

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO FIN DE CARRERA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA MULTI-TOUCH

Ingeniería de Telecomunicación

Gonzalo Marcos Díez

Abril 2011

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA MULTI-TOUCH

AUTOR: Gonzalo Marcos Díez
TUTOR: Manuel García-Herranz del Olmo
PONENTE: Germán Montoro Manrique

Grupo de Herramientas Interactivas Avanzadas (GHIA)
Dpto. de Ingeniería Informática
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid
Abril 2011

Resumen y Palabras Clave

Resumen

Este proyecto parte de la falta de conocimiento que existe sobre las incipientes tecnologías multi-touch. Para ello proponemos un extenso estudio del Estado del Arte en la materia que complementamos con el desarrollo de una mesa multi-touch funcional con las tecnologías de Iluminación Difusa y Reflexión Interna Total Frustrada sobre el que hacemos una batería de pruebas y comparamos las dos tecnologías citadas.

Nuestra intención última es la de abrir una vía de trabajo futuro en el campo de la investigación de las tecnologías táctiles.

Palabras Clave

Mesa Multi-touch, Reflexión Interna Total Frustrada, Iluminación Difusa, Reconocimiento de Gestos, Interacción Hombre-Máquina.

Abstract

This project arose of the lack of knowledge that exists on the emerging multi-touch technologies. We propose an extensive study of the State of the Art complemented with the development of a functional multi-touch table with Diffused Illumination and Frustrated Total Internal Reflection technologies. We make several tests in the table and compare both technologies.

Our ultimate intention is to create a path for future work in the research field of touch technologies.

Key words

Multi-touch Table, Frustrated Total Internal Reflection, Diffused Illumination, Gesture Recognition, Human Computer Interaction.

Agradecimientos

A mi familia, a Elena, a Cuque, a Yasmine, a Manuel, a Carlos, a Rilke, a Kawase y a Juanito Wau.

A mis compañeros de laboratorio.

A los amigos que he hecho durante la carrera.

Al NUI Group.

*Gonzalo Marcos Díez
Abril 2011*

Índice

1. Introducción	1
1.1. Prefacio	1
1.2. Motivación	2
1.3. Objetivos	3
1.4. Organización de la memoria	3
2. Estado del Arte	5
2.1. Estudios Previos	5
2.2. Superficies Táctiles Resistivas	8
2.3. Superficies Táctiles Capacitivas y Superficies Táctiles de Capacidad Proyectada	10
2.4. Superficies Táctiles basadas en Ultrasonidos	12
2.5. Superficies Táctiles Ópticas	13
2.6. Superficies Multitáctiles a partir de LCD con Sensores Ópticos	23
3. Diseño e implementación de la mesa	25
3.1. Criterios de diseño y funcionamiento de los dispositivos ópticos	25
3.2. Diseño de la estructura	27
3.3. Diseño e implementación de la mesa con tecnología DI	29
3.3.1. Elección de la cámara (E)	31
3.3.2. Elección del proyector (G)	36
3.3.3. Superficie de proyección y contacto (A) + (B)	38
3.3.4. CPU (F)	38
3.3.5. Iluminación Infrarroja DI (C)	38
3.3.6. Coste aproximado de una mesa multi-touch DI	42
3.4. Diseño e implementación de la mesa con tecnología FTIR	42
3.4.1. Superficie de contacto (B)	43
3.4.2. Iluminación Infrarroja FTIR (I)	50
3.4.3. Coste aproximado de una mesa multi-touch FTIR	52
3.5. Configuración y calibración del software de reconocimiento de imagen	52
4. Pruebas y aplicaciones	59
4.1. Reconocimiento de objetos	59
4.2. Reconocimiento de dedos	64

4.3. Ventajas DI sobre FTIR	67
4.4. Comparativa DI/FTIR	68
4.5. Falsos positivos y falsos negativos	71
5. Conclusiones y Trabajo Futuro	77
5.1. Conclusiones	77
5.2. Trabajo Futuro	78
Bibliografía	81
A. Archivos de prueba	85
A.1. MyTouchApp.as	85
A.2. HelloWorld.as	86
A.3. Triangle.as	87
A.4. Square.as	88
A.5. Bar.as	88
B. Planos de la mesa y lista de materiales	91
C. Presupuesto	97
D. Pliego de condiciones	99

Índice de Figuras

2.1. Laboratorio de Inteligencia Ambiental AmILab	6
2.2. Un modelo de sensor en una matriz de sensores	7
2.3. Funcionamiento de una superficie resistiva	9
2.4. Esquema de una Diamond Touch	11
2.5. Configuración de sensores en una Smart Skin	12
2.6. Diferentes tipos de fiduciales	13
2.7. reacTable	14
2.8. Prototipo de Play Anywhere	15
2.9. Esquema FTIR	16
2.10. Esquema DI	18
2.11. Microsoft TouchLight	19
2.12. Microsoft Surface	20
2.13. Microsoft Sphere	20
2.14. Microsoft SecondLight	21
2.15. Esquema DSI	22
3.1. Pipeline de la interacción multi-touch	27
3.2. Agujereo y cortado de los aluminios	29
3.3. Esquema de componentes para la configuración DI	30
3.4. Sistema de ventilación de la mesa	31
3.5. Firefly MV	31
3.6. Respuesta espectral de la Firefly MV	32
3.7. Respuesta Filtro IR 850FAP5050	33
3.8. Filtro IR 850FAP5050	34
3.9. Filtro IR colocado sobre la lente	35
3.10. Esquema preliminar que muestra las dimensiones de la mesa	37
3.11. Lámparas de IR	39
3.12. Tapado de los sensores de las lámparas de IR	39
3.13. LEDs para mejorar la iluminación en una esquina de la mesa	41
3.14. Esquema de componentes para la configuración FTIR	43
3.15. Usar la configuración equivocada de materiales puede resultar en dos problemas: (izquierda) o el efecto de FTIR no es suficientemente intenso; o (derecha) las capas se quedan pegadas	45

3.16. Superficie de contacto realizada en el laboratorio	47
3.17. Superficie de contacto de silicona: el hueco (c) está entre la superficie de proyección (d) y la combinación de la silicona (b) y la superficie acrílica (a)	48
3.18. Superficie de contacto de látex: las capas de proyección (d) y de látex (c) han de estar combinadas; el hueco (b) estará entre éstas dos y la superficie acrílica	49
3.19. Tira de látex	50
3.20. Cinta de LEDs para FTIR y su fuente de alimentación	51
3.21. Interfaz de tbeta	53
3.22. Aplicamos “Remove Background”. Apreciamos cómo a pesar de seguir existiendo brillos en la imagen fuente, el fondo de la imagen tratada es negro y el reconocimiento de los blobs claro	55
3.23. Desactivamos el filtro “Highpass”. Se cuelan y detectan partes borrosas como la sombra de la mano	56
3.24. Ajuste de “Smooth”. Obtenemos una imagen de calidad al filtrar el ruido de la imagen	57
3.25. Pantalla de calibración	58
4.1. Reconocimiento de marcadores fiduciales a través de reacTIVision	60
4.2. Programa de reconocimiento de fiduciales mediante Pure Data y reacTIVision	61
4.3. Muestra de cómo aparecen las identificaciones de cada fiducial al mostrarlos (added) o quitarlos (removed) de delante de la cámara en Pure Data	62
4.4. Programa gráfico de reconocimiento de fiduciales mediante Pure Data y reacTIVision	63
4.5. Muestra de cómo aparecen en un tablero las identificaciones de cada fiducial al mostrarlos o quitarlos de delante de la cámara en Pure Data	64
4.6. Programa de ejemplo en Flash	65
4.7. Escenario para comparar movimientos de ratón/movimientos multi-touch	66
4.8. La manipulación de un dispositivo multi-touch permite simultanear acciones que en un PC tradicional tendrían que ser secuenciales	67
4.9. DI permite reconocer manos y fiduciales	67
4.10. Comparativa de brillos en FTIR y DI	68
4.11. Comparativa de zonas oscuras en FTIR y DI	69
4.12. Efecto de los cambios de luminosidad en DI	70
4.13. Falsos positivos y negativos para una rutina de 10 movimientos FTIR con 1 dedo	72
4.14. Falsos positivos y negativos para una rutina de 10 movimientos FTIR con 2 dedos	73
4.15. Falsos positivos y negativos para una rutina de 10 movimientos DI con 1 dedo	74
4.16. Falsos positivos y negativos para una rutina de 10 movimientos DI con 2 dedos	75

B.1. Plano de la estructura de la mesa elaborado por Dominik Schmidt en la que está basado nuestro diseño	92
B.2. Plano de la superficie de la mesa elaborado por Dominik Schmidt en la que está basado nuestro diseño	93
B.3. Plano de las paredes de la mesa elaborado por Dominik Schmidt en la que está basado nuestro diseño	94
B.4. Lista de materiales del diseño original de Dominik Schmidt	95
D.1. Vista general de la mesa	104

Índice de Tablas

3.1. Materiales de la estructura de la mesa	28
3.2. Comparativa de proyectores de corto alcance (tabla extraída de (2)) . .	36
3.3. Presupuesto aproximado para el diseño de una mesa multi-touch DI . .	42
3.4. Presupuesto aproximado para el diseño de una mesa multi-touch FTIR	52

Capítulo 1

Introducción

1.1. Prefacio

“Las máquinas que se ajusten al entorno humano en lugar de forzar a los humanos a entrar al suyo harán que el usar una computadora sea tan agradable como un paseo por el bosque” (11)

Me van a permitir que comience la memoria de mi Proyecto de Fin de Carrera con una historia de curiosidad en primera persona que me llevó a realizar el estudio que coparía buena parte del tiempo y el esfuerzo de los últimos meses y del que aquí verán reflejado su fruto.

Habiendo ahorrado minuciosamente, al fin conseguí hacerme con una cámara MiniDV con la que me disponía a rodar mis primeros pseudo-cortometrajes. Sin embargo, y para mi sorpresa, los primeros usos que le daría a mi preciada adquisición mucho distaron de los esperados. Y es que pronto descubrí que la cámara podía hacer la función de entrada de vídeo en mi PC y que no era nada complicado usarla de interfaz, como si de un teclado, un ratón o la voz, se tratara, para detectar imágenes delante de su objetivo y transformarlas mediante la programación en comandos. Sólo había que imprimir unas figuritas en negro sobre blanco llamadas amebas o fiduciales, y un software, reacTIVision, y comprobar lo sencillo que es convertir algo que enseñas a la cámara; es decir, un gesto que realizas, en una orden para el computador.

Habiendo descubierto esta nueva funcionalidad se abría un mundo de posibilidades que fui desarrollando a través de la programación en lenguaje Pure Data que me permitía realizar distintos cálculos matemáticos, incluyendo la generación de ondas senoidales, y por tanto de sonidos, de figuras geométricas en movimiento, y por tanto de vídeos, en función de la o las figuras mostradas a cámara.

Además hallé que podía transformar estas mismas órdenes hasta ahora matemáticas en comandos MIDI y generar y manipular músicas realizando un puente entre Pure

Data y un secuenciador de audio y MIDI llamado Ableton Live. Lo interesante de esto, más allá de lo estrictamente musical, es que empezaba a suponerme una incomodidad el tener que mostrar varias figuras a la cámara, a veces al mismo tiempo, sin disponer de una superficie en la que apoyarme. Y de manera tan casual creé, sin saberlo, mi primera mesa multi-touch con una caja de cartón, una webcam ordinaria (ya ni siquiera era necesaria una cámara de mejor definición) en el fondo y un cristal como superficie para posar las figuras de papel mostradas al objetivo.

Poco después encontré una librería, Touchlib (más tarde conocida como tbeta), que proporcionaría la opción de deshacerme de los fiduciales y empezar a dar órdenes con los dedos de la mano y mediante gestos directos. ¡Qué maravilla! Incluso rápidamente se me revelaría el mayor desafío en la creación de mesas multi-touch, y en lo que más tiempo pasaría investigando, probando, haciendo y deshaciendo: la iluminación.

Así, sí, dio comienzo este Proyecto de Fin de Carrera que espero sea de utilidad para los que vengan después en la investigación de un campo tan interesante, incipiente y ambicioso como es el de las tecnologías táctiles. Bienvenidos.

1.2. Motivación

La inteligencia ambiental es una disciplina informática que persigue la integración transparente de tecnologías de computación en entornos físicos (hogares, hospitales, aulas, vehículos, etc). Así, proporciona entornos altamente interactivos que usan computación embebida para observar y participar en los asuntos cotidianos del mundo que les rodea (12). Uno de los retos que plantea esta disciplina es el desarrollo de interfaces naturales con las que usar dichas tecnologías.

En este sentido, las superficies multi-touch (del inglés *tacto múltiple*), que se caracterizan por detectar varios puntos de interacción simultáneamente sobre la propia superficie, permiten desarrollar diversas técnicas de **Interacción Hombre-Máquina*** que prescinden de barreras informáticas como ratón o teclado en favor de una manipulación más directa, natural y con capacidad para múltiples usuarios. A su vez estas superficies pueden integrarse en el entorno de forma no intrusiva, proporcionando una herramienta de interacción idónea a los entornos inteligentes.

*HCI

1.3. Objetivos

El objetivo principal de este Proyecto es, como indica su título, el diseño y la implementación de una mesa multi-touch. Además trataremos de comprender su funcionamiento mediante varias aplicaciones y pruebas de ejemplo. Serán pues objeto de estudio la utilidad, el alcance, la naturalidad o la usabilidad de las tecnologías multi-touch y más específicamente de un prototipo de mesa funcional realizado en el laboratorio AmILab de la Universidad Autónoma de Madrid.

1.4. Organización de la memoria

- Información general de este trabajo

Publicaciones recientes han demostrado que las pantallas multi-touch tienen el potencial de revolucionar la HCI en el modo en que permiten la interacción intuitiva con aplicaciones a través de la manipulación directa de las construcciones gráficas. Varios grupos de investigación han demostrado que la realización de tareas simples a través de pantallas multi-touch muestran una gran mejoría respecto a los métodos convencionales. Por desgracia, la mayoría de aplicaciones gráficas interactivas que existen en la actualidad no son capaces de explotar este potencial ya que están diseñadas para un dispositivo de puntero único como el ratón. Este proyecto de investigación se ha dividido en cuatro partes.

- Estudio del Estado del Arte en la materia

Realizaremos un profundo estudio del Estado del Arte en la materia de las tecnologías táctiles y multi-táctiles con el fin de situar nuestro proyecto.

- El diseño y la implementación de un dispositivo multi-touch de tipo óptico

Actualmente no hay apenas dispositivos de multi-touch de tipo óptico disponibles en el mercado. Con el fin de realizar los experimentos necesarios diseñamos y construimos un dispositivo multi-contacto desde cero. Es este el grueso del Proyecto de Fin de Carrera.

Trabajaremos en base a diferentes librerías de interacción gestual. Con la introducción de lo multi-táctil, la interacción gestual se ha convertido en un nuevo estándar en la interacción con las aplicaciones. Para poder utilizar los gestos en un dispositivo multi-touch es necesario diseñar e implementar una librería de interacción gestual Multi-Touch (en el AmILab se ha desarrollado paralelamente la aplicación FLING^{**}). La librería va a recuperar la información del software de seguimiento multi-touch y transformarlo en órdenes. Los gestos detectados

^{**}<http://amilab.ii.uam.es/doku.php?id=fling>

están expuestos a los desarrolladores de aplicaciones a través de una interfaz de programación de aplicaciones.

- Pruebas y aplicaciones

Con el fin de medir las capacidades de entrada y beneficios de un dispositivo multi-touch una batería de pruebas será corrida sobre la mesa. Las pruebas servirán para estudiar la tolerancia a la luminosidad ambiental, el impacto de la configuración software, las limitaciones,... de nuestro dispositivo.

- Conclusiones y trabajo futuro

Estado del Arte

La existencia de patentes desde principios de la década de los 70 (13) (14) demuestra que la tecnología multi-touch no es completamente nueva. Existen diversas tecnologías táctiles, como las basadas en la resistencia o en la capacitancia que requieren fabricación industrial; sin embargo, el redescubrimiento del principio de la **Reflexión Total Interna Frustrada**^{*} y de la **Iluminación Difusa**^{**} ha permitido desarrollar superficies multi-touch robustas y de bajo coste. Así, estas técnicas de identificación de puntos de contacto en una superficie mediante análisis de imagen (dedos en el caso de la FTIR y/u objetos identificados por su forma o a través de marcadores imprimidos en su superficie inferior en el caso de la DI) han sido punta de lanza de numerosas innovaciones en este campo que, en los últimos años, están recibiendo considerable atención y empezando a comercializarse en el mercado (véanse productos como la Microsoft Surface, la re-acTable de la Universidad Pompeu i Fabra o las mesas de Perceptive Pixel). Vamos a omitir parcialmente los dispositivos de pequeño tamaño (iPad, Smartphones, etc) por considerarlos complementarios pero no sustitutivos de los aquí nombrados.

2.1. Estudios Previos

- Inteligencia Ambiental: Weiser y Coen

Weiser (11) ya hablaba de los ordenadores personales como un paso intermedio, una transición, para alcanzar el verdadero potencial de la información tecnológica e intentaba imaginar una nueva manera de pensar los computadores; una en la que se tuviera en cuenta el mundo humano y se permitiera a las propias máquinas desaparecer, fundirse en el ambiente. Esta desaparición no sería una consecuencia fundamental del desarrollo tecnológico sino de la psicología humana:

^{*}FTIR

^{**}DI

cuando una persona aprende algo suficientemente bien, deja de ser consciente de ello. Además, se empezaba a sugerir que una computadora ubicua debe saber dónde se encuentra, conocer su alrededor para poder interactuar con él e incluso adaptarse al mismo. Esto evidentemente entronca directamente con las diferentes aplicaciones que puede tener una mesa multi-touch en función del lugar en el que se coloque; por ejemplo, en el AmILab, laboratorio en donde se simula una habitación inteligente (12), se pueden controlar distintas variables del entorno (luces, presencias, otros aparatos,...) desde la propia mesa.



Figura 2.1: Laboratorio de Inteligencia Ambiental AmILab

El propio Coen describía un entorno inteligente como aquél que lleva la computación al mundo físico, real. El objetivo es el de permitir a las computadoras participar en actividades en las que nunca habían sido requeridas y permitir al usuario interactuar con estos sistemas de la manera en que lo harían con otras personas: mediante gestos, voz, movimiento y contexto.

- Un referente, Buxton

No podemos proseguir nuestro repaso a las primeras tecnologías táctiles sin nombrar a William Buxton, el que probablemente sea el mayor teórico en la materia. Recomendamos fervientemente la lectura de su work-in-progress *Multi-Touch Systems that I Have Known and Loved**** cuyo estudio daría para la realización de otro Proyecto de Fin de Carrera completo.

El propio Buxton en el año 1985 presentaría un prototipo de tableta sensible al tacto (1) cuya mayor innovación es que era capaz de detectar varios puntos de contacto al mismo tiempo, asociando unas coordenadas y un grado de fuerza a cada uno. Esta cualidad provenía de la división de la superficie de la tableta en

***<http://www.billbuxton.com/multitouchOverview.html>

2.1. ESTUDIOS PREVIOS

una malla de puntos discretos rodeada por una matriz de sensores basada en la técnica de la medición de la capacitancia entre la punta de un dedo y una placa de metal.

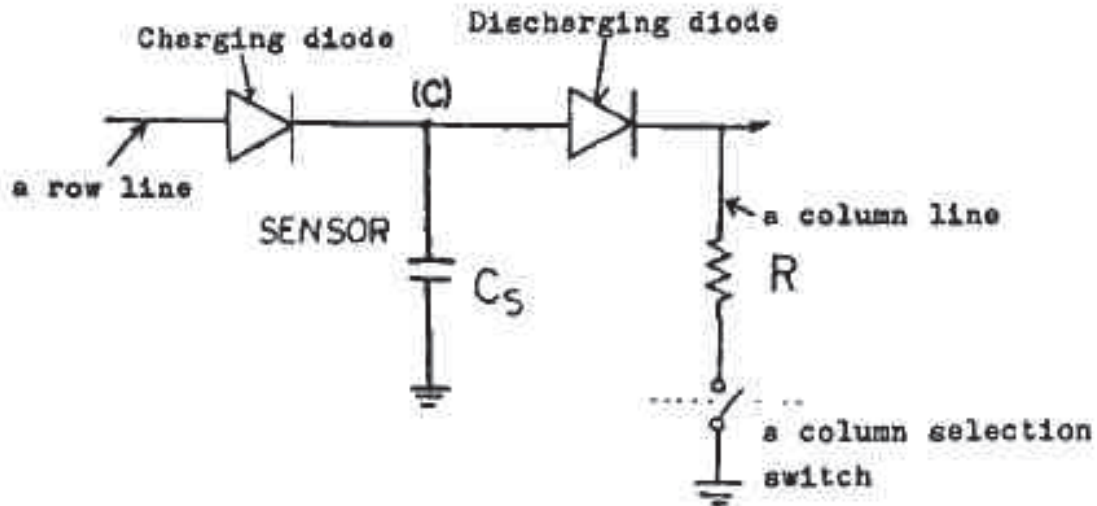


Figura 2.2: Un modelo de sensor en una matriz de sensores (figura extraída de (1))

El algoritmo utilizado para localizar el contacto es el de subdivisión recursiva. Es decir, al detectar un contacto en un cuadrado se divide este en dos cuadrados iguales y se vuelve a buscar en cuál de ellos ocurre el evento y así recursivamente hasta dar con el mínimo cuadrado que pueda dar las coordenadas buscadas. Un año después ya demostraba cómo el uso de dos manos mejora el rendimiento en la realización de determinadas tareas, asemejando cada vez más la superficie multi-touch a un escritorio convencional en el que usas las dos extremidades para, por ejemplo, escribir y mover una hoja al mismo tiempo (15).

En los subsiguientes años ya se empezaban a discutir formas para mejorar la precisión de las superficies táctiles (16), y en los albores del milenio siguiente (17) aún se planteaban mecanismos como el Active Click: un transductor de corriente eléctrica a vibración colocado detrás de la pantalla en un Asistente Digital Personal**** que mejoraría el rendimiento en ambientes ruidosos.

A continuación se estudian las diferentes tecnologías para la fabricación de superficies táctiles y multitáctiles mediante la clasificación planteada en el Technical Report (2) realizado por miembros de la comunidad más importante de estudiosos sobre

**** PDA

la materia de interfaces naturales, el NUI Group^{****}, para el IEEE Tabletops Workshop de 2008. Esta clasificación ha sido usada como referencia a partir de entonces por numerosos investigadores. Al Nui Group contribuyó el autor de este texto mediante la recopilación de una extensa bibliografía sobre tecnologías multi-touch. Esta puede encontrarse en <http://http://www.citeulike.org/user/pfcgonzalo>

2.2. Superficies Táctiles Resistivas

Mediante dos finas capas conductoras y transparentes separadas por un material aislante y un controlador que alterne entre ambas se puede desarrollar una superficie táctil (no multi-táctil) resistiva. Ejemplos de materiales que aparecen en la literatura son el óxido indio-estaño, para cubrir la parte conductiva, y el silicio, para la parte aislante. El controlador se encarga de, por un lado, alimentar una de las capas y, por el otro, medir la corriente de la otra. Así, es fácil crear un divisor de tensión al pulsar la pantalla que, gracias al controlador, nos permite saber las coordenadas del toque e incluso la fuerza del mismo.

Es una tecnología barata y por ello se utiliza en PDAs, cámaras digitales y consolas portátiles (por ejemplo: Nintendo DS^{*****}). Además de baratas, este tipo de pantallas son de bajo consumo. El inconveniente que presentan es que son frágiles y que, al no ser excesivamente brillantes, se hace complicado encontrar soluciones para colocar protecciones encima de ellas. Se puede encontrar información más detallada en (18) y (2).

En la siguiente Figura 2.3 se puede apreciar cómo una membrana flexible se coloca del lado del usuario y un sustrato de vidrio en el lado contrario.

**** <http://nuigroup.com>
***** <http://www.nintendo.es>

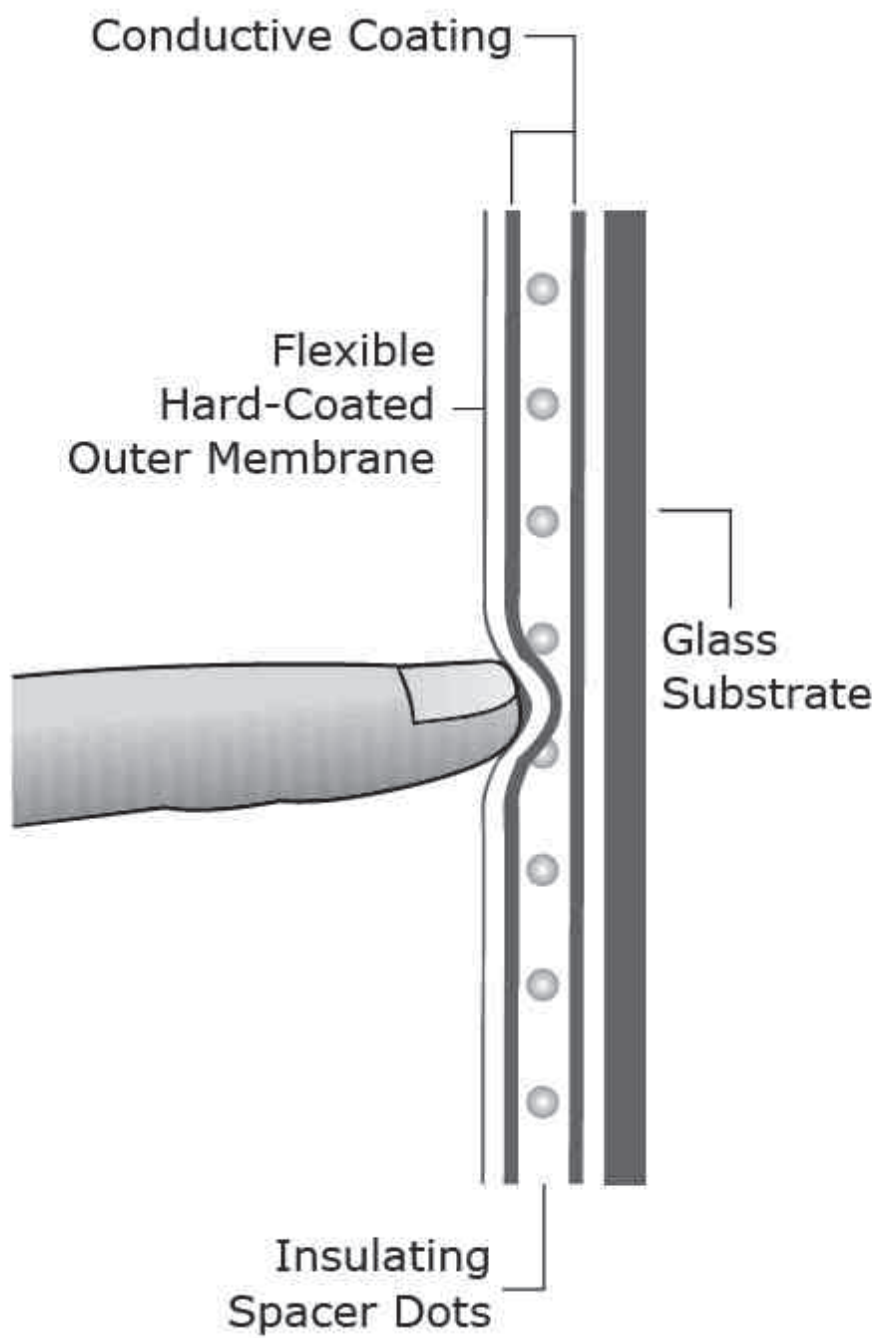


Figura 2.3: Funcionamiento de una superficie resistiva (figura extraída de (2))

2.3. Superficies Táctiles Capacitivas y Superficies Táctiles de Capacidad Proyectada

Estas tecnologías se han hecho famosas al ser utilizadas en el producto estrella de los últimos años en lo relativo al multi-touch: el iPhone (21). Al contrario que las superficies resistivas, las que tienen que ver con la capacidad tienen una alta claridad, son robustas, y son caras. Como ellas, estuvieron en un principio preparadas para ser táctiles pero se les añadió la funcionalidad multi-táctil con el paso de los años.

Se usan tanto en los ratones integrados en los portátiles o en las tabletas de diseño como en aplicaciones industriales en ambientes con condiciones moderadamente duras. Una de sus cualidades a tener en cuenta es que no les afecta la presencia de objetos no conductores (tazas, papeles,...) sobre la superficie.

En 1985 Lee, Buxton y Smith desarrollaron una tableta multi-touch capaz de medir también la presión de contacto (1) y Buxton realizó un análisis de las posibilidades de ésta en la HCI (19). Ese mismo año R. Boie de Bell Labs desarrolló la primera pantalla multitáctil conocida (20) en la que la precisión disminuía al sumar puntos de contacto.

- Superficies Táctiles Capacitivas

En este caso, se colocan electrodos en los bordes del cristal (cubierto por una superficie conductora) que generan un campo eléctrico. Al pulsar la pantalla este campo se modifica y se obtienen las coordenadas del toque midiendo la corriente en las esquinas del cristal.

- Superficies Táctiles de Capacidad Proyectada

Es la más robusta y la más cara de las tecnologías presentadas hasta ahora. Su mayor ventaja respecto a las demás es que presenta soluciones multi-táctiles.

Los Mitsubishi Electric Research Laboratories (MERL) son pioneros en la creación de un dispositivo multi-touch en el año 2001: el Diamond Touch (3). Es una mesa pensada para uso colaborativo con identificación de cada usuario, de hecho las sillas que la rodean van conectadas a un receptor para que se formen dos acoplamientos capacitivos: la persona con la mesa y la persona con la silla. Los usuarios deben evitar el tocarse entre sí para no romper lo descrito. Como vemos en la Figura 2.4, el proyector está colocado encima de la superficie, por lo que cualquier objeto o persona que se interponga en su haz de luz pervierte la señal enviada. Para obtener las coordenadas de cada contacto, se usan los diamantes que vemos en la misma figura. Éstos no son más que filas y columnas de antenas conectadas en una dirección y aisladas en la contraria que al ser tocadas crean como hemos visto anteriormente un acoplamiento capacitivo.

2.3. SUPERFICIES TÁCTILES CAPACITIVAS Y SUPERFICIES TÁCTILES DE CAPACIDAD PROYECTADA

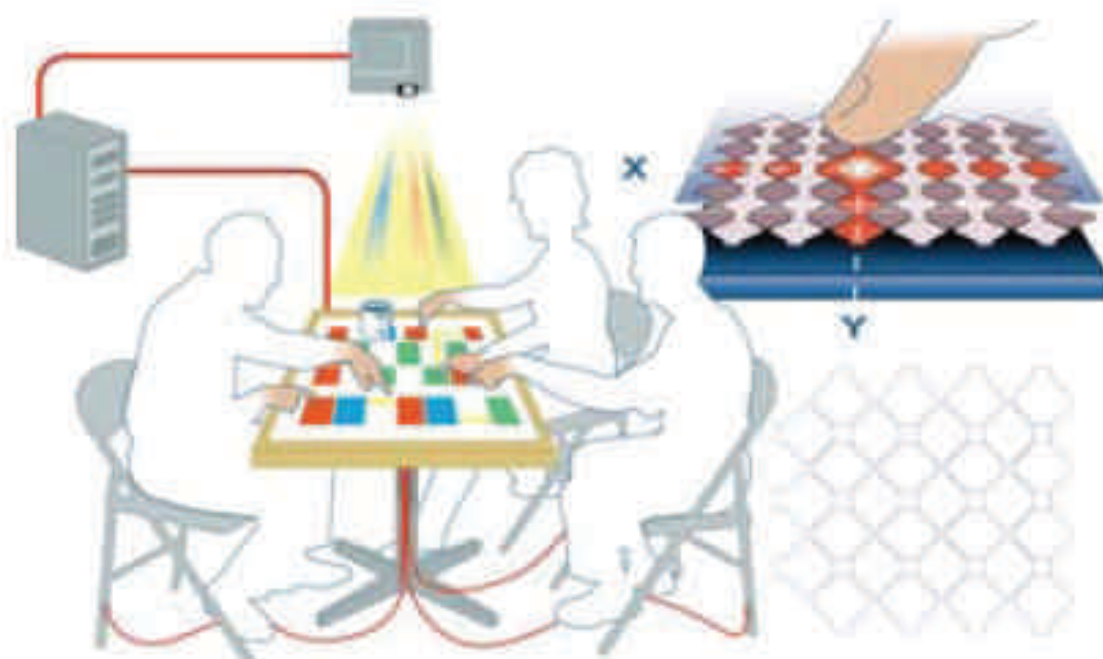


Figura 2.4: Esquema de una Diamond Touch (figura extraída de (3))

Un año más tarde, en 2002, los Sony Computer Sciences Laboratories presentan su superficie multi-touch: la SmartSkin (4). Comparte con la Diamond Touch el hecho de que el proyector está colocado de manera frontal. Como vemos en la Figura 2.5, las coordenadas del objeto conductor (un dedo es un objeto conductor desde el punto de vista físico) y su distancia respecto a la superficie (en este caso no hace falta tocarla para detectar su presencia) se obtienen mediante la medición de la señal enviada por una malla de electrodos de cobre (de los transmisores a los receptores) situada entre dos superficies de cristal. Esta señal se ve modificada al acercar un objeto conductor.

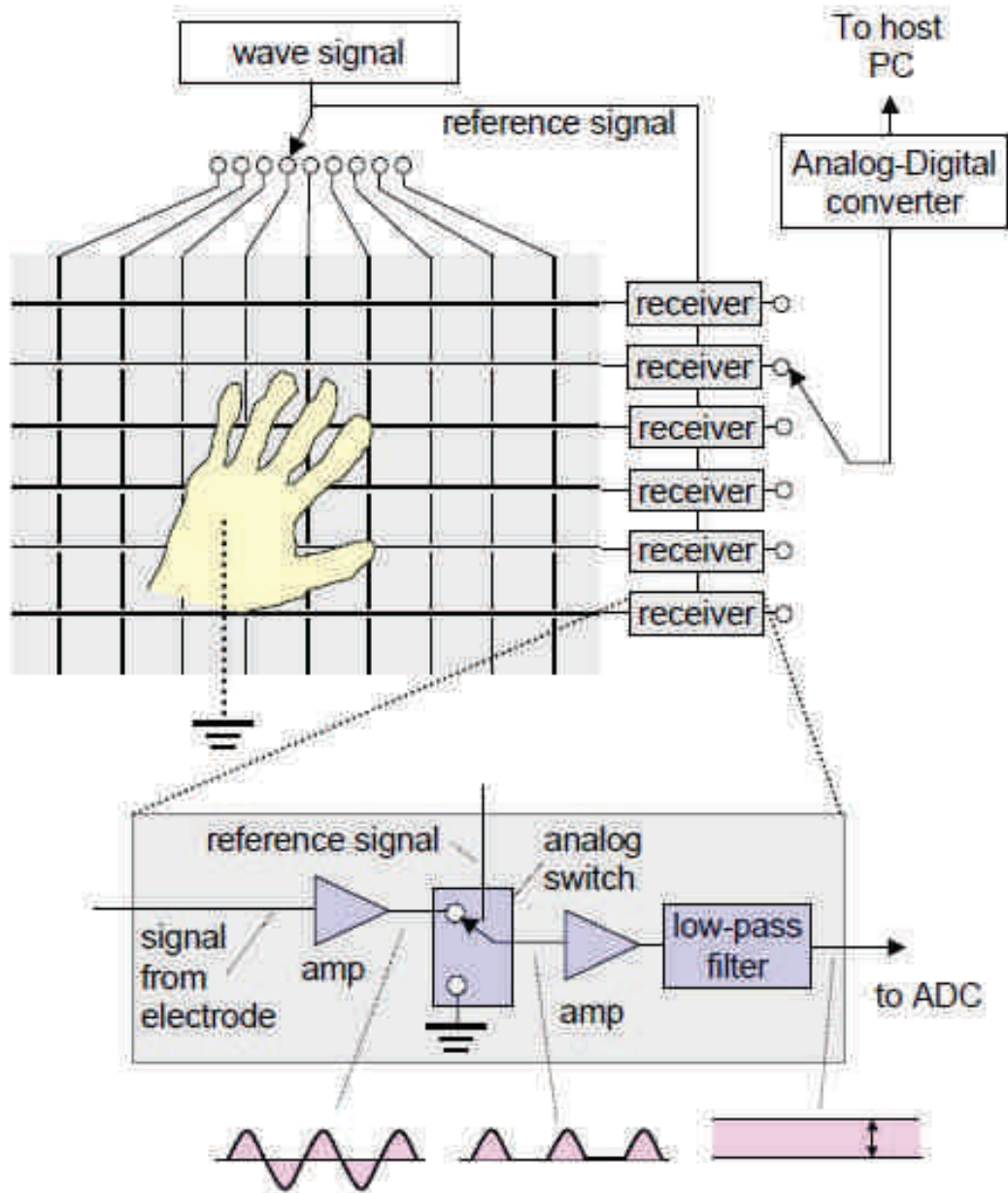


Figura 2.5: Configuración de sensores en una Smart Skin (figura extraída de (4))

2.4. Superficies Táctiles basadas en Ultrasonidos

De las tecnologías nombradas, es la gran desconocida (aunque existen patentes, véase Surface Wave Touch (SAW) (22)). Además, sólo soporta dos contactos simultáneos. Esta vez para medir las coordenadas del toque habrá que observar cómo se modifican

las ondas de ultrasonidos lanzadas por unos piezoeléctricos montados en la superficie.

2.5. Superficies Táctiles Ópticas

Al pensar en superficies táctiles ópticas, la primera que nos viene a la mente es el reacTable (5), un instrumento electro-acústico que a diferencia de los modelos vistos más arriba lleva el proyector debajo de la superficie y obtiene las coordenadas de los toques mediante el procesado y filtrado de la imagen; es decir, mirando a través de una cámara (también situada en el interior de la mesa). Este dispositivo no lee dedos, sino imágenes llamadas fiduciales:

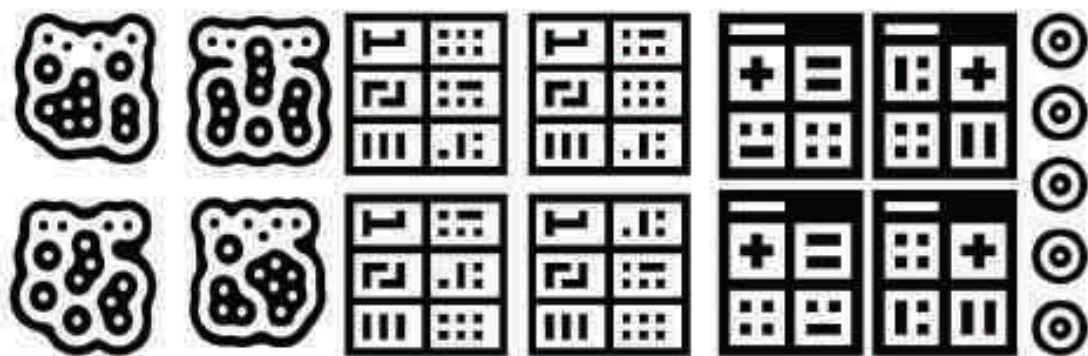


Figura 2.6: Diferentes tipos de fiduciales (figura extraída de (5))



Figura 2.7: reacTable (figura extraída de (5))

Además de lo recientemente escrito, estas tecnologías ópticas tienen la ventaja de ser robustas y de un coste muy inferior a las anteriores. Para mejorar su rendimiento y aislar sus capacidades de las condiciones ambientales suelen funcionar con luz infrarroja.

- Superficies Multitáctiles a partir de Cámaras situadas por encima de la Superficie

Como la Diamond Touch o la SmartSkin comparten el problema de las sombras creadas por las personas u objetos que se interpongan entre la superficie y la cámara o el proyector. Un ejemplo de esta tecnología es el PlayAnywhere (6) de Microsoft que permite utilizar cualquier superficie (no hace falta usar una mesa en particular) analizando las sombras de los puntos de contacto mediante las cámaras situadas en la parte frontal, ver Figura 2.8.

2.5. SUPERFICIES TÁCTILES ÓPTICAS

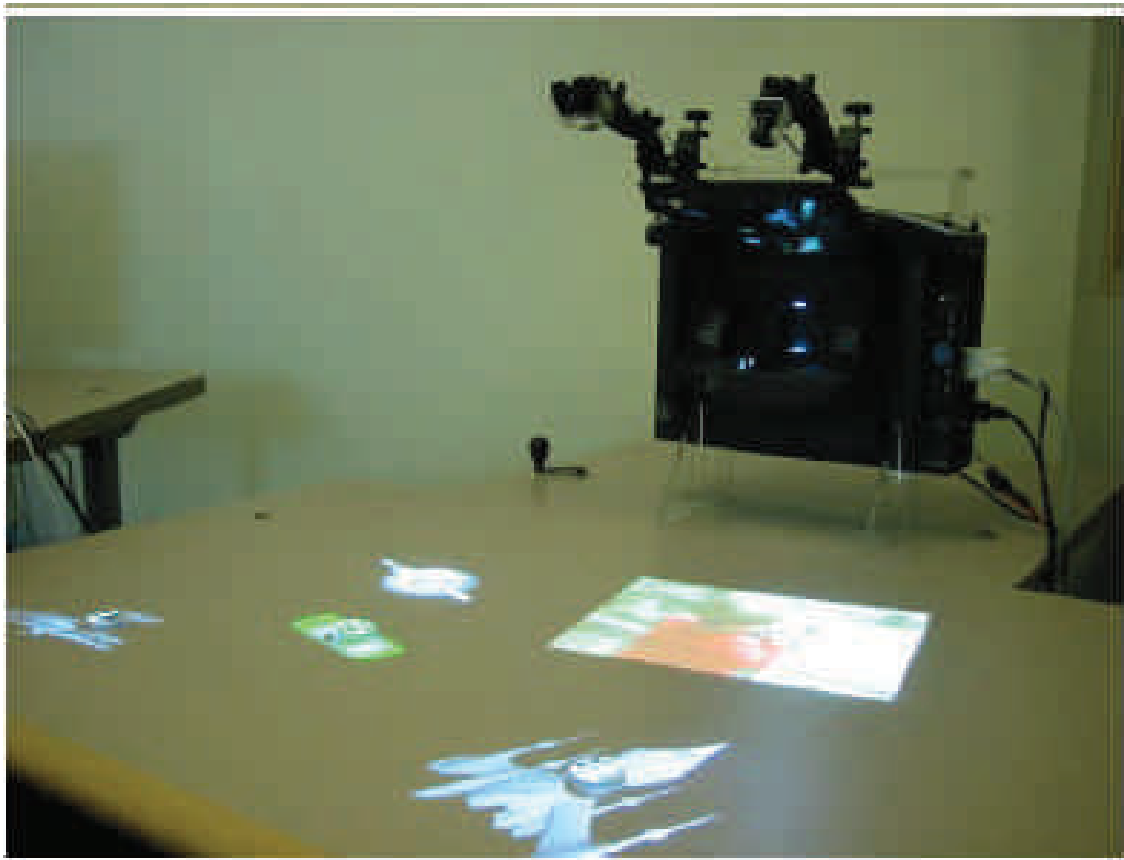


Figura 2.8: Prototipo de Play Anywhere (figura extraída de (6))

- Reflexión Interna Total Frustrada (FTIR)

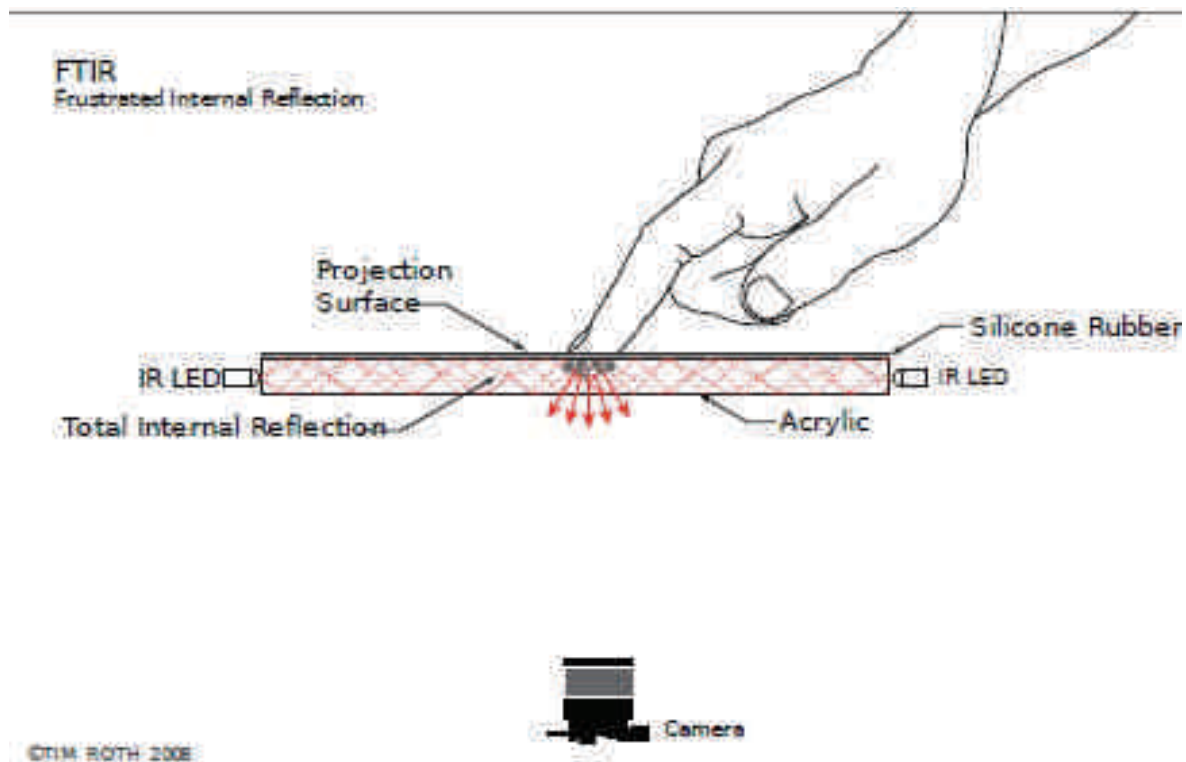


Figura 2.9: Esquema FTIR (Tim Roth, 2008)

El redescubrimiento del principio óptico de la Reflexión Interna Total Frustrada por Han (24) ha relanzado el estudio de las tecnologías multitáctiles ópticas. Este procedimiento ha sido usado durante años para el reconocimiento de huellas dactilares y Han propuso una versión aumentada de este proceso. El principio establece que las ondas electromagnéticas transmitidas por el interior de un material son completamente reflejadas si el material tiene un índice de refracción superior a los materiales situados en su frontera y el ángulo de incidencia es superior a un cierto ángulo crítico. Sin embargo otro material situado en la frontera puede frustrar esta reflexión interna, dejando escapar la luz. Las superficies que utilizan este método por tanto constan generalmente de un panel acrílico con un marco alrededor de LEDs infrarrojos que inyectan luz dentro. Al ser tocado el acrílico, la luz es reflejada en el punto de contacto del dedo debido a su mayor índice de refracción. Una cámara sensible al espectro infrarrojo situada al otro lado del panel puede detectar estas reflexiones. Tratando estas imágenes se pueden conocer los puntos de contacto. Al ser la superficie transparente se puede usar un proyector detrás del panel para obtener una pantalla multitáctil (25) (26) (2).

En los siguientes años se perfeccionaría la técnica añadiendo una superficie de contacto transparente (goma, silicona, látex,...) por encima de la superficie acrílica (27) que mejoraría la experiencia táctil (*sensación de tocar algo*) además de amplificar el efecto FTIR. Más adelante se añadiría la capacidad de leer objetos

2.5. SUPERFICIES TÁCTILES ÓPTICAS

(FTIR sólo reconoce dedos) mediante la colocación de luces infrarrojas por encima de la superficie (28). El haz de luz que crean éstas se multiplexa en el tiempo con el propio haz de dentro de la superficie con el resultado de poder identificar sombras (de objetos, manos,...).

■ Iluminación Difusa (DI)

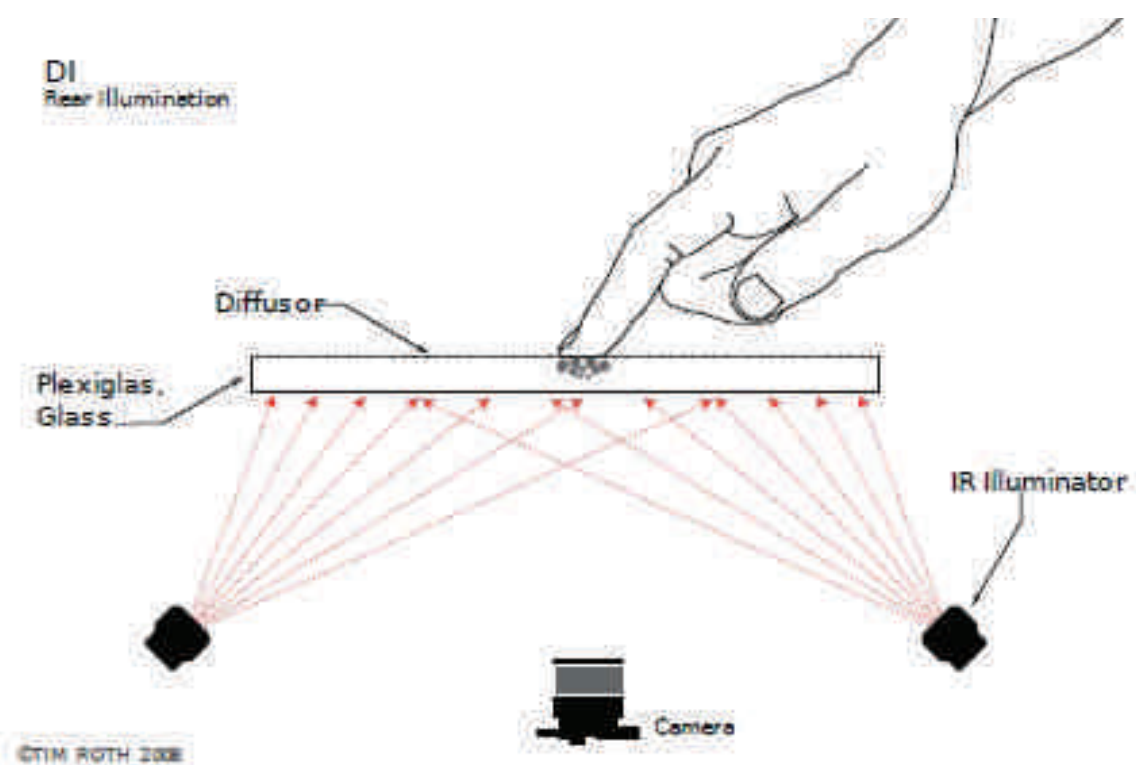


Figura 2.10: Esquema DI (Tim Roth, 2008)

Ejemplos de dispositivos DI:

- **Microsoft Touchlight, 2004**

Microsoft Touchlight (7) es una pantalla con tecnología similar a DI pero con capacidad de generar imágenes 3D a partir de dos imágenes en 2D mediante estereo visión:



Figura 2.11: Microsoft TouchLight (figura extraída de (7))

- **Microsoft Surface, 2007**

Microsoft Surface (<http://www.microsoft.com/surface>) es el más conocido de los dispositivos comerciales. Es una mesa multi-touch con capacidad para detectar objetos además de dedos. Actualmente ya va por su versión 2.0:



Figura 2.12: Microsoft Surface

- **Microsoft Sphere, 2008**

Microsoft Sphere (9) tiene la particularidad de ser una superficie esférica:



Figura 2.13: Microsoft Sphere (figura extraída de (9))

- **Microsoft SecondLight, 2008**

Microsoft SecondLight (8) proyecta y detecta actividad en el plano de la superficie y en planos paralelos situados por encima de ella:

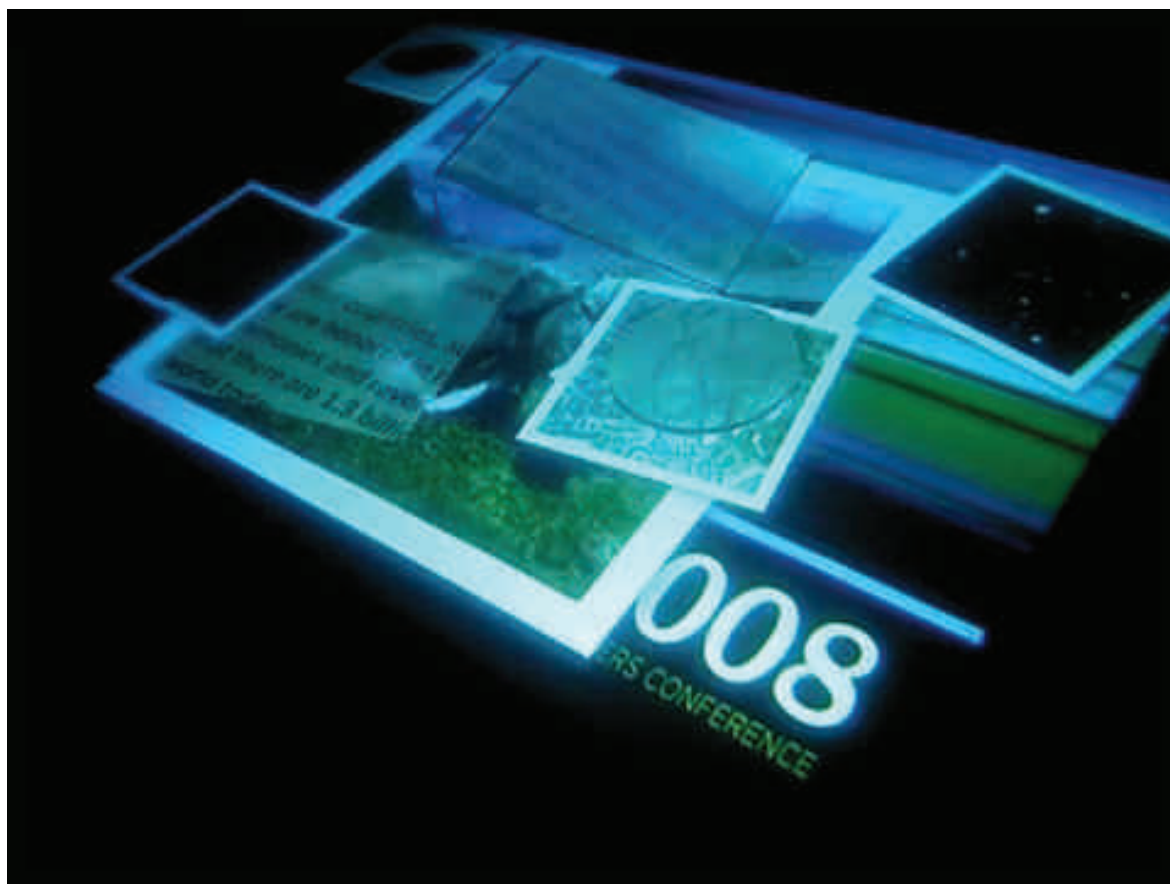


Figura 2.14: Microsoft SecondLight (figura extraída de (8))

Como se aprecia en la Figura 2.10, la configuración es similar a la de FTIR pero esta vez la luz infrarroja se distribuye por dentro de una mesa cerrada (le afecta la iluminación ambiental) y se lanza desde lámparas de infrarrojos. El objetivo es tener una iluminación difusa en la superficie. Este sistema permite detectar objetos por su forma y admite capas transparentes de protección por encima de la superficie. Al recibir un contacto, la cámara lo percibe porque refleja la luz infrarroja. Sin embargo, un objeto situado en un plano superior al de la superficie es difuminado y por lo tanto no leído.

- Superficie de Iluminación Difusa (DSI)

2.6. SUPERFICIES MULTITÁCTILES A PARTIR DE LCD CON SENSORES ÓPTICOS

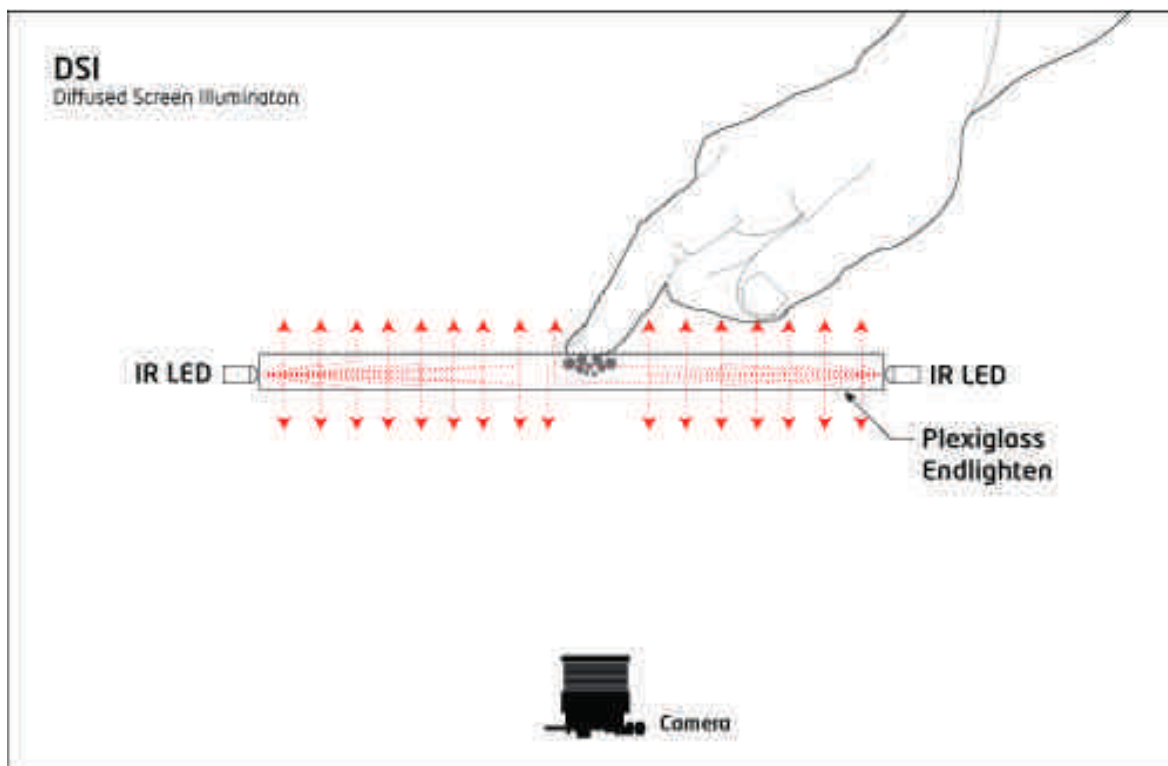


Figura 2.15: Esquema DSI (Tim Roth, 2008)

El inventor de esta técnica derivada de las dos anteriores es Tim Roth (<http://iad.projects.zhdk.ch/multitouch/>). Es similar a FTIR porque lleva luz infrarroja por dentro del acrílico mediante la colocación de LEDs en los bordes y porque no se necesita tapar la mesa pero, al tener menos contraste (2), sufre más con las condiciones lumínicas ambientales. La diferencia principal respecto a FTIR es que el acrílico lleva por dentro unas pequeñas partículas que actúan como espejos y expanden la luz por todo el acrílico (incluso por arriba y debajo de él). Esto resulta en una iluminación realmente difusa en la superficie (el gran reto al construir una mesa DI) y además permite la lectura de fiduciales (no se necesitan siliconas u otros materiales encima del acrílico).

2.6. Superficies Multitáctiles a partir de LCD con Sensores Ópticos

La tecnología más común es la de Plano de Luz mediante LEDs (LED-LP). Como su nombre indica, esta técnica consiste en la creación de un plano de luz infrarroja por encima de la superficie (y no por dentro como en FTIR). Para que la luz no se escape

del plano se hace uso de un marco. La utilidad de esta tecnología es la de transformar LCDs (pantallas de cristal líquido) no táctiles en táctiles colocando el marco encima de la pantalla. Al pulsar el marco, la luz infrarroja atraviesa la pantalla sin que se perturbe ni la imagen de la pantalla ni el propio haz de infrarrojos y este se captura con una cámara que sólo vea en el espectro infrarrojo. Aunque su funcionamiento no es para nada óptimo, se está comercializando de manera importante por su extremada sencillez y por la gran penetración de los dispositivos LCDs en el mercado. Existen métodos similares con menor éxito que usan láser (Plano de Luz Láser, LLP) pero son demasiado peligrosos para el ojo. Evidentemente, al igual que en el caso de FTIR, no se pueden reconocer objetos con esta técnica.

Diseño e implementación de la mesa

Para este proyecto de investigación hemos implementado y probado dos técnicas (FTIR y DI) en una misma mesa. Ambas técnicas están basadas en el reconocimiento de imagen mediante una cámara. La elección de una u otra técnica depende del ambiente en el que se encuentre situada la mesa y del tipo de aplicaciones que se vayan a ejecutar en ella. En este capítulo retomaremos brevemente cómo funcionan estas técnicas, qué criterios tuvimos en cuenta para la implementación del dispositivo y los problemas con los que nos encontramos. Para la implementación de la mesa nos basamos en el prototipo DI realizado por Dominik Schmidt (<http://www.dominikschmidt.net/>) en la Lancaster University.

3.1. Criterios de diseño y funcionamiento de los dispositivos ópticos

Nuestro objetivo principal es el de probar las limitaciones y potencial de una mesa multi-touch que construiremos en el laboratorio con las dos tecnologías arriba mencionadas. Una referencia a nivel de diseño y funcionamiento desde el principio fue la Microsoft Surface por ser la de mayor penetración en el mercado. El diseño en el que nos basamos fue el de Dominik Schmidt que se ajusta a estas características y explica con detalle el proceso constructivo. Así, su altura tendría que ser el de una mesa estándar (para poder usarse estando de pie o sentado al lado de la mesa) y su superficie ser lo suficientemente grande como para poder ser usada por varias personas al mismo tiempo. Estas podrían estar realizando tareas colaborativas o manipulando la mesa por separado. Otro objetivo a la hora de diseñar la mesa es el de aislar lo máximo posible su funcionamiento de las condiciones ambientales. Más adelante explicaremos qué se ha conseguido y qué no.

Así, las primeras semanas de trabajo fueron dedicadas a elegir los materiales en base

a los propuestos por Dominik Schmidt y a encontrar los distribuidores más económicos para cada pieza. En los casos de materiales como el hot mirror, el acrílico, el filtro de infrarrojos para la cámara o la silicona no fue tarea sencilla.

Müller (10) es la referencia a nivel de software en mesas multi-touch y esta es su descripción de la cadena de eventos que ocurren cuando se procede a utilizar una de ellas:

Los dispositivos ópticos (basados en visión de blobs, también llamados marcas o eventos, a través de una cámara) multi-touch comparten el mismo concepto de procesamiento y filtrado de imágenes capturadas en patrones. En general, la interacción puede ser descrita como la del pipeline de la Figura 3.1. El pipeline se inicia cuando el usuario ve una escena en el panel y decide interactuar. Para interactuar con el dispositivo, el usuario toca el panel. A nivel de hardware, la cámara registra el toque. Debido a que el fotograma capturado puede no sólo incluir los puntos de contacto, sino también un fondo estático, se requiere realizar el procesamiento de imagen en cada fotograma capturado. El fotograma capturado se convierte en una imagen en escala de grises y el fondo se elimina al restar el fotograma actual con uno de referencia.

Como resultado, el cuadro sólo muestra los contornos blancos (blobs), que son los puntos de contacto. Mediante el seguimiento de estas manchas el sistema deviene capaz de detectar el tacto. Con el fin de realizar un seguimiento de sus representaciones, las posiciones se transmiten al detector de blobs que compara blobs de fotogramas anteriores con el fotograma actual. Después del procesamiento, los eventos se activarán y podrán ser utilizados en una aplicación multi-táctil. La aplicación modificará objetos de la escena actual de acuerdo con las nuevas posiciones de los blobs. El resultado se devuelve al usuario a través de la pantalla.

El rendimiento del dispositivo multi-touch óptico depende del hardware y del software utilizados. Cuando un usuario toca un dispositivo multi-touch, espera que el dispositivo responda instantáneamente. La capacidad de respuesta del dispositivo depende del tiempo que necesita para procesar el input del usuario y presentar un resultado a través de la pantalla. En el pipeline de interacción dos niveles son importantes, los de hardware y software, ya que usando una cámara que sea capaz de leer 30 fotogramas por segundo se permite una interacción fluida con el sistema. Sin embargo, esto requiere un sistema que pueda manejar el procesamiento de imágenes y la detección de blobs en 1/30 de segundo. Así pues, una combinación de algoritmos inteligentes implementados mediante software y un hardware veloz ayudan a minimizar la latencia y aumentan la capacidad de respuesta del dispositivo.

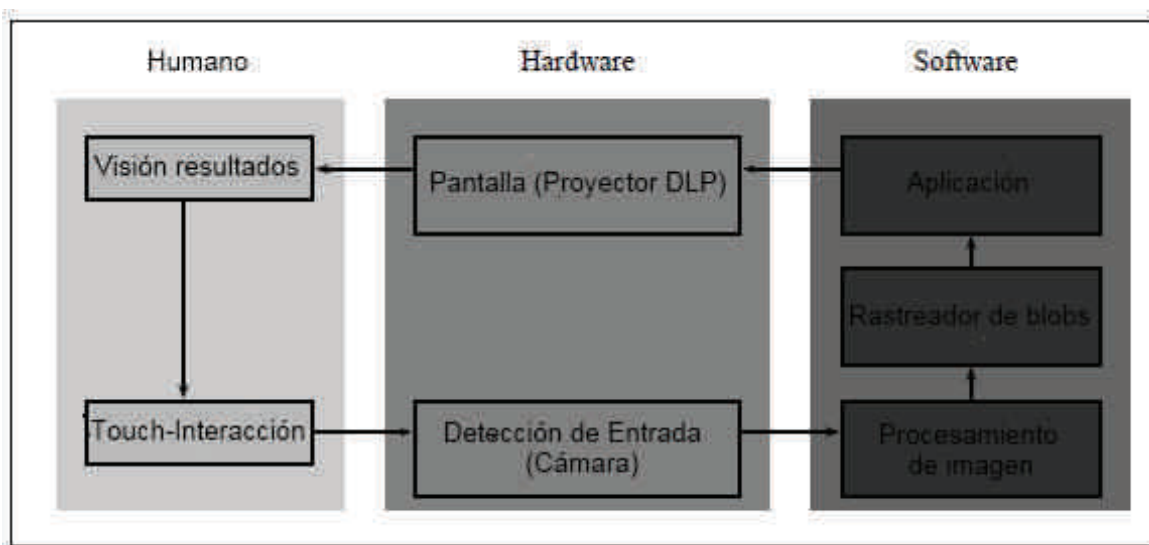


Figura 3.1: Pipeline de la interacción multi-touch (figura extraída de (10))

3.2. Diseño de la estructura

La estructura ha de ser lo más rígida posible. Por ello usamos las barras de aluminio de la marca Bosch Rexroth (<http://www.boschrexroth.es/>) propuestas en el diseño original. Puesto que tienen raíles, permiten que todos los elementos de dentro la mesa sean móviles (espejo, cámara, proyector, lámparas,...) para posibles reconfiguraciones.

En la Tabla 3.1 quedan descritos los materiales que hemos utilizado para construir la estructura. En las Figuras B.1, B.2, B.3 y B.4 incluidas en el Anexo vemos los planos del prototipo realizado por D. Schmidt y la lista de materiales que nos propuso al inicio del proyecto como base.

CAPÍTULO 3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA MESA

Referencia	Descripción	L. (mm)	Nº
3842529018	CAP COVER W40X40		1
3842529404	CORNER BRACKET R40X40 SET		1
3842535571	INSIDE BRACKET 10 R		10
3842535576	INSIDE BRACKET 8/10		10
3842535577	INSIDE BRACKET 8R		10
3842502683	JOINT 30X30		1
3842992476	CSTRUT PROFILE 11X20 (soporte espejo)	200	1
3842990720	STRUT PROFILE 30X30 (espejo)	220	1
3842990720	STRUT PROFILE 30X30 (soporte proyector)	300	1
3842990720	STRUT PROFILE 30X30 (soporte proyector)	338	1
3842993120	STRUT PROFILE 40X40L (largo mesa)	910	1
3842993120	STRUT PROFILE 40X40L (alto mesa)	660	1
3842993120	STRUT PROFILE 40X40L (alto interior mesa)	620	1
3842993120	STRUT PROFILE 40X40L (ancho mesa)	570	1
3842993120	STRUT PROFILE 40X40L (escuadra soporte proyector)	300	1
3842529324	CORREDERA DESLIZANTE P.RANURAS 10 M8 ES		100
3842529321	CORREDERA DESLIZANTE P.RANURAS 8 M8 ES L=16		100
3842538275	MONTAJE GIRATORIO 180GRAD 8		1
3842516845	PALANCA DE APRIETE GN 300-63-M8-12-SW		1

Tabla 3.1: Materiales de la estructura de la mesa

Los acrílicos de la superficie y las paredes fueron cortados a medida por Segainvex*. En cambio las barras de aluminio se trabajaron en el laboratorio por medio de una sierra de calar:

*<http://www.uam.es/investigacion/servicios/segainvex/>

3.2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

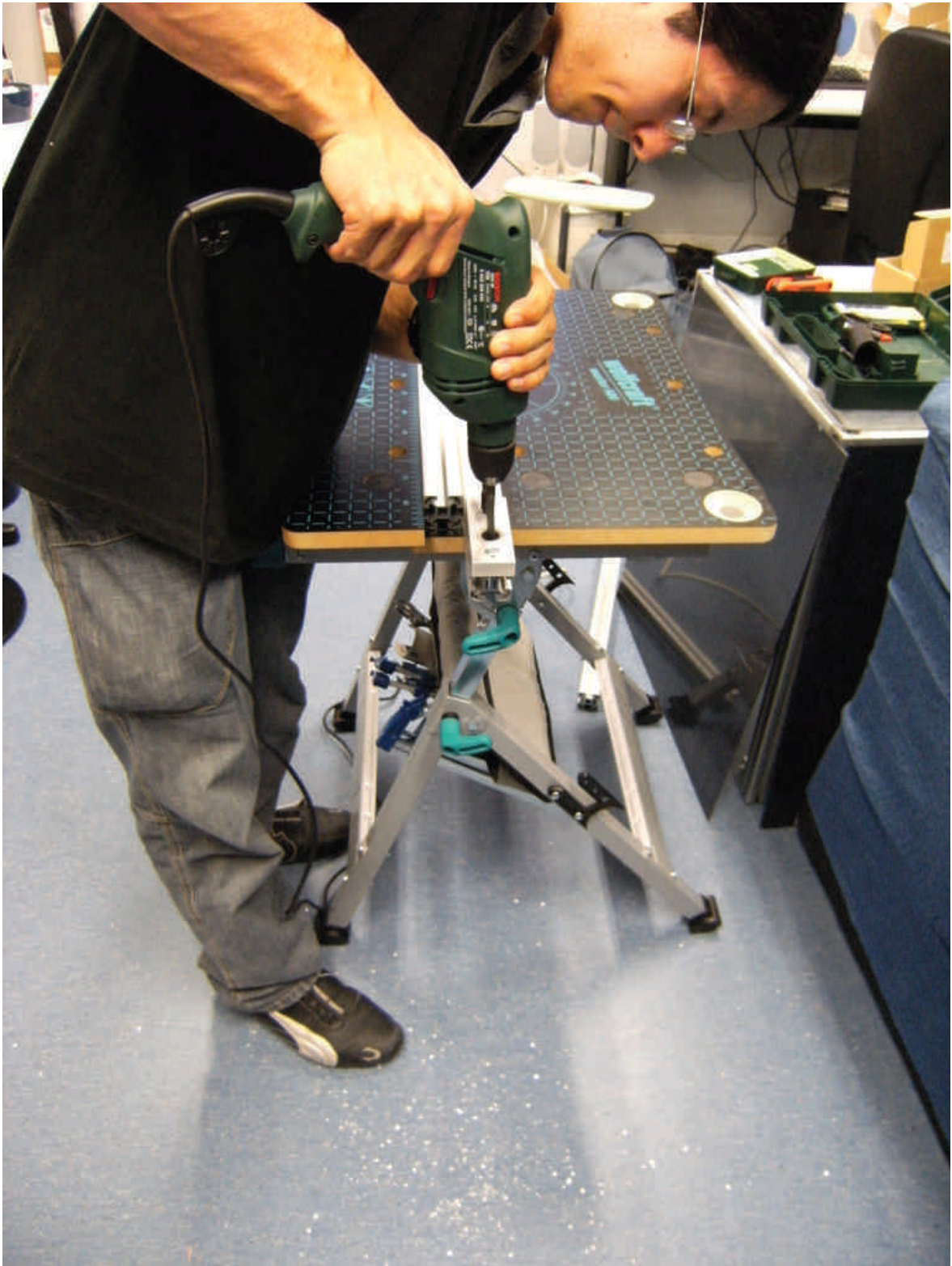


Figura 3.2: Agujereo y cortado de los aluminios

3.3. Diseño e implementación de la mesa con tecnología DI

A esta parte del proyecto le dedicamos el 80 % del tiempo porque necesitamos una iluminación lo más difusa posible dentro de la mesa y porque tratamos de aminorar el efecto de la luz ambiental sobre el rendimiento de la misma. Es este el punto crítico de la tecnología DI: la iluminación. Realizamos a mano un esquema de la configuración DI:

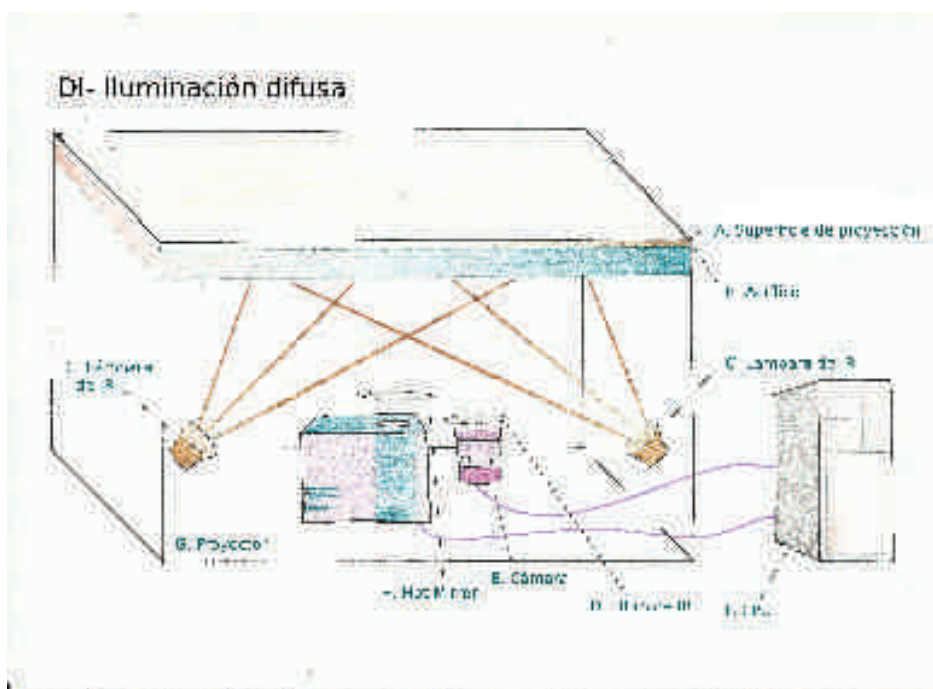
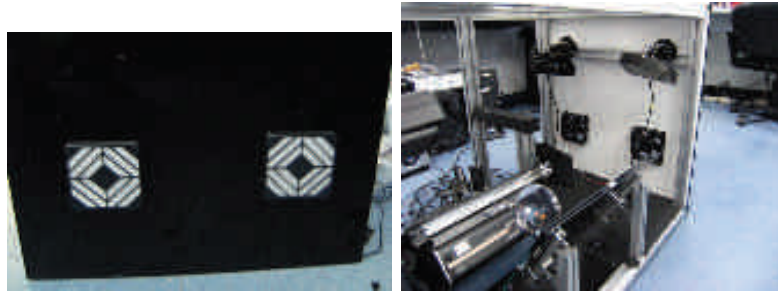


Figura 3.3: Esquema de componentes para la configuración DI

Para completar la superficie multicontacto es necesario utilizar un sistema de ventilación para evitar que se calienten demasiado los componentes encerrados en la estructura, ver Figura 3.4.

3.3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA MESA CON TECNOLOGÍA DI



(a) Sistema de ventilación visto desde fuera de la mesa (b) Sistema de ventilación visto desde dentro de la mesa

Figura 3.4: Sistema de ventilación visto desde dentro y desde fuera de la mesa

Como se puede apreciar en la Figura 3.4(b), las paredes por dentro están forradas en una cartulina rugosa blanca que ayuda a difuminar la luz por la mesa. Para que las paredes puedan pegarse y despegarse de la estructura sin esfuerzo, se sujetan mediante tiras de velcro adhesivas.

3.3.1. Elección de la cámara (E)

Elegimos una cámara modelo Firefly MV (Figura 3.5) por su velocidad de respuesta (60 fps) y su comportamiento cerca del espectro de la luz infrarroja (Figura 3.6).



Figura 3.5: Firefly MV

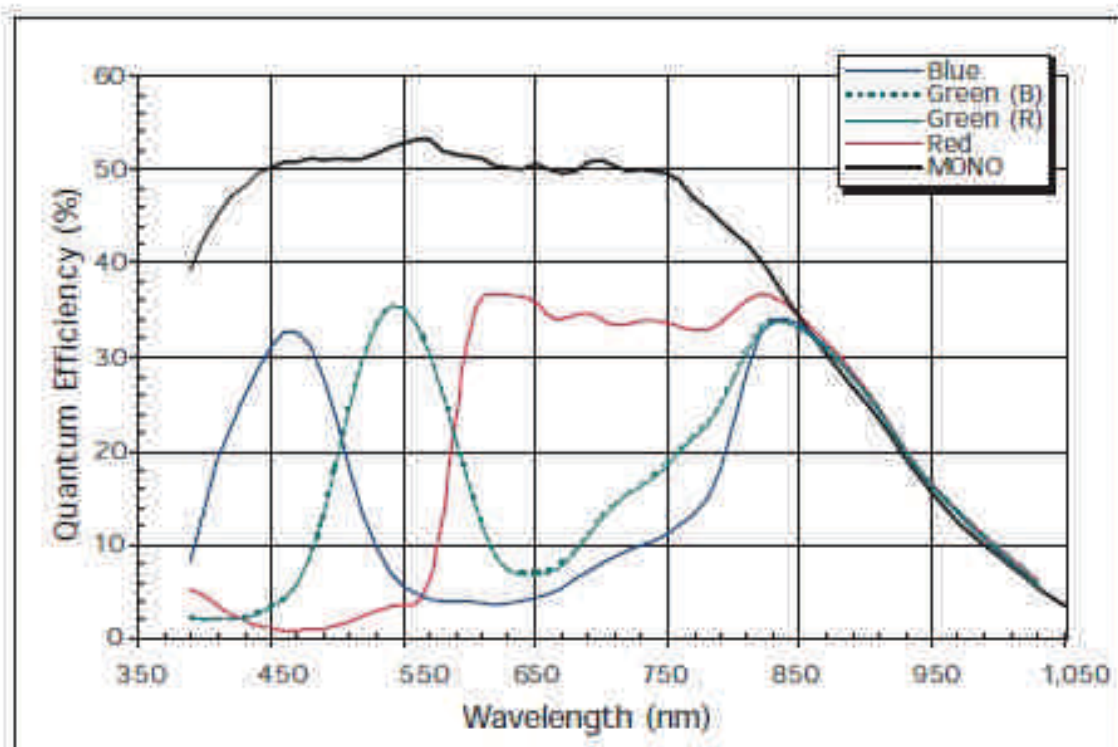


Figura 3.6: Respuesta espectral de la Firefly MV

Sobre la cámara va montada una lente Varifocal 1.8-3.6mm de gran angular para que abarque toda la superficie de la mesa. Es importante colocar un filtro que deje pasar sólo la banda de luz infrarroja sobre la lente (D). En este caso usamos un Knight Optical 850FAP5050 850nm que como podemos apreciar en la gráfica de la Figura 3.7 bloquea la luz de longitud de onda menor a la infrarroja. Al ser la longitud de onda inversamente proporcional a la frecuencia, consideramos que es un filtro paso bajo en frecuencia. Lo ideal hubiera sido tener un filtro paso banda para evitar que se cuelen infrarrojos a longitudes de onda considerablemente mayores de las que utilizamos. Trabajamos siempre a 850nm ya que se obtienen mejores resultados que a la otra longitud más utilizada: 940nm. A 850nm la sensibilidad, el brillo de los LEDs visto desde la cámara, es mayor aunque el infrarrojo no sea completamente invisible al ojo humano como a 940 nm.

3.3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA MESA CON TECNOLOGÍA DI

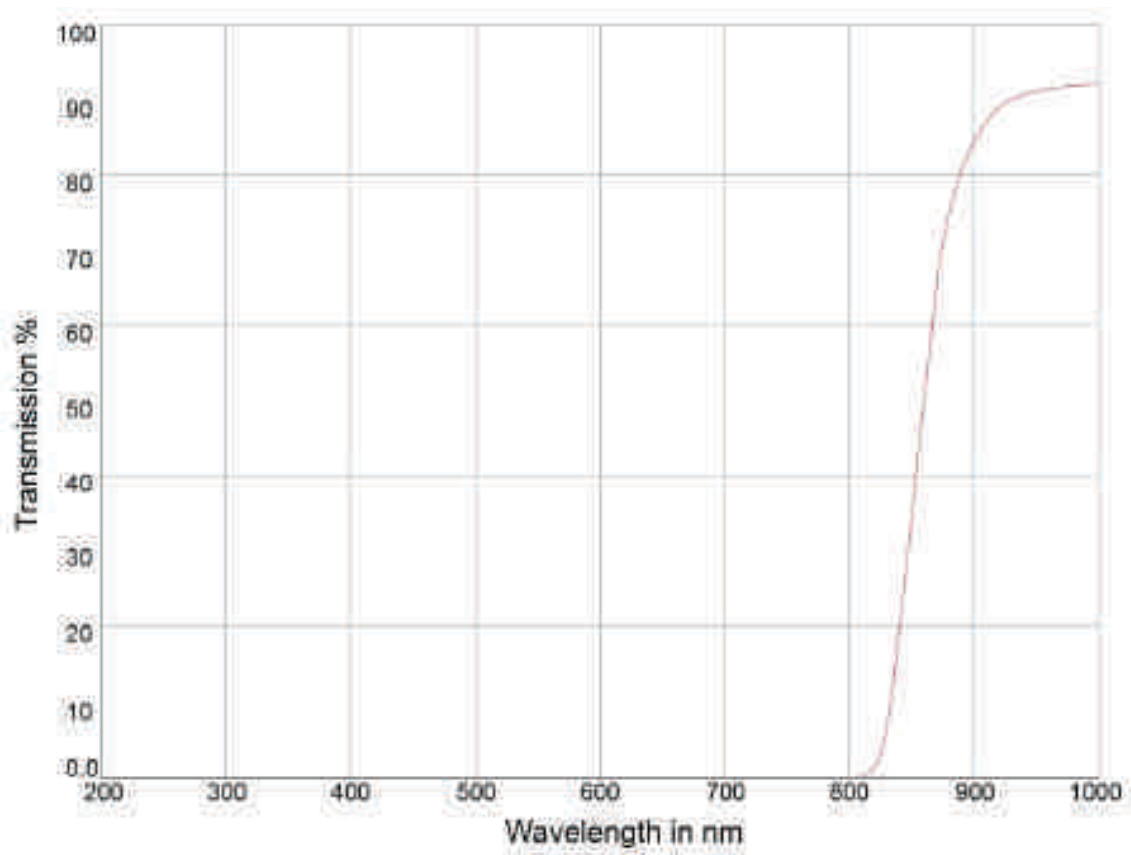


Figura 3.7: Respuesta Filtro IR 850FAP5050

En este caso tenemos que recortar el filtro para que encaje sobre la lente:



Figura 3.8: Filtro IR 850FAP5050



Figura 3.9: Filtro IR colocado sobre la lente

Para concluir, podríamos decir que, aunque en nuestro caso usemos una cámara Firewire de alta calidad, una webcam doméstica (véase la cámara de la Play Station 3) funciona bien en algunos casos pero (2):

- A menudo un filtro de infrarrojos debe ser eliminado.
- La sensibilidad a los infrarrojos puede ser un problema.
- El framerate se suele limitar a 15-30 fps.

Y en las cámaras industriales en cambio:

- El framerate sube a 60-120 fps.
- Existen versiones monocromo con mejor sensibilidad a los infrarrojos.

3.3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA MESA CON TECNOLOGÍA DI

- Una mejor calidad de imagen que reduce la necesidad de procesamiento de la imagen.

- El precio es mayor.

3.3.2. Elección del proyector (G)

Modelo de Proyector	Resolución Nativa	Precio Recomendado (dólares)
3M DMS 700	1024x768	2765
JVC DLA-SX21SU	1400x1050	11995
NEC WT610	1024x768	3999
Sanyo PLC-XL50	1024x768	2900
Toshiba TDP-ET20U	854x768	999
Toshiba TDP-EW25	1280x800	1899

Tabla 3.2: Comparativa de proyectores de corto alcance (tabla extraída de (2))

Teniendo en cuenta las medidas de nuestra mesa además del precio elegimos el Toshiba TDP-EW25. Adjuntamos un plano preliminar de la mesa con las medidas de la misma:

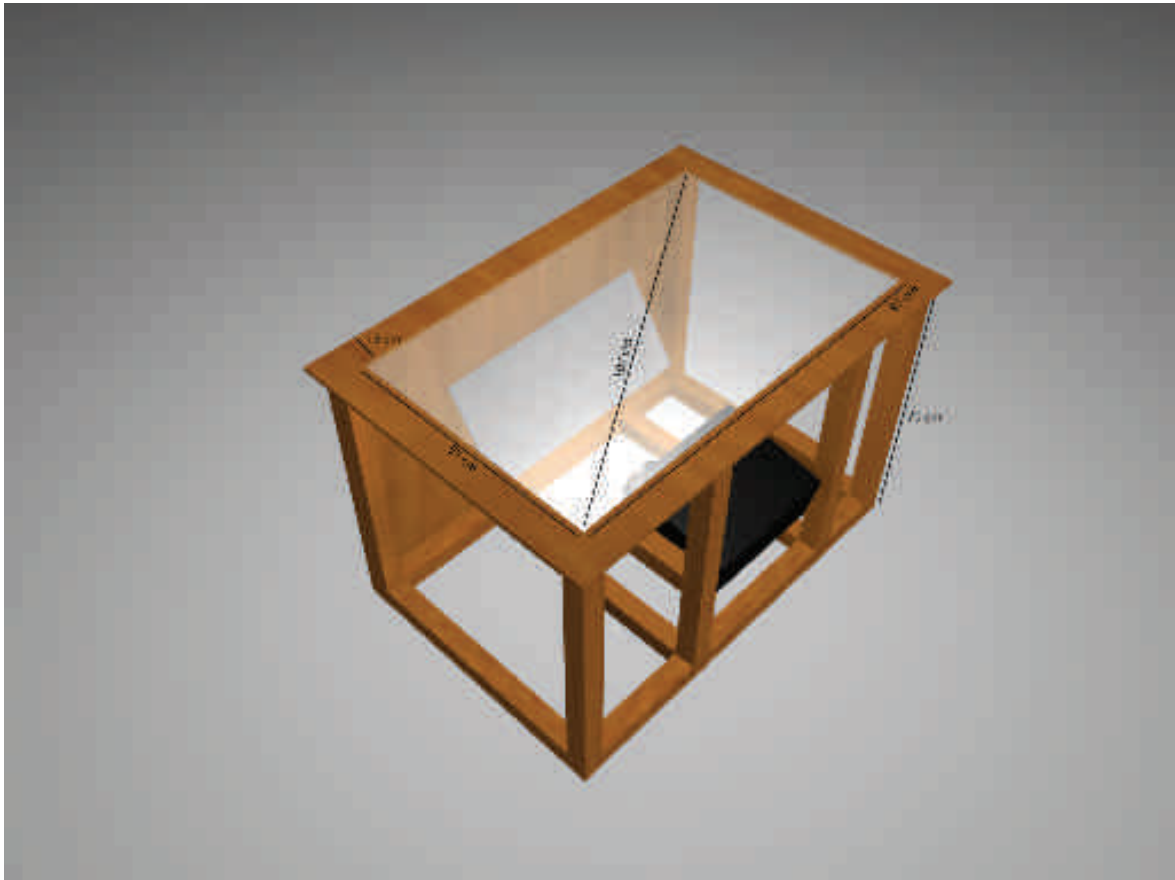


Figura 3.10: Esquema preliminar que muestra las dimensiones de la mesa

Como se puede comprobar, responde a una relación 16:10. La altura de 70 cm es la habitual en cualquier mesa de escritorio.

Sobre el proyector colocamos un hot mirror (H), o lo que es lo mismo, un filtro de vidrio dicróico (Permacolor B de 160 mm de diámetro, de la marca Rosco) que realizará la labor contraria al filtro de la cámara: es decir, bloqueará toda la luz infrarroja que pueda estar emitiendo el proyector para que ésta no llegue a la superficie de proyección. En este caso no hace falta recorte alguno ya que tiene una circunferencia superior a la lente del proyector.

Entre el proyector y la superficie de proyección colocaremos un espejo de “primera superficie” (Knight Optical MGE400280-C) en donde se reflejará la imagen antes de mostrarse en pantalla. Esto permite disminuir la distancia entre la superficie de proyección y el proyector (que tendrá que ir colocado dado la vuelta; es decir, boca abajo, para que lo proyectado en pantalla aparezca en el sentido correcto). Este sistema proyector-hot mirror-espejo no viene reflejado en la Figura 3.3 pero se puede observar en las Figuras 3.4(b) y 3.10. Para mantener fijo el espejo usamos de nuevo un acrílico estre-

cho y un sistema de sujeción sencillo como el de los marcos de fotos formado por cuatro “pinzas” de aluminio.

3.3.3. Superficie de proyección y contacto (A) + (B)

Necesitamos como es normal una superficie rígida que soporte apoyos de diferentes objetos y manos a la vez. Por ello utilizamos una buena plancha de acrílico transparente de 10mm de grosor.

Como superficie de proyección se usa un sencillo papel de calco de buena calidad, en este caso un papel de calco natural HP. A su vez éste hará la vez de difusor de la luz infrarroja.

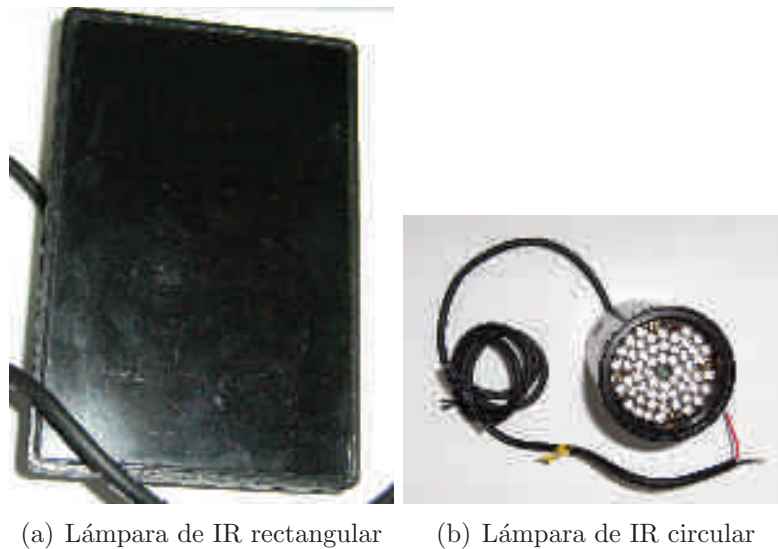
Las paredes de la mesa serán acrílicos del mismo material que el de la parte superior pero en este caso de color negro y más estrechos (3mm). La mesa permanecerá cerrada en todo momento, de modo que no entre ni salga luz más que por la zona del difusor.

3.3.4. CPU (F)

Usamos un procesador Intel Core 2 Duo pero no se necesita una capacidad de proceso demasiado grande para las tareas que proponemos. El modelo de PC utilizado es: Lenovo ThinkCentre A57 9702 - Core 2 Duo E8400 a 3 GHz con 2 GB de memoria RAM y una tarjeta gráfica Intel GMA 3100. Trabajamos en el sistema operativo Microsoft Windows XP Professional.

3.3.5. Iluminación Infrarroja DI (C)

Para iluminar el interior de la mesa de luz infrarroja probamos dos tipos de lámparas de LEDs infrarrojos a 850 nm (IR70 e IR100 de la marca RF Concepts). Unas rectangulares (Figura 3.11(a)) y otras circulares (Figura 3.11(b)):



(a) Lámpara de IR rectangular (b) Lámpara de IR circular

Figura 3.11: Lámparas de IR probadas

Ambas lámparas sólo funcionan en modo nocturno; es decir, vienen con un sensor de luz que al notar falta de ella las activa. Tapamos ambos sensores con cinta aislante negra para que las lámparas funcionen de manera continua:



(a) Tapado del sensor de la lámpara de IR rectangular (b) Tapado del sensor de la lámpara de IR circular

Figura 3.12: Tapado de los sensores de las lámparas de IR

Cada una lleva su fuente de alimentación independiente. La colocación de los focos es un punto crítico para el correcto funcionamiento de la mesa, en DI la iluminación debe estar difuminada y ser uniforme en todo el interior. En este punto del trabajo es en el que más tiempo dedicamos a hacer pruebas para tratar por un lado de difuminar aún más la luz y por otro, para evitar que existieran brillos dentro de la mesa. Para lo primero colocamos las lámparas en diferentes posiciones (en las esquinas inferiores de la estructura, escondiendo las lámparas debajo del proyector,...), y tratamos de utilizar difusores de la luz (pusimos papel de aluminio arrugado en las paredes de la mesa,

3.3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA MESA CON TECNOLOGÍA DI

colocamos filtros de papel de la marca Rosco encima de las lámparas,...). Ninguno de todos estos procedimientos nos ofreció una mejora sustancial de lo que teníamos previamente. Para lo segundo, evitar los brillos en la mesa, cubrimos de cinta aislante negra todos los aluminios en donde se refleja la luz. En este caso sí resolvimos el problema.

Así, en último caso, usamos las lámparas rectangulares, colocando una en cada esquina superior de la mesa apuntando hacia abajo con un ángulo de aproximadamente 30° respecto a la vertical de la mesa.

Por otro lado, para iluminar los puntos negros de las esquinas que son generados por la configuración de las lámparas, realizamos cuatro sencillos circuitos (uno para cada esquina) de tres LEDs de infrarrojos que son colocados en la parte superior de las esquinas, Figura 3.13. Estos van directamente conectados a una fuente de alimentación a 5V.

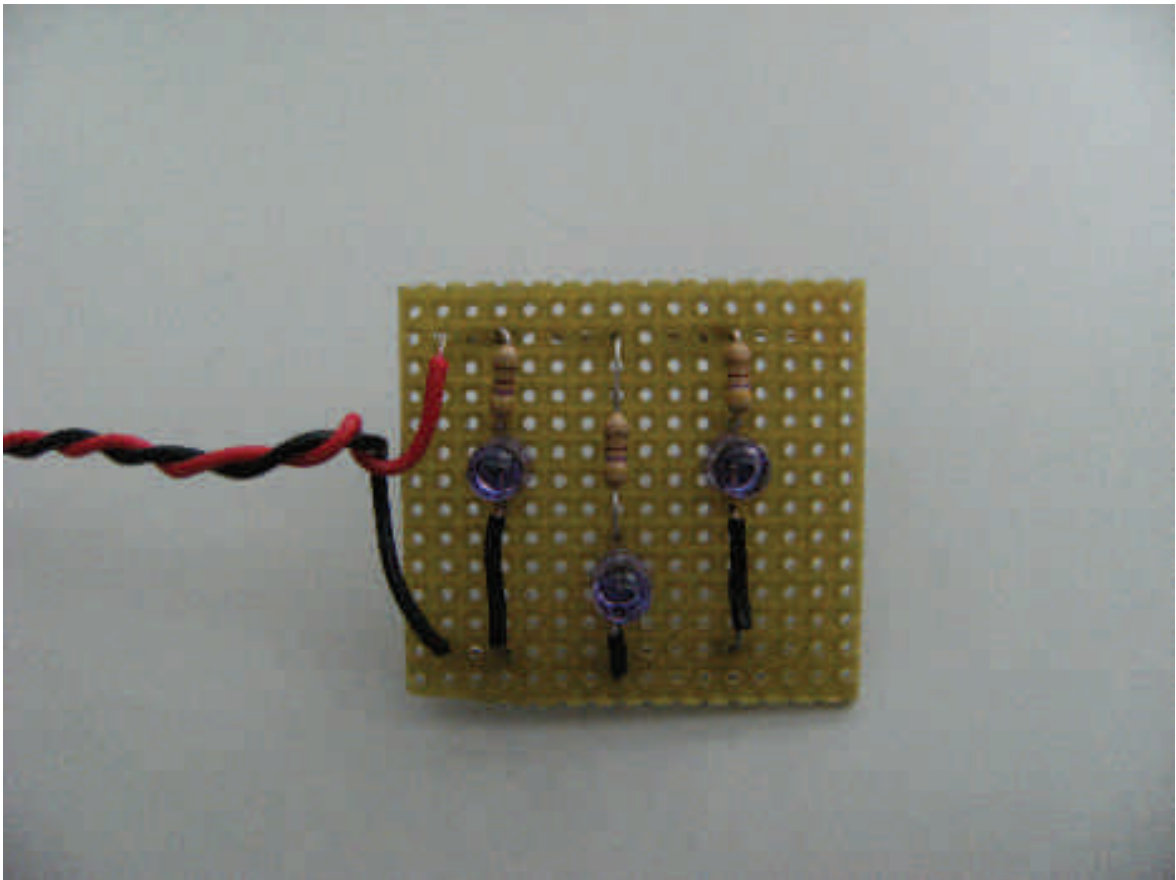


Figura 3.13: LEDs para mejorar la iluminación en una esquina de la mesa

3.3.6. Coste aproximado de una mesa multi-touch DI

MATERIAL	UTILIDAD	PRECIO
CPU	Ordenador	500,00
Toshiba TDP-EW25	Proyector	1.645,05
FFMV-03MTM-CS + FFMV-DEVKIT	Cámara + Accesorios	220,77
VARIFOCAL 1.8-3.6mm (NT55-254)	Lente de la cámara	185,25
KO 850FAP5050 850nm Acrylic	Filtro de IR para la cámara	9,82
KO MGE400280-C	Espejo de primera superficie	53,79
ROSCO PERMACOLOR B 160 mm diámetro	Hot Mirror	85,19
Papel de calco HP C3868A	Difusor y superficie de proyección	20,00
Panel acrílico 950 x 610 x 10mm Clear	Superficie	150,00
(2x) Panel 700 x 650 x 3mm Black	Paredes	35,56
(2x) Panel 996 x 700 x 3mm Black	Paredes	49,79
(4x) IR Illuminator IR70 y PSU	Lámparas IR	334,35
Perfiles de aluminio	Estructura de la mesa	600,00
TOTAL		3.889,57€

Tabla 3.3: Presupuesto aproximado para el diseño de una mesa multi-touch DI

3.4. Diseño e implementación de la mesa con tecnología FTIR

Una vez montada la mesa con tecnología DI, y compartiendo estructura y la mayoría de los materiales (papel de calco (A), acrílico (C), filtro de IR para la cámara (D), cámara (E), CPU (F), proyector (G) y hot mirror (H)) pasamos a implementar una mesa FTIR. La realización de esta es más rápida que la de la DI, requiere añadir una tira de LEDs alrededor del acrílico y crear e instalar una capa de silicona por encima del acrílico. Realizamos a mano un esquema de la configuración FTIR:

3.4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA MESA CON TECNOLOGÍA FTIR

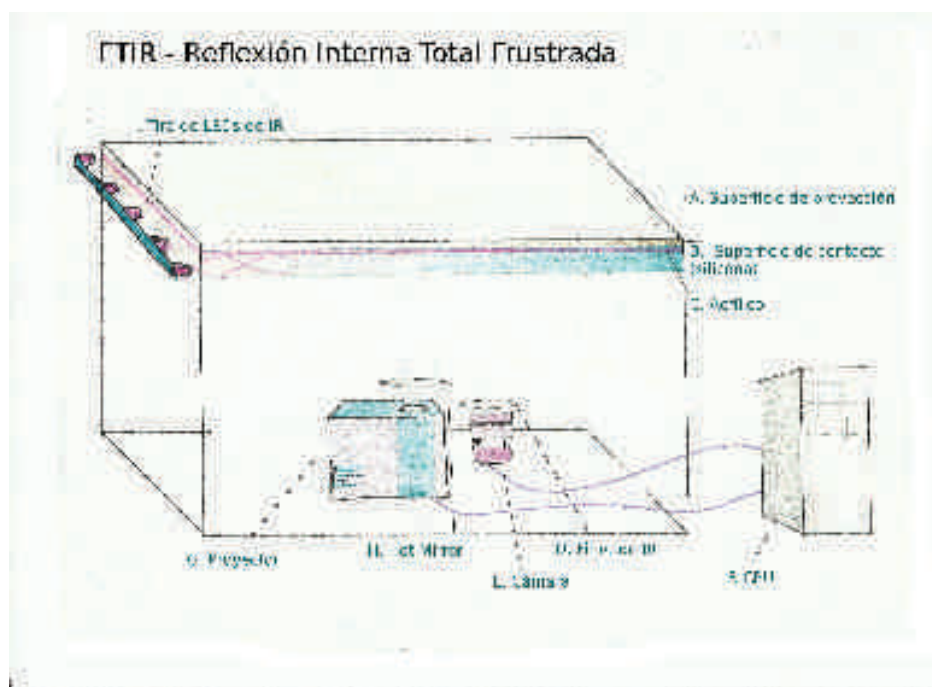


Figura 3.14: Esquema de componentes para la configuración FTIR

Al ir la luz infrarroja por dentro del acrílico, no es necesario que la mesa esté cubierta; es decir, nos podemos deshacer de las paredes y por tanto de la ventilación. La influencia de la luz ambiental es esta vez muchísimo menor.

3.4.1. Superficie de contacto (B)

La forma más sencilla de comenzar con FTIR es usando una capa de acrílico con un marco de LEDs de infrarrojos. Sin embargo, con esta configuración, los usuarios han de apretar fuerte en la superficie para que el efecto de FTIR se realice. Adicionalmente, cuando se pone un dedo en la superficie, por ejemplo haciendo un gesto de movimiento, la fricción puede decrecer la intensidad del efecto de FTIR causado.

Por tanto, diferentes investigadores usan una capa adicional (una capa de contacto) encima del acrílico para aumentar la sensibilidad de la superficie. Estas superficies de contacto están típicamente compuestas de algún material transparente y mullido que se coloca entre la plancha de acrílico y la capa difusora (la pantalla de proyección). Cuando se aplica presión sobre la superficie, el acoplamiento de la capa difusora y del acrílico crea el efecto de FTIR; efecto que se ve intensificado por la superficie de contacto añadida al sistema (2).

Encontrar el material adecuado para la superficie de contacto es crucial. Experi-

mentando con diferentes materiales, comprobaron (2) que dos problemas principales pueden ocurrir con la capa: o no se crea un efecto de FTIR suficientemente intenso, ver imagen izquierda de la Figura 3.15, o se queda pegada a la superficie, lanzando constantemente el efecto de FTIR incluso después de que el dedo haya sido quitado, ver imagen derecha de la Figura 3.15. En el peor de los casos, si se usa una combinación equivocada de material de contacto y capa de proyección, las dos capas pueden quedarse pegadas permanentemente.

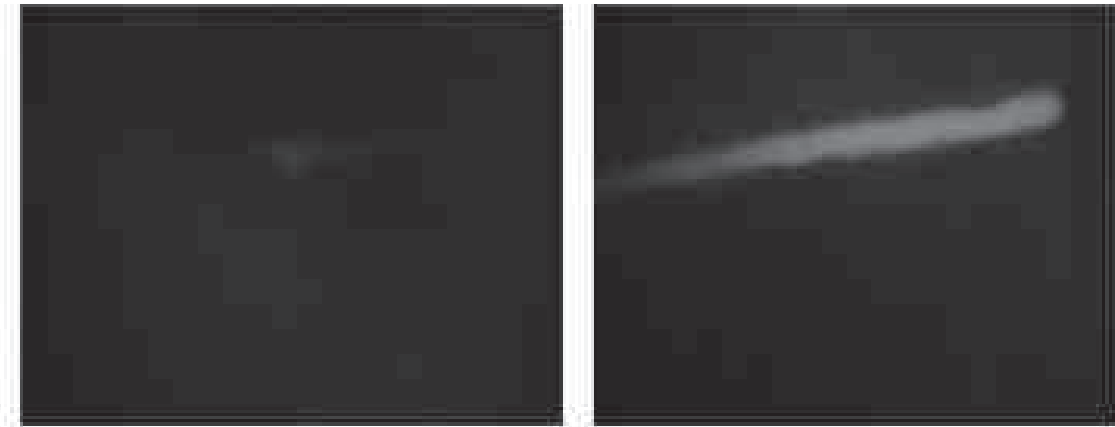


Figura 3.15: Usar la configuración equivocada de materiales puede resultar en dos problemas: (izquierda) o el efecto de FTIR no es suficientemente intenso; o (derecha) las capas se quedan pegadas (figura extraída de (2))

En estos mismos experimentos, los mejores resultados para la superficie de contacto se consiguieron con las siliconas SORTA-Clear 40** y ELASTOSIL RT 60*** ya que ambos materiales son relativamente duros, no pegajosos y muy transparentes. Una vez superpuestas, ambas capas de silicona pueden quitarse fácilmente, y volver a colocarse sobre la superficie acrílica.

Sin embargo, el usar silicona como superficie de contacto supone un problema ya que el material es entregado en un bote como un gel que debe ser vertido equitativamente sobre la superficie. Esta es la parte más crítica del proceso ya que es difícil no cometer errores y que no aparezcan pompas en la silicona. Una vez vertida completamente hay que dejarla secar durante 48 horas.

En nuestro caso usamos ELASTOSIL RT 601 porque es menos viscosa y por consiguiente es más fácil de verter, obteniendo menos pompas. Para realizar la capa de silicona vertimos el gel lo más uniformemente posible sobre una plancha lisa y lo de-

**http://www.smooth-on.com/tb/files/Sorta_Clear_40_TB.pdf

***<http://www.wacker.com/cms/en/products-markets/products/product.jsp?product=10461>

3.4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA MESA CON TECNOLOGÍA FTIR

jamos secar. Al haber realizado una capa demasiado gorda y al ser el laboratorio de trabajo un lugar muy caluroso, el gel tardaría semanas en solidificarse y además quedarían muchas irregularidades en su superficie, sobre todo en las partes laterales. Sin embargo, y aunque es incómodo al tacto en algunas zonas, su funcionamiento es correcto. En la siguiente figura vemos cómo nuestra silicona ya seca puede despegarse sin problemas del acrílico:

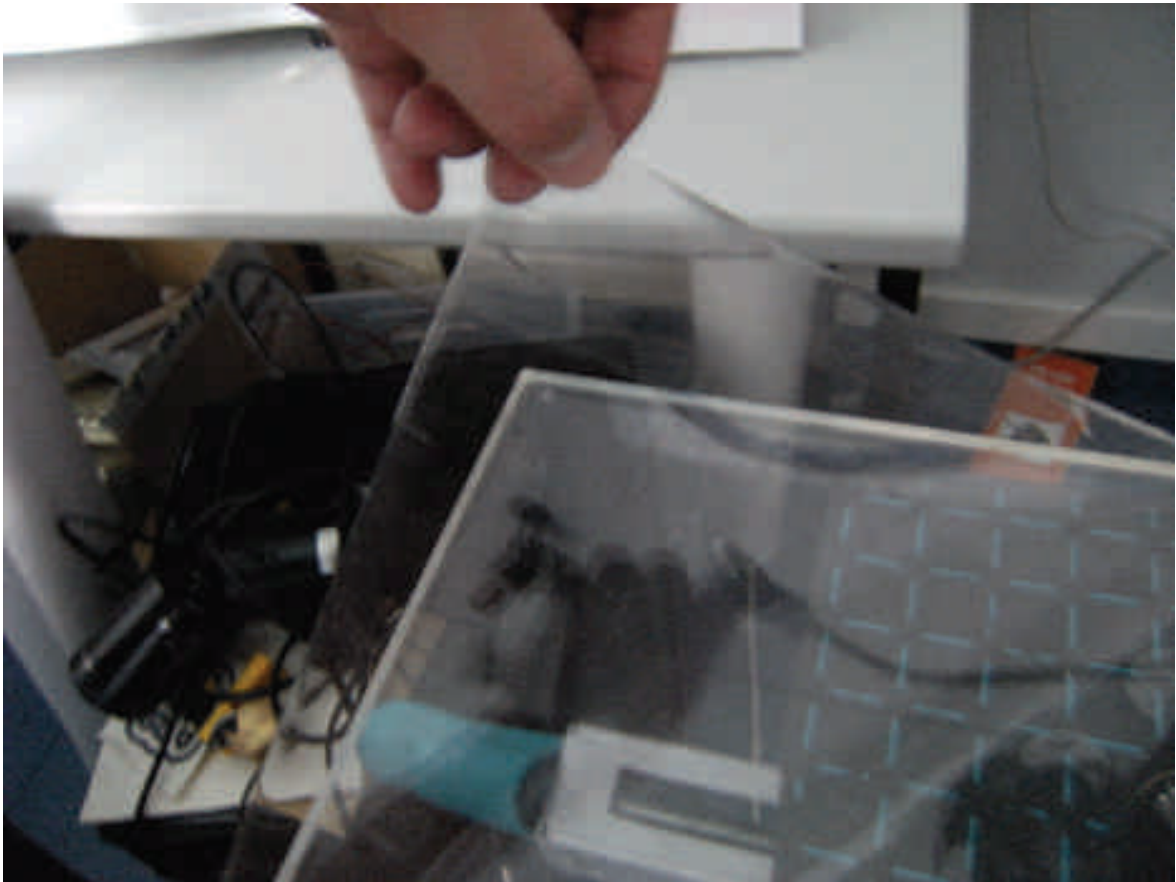


Figura 3.16: Superficie de contacto realizada en el laboratorio

Como una alternativa a la silicona se planteó usar una fina capa de látex. La ventaja principal de este método es que no hay nada que verter por lo que se reduce el tiempo de construcción. Además, el látex no se queda pegado a las capas vecinas por lo que puede combinarse con un número mayor de superficies de proyección. En contraste con la silicona, el látex debe combinarse con la superficie de proyección; dejando un hueco de aire entre el látex y el acrílico. En la versión con silicona teníamos exactamente el requisito contrario. Veremos claramente las diferencias en las Figuras 3.17 y 3.18.



Figura 3.17: Superficie de contacto de silicona: el hueco (c) está entre la superficie de proyección (d) y la combinación de la silicona (b) y la superficie acrílica (a) (figura extraída de (10))

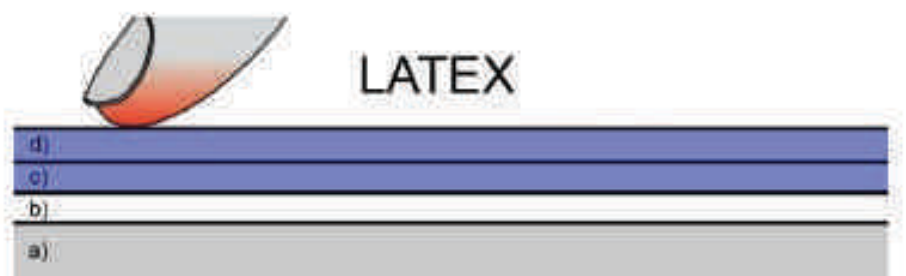


Figura 3.18: Superficie de contacto de látex: las capas de proyección (d) y de látex (c) han de estar combinadas; el hueco (b) estará entre éstas dos y la superficie acrílica (figura extraída de (10))

En la Figura siguiente se puede apreciar el látex que se utilizó. Nosotros no llegamos a probar esta técnica ya que, tras enviarle por correo una tira de látex a D. Schmidt, nos comentó que el resultado en ningún caso fue mejor al obtenido con la silicona al no ser el látex tan transparente como la silicona:



Figura 3.19: Tira de látex

3.4.2. Iluminación Infrarroja FTIR (I)

Se coloca alrededor del marco de la mesa y a escasos milímetros del borde de la superficie acrílica una tira de LEDs a 850nm de la marca Environmental Lights. Este producto fue desarrollado particularmente para la creación de mesas multi-touch con tecnología FTIR****. En nuestro caso, no bordeamos la superficie entera con la tira de LEDs, sino que colocamos la tira en solo dos bordes contiguos con forma de ele. Esta cantidad de iluminación es suficiente para rellenar el acrílico entero.

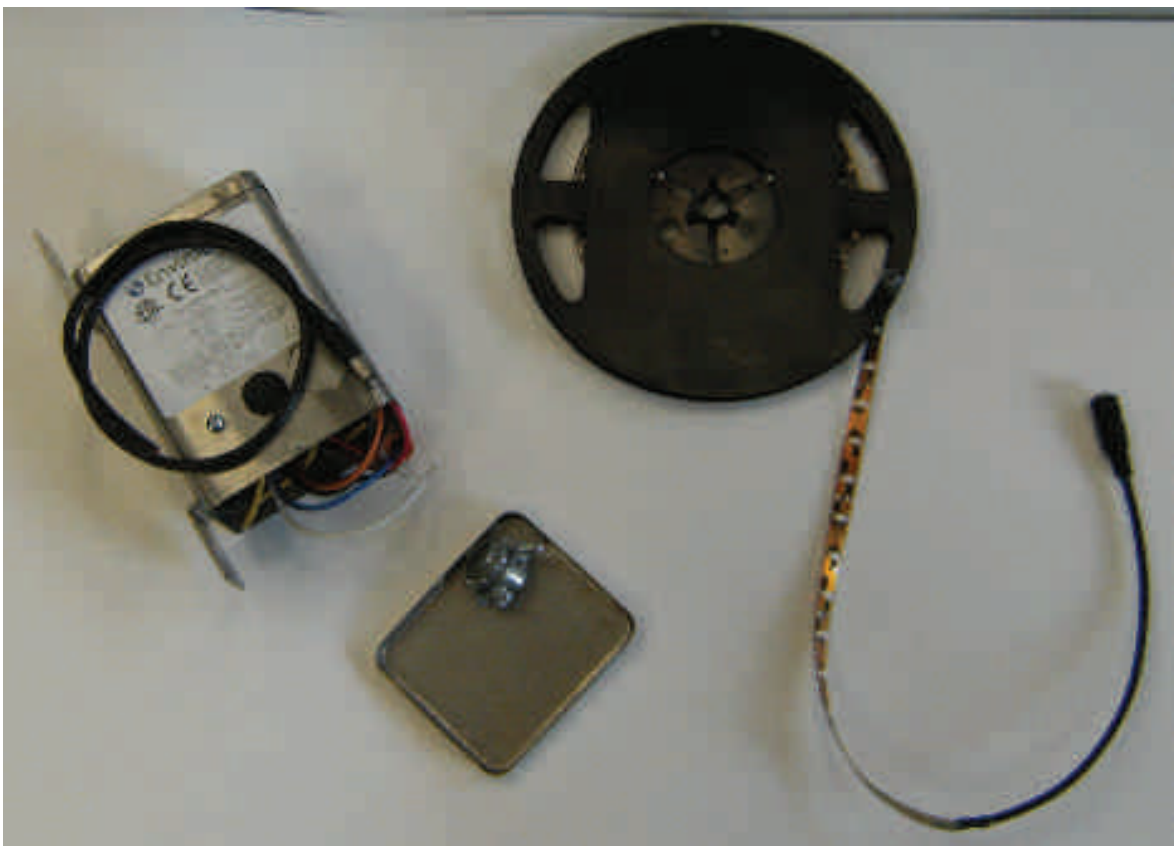


Figura 3.20: Cinta de LEDs para FTIR y su fuente de alimentación

**** http://www.environmentallights.com/shop/images/tech_specs/infrared_led_guide.pdf

3.4.3. Coste aproximado de una mesa multi-touch FTIR

MATERIAL	UTILIDAD	PRECIO
CPU	Ordenador	500,00
Toshiba TDP-EW25	Proyector	1.645,05
FFMV-03MTM-CS + FFMV-DEVKIT	Cámara + Accesorios	220,77
VARIFOCAL 1.8-3.6mm (NT55-254)	Lente de la cámara	185,25
KO 850FAP5050 850nm Acrylic	Filtro de IR para la cámara	9,82
KO MGE400280-C	Espejo de primera superficie	53,79
ROSCO PERMACOLOR B 160 mm diámetro	Hot Mirror	85,19
Papel de calco HP C3868A	Difusor y superficie de proyección	20,00
Panel acrílico 950 x 610 x 10mm Clear	Superficie	150,00
ELASTOSIL RT 601	Capa de silicona	50,00
LED Ribbon Flex 5 meter (IR 850 nm)	Cordón de LEDs	152,43
Perfiles de aluminio	Estructura de la mesa	600,00
TOTAL		3.672,30€

Tabla 3.4: Presupuesto aproximado para el diseño de una mesa multi-touch FTIR

3.5. Configuración y calibración del software de reconocimiento de imagen

La configuración y calibración de la cámara y del software es esencial para obtener resultados precisos. El tratamiento de la imagen que ve la cámara es el paso de la misma por una sucesión de filtros que explicaremos en este apartado.

El software que utilizamos es *tbeta* (<http://ccv.nuigroup.com/>), que es una solución multi-plataforma de código abierto para la visión y detección por ordenador. Toma una entrada de vídeo y saca datos de seguimiento, por ejemplo, las coordenadas y el tamaño de un blob. Un blob es la marca que deja un dedo al pulsar la mesa.

Vamos a mostrar un ejemplo de configuración y calibración sobre nuestra mesa con FTIR. Al encender todos los componentes de la mesa que necesitan alimentación (CPU, proyector, LEDs, ventiladores) y lanzar *tbeta*, esta es la imagen que aparece en pantalla:

3.5. CONFIGURACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL SOFTWARE DE RECONOCIMIENTO DE IMAGEN

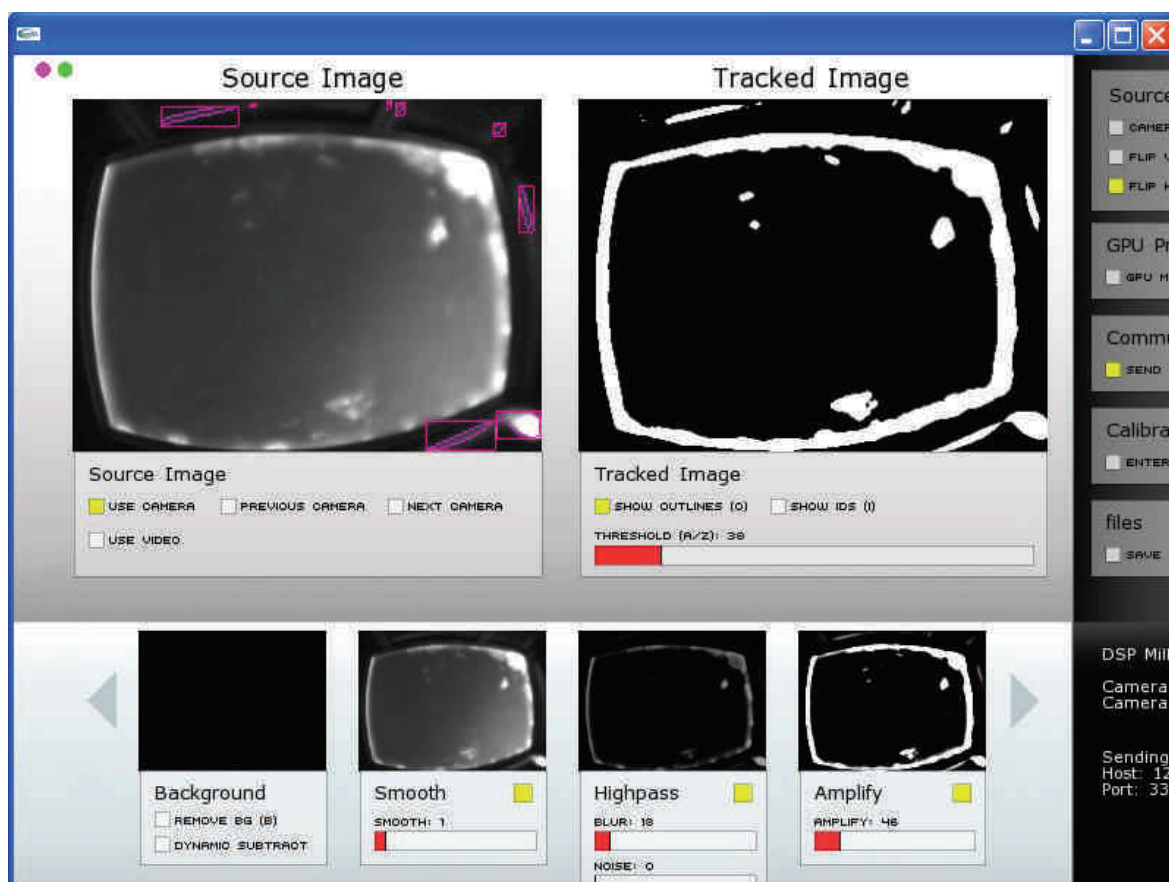


Figura 3.21: Interfaz de tbeta

Como podemos apreciar hay seis ventanas:

- “Source Image” es la imagen directa que ve la cámara.
- “Tracked Image” es la imagen ya tratada, aquí veremos los blobs tras pasar por todos los filtros de tbeta. “Thresold” ajusta el nivel de pixels detectados aceptable. Cuanto más alto sea el nivel, mayores tendrán que ser los blobs para ser detectados.
- “Background” es el fondo de la imagen. Al pulsar el botón de “Remove Background” se captura el fotograma actual y se usa como la nueva imagen de fondo estática para ser sustraída del siguiente fotograma activo. “Dynamic Subtract” lo mantenemos siempre activado porque ajusta dinámicamente el fondo adaptándose a la luz ambiental.
- “Smooth” suaviza la imagen y filtra ruido de la misma.

- “Highpass”: “Blur” elimina las partes borrosas y deja las brillantes y “Noise” filtra el ruido tras aplicar el filtro de “Blur”.
- “Amplify” amplifica los pixels más débiles. Se utiliza si los blobs son demasiado difusos.

Aparecen algunos brillos en la “Source Image” porque hemos dejado el obturador de la cámara demasiado abierto y está entrando luz solar. Cerrándolo, y usando FTIR, lo normal es tener una imagen casi completamente oscura.

Activamos el “Dynamic Substract” y pulsamos “Remove Background”. Como vemos en la siguiente Figura, la imagen filtrada (“Tracked Image”) se ha quedado con el fondo negro y al colocar la mano sobre la mesa se distinguen perfectamente los dedos/los blobs:

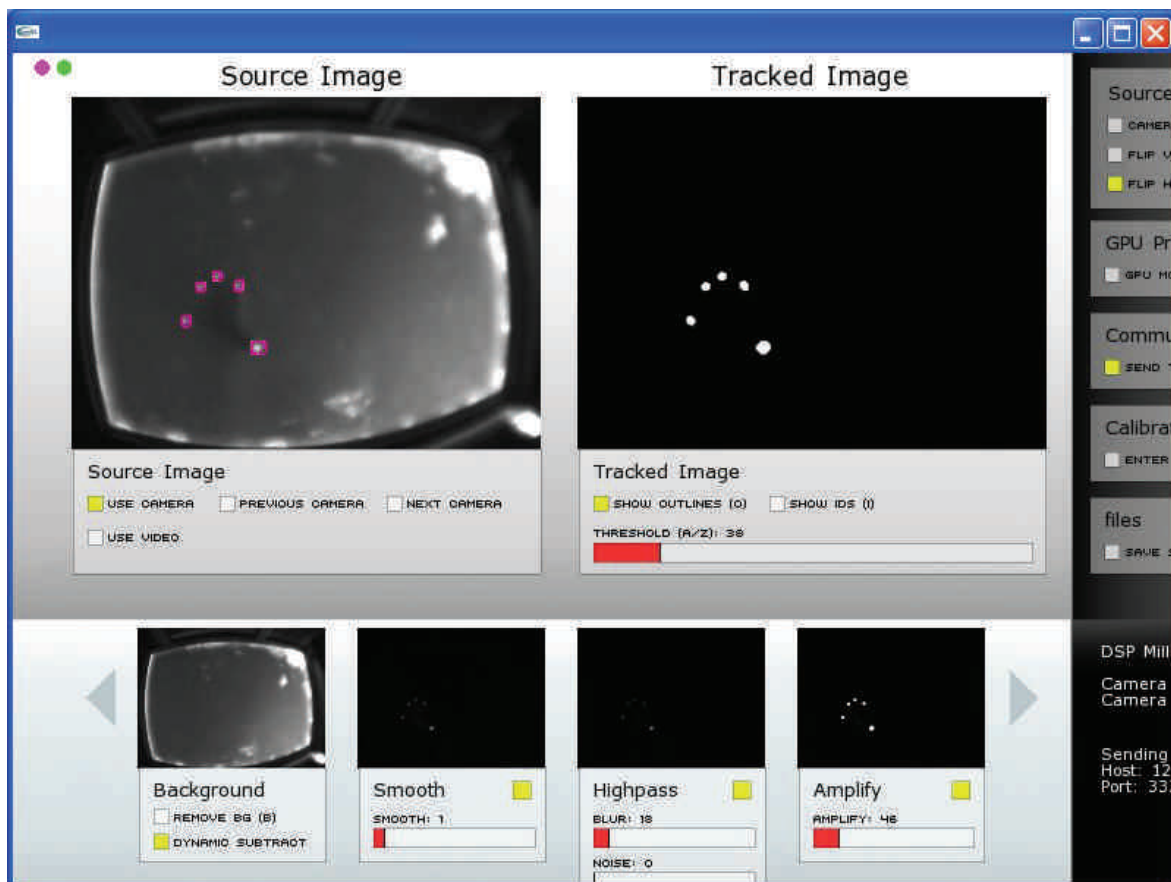


Figura 3.22: Aplicamos “Remove Background”. Apreciamos cómo a pesar de seguir existiendo brillos en la imagen fuente, el fondo de la imagen tratada es negro y el reconocimiento de los blobs claro

3.5. CONFIGURACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL SOFTWARE DE RECONOCIMIENTO DE IMAGEN

Desactivamos el filtro “Highpass”. Como se aprecia en la siguiente figura, esta vez se detectan las partes borrosas (la sombra de la mano):

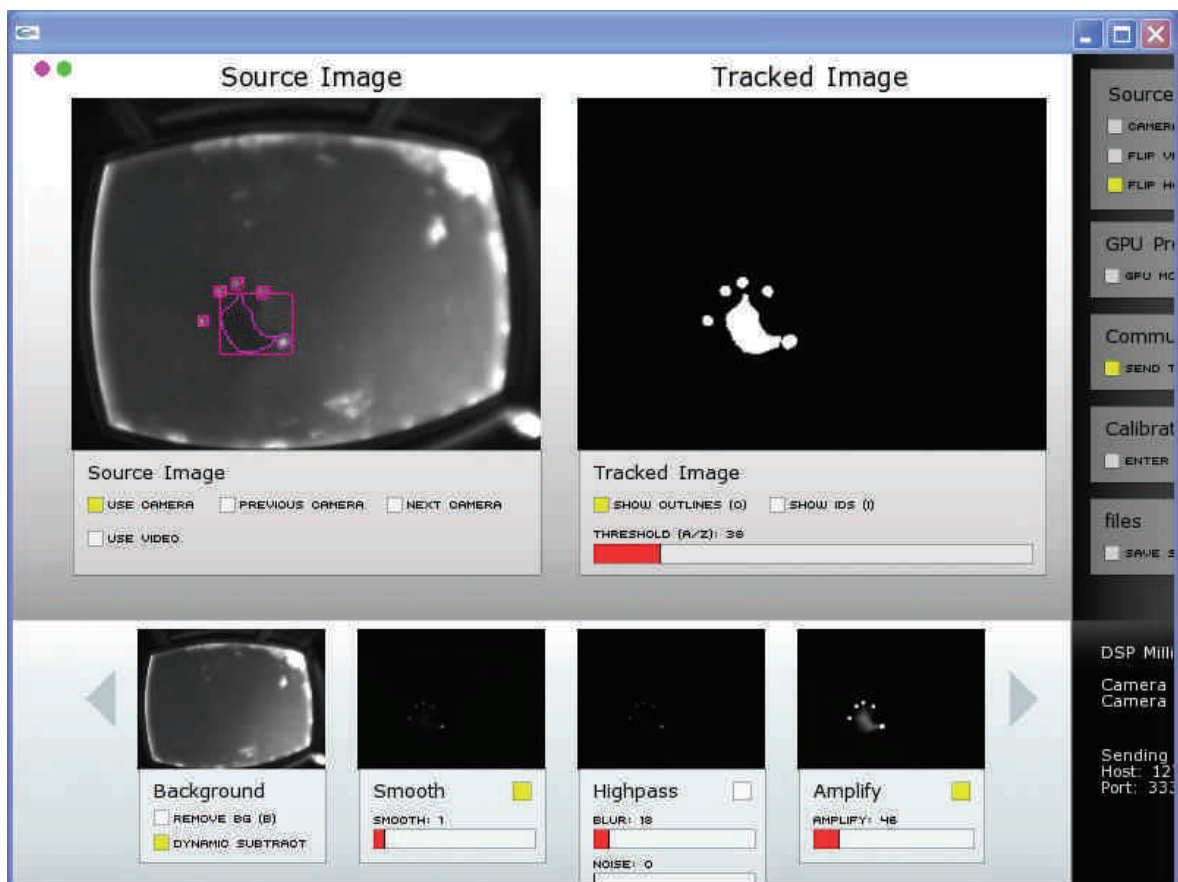


Figura 3.23: Desactivamos el filtro “Highpass”. Se cuean y detectan partes borrosas como la sombra de la mano

Desactivamos la amplificación de los blobs ya que son suficientemente claros y ajustamos el filtro de “Smooth” para obtener una imagen de calidad:



Figura 3.24: Ajuste de “Smooth”. Obtenemos una imagen de calidad al filtrar el ruido de la imagen

Por último, ajustamos ligeramente el “Thresold” pero la influencia es mínima porque los blobs obtenidos ya son de calidad.

Ahora pasamos a calibrar el programa para que el lugar donde pulsamos sea localizado de la manera más exacta posible. Una mala calibración equivoca las coordenadas del toque. La Figura 3.25 muestra la pantalla de calibración. Habrá que ir pulsando las cruces verdes empezando por arriba a la izquierda, donde está el círculo rojo. Al pulsar dentro de ese círculo, éste saltará a la nueva cruz y así sucesivamente hasta el final.

3.5. CONFIGURACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL SOFTWARE DE RECONOCIMIENTO DE IMAGEN



Figura 3.25: Pantalla de calibración

Pruebas y aplicaciones

4.1. Reconocimiento de objetos

Mostramos ejemplos de reconocimiento de objetos mediante reactIVision, posiblemente el software con mejor rendimiento a lo hora de trabajar con fiduciales (estos pueden ir pegados a objetos) y realizamos dos sencillos programas en lenguaje Pure Data para demostrarlo.

- reactIVision

reactIVision* es un software libre, un framework multi-plataforma para el reconocimiento rápido y fiable de marcadores fiduciales (ver Figura 2.6) generalmente pegados a objetos físicos, así como para el reconocimiento multi-touch de dedos.

La imagen de los fiduciales tratados por el software es la siguiente. Esta imagen es captada con una webcam enchufada al PC:

*<http://reactivision.sourceforge.net/>

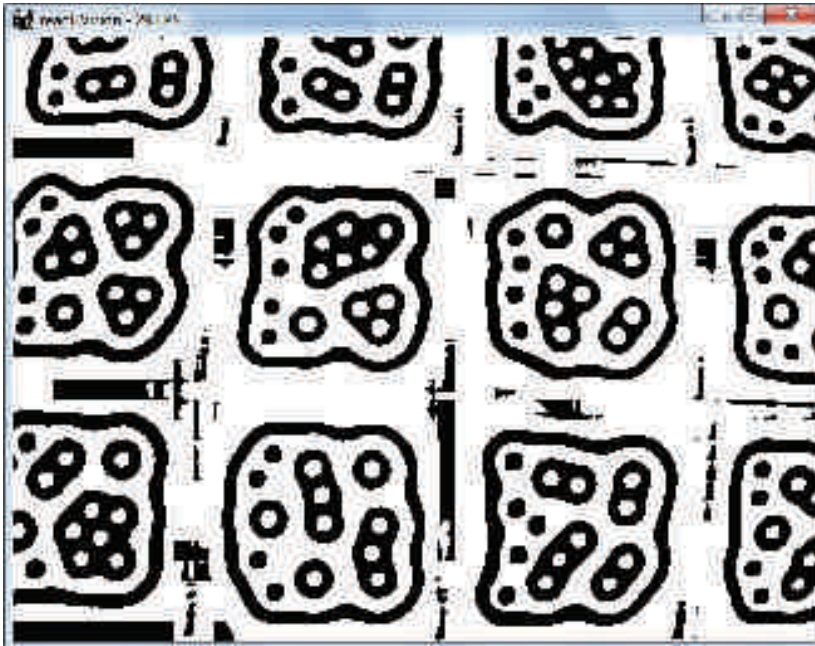


Figura 4.1: Reconocimiento de marcadores fiduciales a través de reactIVision

Cada fiducial lleva asignado un número de identificación y será reconocido por la cámara.

- Pure Data + reactIVision

Pure Data** es un entorno de programación gráfica en tiempo real para audio, vídeo y procesamiento gráfico. De nuevo las imágenes capturadas para estos ejemplos se toman de la entrada de una webcam conectada al PC.

El sencillo programa TUIO_PureData.pd de la Figura 4.2, cuyos autores son los mismos de reactIVision, muestra en pantalla los fiduciales añadidos y quitados de delante de la cámara y sus coordenadas y ángulo de rotación. Vamos a proceder a realizar una serie de capturas de pantalla para entender el procedimiento, ver Figuras 4.2 y 4.3:

**<http://puredata.info/>

4.1. RECONOCIMIENTO DE OBJETOS

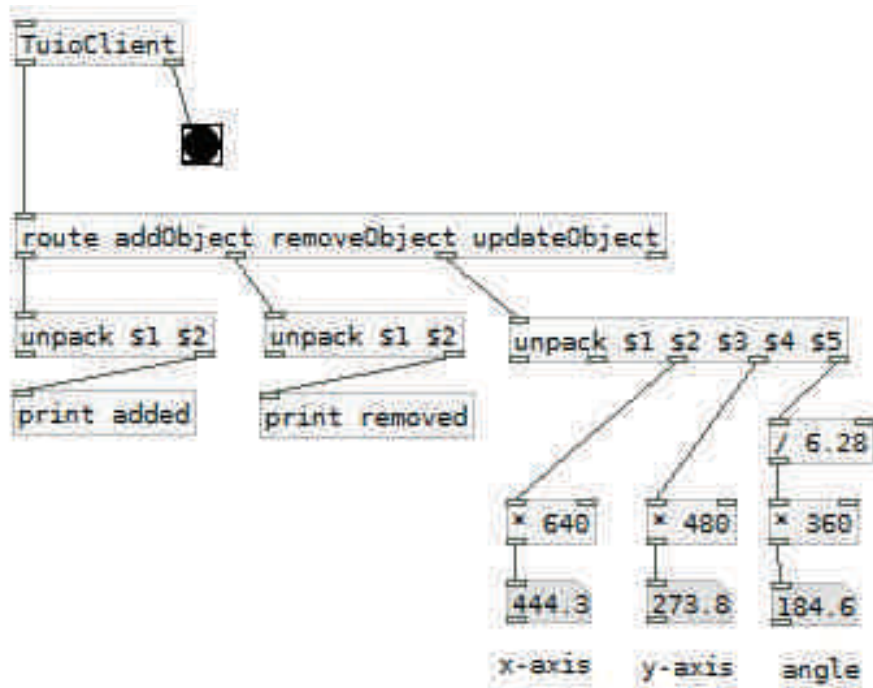


Figura 4.2: Programa de reconocimiento de fiduciales mediante Pure Data y reacTIVision. En x-axis se muestra la coordenada x, en y-axis la coordenada y y en angle el ángulo de rotación

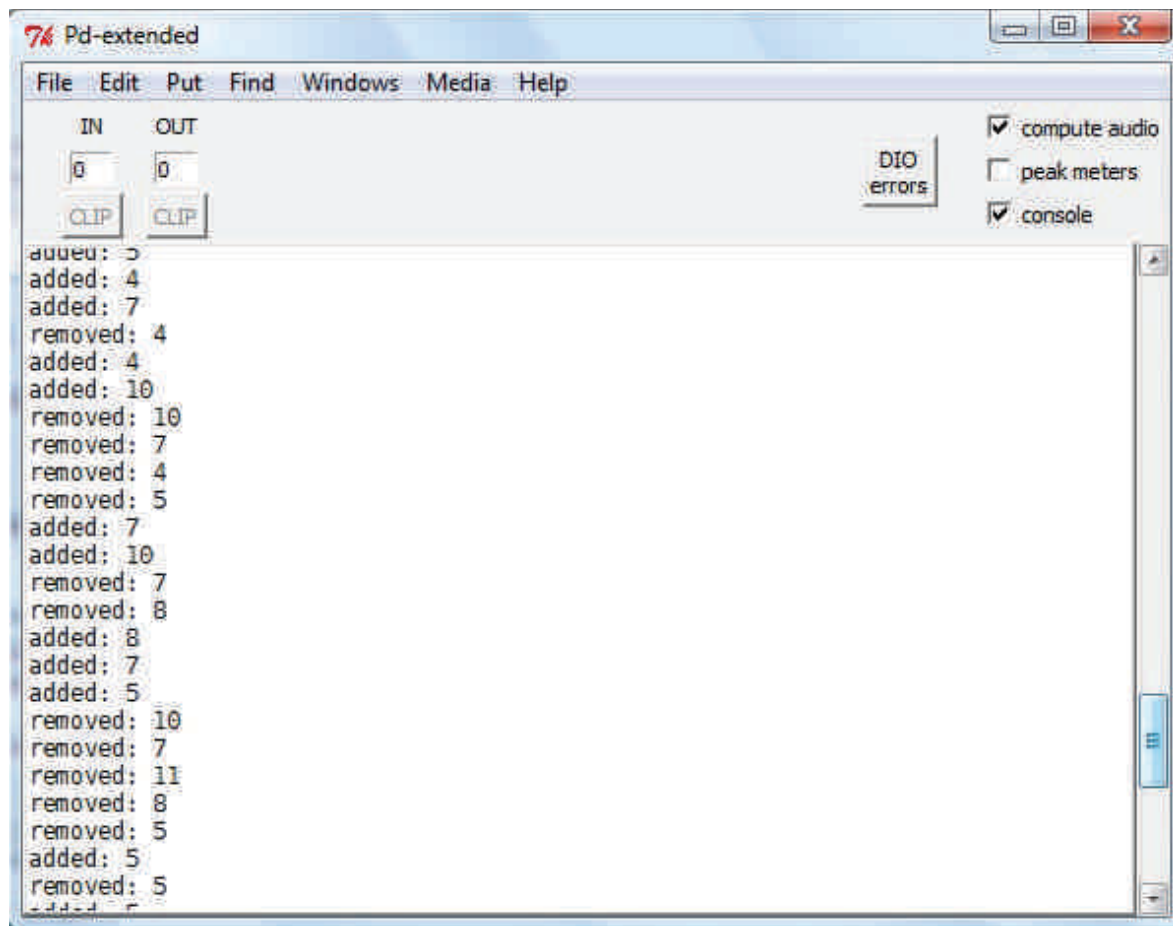


Figura 4.3: Muestra de cómo aparecen las identificaciones de cada fiducial al mostrarlos (added) o quitarlos (removed) de delante de la cámara en Pure Data

Para ver las aplicaciones gráficas de Pure Data vamos a utilizar un programa que muestre en un tablero ficticio la posición de los fiduciales con id 0, 4, 8, 12, 16, 18 y procedemos a enseñar a cámara los marcadores 0, 4 y 8. Como en el caso anterior, realizamos dos capturas de pantalla para entender el programa, ver Figuras 4.4 y 4.5:

4.1. RECONOCIMIENTO DE OBJETOS

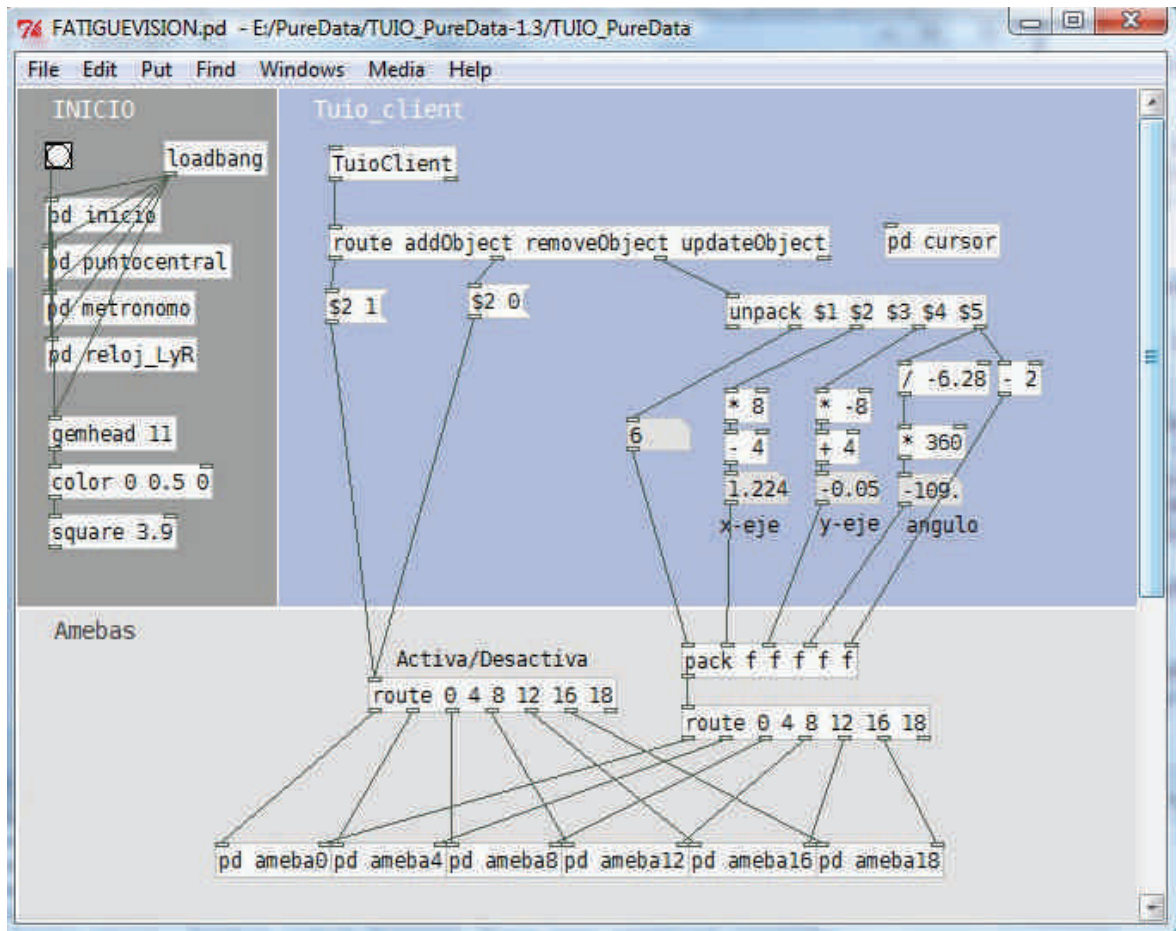


Figura 4.4: Programa gráfico de reconocimiento de fiduciales mediante Pure Data y reactIVision

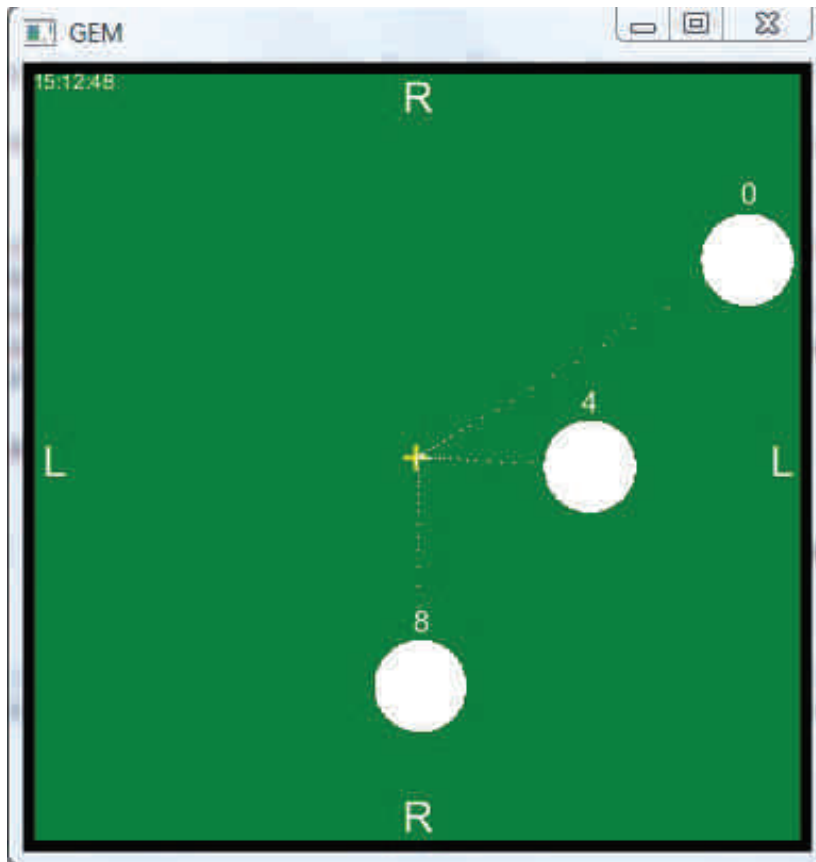


Figura 4.5: Muestra de cómo aparecen en un tablero las identificaciones de cada fiducial al mostrarlos o quitarlos de delante de la cámara en Pure Data

4.2. Reconocimiento de dedos

- Flash + tbeta

Usando la librería de AS3 que proporciona el NUI Group con tbeta utilizamos un programa de prueba que mezcla la interacción mediante ratón con la interacción mediante gestos con los dedos de la mano. La clase del programa se extiende de *RotatableScalable()*, que es la clase que ofrece las características que necesitamos para que el multi-touch funcione; es decir, que los objetos sean, mediante el tacto, movibles, rotables, escalables,... Al pulsar con el ratón sobre el marco que aparece en la pantalla al ejecutar el programa, aparece un círculo rojo en la posición en la que estamos. El círculo podrá ser manipulado mediante los dedos y así sucesivamente con todos los círculos que se quieran crear con un click de ratón. En la Figura 4.6 pueden ver un ejemplo. Esta prueba fue realizada por simulación desde el PC, no corrida sobre la mesa:

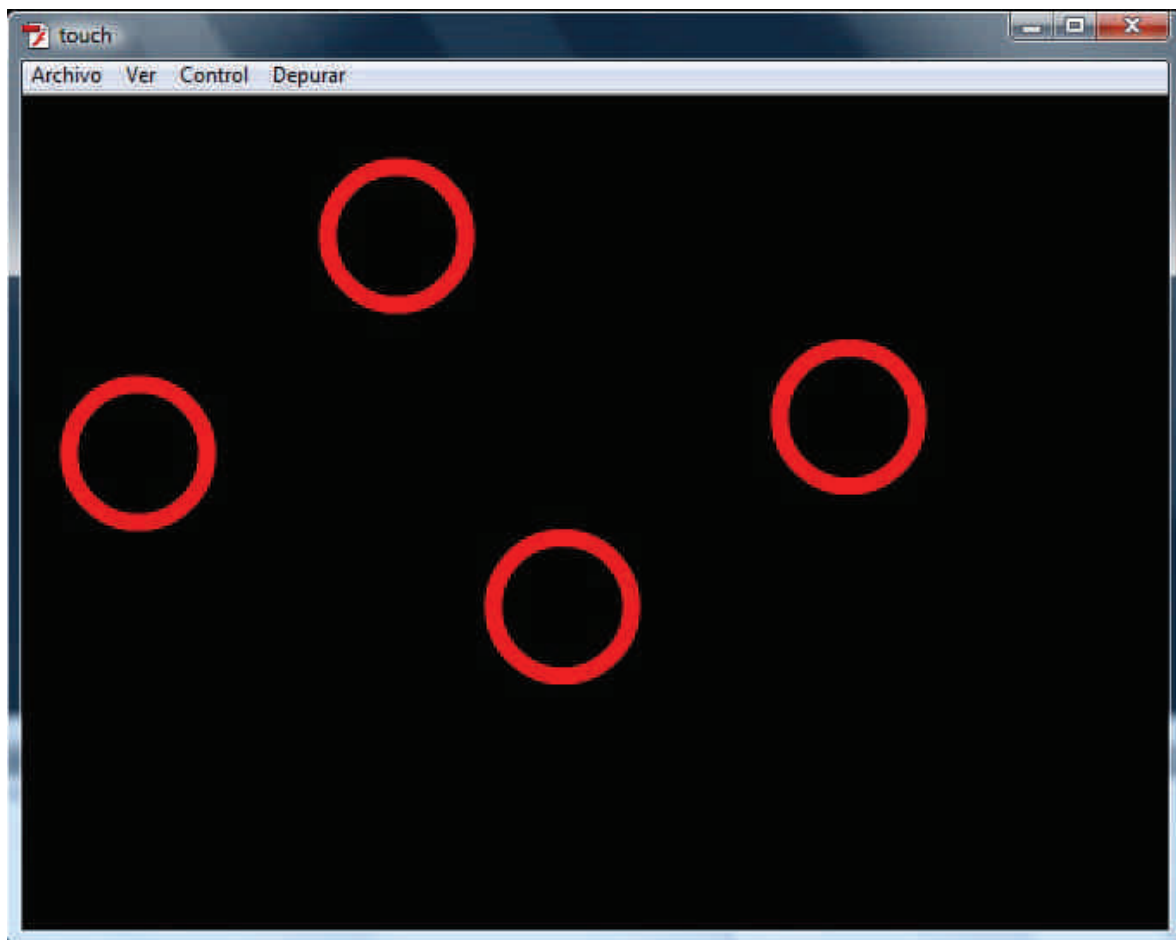


Figura 4.6: Programa de ejemplo en Flash

En el Apéndice A encontrarán el código de este programa llamado MyTouchApp.as

- Comparativa ratón/multi-touch

Realizamos un sencillo programa en la plataforma Fling (Flash Library for Interpreting Natural Gestures), que es una capa de funcionalidad que añade capacidades multi-touch a Adobe Flash y a las aplicaciones Air usando ActionScript. El escenario propuesto es el de seis figuras, tres a cada lado de un línea delimitadora, Figura 4.7. Esta prueba fue realizada de manera cualitativa, no corrida sobre la mesa:



Figura 4.7: Escenario para comparar movimientos de ratón/movimientos multi-touch

Tendremos que pasar los cuadrados a la derecha de la línea y los triángulos a la izquierda. Mediante el uso del ratón sólo podemos seleccionar un objeto en cada movimiento así que realizaremos un mínimo de seis movimientos. Sin embargo, mediante el uso de tres dedos de cada mano a la vez podríamos realizar el objetivo en un único movimiento. Esto multiplicaría evidentemente la velocidad de realización de esta acción por seis.

Incluso realizando, para mayor comodidad, dos movimientos (primero se mueve un tipo de objeto y luego el otro) estaríamos multiplicando por tres el rendimiento, ver Figuras 4.8(a) y 4.8(b).



(a) Posición 1

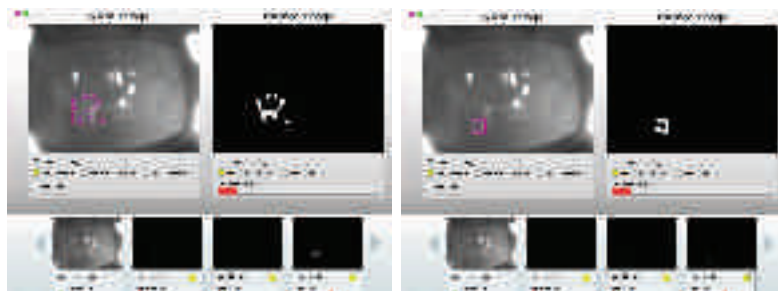
(b) Posición 2

Figura 4.8: La manipulación de un dispositivo multi-touch permite simultanear acciones que en un PC tradicional tendrían que ser secuenciales

En el Apéndice A adjuntamos el código del programa principal HelloWorld.as y de los objetos que contiene: Square.as, Triangle.as y Bar.as

4.3. Ventajas DI sobre FTIR

Las ventajas de DI sobre FTIR en base a su rendimiento son pocas pero DI tiene una cualidad muy valiosa: la capacidad de detectar objetos. Al ver sombras, se puede trabajar por ejemplo en tareas de reconocimiento de manos para detectar usuarios (Figura 4.9(a)). DI está preparado para leer los fiduciales de reactIVsion, ver Figura 2.6, que pueden por ejemplo, ir pegados a la base de un objeto (Figura 4.9(b)).



(a) Reconocimiento de manos para detectar usuarios en DI (b) Lectura de fiduciales (objetos) en DI

Figura 4.9: DI permite reconocer manos y fiduciales

4.4. Comparativa DI/FTIR

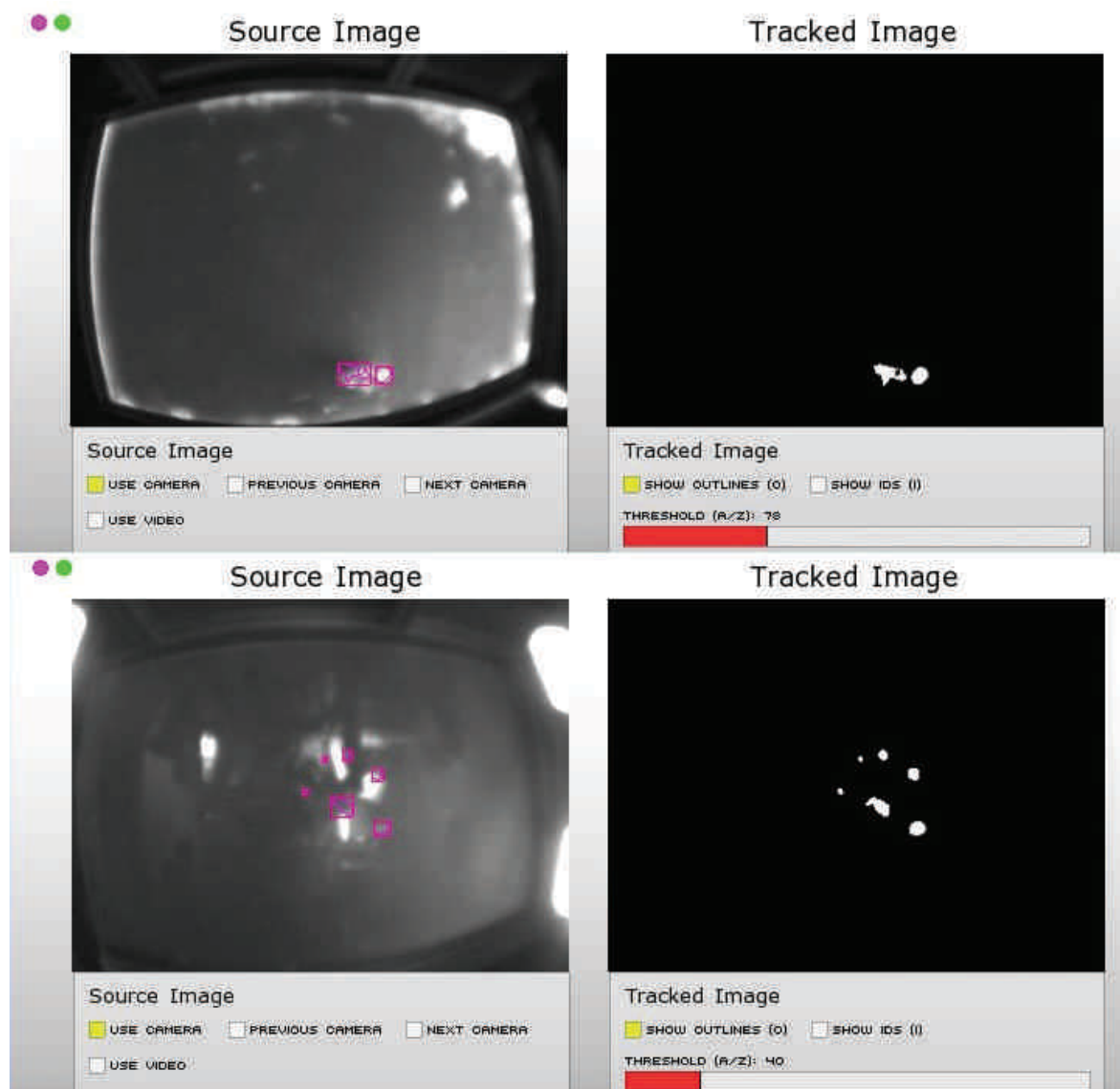


Figura 4.10: a) Arriba: Brillos en FTIR / b) Abajo: Brillos en DI. Se puede apreciar que la influencia de la luz es más acusada en DI

Ponemos un ejemplo en la Figura 4.10 de un brillo que aparece en FTIR al lado de nuestro blob aunque generalmente estos se pueden paliar calibrando la cámara (cerrando el obturador principalmente). Como vemos, en DI la influencia de los brillos es más acusada.

4.4. COMPARATIVA DI/FTIR

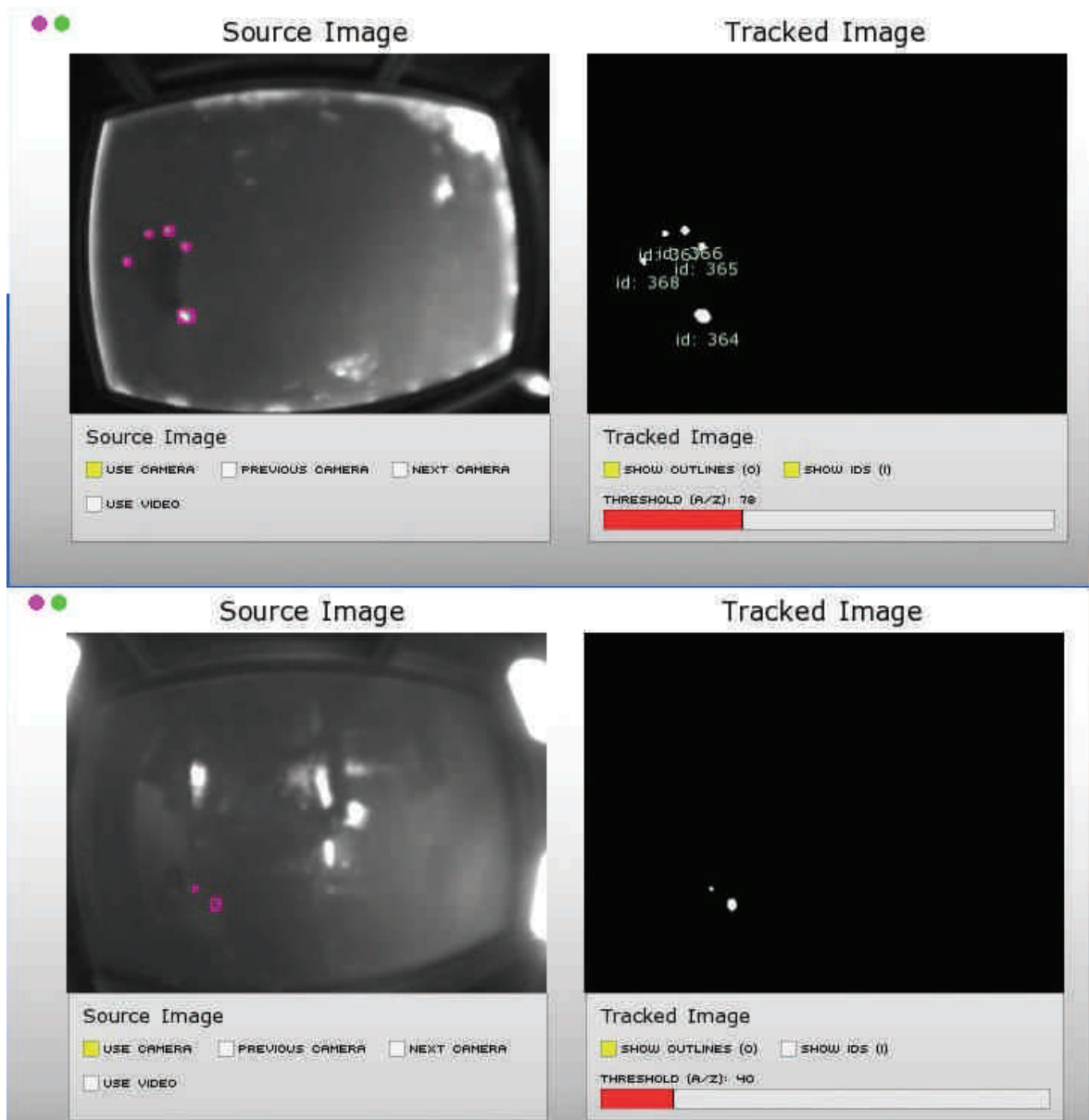


Figura 4.11: a) Arriba: Zonas oscuras en FTIR / b) Abajo: Zonas oscuras en DI. En FTIR no hay zonas oscuras

En la Figura 4.11 comprobamos que en FTIR no hay zonas oscuras mientras que en DI sí (sólo se detectan dos dedos de una mano). Esto viene dado por la propia colocación de los LEDs.

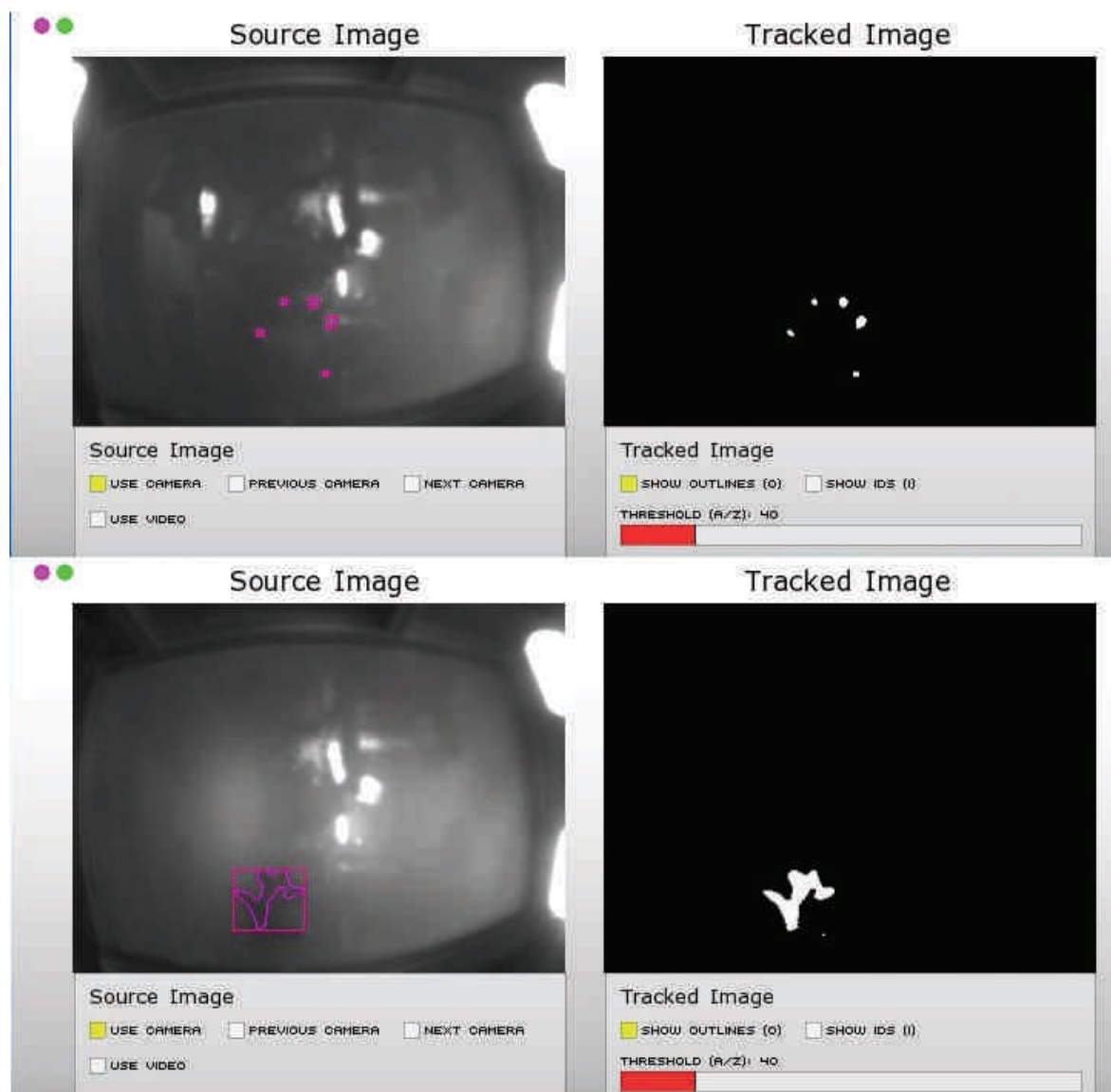


Figura 4.12: a) Arriba: Luz ambiente moderada en DI / b) Abajo: Luz ambiente fuerte en DI. Tras aplicar un cambio brusco de luminosidad vemos cómo se pierden los blobs en DI

Aplicamos un brusco cambio de luminosidad a la sala y vemos en la Figura 4.12 cómo habría que recalibrar completamente en DI ya que se pierden los blobs. No adjuntamos Figura de FTIR porque no se ve afectada por este cambio: al encender las luces, se sustrae dinámicamente el fondo con mucha rapidez. Si queda algún brillo es porque el filtro de la cámara es paso bajo y se cuelga alguna longitud de onda, para contrarrestarlo bastaría con encender el filtro “Highpass” de tbeta que, al ser, un filtro paso alto se combina con el anterior y lo contrasta.

4.5. Falsos positivos y falsos negativos

Uno de los problemas típicos durante el manejo de una superficie multi-touch es la aparición de falsos positivos y de falsos negativos. Un falso positivo aparece cuando un brillo no provocado por el usuario es reconocido por el software como un toque. Un falso negativo aparece cuando se pierde un toque realizado por el usuario; es decir, cuando un brillo o una zona oscura impide que se reconozca el toque.

Realizamos una rutina consistente en recorrer diez veces primero con uno y luego con dos dedos una diagonal de la mesa y comprobar la cantidad de falsos positivos y de falsos negativos que son detectados por el programa de seguimiento. Con ello dibujamos mediante Matlab las siguientes cuatro gráficas:

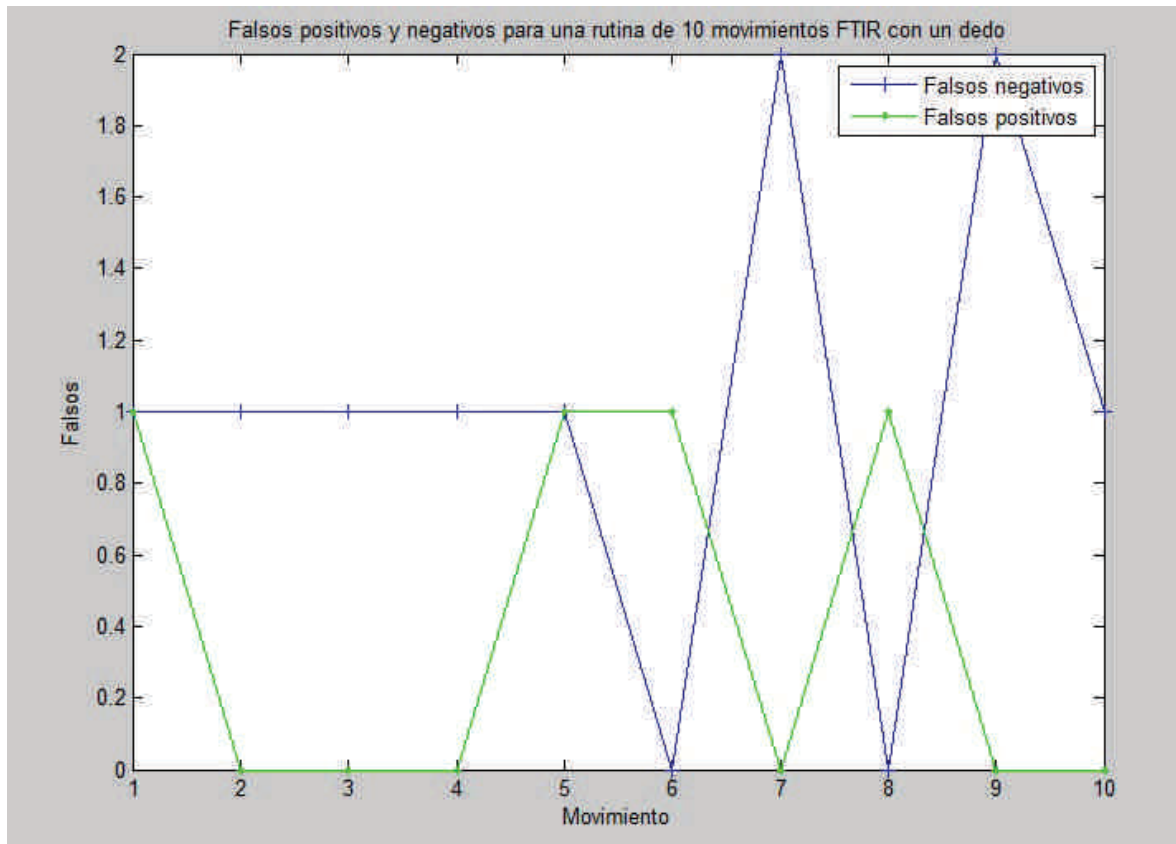


Figura 4.13: Falsos positivos y negativos para una rutina de 10 movimientos FTIR con 1 dedo. FTIR es extremadamente fiable a la hora de no leer falsos positivos

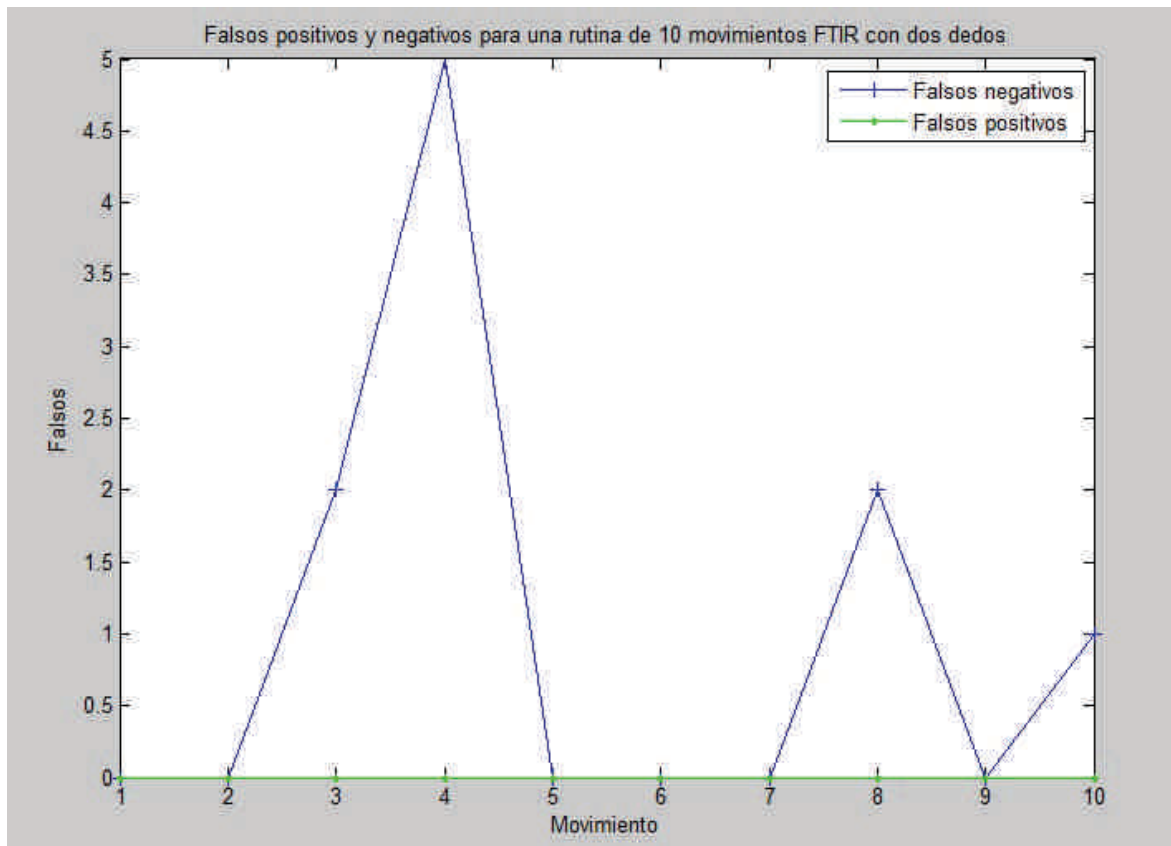


Figura 4.14: Falsos positivos y negativos para una rutina de 10 movimientos FTIR con 2 dedos. FTIR pierde algo de fiabilidad al usar dos dedos

Observando las Figuras 4.13 y 4.14 comprobamos como FTIR es extremadamente fiable a la hora de no leer falsos positivos (un máximo de uno en veinte movimientos). Esto se debe a la manera en que se aísla de las condiciones de iluminación ambiental y al buen funcionamiento en zonas oscuras. Sin embargo, FTIR reduce algo su fiabilidad al usar dos dedos (aparecen cinco falsos negativos en uno de los movimientos) ya que pierde el blob en alguna zona rugosa de la silicona. Esto podría evitarse mediante unas mejores configuración y calibración. La conclusión es que es una tecnología robusta y aún más en comparación con DI.

4.5. FALSOS POSITIVOS Y FALSOS NEGATIVOS

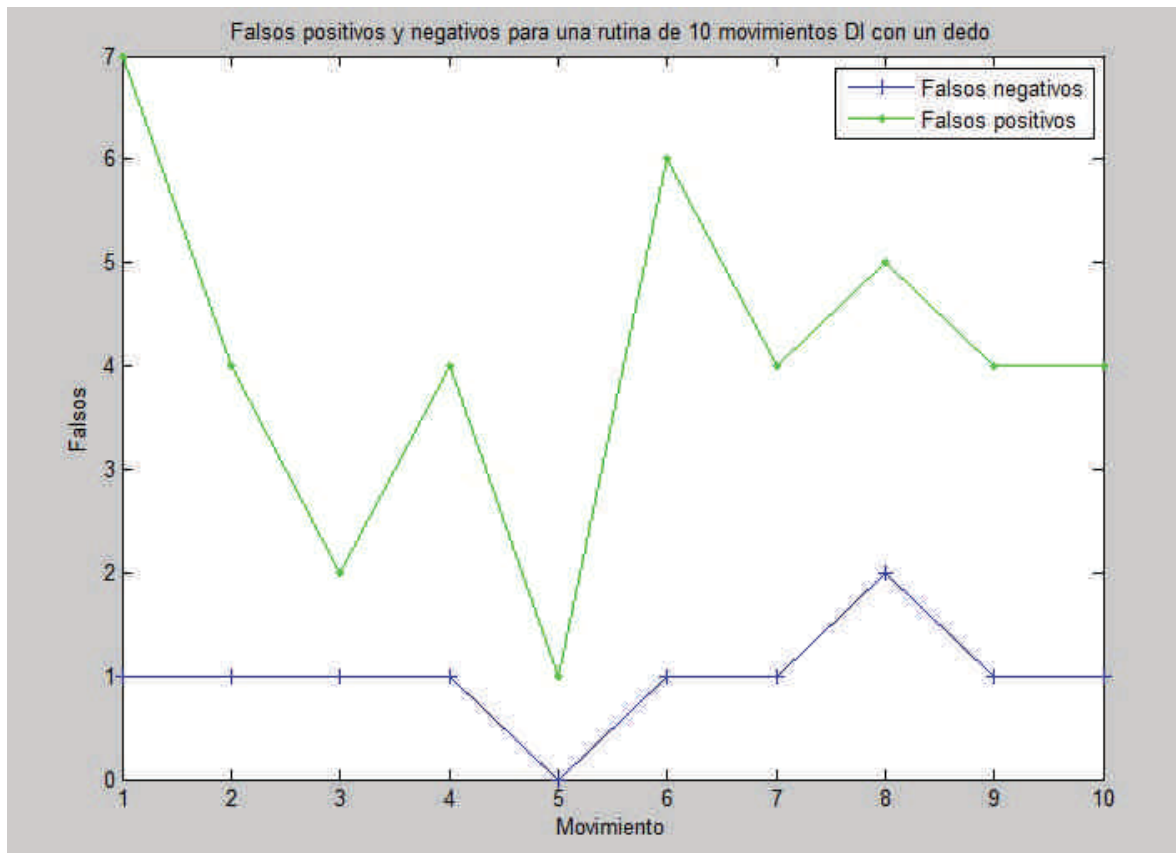


Figura 4.15: Falsos positivos y negativos para una rutina de 10 movimientos DI con 1 dedo. En DI aparecen pocos falsos negativos pero un número importante de falsos positivos

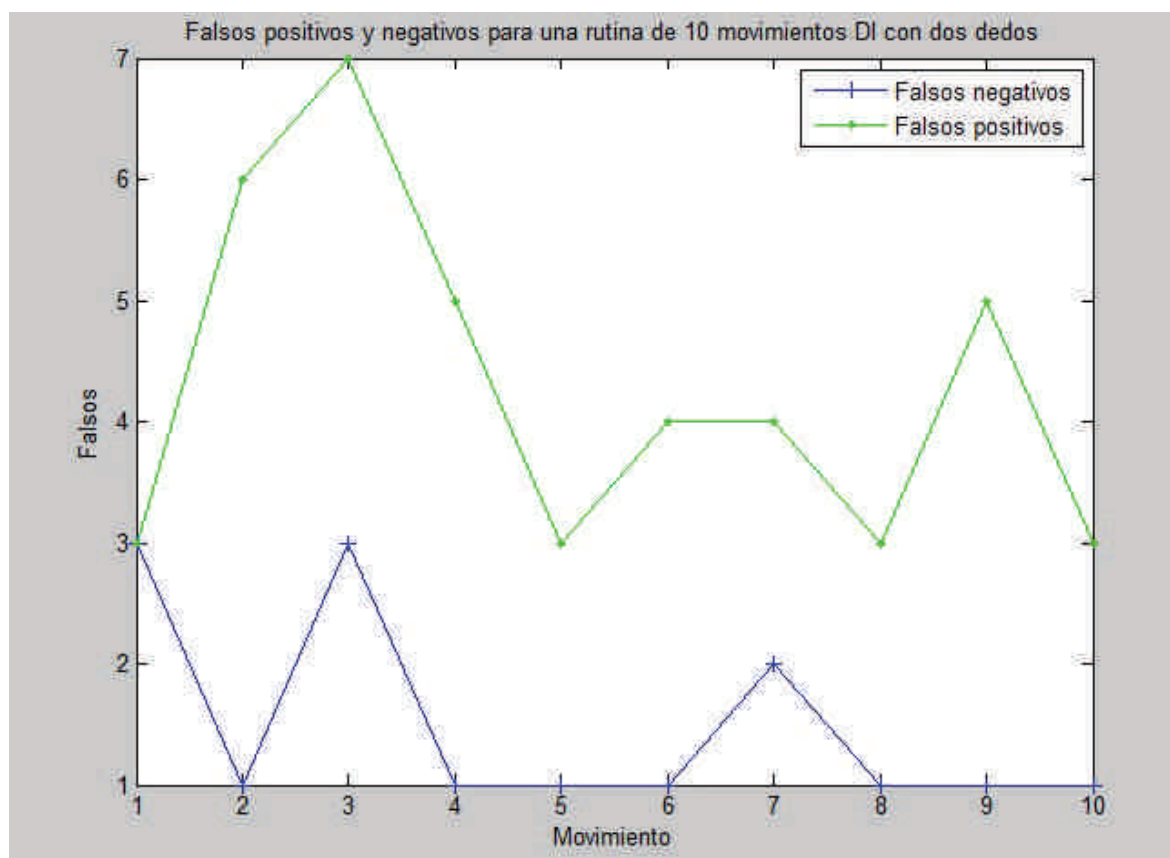


Figura 4.16: Falsos positivos y negativos para una rutina de 10 movimientos DI con 2 dedos. DI pierde algo de fiabilidad al usar dos dedos

Observando las Figuras 4.15 y 4.16 comprobamos que en DI aparecen pocos falsos negativos (más cuantos más dedos haya) pero que se dispara la aparición de falsos positivos por la cantidad de brillos que se generan por la luz solar, por reflejos dentro de la mesa,... La conclusión en este caso es sencillamente que el rendimiento es peor, y que tantos falsos positivos pueden ser fatales a la hora de correr adecuadamente un programa sobre la mesa.

Conclusiones y Trabajo Futuro

5.1. Conclusiones

El objetivo principal de este proyecto era, como indica su título, y como remarcábamos un número considerable de páginas más atrás el diseño y la implementación de una mesa multi-touch funcional. Esta implementación nos ha permitido estudiar las fortalezas y las debilidades de las dos tecnologías montadas y entender el funcionamiento de estos dispositivos.

Si nos ceñimos al dispositivo DI, la elección de algunos de los materiales (lámparas y filtros) es crítica y la obtención de una luz difusa y uniforme dentro de la mesa, sin brillos,... es tediosa. Por ello, el proceso de configuración y de calibración es extenso y es fácil obtener un prototipo inestable.

Debemos sin embargo decir que nuestro sistema DI funciona adecuadamente en un ambiente controlado y con una luz ambiental tenue.

En cambio, la implementación de la tecnología FTIR ha resultado sencilla. Se ha montado de manera rápida y el trabajo de configuración y de calibración ha sido casi nulo, obteniendo una funcionalidad importante independientemente de las condiciones ambientales. El pero es el no haber conseguido realizar una superficie de contacto (silicona) sin ningún tipo de irregularidad.

Así pues, el autor de este texto recomienda la tecnología FTIR frente a la DI a pesar de que esta última esté más preparada para reconocer objetos y que con FTIR aún se esté empezando a trabajar en este campo.

Esperamos, como escribíamos en el resumen inicial, que este Proyecto de Fin de Carrera pueda servir de base para nuevas investigaciones en la materia. El multi-touch

no va a sustituir al ratón, ni a los ordenadores personales convencionales, pero ofrece unas posibilidades de trabajo admirables. El simple hecho de naturalizar la interacción del usuario con el dispositivo, obviando intermediarios, de que podamos comunicarnos mediante gestos con el aparato (el número de gestos posibles sólo depende del programador), o de que podamos multiplicar por diez la velocidad de determinadas tareas, ya nos indica que sería un error subestimar las posibilidades de “lo multi-touch”.

Además, el autor de este texto tuvo la oportunidad de trabajar durante dos días en la feria más importante de Digital Signage de España, Total-Media (<http://www.total-media.es/feria2010/>), en el stand de LG Electronics España y comprobó cómo la demanda de tecnologías táctiles era importante. Se llegó a calcular que aproximadamente el 60% de las personas que se acercaban al stand preguntaban por futuras soluciones en el dominio de lo multi-táctil (superando ampliamente a las nuevas pantallas 3D).

Por esto último, y porque dudamos de que vayan a expandirse en el ámbito doméstico (los altos precio y peso de la mesa son dos ejemplos de inconvenientes en este sentido), pensamos que el futuro de las mesas multi-touch de tamaño mediano está en los entornos laborales (tareas colaborativas o incluso remotas), en la creación artística y, sobre todo, en la publicidad.

5.2. Trabajo Futuro

A partir del trabajo realizado, sugerimos diez ideas para continuar en esta línea de investigación:

- Perfeccionar las tecnologías DI y FTIR. En el primer caso habría que buscar una solución nueva para la iluminación y en el segundo simplemente hacer una capa de silicona nueva.
- Implementar alguna de las muchas tecnologías ópticas incipientes. Algunas de ellas están descritas en el apartado del Estado del Arte.
- Aprovechar las nuevas librerías que reconocen manos completas para que la mesa pueda identificar usuarios. Esto se convierte en algo muy útil por lo que supone en los ámbitos de la seguridad, la personalización,...
- Programar aplicaciones de cualquier tipo, aquí sólo se depende de la imaginación del programador. Es más que evidente que cada vez se va a tender más al uso al mismo tiempo de objetos y dedos.

5.2. TRABAJO FUTURO

- Interactuar con mesas remotas. Esto no implica demasiada dificultad por ir conectada la mesa a un PC y por lo tanto a Internet y porque además el protocolo de comunicación que utiliza tbeta, TUIO, está preparado para ello.
- Diseñar una mesa de mayor tamaño o con alguna forma irregular usando más de una cámara.
- Montar pantallas verticales e intentar solucionar el problema de la profundidad (un proyector ocupa demasiado espacio detrás de la pantalla) sin usar LCDs.
- Beneficiarse de los nuevos sistemas operativos que soportan multi-touch, como Windows 7, para acercar la experiencia táctil a la del usuario medio.
- Juntar varias mesas y realizar un mosaico funcional con ellas (como los llamados video-walls que se realizan con los monitores tradicionales).
- Trabajar sobre espejos en vez de sobre superficies transparentes.

Bibliografía

- [1] SK. Lee, W. Buxton, K.S. *A multi-touch three dimensional touch-sensitive tablet. CHI '85 PROCEEDINGS.* 1985.
- [2] Johannes Schoning, Peter Brandl, F.D.F.E.O.H.J.H.M.L.N.M.L.M.P.O.T.R.U.v.Z. *Multi-touch surfaces: A technical guide. IEEE Tabletops Workshop.* 2008.
- [3] P. Dietz y D. Leigh. *Diamondtouch: a multi-user touch technology.* . In *Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology*, page 226. ACM. 2001.
- [4] J. Rekimoto. *Smartskin: an infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces.* In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: Changing our world, changing ourselves*, pages 113120. ACM New York, NY, USA. 2002.
- [5] M. Kaltenbrunner y R. Bencina. *reactivision: a computer-vision framework for table-based tangible interaction.* In *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction*, page 74. ACM. 2007.
- [6] Wilson, A. *Playanywhere: a compact interactive tabletop projection-vision system.* In *Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology*, page 92. ACM. 2005.
- [7] Wilson, A. *Touchlight: an imaging touch screen and display for gesture-based interaction.* In *Proceedings of the 6th international conference on Multimodal interfaces*, pages 6976. ACM. 2004.
- [8] S. Izadi, S. Hodges, S.D.N.A. y J. Westhues. *Going beyond the display: a surface technology with an electronically switchable diffuser.* In *Proceedings of the 21st annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 269278. ACM. 2008.
- [9] H. Benko, A.W. y R. Balakrishnan. *Sphere: multi-touch interactions on a spherical display.* In *Proceedings of the 21st annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 7786. ACM. 2008.

- [10] Muller, L. *Multi-touch displays: design, applications and performance evaluation*. Tesis Doctoral. 2008.
- [11] Weiser, M. *The computer for the 21st century*. *Scientific American*. September 1991.
- [12] Coen, M.H. *Design principles for intelligent environments*. En *Fifteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI'98)*. AAAI, AAAI Press, Madison, WI. 1998, páginas 547–554.
- [13] et al., R.G.J. *Touch actuable data input panel assembly*. 1972. US patent 3,673,327.
- [14] Mueller., R.E. *Direct television drawing and image manipulation system*. 1974. US patent 3,846,826.
- [15] Buxton, W. y Myers, B.A. *A study in two-handed input*. *CHI 86' PROCEEDINGS*. 1986.
- [16] Richard L. Potter, Linda J. Weldon, B.S. *Improving the accuracy of touch screens: an experimental evaluation of three strategies*. *CHI '88*. 1988.
- [17] FUKUMOTO, Masaaki; SUGIMURA, T. *Active click: Tactile feedback for touch panels*. *CHI 2001*. 2001.
- [18] Downs, R. *Using resistive touch screens for human/machine interface*. *Texas Instruments Incorporated*. 2005.
- [19] William Buxton, Ralph Hill, P.R. *Issues and techniques in touch-sensitive tablet input*. *SIGGRAPH '85*. 1985.
- [20] Boie, R. y Miller, G. *Conformable tactile sensor*. 1985.
- [21] S.P. Hotelling, C.K. y Huppi, B. *Multipoint touch surface controller*. 2006.
- [22] Wallace, D. *Surface wave touch screen*. 2002.
- [23] A. Agarwal, S. Izadi, M. y A. Blake. *High precision multi-touch sensing on surfaces using overhead cameras*. In *IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer System*,. 2007.
- [24] Han, J. *Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection*. In *Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology, page 118*. ACM. 2005.
- [25] Han, J. *Multi-touch sensing light emitting diode display and method for using the same*. 2005.
- [26] Davidson, P. y Han, J. *Synthesis and control on large scale multi-touch sensing displays*. In *Proceedings of the 2006 conference on New interfaces for musical expression, page 219*. IRCAMCentre Pompidou. 2006.

- [27] JD Smith, TCN Graham, D. y J. Borchers. *Low-cost malleable surfaces with multi-touch pressure sensitivity*. In *Horizontal Interactive Human-Computer Systems, 2007. TABLETOP07. Second Annual IEEE International Workshop on*, pages 205208. 2007.
- [28] F. Echtler, M. y G. Klinker. *Shadow tracking on multi-touch tables*. In *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*, pages 388391. ACM. 2008.
- [29] KC Dohse, T. Dohse, J.S. y Parkhurst, D. *Enhancing multi-user interaction with multi-touch tabletop displays using hand tracking*. In *Advances in Computer-Human Interaction, 2008 First International Conference on*, pages 297302. 2008.
- [30] N. Motamedi. *Hd touch: multi-touch and object sensing on a high definition lcd tv*. *Publicación desconocida*. 2008.
- [31] R. Hofer, D. y A. Kunz. *Flatir: Ftir multi-touch detection on a discrete distributed sensor array*. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, pages 317322. ACM. 2009.
- [32] R. Hofer y A. Kunz. *Tnt: Touch n tangibles on lc-displays*. In *Proceedings of the 8th International Conference on Entertainment Computing*, page 227. 2009.
- [33] S. Izadi, S. Hodges, A.A. y B. Buxton. *Thinsight: integrated optical multi-touch sensing through thin form-factor displays*. In *Proceedings of the 2007 workshop on Emerging displays technologies: images and beyond: the future of displays and interaction*, page 6. ACM. 2007.
- [34] A. Abileah y P. Green. *Optical sensors embedded within amlcd panel: design and applications*. In *ACM SIGGRAPH 2007 emerging technologies*, page 27. ACM. 2007.
- [35] Raphael Wimmer, Florian Schulz, F.H.S.B.H.H. *Curve: Blending horizontal and vertical interactive*. *University of Munich*. 2010.

Archivos de prueba

A.1. MyTouchApp.as

```
i»¿package app.demo.MyTouchApp{

    import flash.display.*;
    import flash.events.*;
    import app.core.action.RotatableScalable;

    public class MyTouchApp extends RotatableScalable {

        public function MyTouchApp() {

            //-----connect to TUIO-----
            TUIO.init(this,'localhost',3000,'',true);
            trace("MyTouchApp Initialized");
            //-----

            addEventListener(MouseEvent.MOUSE_DOWN, onMouseDown);
                // adds an event listener looking for a mouse click
                //- runs "onMouseDown"
        }

        private function onMouseDown(event:MouseEvent):void {
            //creates a circle when the mouse is clicked

            var circle:Sprite = new Sprite();

            circle.graphics.lineStyle(10, 0xff0000);
                //set line width to 10px and red
```

```
        circle.graphics.drawCircle(0,0,40); // draw a 40px circle
        circle.x = mouseX; //put it where the mouse clicked
        circle.y = mouseY;

        addChild(circle); //add the circle to the plane
    }
}
}
```

A.2. HelloWorld.as

```
i»;package{
    import fling.*;
    import fling.parsers.*;
    import fling.workspace.*;
    import fling.blackboard.*;
    import fling.osc.*;
    import fling.symbols.*;

    public class HelloWorld extends FlingRootObj{

        var bg:FlingBG;
        var triangle:Triangle, square:Square, triangle2:Triangle,
            square2:Square, triangle3:Triangle, square3:Square, bar:Bar;

        public function HelloWorld():void{

            bg = new FlingBG();
            this.addChild(bg);

            triangle = new Triangle;
            bg.addChild(triangle);
            triangle.x = (3/4)*stage.nativeWindow.width;
            triangle.y = (1/4)*stage.nativeWindow.height;

            square = new Square();
            bg.addChild(square);
            square.x = (1/4)*stage.nativeWindow.width;
            square.y = (1/4)*stage.nativeWindow.height;

            triangle2 = new Triangle;
```

```
        bg.addChild(triangle2);
        triangle2.x = (3/4)*stage.nativeWindow.width;
        triangle2.y = (2/4)*stage.nativeWindow.height;

        square2 = new Square();
        bg.addChild(square2);
        square2.x = (1/4)*stage.nativeWindow.width;
        square2.y = (2/4)*stage.nativeWindow.height;

        triangle3 = new Triangle;
        bg.addChild(triangle3);
        triangle3.x = (3/4)*stage.nativeWindow.width;
        triangle3.y = (3/4)*stage.nativeWindow.height;

        square3 = new Square();
        bg.addChild(square3);
        square3.x = (1/4)*stage.nativeWindow.width;
        square3.y = (3/4)*stage.nativeWindow.height;

        bar = new Bar();
        bg.addChild(bar);
        bar.x = (1/2)*stage.nativeWindow.width;
        bar.y = (1/2)*stage.nativeWindow.height;
    }
}
}
```

A.3. Triangle.as

```
i»;package{
    import fling.*;
    import fling.parsers.*;
    import fling.workspace.*;
    import fling.blackboard.*;
    import fling.osc.*;
    import fling.symbols.*;

    public class Triangle extends FlingObj{

        public function Triangle():void{
            this.movable = true;
            this.clickable = true;
        }
    }
}
```

```
        this.resizable = true;
        this.rotatable = true;
        this.flipable = true;
    }

}
}
```

A.4. Square.as

```
i»¿package{
    import fling.*;
    import fling.parsers.*;
    import fling.workspace.*;
    import fling.blackboard.*;
    import fling.osc.*;
    import fling.symbols.*;

    public class Square extends FlingObj{

        public function Square():void{

            this.movable = true;
            this.clickable = true;
            this.resizable = true;
            this.rotatable = true;
            this.flipable = true;

        }

    }
}
```

A.5. Bar.as

```
i»¿package{
import fling.*;
```

A.5. BAR.AS

```
import fling.blackboard.*;
import fling.osc.*;
import fling.parsers.*;
import fling.symbols.*;
import fling.workspace.*;

public class Bar extends FlingObj{

    public function Bar():void{

        this.movable = true;

        }

    }

}
```

Apéndice B

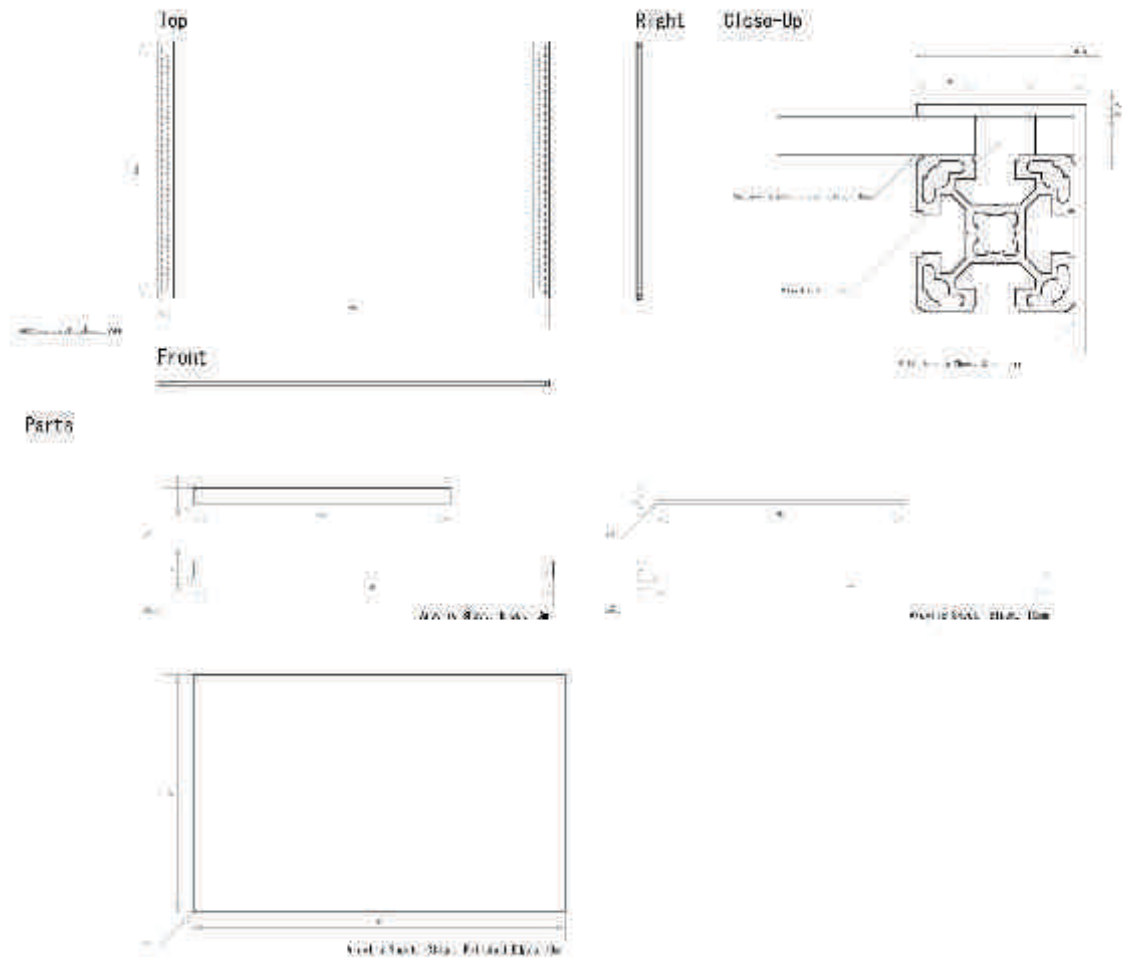
**Planos de la mesa y lista de
materiales**

Surface Option I (01)



all units: in cm

Surface Option II (01 & FTIR)



all units: in cm

© 2008 by Dominik Schmidt

Figura B.2: Plano de la superficie de la mesa elaborado por Dominik Schmidt en la que está basado nuestro diseño

APÉNDICE B. PLANOS DE LA MESA Y LISTA DE MATERIALES

Apéndice C

Presupuesto

1) Ejecución Material	
▪ Desarrollo mesa DI	3.890 €
▪ Material de oficina e industrial	300 €
▪ Total de ejecución material	4.190 €
2) Gastos generales	
▪ 16 % sobre Ejecución Material	670 €
3) Beneficio Industrial	
▪ 6 % sobre Ejecución Material	251 €
4) Honorarios Proyecto	
▪ 500 horas a 15 €/ hora	7.500 €
5) Material fungible	
▪ Gastos de impresión	200 €
▪ Encuadernación	60 €
6) Subtotal del presupuesto	
▪ Subtotal Presupuesto	12.871 €
7) I.V.A. aplicable	
▪ 18 % Subtotal Presupuesto	2.317 €
8) Total presupuesto	
▪ Total Presupuesto	15.188 €

APÉNDICE C. PRESUPUESTO

Madrid, Abril 2011

El Ingeniero Jefe de Proyecto

Fdo.: Gonzalo Marcos Díez

Ingeniero Superior de Telecomunicación

Pliego de condiciones

Pliego de condiciones

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización, en este proyecto, del *diseño e implementación de una mesa multi-touch*. En lo que sigue, se supondrá que el proyecto ha sido encargado por una empresa cliente a una empresa consultora con la finalidad de realizar dicho sistema. Dicha empresa ha debido desarrollar una línea de investigación con objeto de elaborar el proyecto. Esta línea de investigación, junto con el posterior desarrollo de los programas está amparada por las condiciones particulares del siguiente pliego.

Supuesto que la utilización industrial de los métodos recogidos en el presente proyecto ha sido decidida por parte de la empresa cliente o de otras, la obra a realizar se regulará por las siguientes:

Condiciones generales.

1. La modalidad de contratación será el concurso. La adjudicación se hará, por tanto, a la proposición más favorable sin atender exclusivamente al valor económico, dependiendo de las mayores garantías ofrecidas. La empresa que somete el proyecto a concurso se reserva el derecho a declararlo desierto.
2. El montaje y mecanización completa de los equipos que intervengan será realizado totalmente por la empresa licitadora.
3. En la oferta, se hará constar el precio total por el que se compromete a realizar la obra y el tanto por ciento de baja que supone este precio en relación con un importe límite si este se hubiera fijado.
4. La obra se realizará bajo la dirección técnica de un Ingeniero Superior de Telecomunicación, auxiliado por el número de Ingenieros Técnicos y Programadores que se estime preciso para el desarrollo de la misma.

5. Aparte del Ingeniero Director, el contratista tendrá derecho a contratar al resto del personal, pudiendo ceder esta prerrogativa a favor del Ingeniero Director, quien no estará obligado a aceptarla.
6. El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, pliego de condiciones y presupuestos. El Ingeniero autor del proyecto autorizará con su firma las copias solicitadas por el contratista después de confrontarlas.
7. Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto que sirvió de base para la contratación, a las modificaciones autorizadas por la superioridad o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le hayan comunicado por escrito al Ingeniero Director de obras siempre que dicha obra se haya ajustado a los preceptos de los pliegos de condiciones, con arreglo a los cuales, se harán las modificaciones y la valoración de las diversas unidades sin que el importe total pueda exceder de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el proyecto o en el presupuesto, no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna clase, salvo en los casos de rescisión.
8. Tanto en las certificaciones de obras como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto para cada unidad de la obra.
9. Si excepcionalmente se hubiera ejecutado algún trabajo que no se ajustase a las condiciones de la contrata pero que sin embargo es admisible a juicio del Ingeniero Director de obras, se dará conocimiento a la Dirección, proponiendo a la vez la rebaja de precios que el Ingeniero estime justa y si la Dirección resolviera aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.
10. Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiere y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero Director y el contratista, sometiéndolos a la aprobación de la Dirección. Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento, se sujetarán siempre al establecido en el punto anterior.
11. Cuando el contratista, con autorización del Ingeniero Director de obras, emplee materiales de calidad más elevada o de mayores dimensiones de lo estipulado en el proyecto, o sustituya una clase de fabricación por otra que tenga asignado mayor precio o ejecute con mayores dimensiones cualquier otra parte de las obras, o en general, introduzca en ellas cualquier modificación que sea beneficiosa a juicio del Ingeniero Director de obras, no tendrá derecho sin embargo, sino a lo que le correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.
12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partida alzada en el presupuesto final (general), no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellas se formen, o en su defecto, por lo que resulte de su medición final.
13. El contratista queda obligado a abonar al Ingeniero autor del proyecto y director de obras así como a los Ingenieros Técnicos, el importe de sus respectivos honorarios

facultativos por formación del proyecto, dirección técnica y administración en su caso, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.

14. Concluida la ejecución de la obra, será reconocida por el Ingeniero Director que a tal efecto designe la empresa.
15. La garantía definitiva será del 4% del presupuesto y la provisional del 2%.
16. La forma de pago será por certificaciones mensuales de la obra ejecutada, de acuerdo con los precios del presupuesto, deducida la baja si la hubiera.
17. La fecha de comienzo de las obras será a partir de los 15 días naturales del replanteo oficial de las mismas y la definitiva, al año de haber ejecutado la provisional, procediéndose si no existe reclamación alguna, a la reclamación de la fianza.
18. Si el contratista al efectuar el replanteo, observase algún error en el proyecto, deberá comunicarlo en el plazo de quince días al Ingeniero Director de obras, pues transcurrido ese plazo será responsable de la exactitud del proyecto.
19. El contratista está obligado a designar una persona responsable que se entenderá con el Ingeniero Director de obras, o con el delegado que éste designe, para todo relacionado con ella. Al ser el Ingeniero Director de obras el que interpreta el proyecto, el contratista deberá consultarle cualquier duda que surja en su realización.
20. Durante la realización de la obra, se girarán visitas de inspección por personal facultativo de la empresa cliente, para hacer las comprobaciones que se crean oportunas. Es obligación del contratista, la conservación de la obra ya ejecutada hasta la recepción de la misma, por lo que el deterioro parcial o total de ella, aunque sea por agentes atmosféricos u otras causas, deberá ser reparado o reconstruido por su cuenta.
21. El contratista, deberá realizar la obra en el plazo mencionado a partir de la fecha del contrato, incurriendo en multa, por retraso de la ejecución siempre que éste no sea debido a causas de fuerza mayor. A la terminación de la obra, se hará una recepción provisional previo reconocimiento y examen por la dirección técnica, el depositario de efectos, el interventor y el jefe de servicio o un representante, estampando su conformidad el contratista.
22. Hecha la recepción provisional, se certificará al contratista el resto de la obra, reservándose la administración el importe de los gastos de conservación de la misma hasta su recepción definitiva y la fianza durante el tiempo señalado como plazo de garantía. La recepción definitiva se hará en las mismas condiciones que la provisional, extendiéndose el acta correspondiente. El Director Técnico propondrá a la Junta Económica la devolución de la fianza al contratista de acuerdo con las condiciones económicas legales establecidas.
23. Las tarifas para la determinación de honorarios, reguladas por orden de la Presidencia del Gobierno el 19 de Octubre de 1961, se aplicarán sobre el denominado en la actualidad "Presupuesto de Ejecución de Contrataz anteriormente llamado "Presupuesto de Ejecución Material" que hoy designa otro concepto.

Condiciones particulares.

La empresa consultora, que ha desarrollado el presente proyecto, lo entregará a la empresa cliente bajo las condiciones generales ya formuladas, debiendo añadirse las siguientes condiciones particulares:

1. La propiedad intelectual de los procesos descritos y analizados en el presente trabajo, pertenece por entero a la empresa consultora representada por el Ingeniero Director del Proyecto.
2. La empresa consultora se reserva el derecho a la utilización total o parcial de los resultados de la investigación realizada para desarrollar el siguiente proyecto, bien para su publicación o bien para su uso en trabajos o proyectos posteriores, para la misma empresa cliente o para otra.
3. Cualquier tipo de reproducción aparte de las reseñadas en las condiciones generales, bien sea para uso particular de la empresa cliente, o para cualquier otra aplicación, contará con autorización expresa y por escrito del Ingeniero Director del Proyecto, que actuará en representación de la empresa consultora.
4. En la autorización se ha de hacer constar la aplicación a que se destinan sus reproducciones así como su cantidad.
5. En todas las reproducciones se indicará su procedencia, explicitando el nombre del proyecto, nombre del Ingeniero Director y de la empresa consultora.
6. Si el proyecto pasa la etapa de desarrollo, cualquier modificación que se realice sobre él, deberá ser notificada al Ingeniero Director del Proyecto y a criterio de éste, la empresa consultora decidirá aceptar o no la modificación propuesta.
7. Si la modificación se acepta, la empresa consultora se hará responsable al mismo nivel que el proyecto inicial del que resulta el añadirla.
8. Si la modificación no es aceptada, por el contrario, la empresa consultora declinará toda responsabilidad que se derive de la aplicación o influencia de la misma.
9. Si la empresa cliente decide desarrollar industrialmente uno o varios productos en los que resulte parcial o totalmente aplicable el estudio de este proyecto, deberá comunicarlo a la empresa consultora.
10. La empresa consultora no se responsabiliza de los efectos laterales que se puedan producir en el momento en que se utilice la herramienta objeto del presente proyecto para la realización de otras aplicaciones.
11. La empresa consultora tendrá prioridad respecto a otras en la elaboración de los proyectos auxiliares que fuese necesario desarrollar para dicha aplicación industrial, siempre que no haga explícita renuncia a este hecho. En este caso, deberá autorizar expresamente los proyectos presentados por otros.

-
12. El Ingeniero Director del presente proyecto, será el responsable de la dirección de la aplicación industrial siempre que la empresa consultora lo estime oportuno. En caso contrario, la persona designada deberá contar con la autorización del mismo, quien delegará en él las responsabilidades que ostente.



Figura D.1: Gracias por la lectura