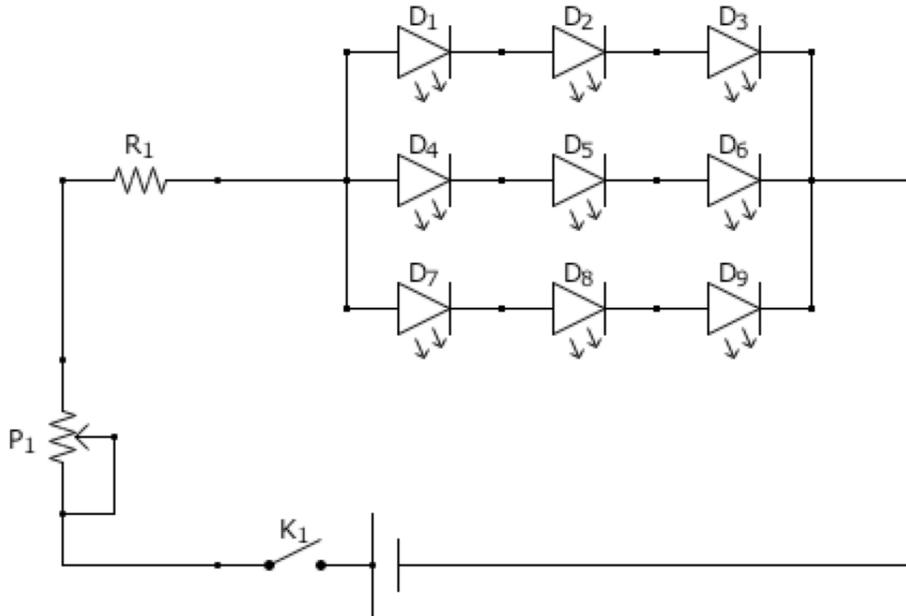


Ilustración :Esquema del circuito de iluminación.

Teniendo como el nivel máximo de potencia el que va a trabajar el circuito se ha decidido colocar una resistencia del valor calculado en serie con un potenciómetro lineal. Una vez montados los diodos podemos montar las resistencias en una placa board y comprobar que las lámparas lucen bien aplicando la tensión adecuada y haciendo uso de la cámara de video de cualquier móvil para ver tras el que los diodos lucen. Debemos ser capaces de ver que todos los diodos se iluminan y que podemos variar el potenciómetro haciendo así variar la intensidad luminosa de los diodos.

Para montar las resistencias cogemos un trozo de placa de vidrio y colocamos las resistencias haciendo uso del soldador. También será necesario soldar los cables de interconexión de las lámparas y las resistencias. Ambas lámparas irán conectadas en paralelo .

ANEXO C: Seguridad ocular ante el uso de luz infrarroja.

En este anexo se da la información acerca de los límites de radiación a los que se puede exponer al ojo sin que haya peligro alguno. Se ha tomado como referencia el estudio realizado por la Asociación COGAIN, en concreto el documento "D5.4 Exploration of safety issues in Eyetracking" y el documento: "Eye Safety of IREDs used in Lamps Applications" de Osram.

Descripción de los posibles peligros debidos a la radiación IR:

En general, las guías de seguridad de cualquier tipo de radiación identifican al menos cinco tipos de peligros potenciales para el ojo que normalmente deben ser evaluadas de forma independiente para garantizar la seguridad óptica (ACGIH, 1998), la siguiente tabla muestra el tipo de daños en el ojo dependiendo de las longitudes de onda con la que trabajemos. Estas son:

1. Lesiones en la cornea (photokeratitis) y en el cristalino (cataract, cataratas) derivados de radiaciones ultravioletas. Para emisiones con una longitud de onda comprendidas en 180 nm a 400 nm.
2. Daño térmico (retinal Burns) en la retina del ojo, para fuentes de 400nm a 1400 nm.
3. Lesiones en la retina debidas a luz azul, fuentes emisoras de 400nm a 550 nm.
4. Daños térmicos (Thermal Skin hazard) en el cristalino y la córnea debido a radiación cercana a radiación infrarroja, emisiones de 800 nm a 3000 nm.
5. Quemaduras en la cornea (corneal burns) para radiaciones de 1400nm a 1mm.

Nonionizing Radiation Band	UV-C	UV-B	UV-A	VISIBLE	IR-A	IR-B	IR-C	
Wavelength (nm)	100	280	315	400	760	1400	3000	10 ⁶
Adverse Effects	Photokeratitis		Retinal Burns		Corneal Burns			
	Cataract		Cataracts					
Skin Penetration of Radiation (Depth)	Erythema		Color Vision Night Vision Degradation		Thermal Skin Burns			

Tabla : Tipos de daños dependiendo de la radiación.

Para los LED con los que se ha trabajado en este proyecto (ver Anexo B), su longitud de onda es de 880 nm, estaría comprendida en el rango de los IR-A. Es el mismo rango que muchos otros eyetracker, como por ejemplo el que usa la empresa privada Eye-Tech (ver página 4 de este proyecto).

Así que sólo los aspectos 2 y 4 son los que se tendrán en cuenta. Ya que no debería ser detectable en el IR-A los rayos ultravioleta o la luz azul. EL daño térmico en la retina del ojo (2) normalmente necesita de unos valores de radiación muy grandes, tales a lámparas xenon si la luz es visible, la exposición en ese caso estaría limitada a 10 segundos o menos; sin embargo en casos en que la fuente de radiación este cercana a los infrarrojos y aunque la exposición sea débil los peligros de dañar la retina están presentes para exposiciones continuadas.

Por lo tanto este daño térmico (2) y el daño del cristalino y la cornea (4) deben ser evaluados en todo detalle por cualquier sistema de seguimiento de mirada. Para probar y quitarse de cualquier duda acerca de la emisión de rayos ultravioleta (1) sería necesario medir la emisión de las lámparas. La emisión de luz azul sería inmediatamente detectada debido a que sería visible y molestaría inmediatamente al usuario.

Aún así, y para que se tenga en cuenta respecto al uso del sistema de guiado visual expuesto. En este proyecto no se ha tomado medida alguna de la longitud de onda de los diodos empleados (no se dispone del material necesario para ello). Se ha confiado en la hoja de características de los mismos (Datasheet, Anexo B). Con lo que sería recomendable poder hacer un estudio más profundo de datos tales como la potencia total de radiación de la lámparas y confirmar que los datos del Datasheet del diodo VTE 1291-H coinciden. Este documento ofrece asistencia en la medida de lo posible, pero no garantiza que todos los peligros estén descritos en la información contenida en este texto.

Criterios para los daños oculares:

Muchas organizaciones nacionales e internacionales proveen de guías para la exposición a radiaciones en humanos y límites de exposición para el ojo y la piel. Los más prominentes son: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) de Norte América y la International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP, 1997). En la Unión Europea tenemos una directiva de radiación óptica que emplea el ICNIRP es la “2006/25/CE”, que escribe sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a riesgos derivados de los agentes físicos (radiaciones ópticas artificiales). Otras organizaciones que tengan sus propias recomendaciones para controlar los límites de exposición son :

ANSI, 2005, 2000, 2007.

CIE, 2002.

CENELEC, 2002.

IEC, 2007.

CDRH, 1995.

Actualmente sólo existen dos modelos de estandarización para poder aplicar en el uso de lámparas infrarrojas. Estas son:

El estándar de iluminación del IEC/CIE(Lamp Safety): IEC 62471/CIES009-2006, Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems.

El estándar del CENELEC para el uso de laser: *EN 60825- 1:1994* (+ corr. Feb. 1995) + A1:2002 + A2:2001 (+ corr. Apr. 2004) -- Amendment 2 to Safety of Laser Products - Part 1: Equipment Classification, Requirements, and Users' Guide.

Daños térmicos producidos por los IR-A:

Dentro de este contexto se ha discutido mucho sobre el nivel de seguridad adecuado, ya sea la norma láser (transmisión de datos) IEC-60825 o la seguridad del Standard de iluminación IEC-62471 que se aplican a la clasificación de los LEDs. Antes de mediados de 2006, todas las aplicaciones LED estaban cubiertas por la norma IEC-60825. Hoy en día la mayoría de las aplicaciones LED están cubiertos por la IEC-62471. Sin embargo, los métodos que se presentan y los cálculos que se van a utilizar están sacados de la directiva de la Unión Europea 2006/25/CE, a su vez, y para que sirva de regencia toda la información de continuación esta sacada del documento "Aye Safety of IREDS used in Lamp Applications " de la marca Osram.

Dicho documento se centra en el IR-A, por lo que los daños y riesgos derivados por rayos ultravioleta o por la radiación de color azul no se consideran (esto no significa que no deban ser estudiados). La nota ofrece una guía para clasificar las aplicaciones que utilizan componentes de infrarrojos que emiten en relación con la seguridad del ojo. Los límites de riesgo a una exposición de IR-A son descritos por el estándar IEC 62471 y son:

A). Peligro a la exposición de radiación infrarroja para el cristalino y córnea.

B). Peligro de la retina, límite de exposición.

El daño causado por la radiación IR-A es causada principalmente por el sobrecalentamiento del tejido irradiado, lo que resulta con la destrucción de las células. Esto puede provocar, por ejemplo, una **perdida permanente de la visión**.

Los límites de la irradiación de la piel y la córnea se puede calcular de una manera muy simple.

A)Cálculo del límite de exposición para la cornea:

El ICNIRP y el ACGIH recomiendan de un máximo de exposición corneal diaria de 10 mW/cm² de irradiación total para longitudes de onda de 780-3000 nm

Los valores de exposición a las radiaciones ópticas puede calcularse de la siguiente manera:

$$E_{IR} = \int_{\lambda = 780 \text{ nm}}^{\lambda = 3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda$$

Donde E_{ir} es la irradiancia calculada para el intervalo de las longitudes de onda de infrarrojos entre 780nm y 3000nm, expresada en vatios por metro cuadrado [$W \cdot m^{-2}$].

E_{λ} «irradiancia espectral o densidad de potencia espectral»: la potencia radiante que incide, por unidad de superficie, sobre una superficie, expresada en vatios por metro cuadrado por nanómetro [$W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$]; los valores $E_{\lambda}(\lambda)$ y E proceden de mediciones o puede facilitarlos el fabricante del equipo.

Para exposiciones temporales de $t < 1000$ s el límite depende del tiempo concreto al que estés expuesto:

$$E_{IR} = \sum_{\lambda=780}^{3000} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 18000 \cdot t^{-0.75} \quad [W \cdot m^{-2}]$$

Ecuación : Calculo del tiempo exposición de la cornea para tiempos inferiores a 1000 segundos.

Para exposiciones temporales $t > 1000$ s el límite esta fijado a un valor concreto:

$$E_{IR} = \sum_{\lambda=780}^{3000} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 100 \quad [W \cdot m^{-2}]$$

Ecuación : Calculo del tiempo exposición de la cornea para tiempos superiores a 1000 segundos.

El valor máximo permitido es de 10 mW/cm^2 que tiene como referencia el ICNIRP y el ACGIH. La irradiancia E_e puede ser calculada desde la Intensidad radiada I_e y la distancia d (en campo lejano) usando la ley inversa del cuadrado de la distancia :

$$E_e = I_e / d^2 = W/m^2$$

Para el sistema descrito en este proyecto y teniendo en cuenta los 18 diodos IR tenemos:

$$I_e = 65 \text{ mW/sr} \times 18 \text{ diodos (en el peor de los casos)} = 1170 \text{ mW/sr}, 880\text{nm}.$$

y suponiendo una distancia del ojo a las lámparas de 20 cm, es la distancia que usa el estándar (en el caso práctico del proyecto será de ≈ 60 cm) :

$$E_e = I_e/d^2 = 1170/20^2 = \mathbf{2,925 \text{ mW/cm}^2} < \mathbf{10 \text{ mW/cm}^2}. \text{ Para el estandar } 20\text{cm}.$$

$$E_e = I_e/d^2 = 1170/60^2 = \mathbf{0,325 \text{ mW/cm}^2} < \mathbf{10 \text{ mW/cm}^2}. \text{ Para el caso práctico}$$

B) Cálculo de los límites de exposición para la retina:

El CIE /IEC estándar internacional: IEC/CIE62471/S-009E-2006 y ANSIRP27.1-2006 de la lámpara sigue las normas de seguridad de la ACGIH(1998). Para ello calcularemos la radiación espectral, L_{IR} :

$$L_{IR} = \sum_{\lambda=780}^{1400} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq \frac{6000}{\alpha} [W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}] \quad (t > 10s).$$

Cuando calculamos los límites máximos de la retina, el diámetro de la pupila, el tamaño de la fuente de emisión y la longitud de onda emitida son parámetros importantes.

Para la radiación de IR-A el estímulo visual del ojo es muy bajo. Como no tenemos un umbral de la contracción del Iris, los cálculos los realizaremos teniendo en cuenta una completa apertura de la pupila, unos 7mm de diámetro. La fuente de luz que entra al ojo incide sobre una parte concreta de la retina. Por esta razón debemos tener en cuenta el ángulo de incidencia α ya que están relacionadas ángulo y zona de incidencia.

Debido a las limitaciones físicas y los movimientos del ojo, un valor eficaz α_{\min} efectivo se define como límite inferior (como una función del tiempo de exposición). El límite superior α_{\max} siempre es 0,1 radianes. Cálculo de ángulo subtendido α a una distancia d de visualización para una fuente media de extensión Z :

$$\alpha = Z / d \quad \text{donde } Z = (l + w) / 2$$

Donde l es la longitud (length) y w es el ancho (width) de la parte activa del diodo. En esta última función tenemos la longitud y anchura de la fuente emisora. Para medidas de radiación los límites min y max del γ_{FOV} tienen que ser usados como muestra la siguiente tabla dependiendo de los tiempos de exposición:

Time range	$\alpha_{\min \text{ eff}}, \gamma_{FOV \text{ min}}$ in rad	$\alpha_{\max}, \gamma_{FOV \text{ max}}$ in rad
$t \leq 0.25\text{s}$	0.0017	0.1
$0.25\text{s} < t < 10\text{s}$	$0.0017 \cdot \sqrt{t / 0.25}$	0.1
$t \geq 10\text{s}$	0.011	0.1

Tabla: Límites para diferentes tiempos de exposición.

El estrés térmico depende de la longitud de onda:

$$R(\lambda) = 10^{[(700 - \lambda) / 500]}$$

En la siguiente gráfica se muestra la λ longitud de onda en nm de 700 - 1050. El peligro en el stress térmico decae con el aumento de longitud de onda (R baja).

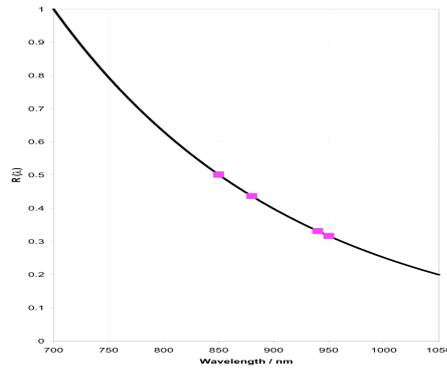


Ilustración : Gráfica de los distintos niveles de stress dependiendo de la λ .

Colocando todo junto y para longitudes de onda infrarrojas donde el estímulo de ojo es muy poco, tenemos un límite máximo para evitar cualquier riesgo de daño en la retina para tiempos de exposición mayores de 10 segundos:

$$E_{IR} = \sum_{\lambda=780}^{1400} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 18000 \cdot t^{-0.75} \quad [W \cdot m^{-2}]$$

Donde L_{λ} es la radiación espectral en $W/m^2 \text{ sr}^{-1}$, usando un valor numérico de α en radianes y t en segundos. Una buena aproximación que también se puede usar es :

$$L_{IR} \approx I_e \cdot R(\lambda) / ((l+w)/2)^2$$

Para nuestro caso práctico primero calculamos el límite de emisión, para ello será necesario saber el ángulo α :

El ángulo subtendido α lo calculamos teniendo en cuenta que el diodo según las especificaciones (Datasheet, Anexo B) tiene un $l = w = 0,15''$ pasado a mm son 3,81mm.

$$\alpha = Z/d = 3,81 \text{ mm} / 600 \text{ mm} = 0,00635 \text{ rad.}$$

$$\text{con } Z = (l + w)/2 = 3,81 \text{ mm.}$$

Como $0,00635 < 0,011$ (valor de α viendo la tabla para $t > 1000$ s).

$$\alpha_{\text{eff}} = 0,011$$

$$L_{IR} = 6000 / 0,011 = 545,5 \text{ mW/mm}^2/\text{sr}$$

Ahora calculamos el L_{IR} para nuestro sistema (caso práctico):

$$R(880\text{nm}) = 10^{[(700-880)/500]} = 0,43 \text{ (viendo la ilustración de arriba).}$$

$$L_{IR} = ((65 \times 18 \text{ mW/sr}) \times 0,43) / ((3,81 + 3,81)/2)^2 = 503,1 / 14,5161 = 34,7 \text{ mW/mm}^2/\text{sr.}$$

$$34,7 \ll 545$$

ANEXO D: Soporte de iluminación

Para poder colocar las lámparas sobre una estructura se eligió hacer uso de dos retenedores de puertas como el de la ilustración siguiente:



La parte metálica que sobresale es el imán que luego se unirá a la guía del soporte principal. En la base plana del retenedor de puertas es donde se colocará el elemento que sujetará las lámparas. Para este proyecto y haciendo uso de material que ya se disponía se cogió la parte móvil de unas Webcams (EyeToy).

El retenedor de puertas encaja perfectamente con la forma de la parte móvil de la Webcams. Para su unión he usado un pegamento especial para maderas. La forma del imán a su vez encaja al milímetro en el grosor del riel a utilizar. El resultado final es el siguiente:



ANEXO E: Dimensiones y estructura de DCC1545M.

En este anexo se muestra el tamaño, peso y elementos que componen la cámara DCC 1545M.

DCC camera

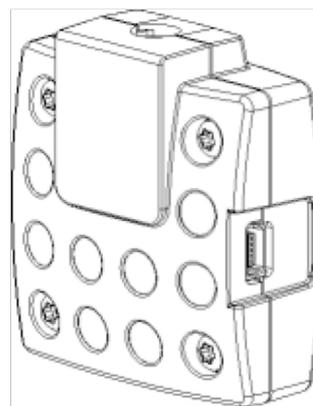
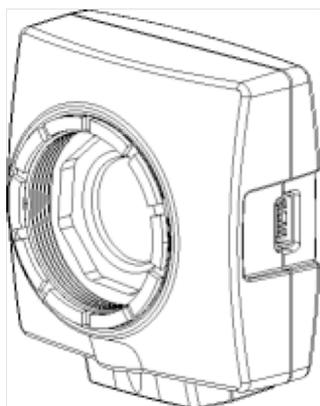


Figure 92 DCC camera isometric view

Lens mount
CS-/S-mount
SM1 mount

Enclosure protection class
IP30 (with housing)

Weight
32 g (with housing)

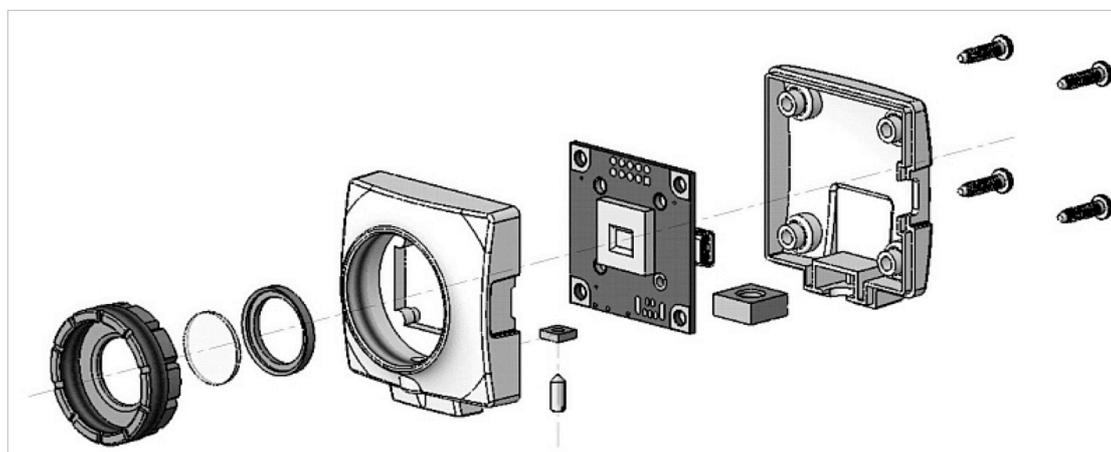


Figure 93 Exploded view of the DCC camera

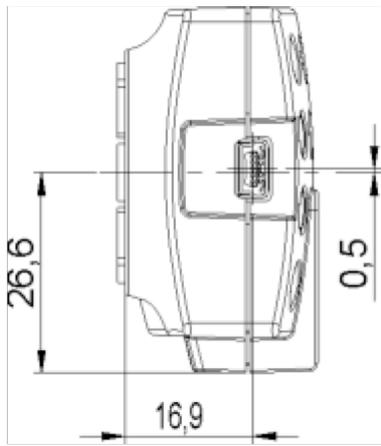


Figure 94 Side view (with interface) DCC models

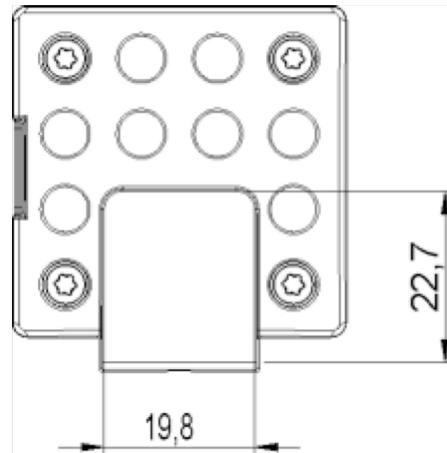


Figure 95 Rear view DCC models

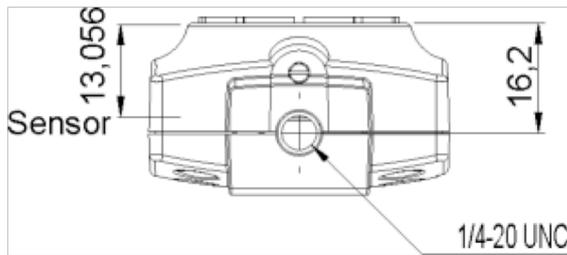


Figure 96 Bottom view DCC models

ANEXO F: Especificaciones del sensor DCC-1545M

En este anexo se dan más datos técnicos sobre las características del cuerpo de cámara DCC-1545M.

Sensibilidad:

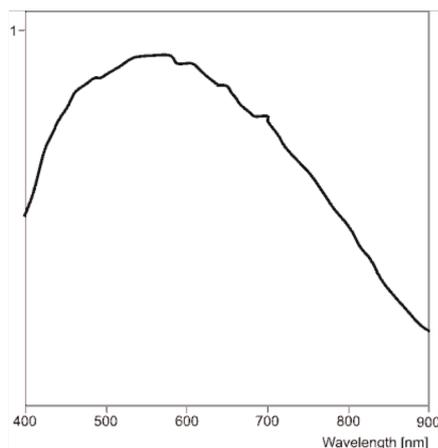


Ilustración : Sensibilidad del sensor CMOS

La ilustración anterior muestra una gráfica de la respuesta del sensor CMOS a las diferentes longitudes de onda.

La siguiente tabla muestra los aspectos más destacados del sensor que utiliza el cuerpo de la cámara:

Sensor specification	
Sensor type	CMOS
Shutter system	Electronic rolling shutter
Readout mode	Progressive scan
Resolution class	SXGA
Resolution	1280 x 1024 pixels (1.3 Mpixels)
Aspect ratio	5:4
Pixel depth	8 bits
ADC resolution (internal)	10 bits
Optical sensor class	1/2 inch
Exact sensitive area	6.66 x 5.32 mm
Exact optical sensor diagonal	8.5 mm (1/1.9 inch)
Pixel size	5.2 μm , square
Sensor name, monochrome	Micron MT9M001
Gain	

Sensor name, monochrome	Micron MT9M001	
Gain		
Monochrome model (master gain)	13x	
Offset control, mode	Auto/manual, additive	
Gain boost	1.5x	
Camera timing		
Pixel clock range	MHz	5-43 ^{*1)}
Pixel clock range (with subsampling/binning)	MHz	5-50 ^{*1)}
Frame rate (freerun mode)	fps	25 ^{*2)}
Frame rate (trigger mode, 1 ms exposure)	fps	23 ^{*2)}
Exposure time in freerun mode	ms	0.035 ^{*2)} -980 ^{*3)}
Exposure time in trigger mode	ms	0.035 ^{*2)} -980 ^{*3)}
AOI		
Mode	Horizontal ^{*4)} + Vertical ^{*4)}	
AOI image width, step width	Pixels	32 - 1280, 4
AOI image height, step width	Pixels	4 - 1024, 2
AOI position grid horizontal, vertical	Pixels	4, 2
AOI frame rate, 1024 x 768 pixels (XGA)	fps	39
AOI frame rate, 640 x 480 pixels (VGA)	fps	84
AOI frame rate, 320 x 240 pixels (CIF)	fps	231
Subsampling		
Mode	Horizontal ^{*4)} + Vertical ^{*4)}	
Frame rate w/ 2x subsampling, 640 x 512 pixels	fps	79
Frame rate w/ 4x subsampling, 320 x 256 pixels	fps	219
Frame rate w/ 8x subsampling, 160 x 128 pixels	fps	511
Connected load ^{*5)}		
	W	0.5-1.0

^{*1)} The maximum possible pixel clock frequency depends on the PC hardware used.

^{*2)} Requires maximum pixel clock frequency.

^{*3)} Requires minimum pixel clock frequency.

^{*4)} Use of this function increases the frame rate.

^{*5)} The connected load depends on the sensor model and the pixel clock setting.

ANEXO G: Guía de instalación del software de la cámara Thorlabs.

En esta sección vamos a seguir los pasos para instalar los drivers necesarios de la cámara Thorlabs en el PC. Para ello será necesario el CD de instalación que viene con la cámara.

El setup del software es lanzado automáticamente cuando introducimos el CD de la cámara dentro de la unidad de CD del ordenador. Aunque en caso de que no se ejecute correctamente podemos acceder al archivo "Autorun.exe" para que se ejecute. Tras esto, lo siguiente que aparecerá será una ventana de instalación como la que se muestra abajo.



Ilustración : Pantalla de inicio

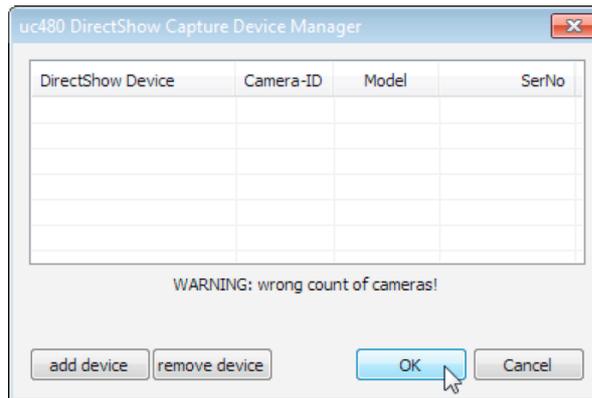
Vemos que aparte de iniciar la instalación podemos tener acceso al manual de usuario y a la opción Tools. Una vez que hayamos seleccionado la opción de instalar el software y el paquete de drivers será instalado.

Otra ventana aparecerá como la mostrada en la siguiente ilustración. Debemos seguir las instrucciones que vayan apareciendo en pantalla.



Pantalla de instalación de los driver.

Durante la instalación una lista con los Driver de direct show aparecerá, esta ventana estará iniciada como “ wrong count of cameras”. Este mensaje necesita ser confirmado con OK.



Driver show device message

Una vez la instalación haya terminado dos iconos aparecerán en el escritorio uno para el programa “uc480Viewer”, y otro para el programa “Camera Manager”.

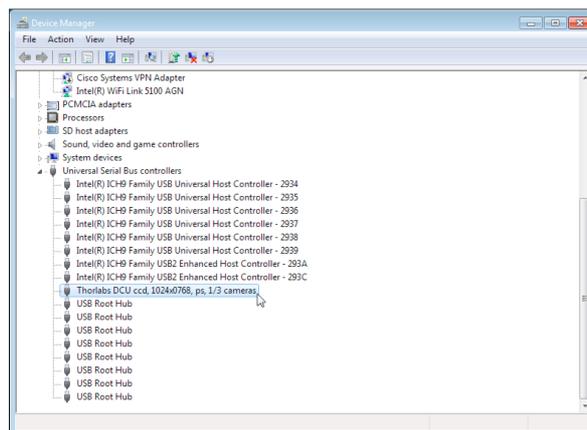
ANEXO H: Conexión de DCC-1545M (Camera Manager)

En este anexo se dan los pasos necesarios para la correcta instalación y comprobación de la cámara DCC-1545M en el ordenador.

Primero debemos quitar la tapa protectora del sensor CMOS del cuerpo de la cámara. Montar una lente en ella y conectar el cable USB 2.0 por ambos extremos; uno al lateral de la cámara y el otro en el PC. Una ventana de plug and play de Windows aparecerá para reconocer el nuevo hardware encontrado.

Instalación del Hardware

Cuando la instalación de los driver de la DCC hayan sido instalados, habrá que mirar en la ventana de dispositivos conectados de Windows en la columna de “Universal Serial Bus Controller” la entrada de nuestra cámara. La siguiente ilustración muestra un ejemplo.



Lista de controladores

Camera Manager

Haciendo uso de este programa instalado con anterioridad en el Anexo 7, hacemos uso de esta herramienta para el manejo de la cámara. En ella aparecerá información de si tenemos conectada la cámara USB y nos da una serie de opciones para configurarla.

Para arrancar podemos hacerlo de diferentes maneras:

- ***Inicio → Programas → Thorlabs → DCx Camera → uc480 Camera Manager.***
- ***Ejecutando el icono del programa en el escritorio.***
- ***Inicio → Panel de Control → uC480 Camera Manager.***



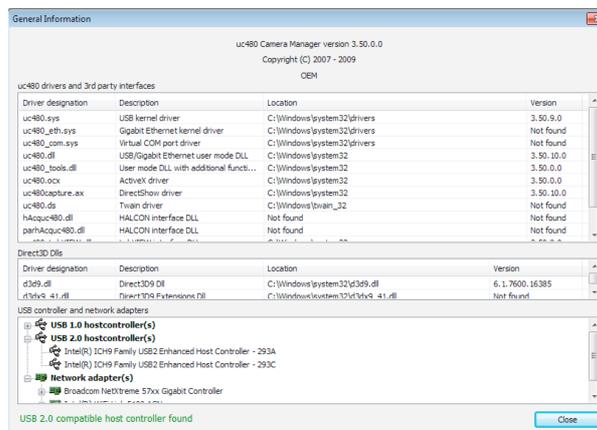
uc480 Camera Manager

Al iniciar este programa nos aparecerá una ventana como la ilustración anterior (uc480 Camera Manager), debemos fijarnos en el TextBox de **Camera List**.

Dentro se despliegan los dispositivos uc480 conectados, su disponibilidad (avail), tipo de conexión (type), identificadores en caso de tener más de una cámara conectada (Cam id, Dev id) el nombre del modelo de cámara y el número de serie.

En la parte de **Control Center** puedes acceder a la información detallada de las cámaras conectadas.

- Expert mode: Cuando tienes seleccionado esta opción, el uc480 Camera Manager te muestra más información sobre la cámara conectada.
- General Information: Esta ventana te muestra información y disponibilidad sobre los driver s instalados por el cd de instalación. La siguiente ilustración es un ejemplo.



La información de los diferentes apartados:

- **uc480 drivers and 3rd party drivers:**
Esta lista muestra la localización y la versión de los drivers instalados en el sistema.
- **Direct3D DLLs:**
En esta lista se muestra la localización y la versión de los drivers de Direct3D.
- **USB controllers and network adapters:**
Muestra todos los USB y controladores disponibles en ese momento en el PC.

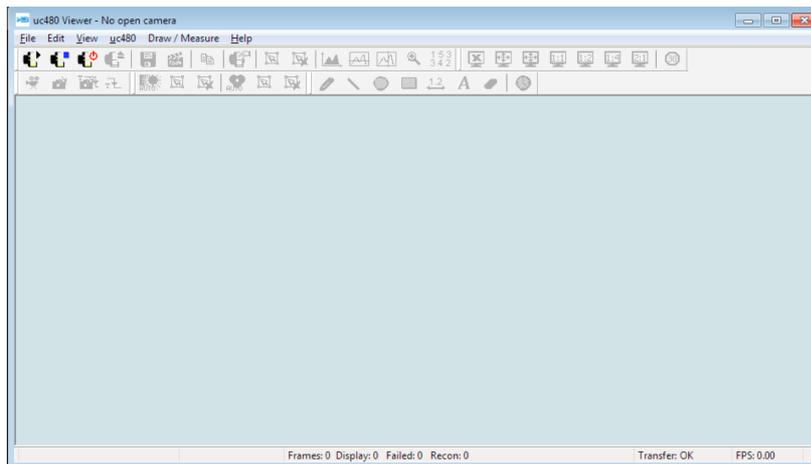
ANEXO I: Guía del programa Camera Viewer.

En este anexo se da la información necesaria para poder trabajar con el programa Camera Viewer instalado por el CD de la cámara Thorlabs DCC 1545M. Quiere ser una guía rápida de este programa, pero si se quiere conocer en más detalle alguna función se puede recurrir al manual alojado en el CD de instalación.

El programa Camera viewer (uc480Viewer) es la aplicación provista por Thorlabs para probar y ajustar los parámetros de la cámara desde el ordenador. Para ejecutarlo podemos hacerlo de diferentes maneras:

- **Inicio → Programas → Thorlabs → DCx Camera → uc480Viewer.**
- **Ejecutando el icono del programa en el escritorio.**
- **Inicio → Panel de Control → uc480Viewer.**

Al ejecutarlo aparecerá la pantalla principal de la aplicación :



Pantalla de inicio Camera Viewer.

Dentro de la ventana de inicio aparecen diferentes botones e iconos. Al ejecutar el programa sólo tendremos la posibilidad de acceder a los botones de : Open, Stop y Close camera.

Para tener una referencia de que es cada botón pasaré a enumerar los iconos de la barra de herramientas:

-  Open camera
-  Open camera and stop
-  Standby
-  Close camera
-  Save image as bitmap
-  Open the record dialog
-  Copy the image to clipboard (in DIB mode only)⁰
-  Camera Properties (see detailed description^[46])
-  Set Area Of Interest
-  Delete Area Of Interest
-  Histogram on/off (see Histogram^[74])
-  Horizontal line view - show the color values of a pixel line
-  Vertical line view - show the color values of a pixel row
-  Open zoom window (see Zoom window^[75])
-  Open „Pixel peek“ window (see Pixel peek window^[76])

Los iconos destinados a la visualización por pantalla:

Display Toolbar

-  Don't display image
-  Fullscreen window using Direct3D
-  Scale display to window size
-  Display image in normal size
-  Scale display to half size
-  Scale display to quarter size
-  Scale display to double size
-  Limit the max. display frame rate to 30 fps.

Y por último una serie de iconos de captura que en principio no se usaran.

Capture Toolbar

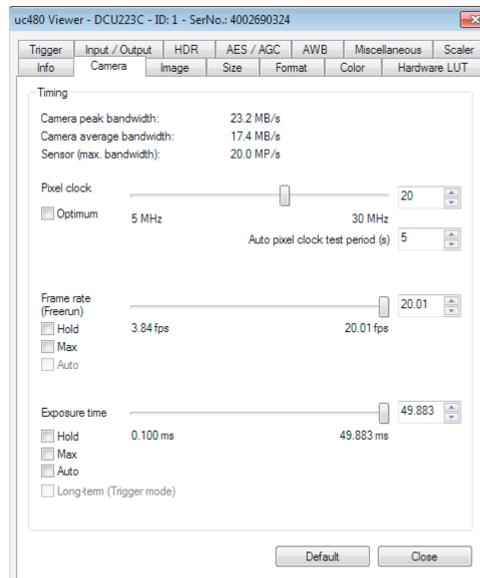
-  Live video on/off
-  Snapshot
-  Capture single frame using trigger mode
-  Trigger mode on/off; continuous trigger recording

Dentro de todos estos botones uno de los que más nos interesa es el botón de propiedades.



Si hacemos click sobre él se nos presentará una nueva ventana en la que podremos configurar todos las características importantes de la cámara.

Podemos empezar a hablar de estos parámetros por la pestaña de “Camera”



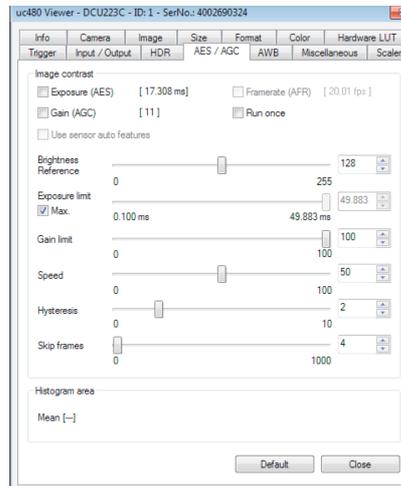
Ventana de la pestaña Camera

Aquí nos encontramos con los parámetros de ajuste de la frecuencia del píxel clock, frame rate y time exposure.

- **Camera Peak bandwidth:**
Te dice el pico máximo de ancho de banda requerido en MB/s. Este valor aparecerá en rojo si nos pasamos del ancho de banda que tenemos.

- **Camera average bandwidth:**
El ancho de banda medio requerido por el sistema en MB/s. Este valor es calculado por los siguientes datos: Tamaño de imagen(image size), formato de imagen(image format), numero de imágenes por segundo(frame rate) y el protocolo de interface por el que se transmiten los datos (nuestro caso USB 2.0).
- **Sensor(max. Bandwidth):**
Máximo volumen de datos en Mpixels/sg generados por el sensor CMOS.
- **Píxel Clock:**
Estableces el valor al cual los datos son leídos de el sensor CMOS. Cambiar estos parámetros afecta al frame rate y al esposare time.
 - **Optimum:** Cuando seleccionas este check box, el máximo valor óptimo del píxel clock se establece automáticamente. El valor óptimo es aquel en que el reloj esta en su valor máximo sin dar errores de transferencia(usando "Auto píxel clock test period box"). Cuanto mas tiempo le des en este test más seguro llegara a ser el valor de píxel clock marcado como óptimo.
- **Frame rate:**
Establece el valor de números de imágenes por segundo al que queremos trabajar. Este valor depende del valor que hayamos introducido en el píxel clock.
 - **Hold:** Si seleccionas este marcador la tasa de imágenes será constante aunque el píxel clock cambie.
 - **Max:** La cámara opera al máximo número de imágenes posible dado por el píxel clock.
 - **Auto:** Con esta opción se establece una variabilidad en el numero de imágenes por segundo. Solo puede ser elegida si la opción de esposure time esta marcada.
- **Exposure time:**
Establece el valor del tiempo de exposición de la imagen. El rango de valores disponibles depende del valor del píxel clock y del frame rate. Un nivel bajo de frame rate te permite tener unos mayores tiempo de exposición y viceversa.
 - Hold:** Si seleccionas esta opción el tiempo de exposición se mantendrá constante aunque el frame rate cambie.
 - Max:** La cámara opera al máximo tiempo de exposición posible.
 - Auto:** Seleccionas esta opción para activar el Auto Exposure Shutter. Si esta activado el tiempo de exposición y el píxel clock no pueden ser ajustados manualmente. Seleccionando Hold o Max deseleccionas el Auto.
 - Long term:** Si seleccionas este marcador podrás establecer los tiempos de exposición por encima de 10 minutos. Esta función esta solo disponible en Trigger mode.
- **Default:** Clickea este botón si quieres volver a los parámetros por defecto.

Otra pestaña importante que nos ayudara a configurar la cámara es la AES/AGC, en ella puedes establecer los parámetros de ajuste automático de tiempo de exposición (AES) y de ajuste automático de la ganancia (AGC) del sensor CMOS, si fuera necesario, no lo recomendaría ya que introducimos electrónicamente intensidad luminosa a los pixeles de la imagen y como contrapartida estamos introduciendo ruido a la imagen. La pestaña AES/AGC tiene la siguiente apariencia:



Ventana de la pestaña AES/AGC.

- **Exposure(AES):** Ajusta automáticamente la luminosidad de la imagen.
- **Gain(AGC):** Ajusta automáticamente la luminosidad de la imagen basándose en el aumento de ganancia.
- **Framerate(AFR):** Ajuste automático del frame rate. Sólo está activo si tenemos seleccionado cuando AES está activo.
- **Run once:** Si está seleccionado reconfigura los valores en cuanto se llega a un valor determinado (no se va a usar).
- **Use sensor auto features:** Esta cámara no soporta esta opción.
- **Brightness referente:** Establece una media de luminosidad de todos los pixeles de la imagen.
- **Exposure limit:** Seleccionado el máximo valor al que se puede llegar en el tiempo de exposición.
- **Gain limit:** Establece la máxima ganancia que se puede aplicar.

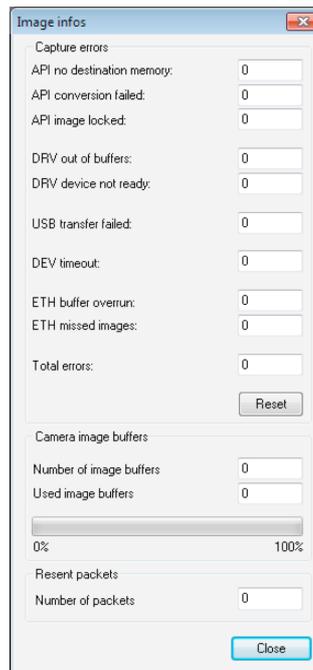
ANEXO J: Posibles errores y soluciones.

En este anexo se muestran posibles problemas que nos pueden surgir a la hora de trabajar con la cámara Thorlabs. La intención es tener una pequeña guía con los errores más comunes y de ese modo tratar el error con las soluciones aportadas.

Image infos:

Es una manera de ver en una ventana posibles fallos y errores que puedan salir a la hora de realizar una captura. Para poder ejecutarla:

- **View** → **Image infos**



Error	Description	#
API no destination memory.	No tiene una dirección de memoria para copiar la imagen.	1
API conversión failed	La imagen actual no puede ser procesada bien.	2
API image blocked.	Los buffers de destino están bloqueados.	3
DRV out of buffers.	Ningún espacio de memoria esta libre para los drivers. La imagen se descarta.	4

Error	Description	#
DRV device not ready.	El acceso a la cámara no está permitido. No es posible acceder a imágenes que están guardadas.	5
USB transfer failed.	La imagen no fue transferida vía USB.	6
DEV timeout.	EL tiempo máximo para la captura de la imagen ya ha pasado.	7
ETH buffer overrun	No disponible para cámaras USB.	
ETH missed images.	No disponible para cámaras USB.	

Mirando el error #, podemos conocer tal vez la causa y la posible solución.

#	Posible causa.	Solución
1	No hay suficiente memoria reservada los buffers de destino.	Reducir el frame rate y de ese en Modo habrá mas tiempo de procesado.
2	Error interno durante el procesado de la imagen.	
3	Todos los buffers de destino están bloqueados por la aplicación.	Reducir el frame rate.
4	El ordenador tarda demasiado en procesar la imagen.	Reducir el frame rate. Desconectar posible mascararas de filtrado.
5	La cámara ha sido desconectada o cerrada.	
6	No hay suficiente ancho de banda en la transferencia de imágenes USB.	Reducir la frecuencia píxel clock. Comprobar la calidad del USB.
7	El valor de timeout es demasiado	Reducir el exposure time.

ANEXO K: Información útil en la compra del material.

En este apartado se explica dónde se pueden adquirir los elementos principales del sistema, así como otra información referente a materiales. Pueden ser tomados como referencia.

CÁMARA:

Para su compra será necesario ponerse en contacto con la empresa Thorlabs via e-mail, o directamente desde su página web www.thorlabs.de. Quiero recalcar que la compra debe ser realizada a través de esta página, ya que es la sucursal alemana de la empresa, de ese modo se evita el tener que pagar aranceles de aduana en el hipotético caso de pedir el producto para Europa y realizar el pedido desde la página de www.thorlabs.com cuya sede está en EE.UU.

OPTICA:

Debido a lo complicado que es obtener este producto en tiendas especializadas de España será necesario acceder a la página web de Arecont Vision y obtener la dirección de algún comercial que opere cerca nuestra y ponernos en contacto con él.

FILTRO:

Este artículo deberá ser adquirido en alguna página Web especializada, como puede ser www.amazon.com. Ya que al tener una óptica con un diámetro poco común (32mm) los únicos filtros que se pueden encontrar en el mercado (se puede hacer a medida, lo que sube bastante su coste) son filtros con un diámetro de 35 mm.

ADAPTADOR DE CORRIENTE:

Puede comprarse en cualquier tienda especializada. El adaptador de corriente usado en este proyecto tiene las siguientes características:

- Adaptador AC-DC
- Type: PPI - 12100 - GS.
- Input: 230v - 50 HZ.
- Output: 12v - 1000mA.

ANEXO L: Funcionamiento del programa GT

Al ejecutar el icono del programa, siguiente ilustración:

Carpeta GazeTracker > Debug > GazeTrackerUI.exe



Icono de ejecución GT

Aparecerá la ventana principal del programa. Si tenemos el sistema conectado y las lámparas encendidas deberíamos tener imagen en ese momento. Si no tuviéramos imagen revisar que todo esta bien conectado, lámparas, cámara conectada y sin la tapa en el objetivo. Si el problema persiste revisar el Anexo J: Posibles errores y soluciones.

Dentro de la ventana principal tenemos:

- Pestaña de modo de "Visualization".
- Lugar donde aparece la imagen.
- Tres botones principales: Setup, Calibrate y Start.



1. El modo de Visualización tiene tres switches que van afectar el modo en que vamos a ver la imagen:
 - Raw = modo con los elementos de detección pero sin el procesado.
 - Normal= La imagen normal.
 - Processed= Ves los que interpreta el ordenador. Los elementos que esta buscando. Rojo para la pupila, Amarillo para los glints y el recuadro rectangular para los ojos.
2. El recuadro donde aparece la imagen con información en tiempo real del número de fps, porcentaje de memoria consumida y cantidad en bits.

3. Estos tres botones principales son necesarios de hablar algo más en detalle:

Comenzaremos hablando del botón “Setup”. Botón donde vamos a configurar todas las propiedades del programa. Si lo ejecutamos saltará otra ventana, ver siguiente ilustración, donde aparecerán otras 5 pestañas; “ Tracking, Calibration, Network, Camera y Options ”.

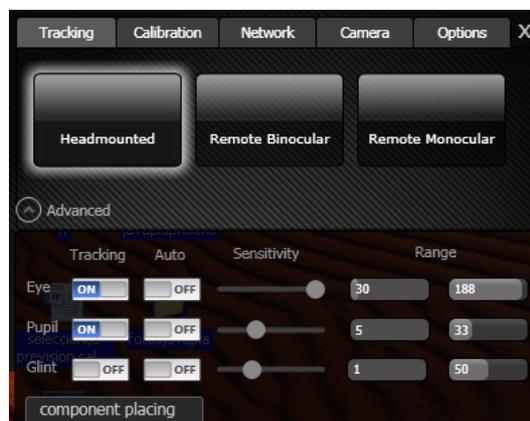


Ilustración : Ventana tras acceder al botón Setup.

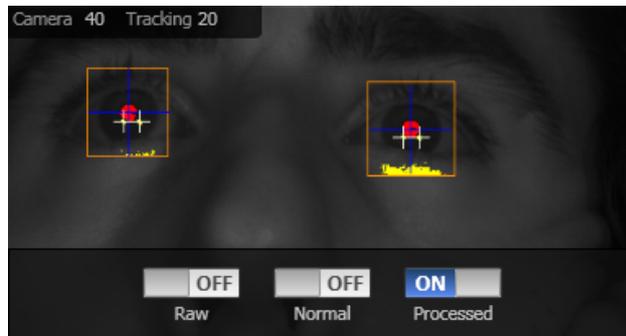
Dentro de la pestaña de “Tracking” seleccionamos el sistema con el que vamos a trabajar y ajustamos los umbrales para extraer las características necesarias en cada caso: Eye (ojo), Pupil (pupila) y Glint (destello).

Con “Range” seleccionamos el nivel mínimo y máximo. Por ejemplo si estamos ajustando la pupila variando “Range” estamos variando el tamaño mínimo y máximo de la pupila. Esto hace que el GT busque objetos de estas características. Con “Sensitivity” estamos dando mayor o menor sensibilidad a ese “Range”.

Dependiendo de la configuración que tengamos del sistema Hardware del sistema seleccionaremos:

- Headmounted: Un ojo, ajustamos Eye y Pupil.
- Remote Binocular: Dos ojos, ajustamos Eye, Pupil y Glint.
- Remote Monocular: Un ojo, ajustamos Eye, Pupil y Glint.

Para realizar los ajustes de las características es necesario tener en la pestaña de “Visualization” en modo “Processed”. Ya que para tener idea de los valores que tenemos ajustados veremos: Pupila de rojo, Glints de Amarillo y el rectángulo del ojo. Como la siguiente ilustración:



Por último tenemos el botón “component placing” con el que seleccionamos el número de fuentes IR que disponemos y su situación física en el monitor.

La siguiente pestaña dentro del Setup es “Calibration”, ver ilustración .



En esta pestaña se configura todo los ajustes relacionados con la calibración.

Si el monitor desde el que se ejecuta el GT va a servir para la calibración en el botón desplegable “Monitor” pondremos Primary, si vamos a tener un monitor diferente pondremos Secondary.

La opción de poder tener 9, 12 ó 16 puntos de calibración se selecciona con “Points”. En general cuantos más puntos de calibración mejor será el ajuste. La calidad de la calibración dependerá del número de imágenes que la cámara es capaz de obtener para cada Targets. Si queremos que los puntos de calibración aparezcan al usuario en modo aleatorio o no seleccionaremos “Randomize order”.

En la pestaña de “Advanced” tienes las opciones referente al fondo y color de los Targets que se van a usar una vez se ejecute la calibración. Así como de la velocidad con la que se moverán los Targets (Speed). Por último la opción de poner otro tipo de imagen para los Targets, como dibujos para los niños. Algo que les haga prestar más atención en la calibración.

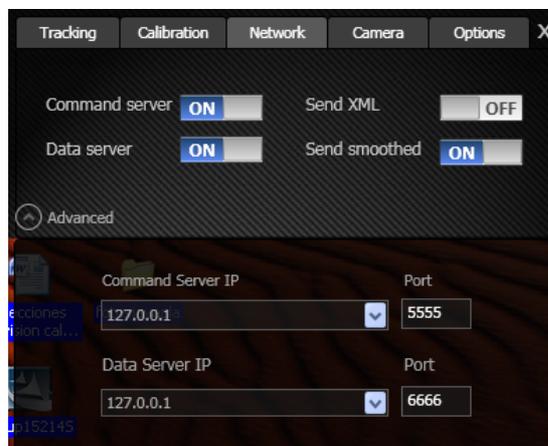
En la pestaña de “Camera”, ilustración:



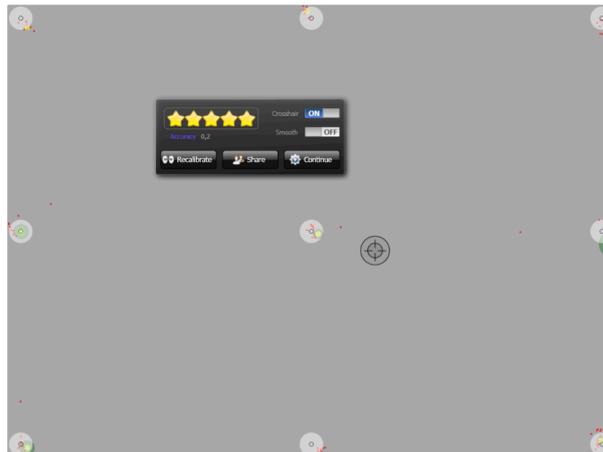
Si tenemos nuestro dispositivo de captura de imagen (Thorlabs) detectado por el programa aparecerá en la pestaña “Device”. Cabe la posibilidad que tengamos la opción de variar el Frame rate. Si es así se puede cambiar en la pestaña desplegable. También tenemos la opción de girar la visualización de la imagen 180° con “Flip Image”.

Si le damos a la opción de Advanced aparecen diferentes botones de configuración de la imagen, en la versión compilada para este proyecto no funcionan.

La pestaña de Network para ejecutar programas Cliente ajenos al GT, de este modo será posible la comunicación con el programa desde otros programas externos. Los puertos por defecto son UDP= 5555 y TCP/IP=6666. La dirección por defecto será la del LocalHost (127.0.0.1).



Otro de los botones principales de la ventana principal de GT es “Calibration”. Es el botón de ejecución de la calibración del sistema una vez tenemos el sistema ajustado. En el momento que lo ejecutas aparece en modo de pantalla completa el color de fondo y los Targets que has seleccionado en “Setup>Calibration”. El proceso de calibración sirve para hacer un mapeo entre la posición de la pupila, glints y las coordenadas de la pantalla. Tras finalizar la calibración se mostrará la ventana de resultados obtenidos. Ver ilustración.



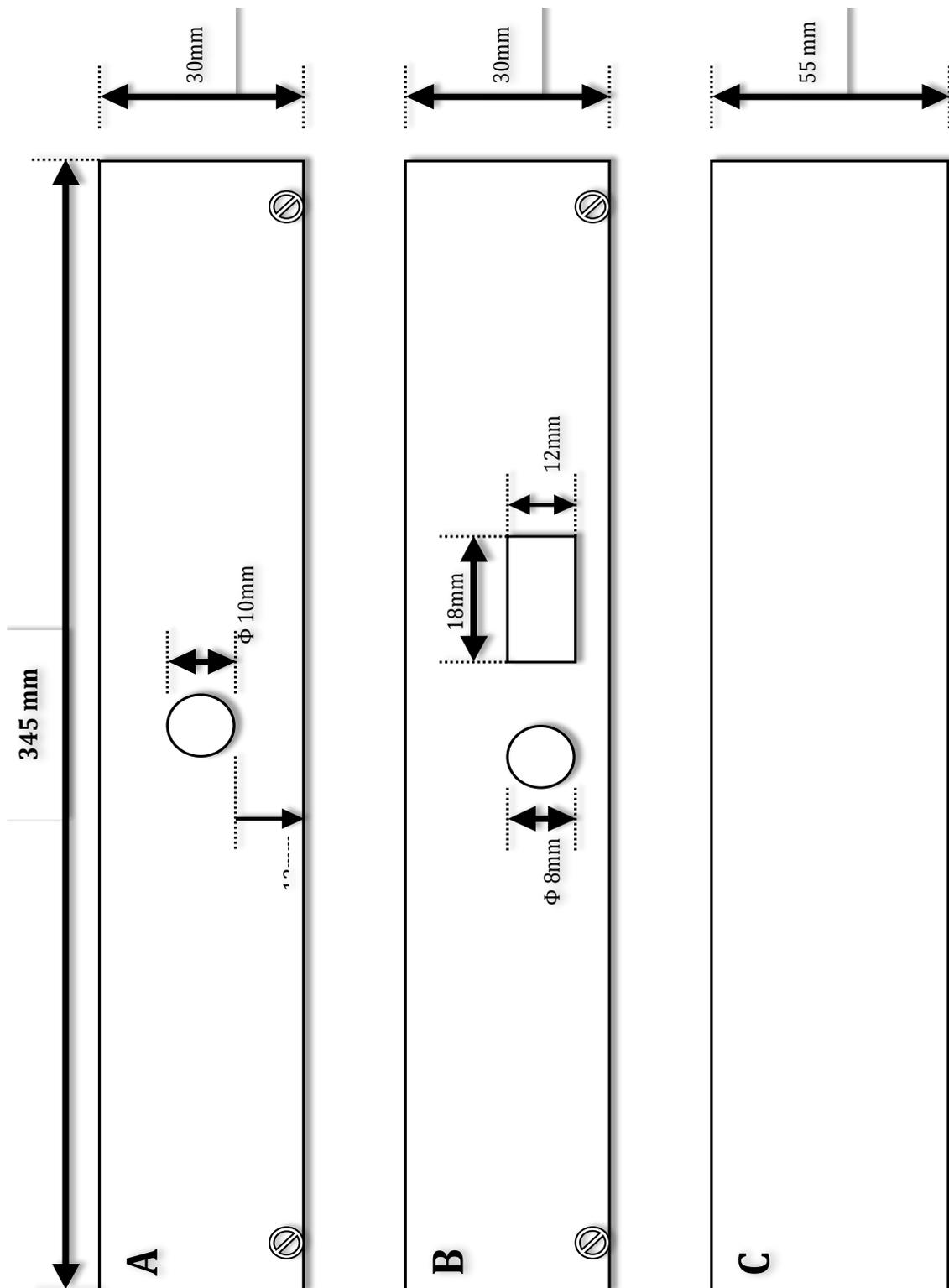
En la ventana de resultados nos medirá la calidad de la calibración en términos de Accuracy (grados de desviación) de todos los puntos de la calibración.

La calidad de la calibración es dada con el resultado de 1-5 estrellas. Un resultado más detallado es dado por las figuras que se muestran junto a los Targets

También da la opción de recalibrar “Recalibrate”, compartir los resultados en el forum de GT “Share”, continuar para poder empezar a controlar el ratón con la mirada “Continue”.

La opción de activar el switch de “Smooth” activa el funcionamiento de un algoritmo que detecta el movimiento natural del ojo. Tiene en cuenta movimientos de fijación y sacádicos del ojo. De este modo le da mayor estabilidad en el control de la mirada y suaviza los movimientos del cursor. El otro switch activa el punto de mira “CrossHair”. Una vez estemos satisfechos con la calibración obtenida podemos empezar a usar la mirada para mover el ratón ejecutando el botón “Start” de la ventana principal del GT.

ANEXO M: Diseño del soporte principal.

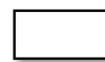


Tornillos.

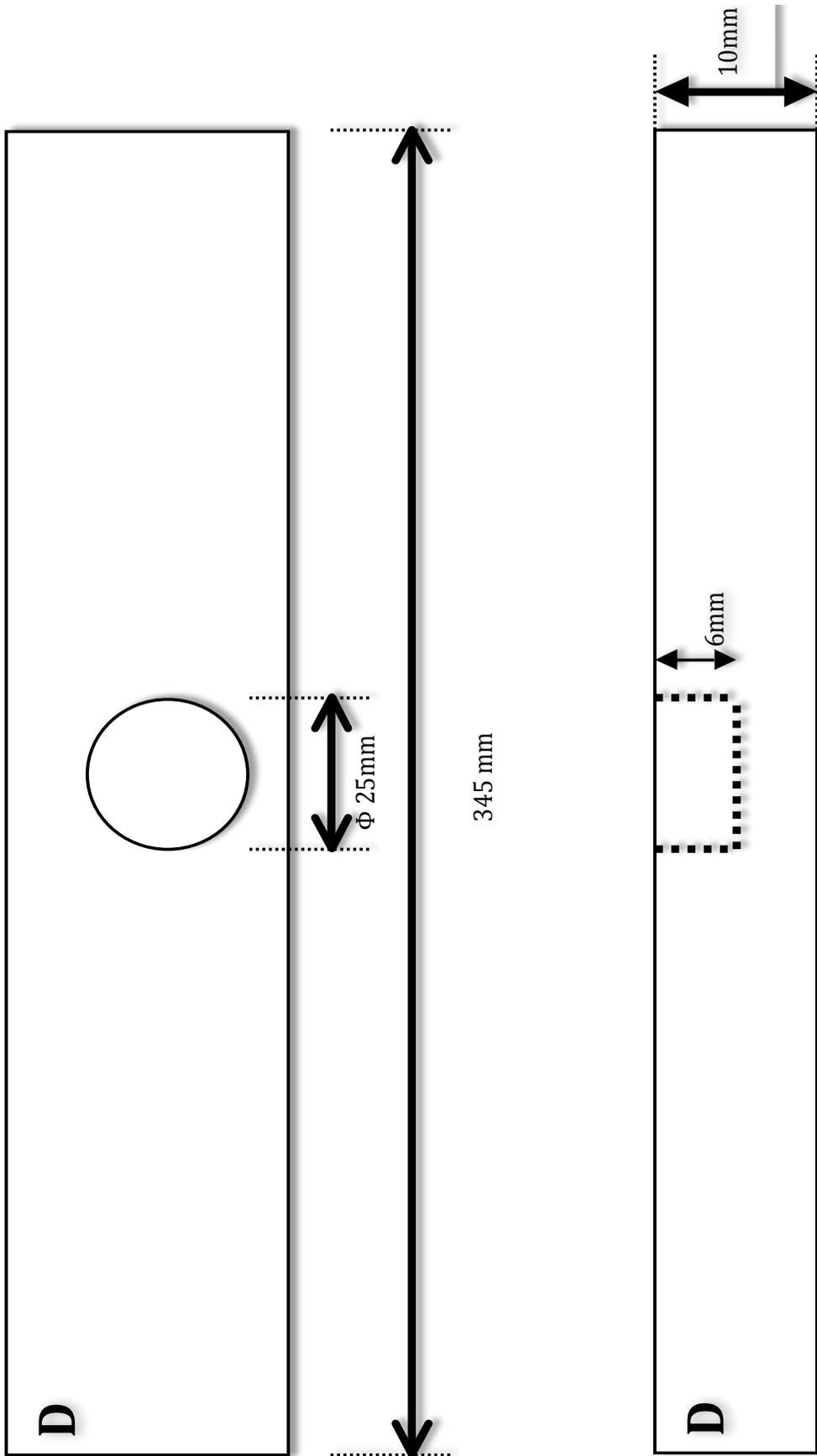


"A" lugar del potenciómetro.

"B" lugar del Adaptador hembra.

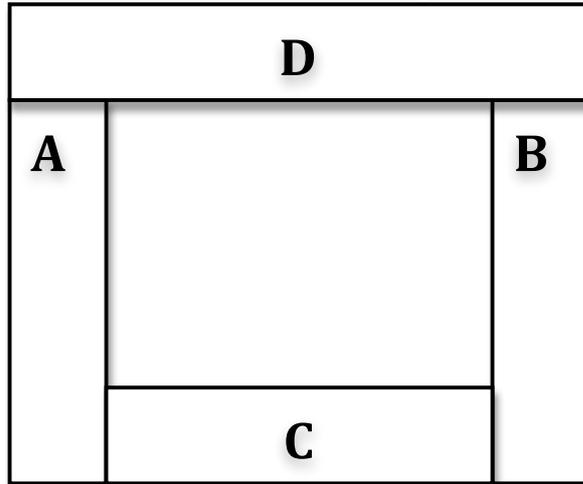


Interruptor.



Lugar donde irá la cabeza del trípode.

Vista Alzada del Soporte



ANEXO N: Fotografías del sistema



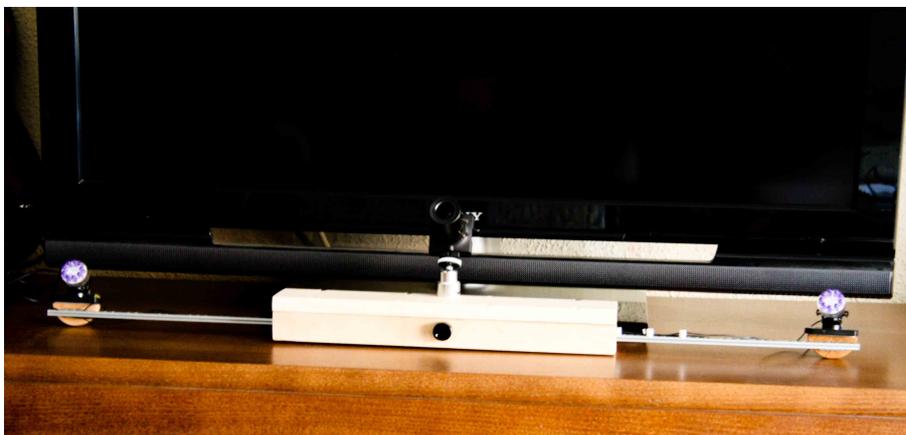
Detalle tripode y cámara.



Detalle interruptor y alimentación.



Sistema al mínimo de longitud (monitor 20").



Sistema al máximo de longitud (monitor 37").

ANEXO Ñ: Informe de Planificación

Proyecto: Gaze Tracker Remote

Inicio: 15/12/2010

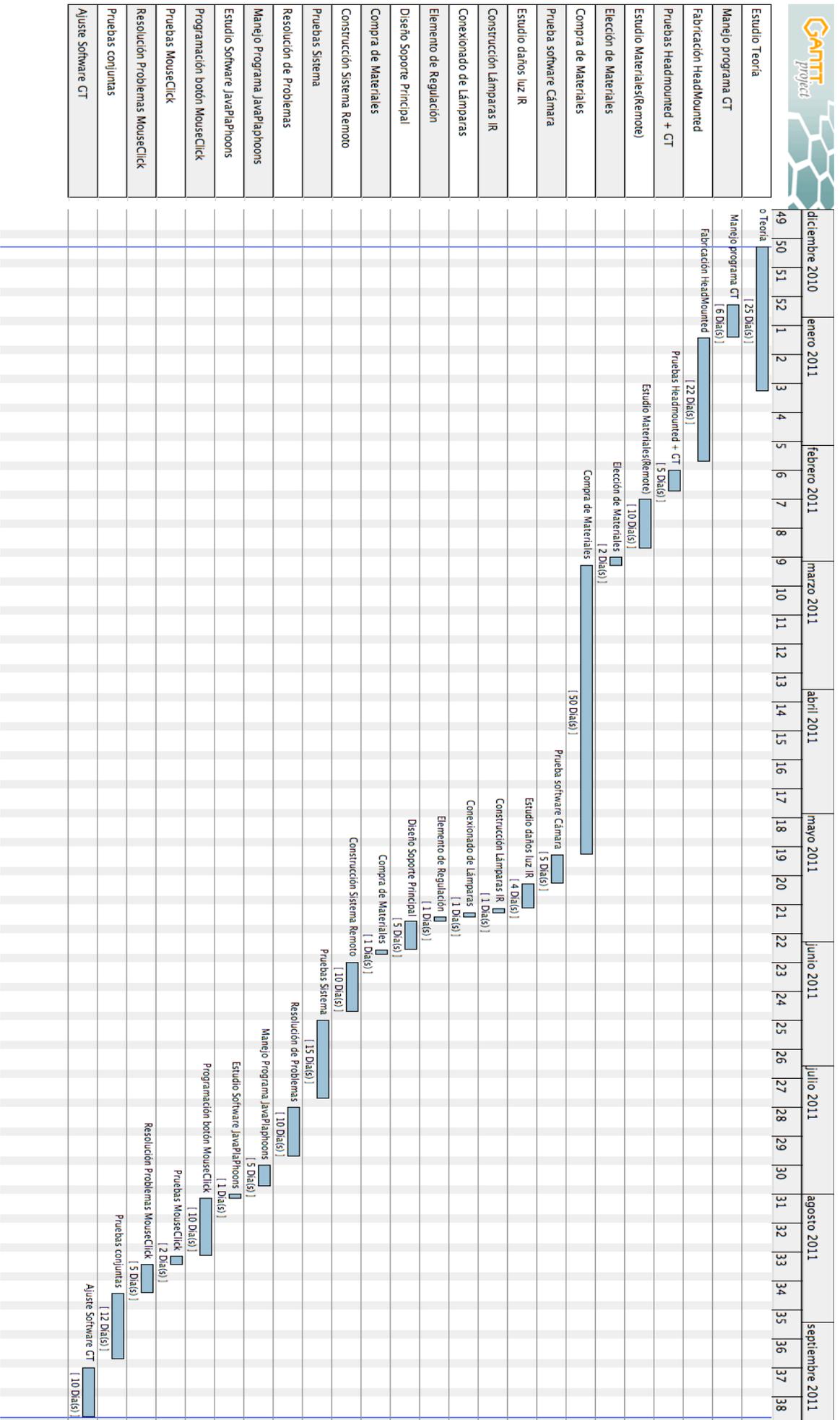
Fin: 24/09/2011

Responsable: Julio C Moya

NOMBRE	INICIO	FIN	INFO
Estudio Teoría	15/12/10	19/01/11	Adquisición de conocimientos teóricos
Manejo programa GT	29/12/10	6/01/11	Toma de contacto con el programa.
Fabricación HeadMounted	6/1/11	5/2/11	Construcción del sistema de pruebas.
Pruebas Headmounted + GT	7/02/11	12/02/11	Pruebas reales de funcionamiento del GT.
Estudio Materiales(Remote)	14/02/11	26/02/11	Información de los materiales a usar.
Elección de Materiales	28/02/11	2/03/11	Selección del material.
Compra de Materiales	2/03/11	11/05/11	Periodo de compra y recepción.
Prueba software Cámara	11/05/11	18/05/11	Comprobación de materiales comprados.
Estudio daños luz IR	18/05/11	24/05/11	Periodo de comprobación de directivas y normas de uso.
Construcción Lámparas IR	24/05/11	25/05/11	Construcción de la iluminación.
Conexión de Lámparas	25/05/11	26/05/11	Cableado y resistencias.

Elemento de Regulación	26/05/11	27/05/11	Colocación Potenciometros.
Diseño Soporte Principal	27/05/11	3/06/11	Disposición de los materiales principales.
Compra de Materiales	3/06/11	4/06/11	Compra de madera.
Construcción Sistema Remoto	6/6/11	18/6/11	Cortes, fabricación del diseño y colocación.
Pruebas Sistema	20/6/11	9/07/11	Pruebas del material con GT
Resolución de Problemas	11/07/11	23/07/11	Diferentes dificultades e imprevistos.
Manejo Programa JavaPlaphoons	25/07/11	30/07/11	Adquirir conocimientos sobre el programa.
Estudio Software JavaPlaPhoons	1/08/11	2/08/11	Entrar a ver cómo es el código del programa.
Programación botón MouseClick	2/08/11	16/08/11	Diseño del programa.
Pruebas MouseClick	16/08/11	18/08/11	Pruebas.
Resolución Problemas MouseClick	18/08/11	25/08/11	Mejoras y solución a los errores.
Pruebas conjuntas	25/08/11	10/09/11	Pruebas conjuntas de todo el sistema.
Ajuste Software GT	12/09/11	24/09/11	Afinar el software del GT para un mejor resultado.

A continuación se presenta el diagrama de Gantt del listado de tareas:



GLOSARIO DE TÉRMINOS

- AES:** Auto Exposure Shutter. Ajuste automático del obturador de la cámara.
- AFR:** Auto Frame Rate. Ajuste automático del nivel de cuadros por segundo que la cámara es capaz de procesar.
- AGC:** Auto Gain Contrast. Ajuste automático de la ganancia de la cámara. Se consigue un mayor nivel de luminosidad obteniéndolo mediante voltaje externo.
- AMD:** Advanced Micro Devices. Es una compañía estadounidense dedicada a la fabricación de semiconductores: microprocesadores, placas base, circuitos integrados.
- AOI:** Area of Interest. Área de interés.
- API:** Application Programming Interface. Conjunto de funciones y procedimientos que pueden ser usados a la hora de programar. Es una biblioteca de posibles recursos de ayuda a la hora de programar en un lenguaje de programación determinado.
- AVI:** Audio Video Interface. Formato contenedor de audio y video lanzado por Microsoft.
- AWB:** Auto White Balance. Ajuste automático del balance de blancos de la cámara.
- BMP:** Bitmap. Extensión de archivos para poder guardar imágenes.
- CCD:** Charge Couple Device. Circuito integrado que contiene un número determinado de elementos fotoeléctricos (fotositos) que expuestos a la captación de luz producen una corriente eléctrica dependiendo de la intensidad de luz recibida.
- COGAIN:** Communication by Gaze Interaction Association. Organización cuya finalidad es la de tener un punto de reunión de todo lo relacionado con la interacción visual : proyectos, artículos, guías, enlaces, profesionales.
- CMOS:** Complementary Metal Oxide Semiconductor. Circuito integrado con el mismo propósito que el CCD. Una de las ventajas que tiene frente al CCD es que se puede leer directamente la señal de cada píxel.
- CPU:** Central Processing Unit. Unidad de procesamiento central, es un componente del computador y otros dispositivos programables. Interpreta las instrucciones contenidas en los programas y procesar los datos.
- ETH:** Ethernet. Estándar de transmisión de datos de las redes de área local. Se distinguen diferentes tipos de tecnología Ethernet dependiendo del tipo y diámetro del cable que se utilice.
- EyeToy:** Cámara WebCam fabricada por Sony y desarrollada para el uso en la Playstation 3.
- FPS:** Frame Per Second. Cuadro, imágenes por segundo. Hace referencia a la cantidad de imágenes por segundo de un medio de captación o visionado de imágenes.

Ganancia : Cuando se trabaja en situaciones de baja luminosidad, a veces es imposible obtener un nivel de señal suficiente porque el dispositivo sensor de imagen no recibe la luz necesaria. Para tales casos, las cámaras de video cuentan con una función de incremento de ganancia, que aumenta electrónicamente la señal de video con el fin de lograr un nivel que permita la visualización en la pantalla. El uso de esta ganancia nos dará mayor luminosidad pero por el contrario nos meterá ruido en la imagen proporcionalmente a la ganancia que metamos. Con lo que la relación SNR bajara.

GT: Gaze Tracker. Siglas con la que hacer referencia al programa de detección y procesamiento de imágenes ITU Gaze Tracker.

IR: Infrared Light. Luz infrarroja. Parte del espectro electromagnético comprendido entre las microondas y el espectro visible.

JVM: Java Virtual Machine. Elemento del software de java capaz de interpretar y ejecutar instrucciones expresadas en el bytecode de java.

LED: Light Emitting Diode. Es un diodo semiconductor capaz de emitir luz.

Número F: La apertura máxima del objetivo indica la cantidad de luz que este puede captar y dirigir al sensor de imagen de la cámara. Un objetivo con un diámetro físico mayor recibe la luz en un área más amplia y es, por lo tanto, más luminoso. La apertura se expresa como número F (o puntos de diafragma). Cuanto menor se haga el número F (es decir, más se abra el diafragma) menor será la profundidad de campo y viceversa.

.NET: Framework. Es un componente software que puede ser incluido en los sistemas Windows. Provee soluciones para requerimientos de programas y gestiona la ejecución de programas escritos específicamente en este Framework.

OpenCV: Open Source Computer Vision. Es una biblioteca open source de visión artificial desarrollada por Intel, como gran característica es que es multiplataforma y se puede usar en diferentes sistemas operativos.

Píxel: Es el elemento más pequeño de la imagen. Hacemos referencia a ellos cuando miramos las especificaciones de un sensor de una cámara. Por ejemplo, para indicarnos la resolución que podemos obtener indicando el número de píxeles horizontales y verticales con los que cuenta en el área fotosensible.

Profundidad de Campo:

Está controlada por la apertura del diafragma, número F del iris. Más abierto, menor profundidad. Cuanto más corta sea la distancia focal del objetivo, mayor será la profundidad de campo. Esto significa que tendremos mayor profundidad de campo con un objetivo de corta distancia focal que uno de más. Por ejemplo, un objetivo angular tendrá mayor profundidad que un teleobjetivo.

- RAM:** Random Access Memory. Es una manera de almacenamiento de información usada en computadoras. Permiten un acceso a estos datos mucho más rápido que al disco duro.
- RGB:** Red Green Blue. Rojo ,verde, azul. Hace referencia a los tres colores principales con los que se pueden obtener mezclándolos un gran abanico de colores diferentes.
- SNR:** Signal Noise Rate. Relación señal a ruido. Mide el grado de señal que se tiene en relación con el ruido añadido a la señal.
- SXGA:** Super eXtended Graphics Array. Permite tener una resolución de pantalla capaz de mostrar hasta 1280 x 1024 pixeles.
- USB:** Universal Serial Bus. Estandar de transmisión entre dispositivos y diferentes periféricos.
- VOR:** Reflejo Vestíbulo Ocular. Es un movimiento reflejo que estabiliza la imagen en la retina durante el movimiento de la cabeza.
- XGA:** eXtended Graphics Array. Permite tener una resolución de pantalla de hasta 1024 x 768.

BIBLIOGRAFÍA

- Agustin, J.S., Villanueva, A., Cabeza, R. (2005) Pupil brightness variation as a function of gaze direction. *Eye Tracking Research and Applications*.
- San Agustin, J., Skovsgaard, H., Mollenbach, E., Barret, M., Tall, M., Hansen, D. W. and Hansen, J. P. 2010. Evaluation of a low-cost open-source gaze tracker.
- In *Proceedings of the 2010 Symposium on Eye-Tracking Research & Applications* (Austin, Texas, March 22 - 24, 2010). ETRA '10. ACM, New York.
- Richard, C. B., Wico, L. W., Deepak, E. P. (2003) Racial and ethnic differences in ocular anatomy. *International Ophthalmology Clinics*, Vol 43
- Cui, Y., Hondzinski, J. (2005) Gaze tracking accuracy in humans: Two eyes are better than one.
- Martinez-Conde S., Macknik, S. L., Troncoso, X. G., Dyar, D. A. (2006) Microsaccades Counteract Visual Fading during fixation.
- Nguyen, K., Wagner, C., Koons, D., Flickner, M. (2002) Differences in the infrared bright pupil responses of human eyes. *Eye Tracking Research and Applications Symposium*
- Duchowski, A. T. *Eye Tracking Methodology, Theory and Practice*, Springer, 2003.
- Hammoud, R. I. (Ed.) *Passive Eye Monitoring*, Springer, 2008.
- Hyrskykari, A. (2006) *Eyes in Attentive Interfaces: Experiences from Creating iDict, a Gaze-Aware Reading Aid*.
- Westheimer, G. The eye as an optical instrument. *Handbok of perception and Human performance. Volume I: Sensory Processes and Perception*, 1986.
- Duke-Elder, S. And Wybar, K. C. (1958). The anatomy of the visual system. In *System of Ophthalmology*.
- Mulvey, Villanueva, Sliney, Lange and Cotmore, S. Et al. (2008). Exploration of safety issues in eyetracking.
- Aulikki Hyrskykari (2005). *Eyes in Attentive Interfaces: Experiences from Creating iDict, a Gaze-Aware Reading Aid*.
- Tobii Technology. (2011). Tobii eye Tracker, información disponible en <http://www.tobii.se>
- EyeTech Tecnología. (2011). Eyetech eye Tracker, información disponible en <http://http://www.eyetechds.com>

- ITU Gaze Tracker. (2011). Información sobre el software del sistema ITU Gaze Tracker, información disponible en: <http://www.gazegroup.org>
- Communication by gaze interaction (COGAIN). <http://www.cogain.org>
- Eye Safety of IREDS used in Lamp Applications. Osram.
- D.5.4. Eploration of Safety issues in Eyetracking. COGAIN.

