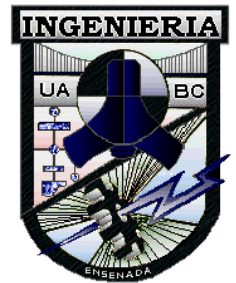
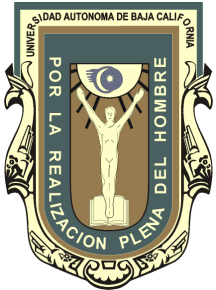


Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ingeniería - Ensenada



Touchscreen Infrarrojo

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para
obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA

Eduardo Antonio Murillo Bracamontes

Ensenada, Baja California, Septiembre del 2008.

Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ingeniería - Ensenada

Touchscreen Infrarrojo

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA

Presenta

Eduardo Antonio Murillo Bracamontes

Aprobada por:

Dr. Miguel Enrique Martínez Rosas
Director de Tesis

Dr. Horacio Luis Martínez Reyes
Miembro del Comité

M.C. Carlos Gómez Agis
Miembro del Comité

Ensenada, Baja California, Septiembre del 2008.

Resumen de la tesis de **Eduardo Antonio Murillo Bracamontes**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN INGENIERÍA del programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería (MYDCI) de la UABC. Ensenada Baja California, México, Septiembre del 2008.

Touchscreen Infrarrojo

Resumen Aprobado por:

Dr. Miguel Enrique Martínez Rosas
Director de Tesis

En este trabajo de tesis se presenta el diseño y construcción de una interfaz hombre-máquina basada en un sistema de despliegue con pantalla sensible al tacto (touchscreen) empleando tecnología infrarroja (IR). Se describe con detalle la metodología de diseño y los cálculos asociados a cada etapa del sistema. También se muestran los diagramas de flujo de las distintas tareas que efectúa un microcontrolador para controlar el sistema de barrido y adquisición de coordenadas en la pantalla. Se implementaron sistemas de caracterización automática de componentes para evaluar el desempeño de los dispositivos por medio de instrumentos interconectados con ayuda de la interfaz GPIB y una computadora personal. Las rutinas de control para los sistemas de caracterización fueron escritas en lenguaje Matlab®. Se diseñaron circuitos impresos para la fabricación de un prototipo para probar la operación real del sistema y se desarrolló una interfaz gráfica en lenguaje LabView® que despliega la posición de objetos sobre una pantalla de prueba incluyendo sus coordenadas numéricas. El cálculo de posición y seguimiento del objeto apuntador sobre la pantalla se realiza con tal rapidez que da la sensación de movimiento instantáneo al ojo humano.

Palabras Clave: *Sistema Touchscreen, Caracterización automática, Interfaz hombre-máquina*

Dedicatoria

A mi Esposa, Sonia por haberme brindado todo su amor, apoyo y comprensión durante la realización de mis estudios de postgrado, alientándome siempre a seguir adelante.

A mi pequeña hija, Arianita quien es mi inspiración para seguir superándome profesional y académicamente.

A mis Padres, Fermín y Ana por haberme inculcado valores, por haberme dado la oportunidad realizar estudios profesionales y por todo el apoyo que me brindaron durante estos estudios de postgrado.

A toda mi familia, colegas de trabajo, compañeros de generación y amigos que siempre me brindaron su apoyo.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma de Baja California, por haberme permitido formar parte de su programa de postgrado y haberme otorgado la beca que me ayudó a terminar mis estudios de postgrado.

A mi asesor, Dr. Miguel Enrique Martínez Rosas que más que un asesor fue un amigo que me ayudó en todo momento con su tiempo, enseñanza, y consejos siempre valiosos que fueron fundamentales para llegara este momento.

Al Dr. Horacio Luis Martínez Reyes y al M.C. Carlos Gómez Agis por el tiempo y consejos brindados durante la realización de mi tesis.

A mis compañeros y amigos de generación Daniel Amador, Feliciano Domínguez, Edgar Morales, Francisco Ocampo, Daniel Ortiz y Martín Tirado por su apoyo y por compartir sus experiencias durante el tiempo que estuvimos conviviendo durante los estudios de postgrado.

A mis colegas de trabajo en Navico que en todo momento me brindaron su apoyo y comprensión durante el tiempo que estuve llevando las materias y laboratorios.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Justificación	2
1.2. Objetivo General	3
1.3. Objetivos específicos	3
1.4. Secuencia de la tesis	3
2. Antecedentes Históricos	5
2.1. Dispositivos de apuntamiento	6
2.1.1. Dispositivos de apuntamiento indirecto	7
2.1.2. Dispositivos de apuntamiento directo	7
2.2. Tecnologías touchscreen	11
2.2.1. Ventajas de las tecnologías touchscreen	12
2.2.2. Diseños de sistemas touchscreen	13
2.2.3. Factores físicos	16
2.2.4. Factores ambientales	18
2.3. Diseño general del sistema	20
2.3.1. Consideraciones mecánicas	20
2.3.2. Atributos físicos	21
2.3.3. Consideraciones de programación	21
2.3.4. Ruido por iluminación ambiental	27
2.3.5. Luz directa y luz reflejada	33
2.3.6. Consideraciones en el diseño del transmisor óptico	33
2.3.7. Consideraciones en el diseño del receptor óptico	35
2.3.8. Consideraciones de ruido en el receptor	36
3. Diseño del sistema touchscreen IR	38
3.1. Funcionamiento general	38
3.2. Análisis del circuito transmisor	39

3.2.1.	Descripción del funcionamiento	39
3.2.2.	Secuencia de activación	42
3.3.	Análisis del circuito receptor.	45
3.3.1.	Filtro pasa altas.	45
3.3.2.	Etapa de amplificación.	47
3.3.3.	Sistema de interfaz digital	48
4.	Pruebas y Resultados	55
4.1.	Caracterización del circuito Transmisor	55
4.2.	Pruebas ante iluminación con luz solar.	60
4.3.	Algoritmo de detección.	61
4.4.	Interfaz gráfica de evaluación de desempeño del sistema touch- screen	63
4.5.	Diseño de circuitos impresos (PCB) del prototipo	63
4.5.1.	Diseño de PCBs	65
4.5.2.	Sistema touchscreen integrado	66
4.5.3.	Control del tiempo de barrido	69
5.	Conclusiones Generales	71
5.1.	Conclusiones	71
5.2.	Aportaciones	72
5.3.	Trabajo a futuro	73

Índice de figuras

2.1. Imagen de una pluma foto-sensitiva	9
2.2. Imagen de una pantalla con touchscreen	9
2.3. Cubierta capacitiva	13
2.4. Onda acústica guiada	14
2.5. Cubierta resistiva.	15
2.6. Escaneo infrarrojo	15
2.7. Imagen de campo cercano	16
2.8. Densidades espectrales de potencia de tres fuentes típicas de iluminación de fondo	29
2.9. Variación de la potencia eléctrica con la frecuencia de una lámpara fluorescente	30
2.10. Sensitividad espectral de un fotodiodo de silicio y de la trans- mitancia del material con características de longpass.	31
2.11. Fuente de iluminación introduciendo ruido en un receptor in- frarrojo.	32
2.12. Moduladores Ópticos: (a) modulador interno y (b) modulador externo.	34
2.13. Modulador digital de LED por un transistor conmutador.	34
2.14. Fuentes de ruido en un receptor óptico típico.	37
3.1. Arreglo de LEDs y Fototransistores en la pantalla Touchscreen.	39
3.2. Diagrama a bloques del circuito transmisor.	40
3.3. Fuente de corriente constante.	41
3.4. Dirección del barrido de los haces generados por los LEDs.	43
3.5. Diagrama a bloques del circuito receptor.	45
3.6. Respuesta en frecuencia del filtro pasa altas de primer orden.	47
3.7. Diagrama a bloques del microcontrolador STR736.	48
3.8. Configuración de patillas del microcontrolador STR736.	49

3.9. Interconexión del microcontrolador dentro del sistema touch-screen infrarrojo.	49
3.10. Diagrama de flujo implementado en el microcontrolador para calcular la posición dentro de la pantalla (parte 1).	51
3.11. Diagrama de flujo implementado en el microcontrolador para calcular la posición dentro de la pantalla (parte 2).	52
3.12. Diagrama de flujo implementado en el microcontrolador para calcular la posición dentro de la pantalla (parte 3).	53
3.13. Diagrama de flujo implementado en el microcontrolador para calcular la posición dentro de la pantalla (parte 4).	54
4.1. Montaje de LED y fototransistor en el riel.	56
4.2. Gráfica de voltaje medido contra distancia de enlace.	58
4.3. Gráfica de potencia contra distancia.	58
4.4. Caracterización de la potencia emitida por los LEDs Kingbright.	58
4.5. Diagrama a bloques del circuito transmisor.	60
4.6. Convertidor USB a GPIB marca Agilent modelo 82357A.	61
4.7. Variaciones en el nivel del DC proporcionados por fototransistor bajo diferentes condiciones de luz solar.	62
4.8. Señal de AC recibida en el fototransistor.	62
4.9. Diagrama de flujo del algoritmo implementado para la interfaz gráfica.	64
4.10. Código en lenguaje LabView de la interfaz gráfica (inicialización del puerto serial).	65
4.11. Código en lenguaje LabView de la interfaz gráfica (lectura de posiciones X,Y).	66
4.12. Código en lenguaje LabView de la interfaz gráfica (despliegue de posiciones válidas dentro de la pantalla).	67
4.13. Circuitos impresos fabricados para el prototipo.	67
4.14. Acercamiento a un PCB del prototipo, en donde se puede apreciar con más detalle el montaje y las pistas.	68
4.15. Posicionamiento y detección de un objeto dentro de la pantalla del sistema touchscreen prototipo.	68
4.16. Respuesta de la aplicación gráfica en la computadora.	69
4.17. Composición del tiempo de barrido.	70

Índice de tablas

2.1. Comparación de características de las tecnologías Touchscreen.	25
2.2. Comparación de condiciones de operación para tecnologías Touchscreen	26
3.1. Secuencia de activación de LEDs.	44
3.2. Secuencia de lectura de fototransistores.	46
4.1. Valores medidos en el fototransistor para obtener la relación voltaje <i>vs</i> distancia.	57
4.2. Valores medidos de potencia óptica <i>vs</i> distancia.	59

Capítulo 1

Introducción

Un dispositivo touchscreen (pantalla sensible al tacto) es una interfaz hombre-máquina que permite la utilización de sistemas de información sin enfrentar las complicaciones de operar sistemas computacionales complejos, es decir el usuario únicamente estará enfocado en la utilización de un dispositivo de despliegue de información e ingreso de instrucciones de forma intuitiva [Gungl, 1989] [Rogers, 2006]. Los sistemas touchscreen son comúnmente utilizados en dispositivos portátiles, tales como Asistentes Personales Digitales (PDA por sus siglas en inglés), cámaras de video digital, etc. El éxito de la utilización de los dispositivos touchscreen estriba en que son atractivos porque ahorran espacio al combinar despliegue y entrada de datos, lo que permite una simulación dinámica de controles electromecánicos, tales como botones e interruptores. Al mismo tiempo dichos dispositivos proveen altos niveles de interacción inmediata e intuitiva [MacKenzie, 2002], lo cual permite al usuario tocar, presionar y arrastrar información directamente con sus dedos. Las características de los sistemas basados en dispositivos touchscreen del tipo infrarrojo son adecuadas para aplicaciones donde no se demanda una gran resolución. Por otro lado las ventajas de la tecnología infrarroja tales como su confiabilidad y durabilidad permiten su utilización en dispositivo militares, controles de fábricas, kioskos electrónicos en aeropuertos, estaciones de autobús, etc. [Z. Milivojevic, 1997]. El uso de la tecnología de touchscreen tipo infrarrojo se ha visto frenada por dos factores principalmente: su relativo alto costo comparado con las tecnologías competidoras y el problema del funcionamiento en ambientes con luz brillante. Este último problema es debido a la luz de fondo que incrementa el ruido de piso del sensor óptico, en algunas ocasiones a tal grado que la luz del LED no puede ser detectada, causando

una falla temporal del touchscreen. Este problema se agudiza en condiciones de luz solar directa debido a que el sol tiene una distribución de energía muy alta en la región infrarroja [Ian Maxwell, 2007] [M.N. Zoran, 2000].

1.1. Justificación

En la actualidad, se busca reducir la distancia entre los periféricos de entrada y de salida de los diferentes dispositivos electrónicos de tal manera que los usuarios interactúen de manera más natural con la aplicación de dicho dispositivo, es decir, que faciliten el uso de los sistemas al usuario. Por ello, interactuar directamente con la pantalla es una propuesta que ha tenido gran éxito entre los usuarios, ya que no es necesario utilizar un teclado, sino que la comunicación con el dispositivo se lleva a cabo tocando los diferentes íconos de la pantalla, lo cual es más intuitivo y confortable para el usuario que en general está poco familiarizado con la tecnología. Para lograr este tipo de interacción, es necesario utilizar dispositivos tipo touchscreen.

El concepto de una pantalla touchscreen, más que una campaña publicitaria plantea una necesidad. El ser humano es un ser curioso, que siempre gusta de tocar todo lo que ve. Es parte fundamental de su comportamiento la utilización de los cinco sentidos que posee; le gusta: ver, oír, probar, oler y sobre todo tocar las cosas.

Existen en el mundo miles de personas que no tienen, ni los recursos, ni el conocimiento del funcionamiento de las computadoras y además, en muchas regiones el nivel educativo es muy bajo. Bajo tales condiciones, la única manera de poder introducir una tecnología, es disminuyendo la cantidad de conocimientos requeridos y reducir el uso a un plano intuitivo (lo que haría la gente normalmente sin conocer el producto). Es mejor dejar que el usuario le indique al sistema lo que quiere que realice sin tener que escribir mandos complejos o difíciles de entender. Para ello se requiere de una interfaz usuario/computadora muy simple.

En la actualidad existen diversos tipos de dispositivos touchscreen, tales como: el resistivo, el capacitivo y el infrarrojo. Siendo el más utilizado el sistema touchscreen resistivo, ya que es el más económico, sin embargo, este tipo de dispositivo tiene como principal desventaja el desgaste que sufre y además reduce la transparencia, por lo que afecta a la visión de la pantalla. Otro tipo de tecnología para la fabricación de dispositivos touchscreen es la capacitiva, esta tecnología presenta la ventaja de que prácticamente no sufre

desgaste, pero al igual que el touchscreen tipo resistivo, afecta a la visión de la pantalla. El tercer tipo de tecnología es la infrarroja, la cual presenta la gran ventaja de que prácticamente no sufre desgaste y no afecta a la visión de la pantalla. De ahí que surja la idea de proponer un dispositivo touchscreen de entrada de datos tipo infrarrojo de bajo costo.

1.2. Objetivo General

Desarrollar un sistema de sensado por medio de emisión-recepción infrarroja que pueda ser utilizado como periférico de entrada de bajo costo para el control de dispositivos electrónicos.

1.3. Objetivos específicos

- *Implementar un arreglo de LEDs y fototransistores en un marco tipo touchscreen para cubrir con haces infrarrojos un área similar a la pantalla de un dispositivo portátil.*
- *Diseñar un circuito basado en un microcontrolador que permita controlar el barrido de los LEDs infrarrojos, así como las lecturas de los fototransistores, para poder interpretar la posición de los dedos de un usuario sobre una pantalla.*
- *Diseñar un programa para el microcontrolador que sea capaz de controlar el hardware y que procese la información de tal manera que pueda descifrar las coordenadas de posición dentro del área activa y que pueda enviar dichas coordenadas a través de un protocolo serial.*
- *Implementar una interfaz gráfica que utilice el sistema touchscreen infrarrojo desarrollado.*

1.4. Secuencia de la tesis

Este trabajo está dividido en los siguientes capítulos:

Capítulo 1 En éste capítulo se da una breve introducción acerca de la importancia que tienen los sistemas touchscreen como una interfaz que

facilita al usuario la interacción con una computadora y se plantean los objetivos general y particulares de este trabajo.

Capítulo 2 En el capítulo 2 se presentan las definiciones básicas de las diferentes tecnologías utilizadas para la fabricación de sistemas touch-screen, así como sus respectivas ventajas y desventajas.

Capítulo 3 En el capítulo 3 se describen con detalle las etapas de transmisión y recepción diseñadas y construidas para realizar el barrido de la pantalla y poder determinar la posición dentro de la misma.

Capítulo 4 En el capítulo 4 se describen la caracterización y pruebas desarrolladas tanto al circuito transmisor como al circuito receptor, así como el algoritmo utilizado en el microcontrolador para descifrar la posición en la pantalla.

Capítulo 5 Finalmente, en el capítulo 5 se dan las conclusiones de este trabajo.

Capítulo 2

Antecedentes Históricos

El remarcable progreso en la velocidad de los procesadores de las computadoras y sus capacidades de almacenamiento están siendo finalmente explotadas por las mejoras en los dispositivos de entrada y salida. Los teclados, empleados desde hace 100 años están cediendo el paso a dispositivos de entrada rápidos y de alta precisión. El modo primario de entrada de texto sigue siendo el teclado. De hecho cientos de millones de personas manejan el teclado con velocidades de hasta 15 presiones de tecla por segundo (aproximadamente 150 palabras por minuto), sin embargo, los teclados contemporáneos generalmente solo permiten presionar una tecla a la vez aunque la presión de dos teclas a la vez (SHIFT más una letra) son utilizados para producir mayúsculas y funciones especiales (CTRL más una letra). Para ingresar datos de entrada de forma más rápida se utilizan los teclados de acordes (chord keyboards), los cuales permiten que varias teclas sean presionadas simultáneamente para representar varios caracteres o una palabra. Los grabadores de sesiones de las cortes de justicia regularmente utilizan teclados de acordes de manera silenciosa para capturar textos completos de argumentos hablados, alcanzando tasas de hasta 300 palabras por minuto. Esta habilidad en el manejo de los teclados mencionados requiere meses de entrenamiento y un uso frecuente de los mismos para retener el complejo patrón de los acordes [Blattner and Greenberg, 1989] [Foley and Chan, 1984].

2.1. Dispositivos de apuntamiento

Cuando una pantalla es utilizada para desplegar información en situaciones tales como: el control de tráfico aéreo, utilización de editores de texto y sistemas de diseño asistido por computadora (CAD), regularmente es conveniente apuntar y con esto seleccionar un objeto. Este acceso de manipulación directa es atractiva porque los usuarios pueden omitir el aprendizaje de mandos, reducir la probabilidad de errores de ortografía sobre un teclado, y mantener su atención en el despliegue de la información. Los resultados generalmente obtenidos son: ingreso de instrucciones con mayor rapidez, reducción de errores, facilidad de aprendizaje y mayor satisfacción en la utilización de los sistemas de ingreso de datos por parte de los usuarios finales [English and Berman, 1967].

Los dispositivos de apuntamiento se utilizan en los seis tipos de tareas interactivas mencionadas a continuación [English and Berman, 1967]:

1. *Selección:* El usuario elige entre un conjunto de objetos. Esta técnica es utilizada para el menú de selección tradicional, identificación de archivos en un directorio o para marcar partes en diseños complejos (por ejemplo de un automóvil).
2. *Posicionar:* El usuario elige un punto en un espacio de una, dos o más dimensiones. El posicionamiento puede ser utilizado para crear dibujos, por ejemplo en diseños arquitectónicos para colocar una ventana nueva, o para arrastrar un bloque de texto en una figura para el caso de diseño gráfico por computadora.
3. *Orientar:* El usuario elige una dirección en un espacio de dos o más dimensiones. La dirección puede servir simplemente para rotar un símbolo sobre la pantalla, indicar la dirección de movimiento de una nave espacial, o controlar la operación de un brazo robot.
4. *Trayectoria:* El usuario puede realizar rápidamente una serie de operaciones de posición y orientación, es decir, la trayectoria puede ser realizada como una línea curva en un programa de dibujo, proporcionar las instrucciones para que una máquina cortadora de ropa realice trazos específicos, o para describir la ruta a seguir en un mapa.
5. *Cuantificar:* El usuario especifica un valor numérico. La tarea de cuantificar es usualmente una selección unidimensional de valores enteros o

reales para configurar parámetros tales como el número de página en un documento, la velocidad de una nave en un simulador o la amplitud de un sonido.

6. *Texto*: El usuario captura, mueve y edita texto en un espacio bidimensional. El dispositivo de apuntamiento indica la localidad de una inserción, borrado o cambio. Más allá de una simple manipulación del texto, existen otras tareas más elaboradas, tales como centrar, configurar márgenes, definir el tamaño de las letras o configurar completamente una página.

2.1.1. Dispositivos de apuntamiento indirecto

Los dispositivos de apuntamiento indirecto reducen la fatiga en la mano y eliminan las regiones de oscuridad causadas por la mano. Sin embargo, los dispositivos de control indirecto requieren más procesamiento cognoscitivo y coordinación del tipo mano-ojo para posicionar el cursor de la pantalla en el objetivo deseado.

El ratón (*mouse*) es atractivo porque la mano descansa en una posición confortable, los botones son fácilmente presionados, los movimientos largos pueden ser realizados de forma rápida y el posicionamiento puede ser preciso [Lynne A. Price, 1984]. De cualquier manera, el usuario debe sostener el mouse para empezar a trabajar, es necesario contar con espacio en el escritorio para desplazar el mouse, en algunos modelos el cable del mouse puede distraer al usuario y se requiere un poco de práctica (5 a 50 minutos) para desarrollar la habilidad en su utilización [Sol Sherr, 1988].

2.1.2. Dispositivos de apuntamiento directo

La pluma foto-sensitiva (*lightpen*) es un dispositivo reciente que permite a los usuarios localizar un punto sobre una pantalla y realizar una selección, posición, u otra tarea, tal como se puede observar en la Figura 2.1. En realidad, la pluma foto-sensitiva podría ser utilizada para realizar las seis tareas descritas anteriormente. La pluma foto-sensitiva además de ligera fue atractiva porque permitía el control directo mediante el apuntamiento a un punto sobre la pantalla a diferencia del control indirecto proveído por tabletas gráficas, controles o el mouse. La mayoría de las plumas foto-sensitivas incorporan un botón para que el usuario lo presione cuando el cursor esté descansando

sobre el punto deseado de la pantalla. Las plumas foto-sensitivas varían en forma, longitud, peso y posición de los botones. Desafortunadamente, el control directo sobre una pantalla en posición vertical puede causar fatiga para algunos usuarios. La pluma foto-sensitiva tiene tres principales desventajas: la mano del usuario oscurece parte de la pantalla, los usuarios deben remover sus manos del teclado y los usuarios deben alcanzar a sostener el pluma foto-sensitiva [Sol Sherr, 1988]. Algunas de estas desventajas son solucionadas por el touchscreen, el cual no requiere sostener ningún dispositivo extra y en su lugar permite el control directo de las posiciones elegidas simplemente presionado sobre la pantalla con un dedo, tal como se puede observar en la Figura 2.2. Los primeros diseños de touchscreen fueron justamente criticados por causar fatiga, oscuridad debida a la posición de la mano sobre la pantalla, manos fuera del teclado (hand-off keyboard), apuntamiento impreciso y la eventual opacidad de la pantalla. Algunas implementaciones de touchscreen tienen los siguientes problemas: el software acepta la presión inmediatamente (estrategia de aterrizado) negando al usuario la oportunidad de verificar la validez del punto seleccionado, a diferencia de la operación de la pluma foto-sensitiva. Tales diseños tempranos han sido reemplazados por sistemas touchscreen mejorados dramáticamente, los cuales permiten una alta precisión. Los sistemas basados en tecnologías: resistiva, capacitiva, de superficie de onda acústica e infrarroja pueden proveer una sensibilidad de 1024 x 1024 puntos (o pixeles) y la estrategia de despliegue permite a los usuarios apuntar a un simple pixel. La estrategia de despliegue se divide en tres pasos: El usuario presiona la superficie y entonces observa un cursor que puede ser desplazado alrededor de la pantalla, cuando el usuario está satisfecho con la posición elegida aparta sus dedos de la pantalla. La disponibilidad de touchscreens de alta precisión ha abierto la puerta a muchas aplicaciones [N. C. Goodwin, 1975] [Andrew Sears et al., 1992].

En base a la alta demanda para aplicaciones dirigidas a usuarios novatos en los cuales el teclado puede ser eliminado y la utilización de los dedos sobre la pantalla es el único mecanismo de interface, se espera que los sistemas touchscreen continúen siendo mejorados. Los sistemas touchscreen son particularmente valorados por diseñadores de sistemas de acceso público debido a que no hay partes movibles, presentan una excelente durabilidad en ambientes de uso constante y su precio es relativamente bajo. Por otro lado, los sistemas touchscreen comienzan a ser populares para usuarios de aplicaciones en: el hogar, edificios, procesos industriales, sistemas de control de tráfico aéreo, instrumentos médicos o sistemas militares. En tales

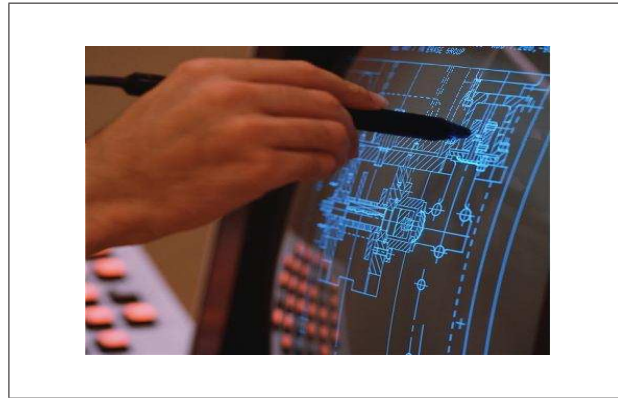


Figura 2.1: Imagen de una pluma foto-sensitiva

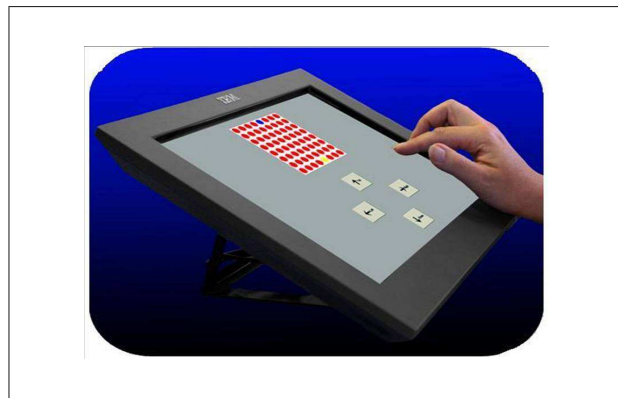


Figura 2.2: Imagen de una pantalla con touchscreen

sistemas, el espacio es una característica de gran importancia, además, los sistemas robustos con partes no movibles son muy apreciados, por otro lado, los usuarios pueden ser guiados a través de actividades complejas sin requerir entrenamiento previo [Haller and Voss, 1984].

Los sistemas touchscreen presentan una gran versatilidad en cuanto a sus dimensiones debido a que se pueden diseñar diversos tamaños de pantallas en función de la tarea deseada. Por ejemplo, tareas como el llenados de formas, selección de menú o ingreso de datos sobre un teclado se pueden realizar a escala natural en sistemas touchscreen. En estudios realizados con teclados de 7 a 25 centímetros de ancho, los usuarios pueden, con algo de práctica, escribir de 20 a 30 palabras por minuto respectivamente [Andrew Sears et al., 1992] [A. Sears et al., 1993]. Los nuevos sistemas touchscreen multi-presión abrirán aún más posibilidades para realizar actividades tales como: dibujos, música, escritura, etc. [Karat and Anderson, 1984].

La mayoría de los dispositivos de apuntamiento dependen del movimiento de la mano para controlar la posición del cursor sobre la pantalla. Un modelo efectivo predictivo de tiempo para mover un objeto de ancho W a una distancia D , fue desarrollado por Paul Fitts [Paul M. Fitts, 1954]. Él descubrió que el tiempo de apuntamiento es una función de la distancia a la que se encuentra y del ancho del objeto, los objetos alejados y más pequeños toman más tiempo para ser apuntados. El índice de dificultad está definido como [Gould and Barnes, 1985]:

$$\text{Índice de dificultad} = \log_2 \left(\frac{2D}{W} \right) \quad (2.1)$$

y el tiempo para realizar el apuntamiento es:

$$\text{Tiempo de apuntamiento} = C_1 + C_2 (\text{índice de dificultad}) \quad (2.2)$$

Donde C_1 y C_2 son constantes que dependen del dispositivo. Una vez que los datos han sido recopilados, C_1 y C_2 pueden ser calculados y entonces pueden ser hechas las predicciones correspondientes al tiempo requerido para otras tareas. Por ejemplo para un objeto de una pulgada de ancho y que se encuentra a una distancia de 8 pulgadas, el índice de dificultad es $\log_2(2 * 8/1) = \log_2(16) = 4$. Si el dispositivo a utilizar ha sido probado previamente y por lo tanto se sabe que $C_1 = 0.2$ y que $C_2 = 0.1$, entonces:

$$\text{Tiempo de apuntamiento} = 0.2 + 0.1(4) = 0.6 \text{ segundos}$$

Welford [A. T. Welford, 1968] encontró que, para distancias cortas, una ecuación más efectiva es:

$$\text{Índice de dificultad} = \log_2 \left(\frac{D}{W} + 0.5 \right) \quad (2.3)$$

En estudios de sistemas touchscreen de alta precisión, se encontró que además del movimiento del brazo predecido por Fitts [Paul M. Fitts, 1954] y Welford [A. T. Welford, 1968], existe además un movimiento fino de los dedos para mover objetos pequeños tales como un pixel simple. Una ecuación de tres componentes fue entonces más adaptada para la tarea de apuntamiento de alta precisión.

$$\begin{aligned} \text{Tiempo para apuntamiento de precisión} = & C_1 + C_2(\text{índice de dificultad}) \\ & + C_3 \log_2 \left(\frac{C_4}{W} \right) \end{aligned}$$

El tercer término, corresponde al tiempo para el ajuste fino y se incrementa si el ancho del objeto disminuye. Esta extensión a la ley de Fitts es entendible y simple, sugiere que el tiempo para apuntar a un objeto consiste en el tiempo para la iniciación de la acción, C_1 , un tiempo para un movimiento burdo y un tiempo para el ajuste fino [Shneiderman, 1992].

2.2. Tecnologías touchscreen

Los sistemas touchscreen son ampliamente utilizados en aplicaciones industriales que requieren exactitud, sensibilidad en el toque y durabilidad. Las computadoras actuales se presentan en formas y tamaños diferentes. Existen pantallas que incluyen sistemas touchscreen en el mismo circuito impreso que la tarjeta madre, lo cual han hecho posible instalar computadoras en lugares tan diversos como bombas de gas y carritos de compras. Los dispositivos de entrada sensibles al tacto se pueden instalar sobre pantallas de cualquier tamaño y ocupan muy poco espacio adicional, lo que hace que estos sistemas sean ampliamente aceptables para las marcas de computadoras actuales. No son solo las computadoras han evolucionado a través del tiempo, sino también su aceptación por el público en general. Éstas son algunas de las razones que ha hecho a la tecnología touchscreen tan popular. Por otro lado, el uso

de íconos gráficos e imágenes hacen de las aplicaciones touchscreen una motivación extra por su facilidad de asimilación, requiriendo poco aprendizaje puesto que las instrucciones para su utilización no son complicadas. Los sistemas touchscreen explotan el hecho de que la acción de señalar un objeto es natural e intuitiva para las personas alrededor del mundo y puesto que señalar trasciende las barreras del lenguaje y cultura su aplicación en sistemas computacionales es universal.

2.2.1. Ventajas de las tecnologías touchscreen

La tecnología touchscreen es especialmente adecuada para sistemas en donde el espacio es crítico. Si el espacio disponible es muy limitado para dispositivos de entrada tales como un teclado o un ratón, la tecnología touchscreen es una excelente alternativa. Los dispositivos de entrada tradicionales (separados) no son deseables para su uso en computadoras de mano o asistentes personales digitales (PDAs).

En ciertas aplicaciones, tales como aquellas en donde el usuario se encuentra conduciendo, el tiempo de ingreso e interpretación de información en el dispositivo es crítico debido al peligro que implica desviar la atención (vista del camino). Los dispositivos touchscreen eliminan el tiempo necesario del operador de conmutar la atención entre la pantalla y el dispositivo de entrada y la pantalla de objetos gráficos tiende a minimizar o eliminar la necesidad del operador de leer cualquier instrucción.

la tecnología touchscreen es además exacta. Por ejemplo, un controlador de tráfico aéreo o un operador de una planta de procesos químicos puede tocar una imagen de radar sobre una pantalla en vez de teclear datos para recibir información adicional sobre un vuelo en particular o mantener el control de una unidad de proceso respectivamente.

Otra ventaja es que la tecnología touchscreen puede proveer una interfaz simple a un proceso complejo. Un ejemplo es una computadora de diagnóstico de mantenimiento, este tipo de computadora, con una interfaz tradicional puede ser frustrante para mecánicos sin previa experiencia en computadoras y costosa para sus empleados mientras ellos están aprendiendo a utilizarla. Las interfaces touchscreen gráficas pueden reducir o eliminar tanto la frustración como la curva de aprendizaje guiando al mecánico a través del proceso con una serie de menús sensibles al tacto.

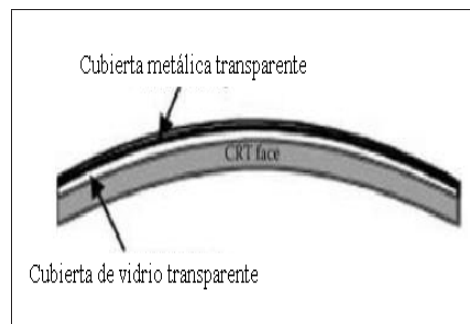


Figura 2.3: Cubierta capacitiva

2.2.2. Diseños de sistemas touchscreen

Para seleccionar la tecnología touchscreen que mejor se acomode a las necesidades de una aplicación en particular, es importante hacer un breve repaso sobre las características de cada tecnología. Existen seis principios básicos de operación en la tecnología touchscreen:

Cubierta capacitiva.- Un touchscreen de cubierta capacitiva consiste de una hoja de vidrio con una cubierta almacenadora de carga. Para activar el sistema, el operador debe tocar la cubierta con un apuntador conductivo, tal como un dedo. Circuitos localizados a las esquinas del touchscreen miden la capacitancia y los flujos de corriente como resultado de la presión del operador sobre la cubierta, los cuales son proporcionales a la distancia del dedo hacia las esquinas. La razón de esos flujos de corriente es utilizada para localizar el punto de contacto. La figura 2.3 muestra el diseño de la cubierta capacitiva.

Onda acústica guiada.- El diseño de onda acústica guiada está basado en la transmisión de ondas acústicas a través de la cubierta de vidrio colocada sobre la superficie de la pantalla. Aquí un transductor está montado sobre unos de los bordes del vidrio y emite una onda acústica. El paquete de onda viaja a lo largo del arreglo reflector y es re-direccionado a través de la cubierta hacia el borde reflector, desde el cual regresa al arreglo, donde es reflejado de regreso al transductor. El primer reflector enviará una señal de regreso primero, luego el segundo y así sucesivamente. Cuando un apuntador (tal como un dedo) hace contacto con la onda, éste atenúa su movimiento absorbiendo parte de la onda, tal

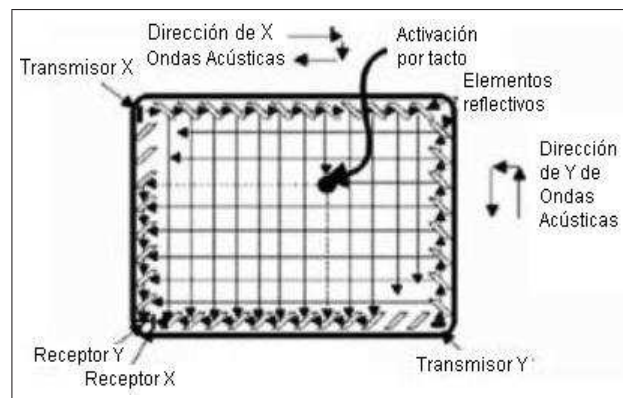


Figura 2.4: Onda acústica guiada

como se muestra en la Figura 2.4. El control electrónico detecta la ubicación de la depresión en la amplitud de la onda, determinando con esto la posición del punto de contacto.

Cubierta resistiva.- Un sensor de presión resistivo consiste de una capa de vidrio o de poliéster cubierto con capas conductivas y resistivas. La capa de poliéster tiene una cubierta semi-metálica en el interior de la superficie. Las capas delgadas están separadas por puntos separadores invisibles. Una corriente eléctrica viaja a través de la pantalla. Cuando una presión es aplicada, las capas son presionadas una contra la otra, causando un cambio en el flujo de la corriente, el cual es detectado para ubicar la posición de contacto. Estos sistemas touchscreen resistivos son generalmente los más viables para aplicaciones típicas, a pesar de que su transparencia es menor que la de los otros diseños de sistemas touchscreen. Las pantallas resistivas son muy durables y capaces de resistir una variedad de ambientes rudos. La Figura 2.5 muestra el diseño de un sistema touchscreen con tecnología resistiva.

Escaneo infrarrojo.- El diseño de escaneo infrarrojo (IR) se basa en la interrupción de un arreglo de haces de luz infrarroja sobre la pantalla de despliegue. El marco de contacto o marco de matriz óptica contiene una fila de diodos emisores de luz infrarroja (LEDs) y fototransistores, cada uno montados en lados opuestos para crear una cuadrícula de luz infrarroja invisible. El marco del ensamble está compuesto de circuitos impresos sobre los cuales se monta la opto-electrónica y se cubre

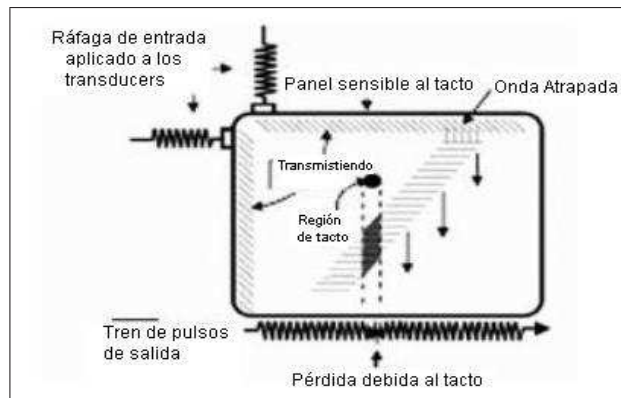


Figura 2.5: Cubierta resistiva.

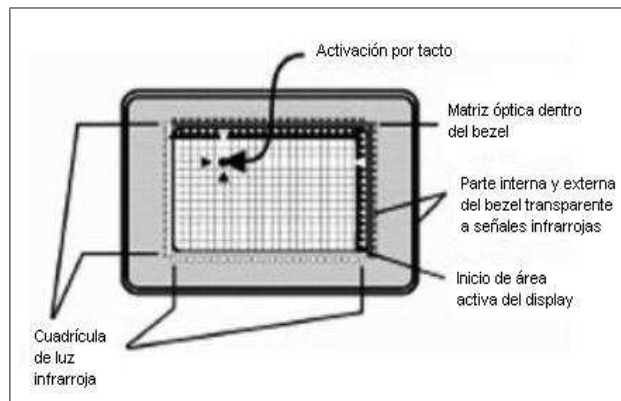


Figura 2.6: Escaneo infrarrojo

por medio de un bisel que deja pasar la luz infrarroja. El bisel blindo la opto-electrónica del ambiente de operación mientras permite pasar los haces infrarrojos. El controlador infrarrojo activa los LEDs secuencialmente para crear la cuadrícula de haces de luz infrarroja. Cuando un apuntador, tal como un dedo, entra en la cuadrícula, obstruye los haces y entonces uno o más fototransistores detectan la ausencia de luz y transmiten una señal que identifica las coordenadas "X" y "Y" de la posición de contacto. la Figura 2.6 muestra como se forma el arreglo de emisores y receptores infrarrojos sobre una pantalla.

Imagen de campo cercano.- Este tipo de tecnología está basada es una topología propietaria. El sensor consiste en una pieza de vidrio cubier-

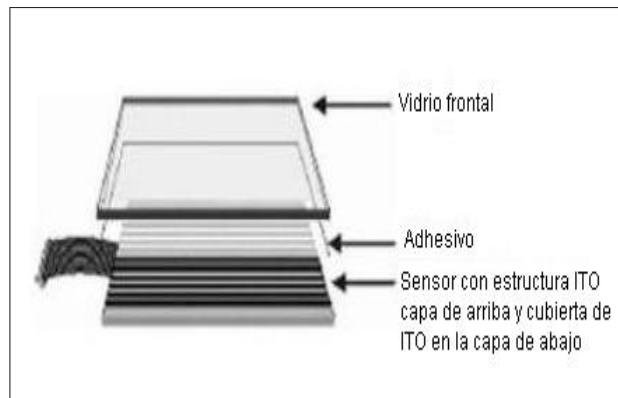


Figura 2.7: Imagen de campo cercano

ta de ITO (indium tin oxide). Una forma de onda se suministra para excitar al sensor conductivo, el cual genera un campo electrostático. Cuando un dedo u otro apuntador conductivo hace contacto con el sensor, ocurre un cambio en el campo electrostático. El control electrónico sensa el cambio provocado y determina la forma de imagen pico y su ubicación para establecer las coordenadas “X” y “Y” del punto de contacto. La Figura 2.7 ilustra este tipo de tecnología.

Onda acústica superficial.- El diseño de onda acústica superficial está basado en el envío de señales acústicas a través de la pantalla de vidrio transparente, el cual está equipado con una serie de transductores y reflectores. Puesto que la velocidad de la onda es conocida y el tamaño del vidrio es fijo, el primer reflector enviará la primera señal de regreso, después la segunda y así sucesivamente.

2.2.3. Factores físicos

Cada tecnología touchscreen posee ventajas y desventajas como resultado de los factores físicos asociados con la tecnología, así como de la habilidad de cada diseño para soportar las condiciones ambientales de una aplicación en particular.

Entre los factores a considerar se incluyen: resolución, transmitividad, tiempo de respuesta, tipo de apuntador, calibración, integración y confiabilidad. Estos factores están especificados en la Tabla 2.1.

Resolución: La resolución de un sistema touchscreen se refiere ya sea al número de puntos de contacto activos o al espacio físico entre coordenadas adyacentes de contacto. Cuando se considera la resolución de un sistema touchscreen, es importante tener en mente la aplicación a la que se destinará el sistema touchscreen. Para muchas aplicaciones, tales como: paneles de control, puntos de acceso público o sistemas de entrenamiento por computadora, no se requiere una resolución muy fina. Para otro tipo de aplicaciones, tales como: verificación de firmas, es necesario contar con un sistema de alta resolución.

Transmitividad (transparencia): Otra variable a considerar es la claridad de la imagen o transmitividad. La imagen de la pantalla puede ser afectada por la colocación de cualquier material entre la imagen desplegada y la vista del usuario. Todos los diseños que requieren de una capa sobre la pantalla (tales como los sistemas basados en tecnología: resistiva, capacitiva, onda acústica superficial, imagen de campo cercano y onda acústica guiada) resultan en alguna obstrucción visual entre el operador y la imagen en la pantalla. La transmitividad está definida como el porcentaje de luz generada por una pantalla que pasa a través de una cubierta o capa de algún material.

Tiempo de respuesta: El tiempo de respuesta es otra consideración importante porque entre más rápido pueda responder un sistema touchscreen ante una entrada, mejor será el diseño. El tiempo de respuesta está definido como el tiempo requerido para determinar la posición del contacto y transmitir la información al sistema principal. Varios factores contribuyen al tiempo de respuesta total de la aplicación, incluyendo: el tiempo de respuesta del sistema al toque, la velocidad de procesamiento, el tiempo de acceso del procesador a la circuitería electrónica del sistema, etc.

Tipo de apuntador: El tipo de apuntador que puede ser utilizado también es una elección a considerar. Un apuntador puede ser un objeto o un instrumento utilizado para activar el sistema touchscreen y puede incluir: un dedo, una pluma, un guante, etc.

Calibración: A pesar de que todos los sistemas requieren de una calibración inicial durante su instalación, únicamente los sistemas que están sujetos a variaciones (donde los objetivos de contacto se mueven gradualmente

de las posiciones deseadas) requieren rutinas periódicas de calibración. Los sistemas de cubierta capacitiva y resistiva están sujetos a variaciones y requieren calibración, la cual consiste generalmente en ajustar el desbalance (offset) y escalar parámetros para hacer el área activa igual o mayor que el tamaño de la imagen de la pantalla. Para diseños con onda acústica superficial, barrido infrarrojo y de onda acústica guiada no se requiere calibración después de su instalación debido a que no están sujetos a variaciones.

Integración: La integración es el proceso de colocar el sistema touchscreen a la pantalla. En el caso de una integración invasiva se requiere desensamblar la pantalla para colocar el sistema touchscreen. En general, este tipo de integración resulta en la invalidación de la garantía del fabricante y la certificación de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC). Este tipo de integración requiere de 15 a 90 minutos de trabajo por parte de un técnico con habilidad. La integración no invasiva por otro lado, no requiere desensamblar la pantalla y puede ser realizada por una persona sin conocimiento previo y usualmente toma menos de 10 minutos.

Confiabilidad: La confiabilidad de un sistema touchscreen es el tiempo o el número de contactos físicos que se esperan antes de que el sistema falle. En sistemas touchscreen con cubiertas de poliéster o cubiertas conductivas se tendrán fallas después de un número previsto de contactos. La confiabilidad de sistemas que no utilizan ninguna cubierta es medida por el tiempo medio entre fallas (MTBF, -Mean Time Between Failures-). Éste número es una función del promedio de vida esperado de los componentes electrónicos incluidos dentro del sistema touchscreen.

2.2.4. Factores ambientales

La habilidad de varios diseños de sistemas touchscreen para soportar una variedad de condiciones ambientales se muestra en la Tabla 2.2.

Hermeticidad: La hermeticidad es la habilidad para sellar un sistema touchscreen (incluyendo la electrónica de despliegue) contra: suciedad, líquidos, etc. Si el sistema es utilizado en un área donde la contaminación está presente, la hermeticidad puede ser un factor de consideración.

En ambientes tales como cuartos de operación quirúrgica, la hermeticidad es crítica. Todos los diseños touchscreen pueden ser diseñados para cumplir con el estándar NEMA 12 [nem,], el cual solo requiere que un sistema sea operacional después de rociarle agua o después de efectuarle una limpieza. Las tecnologías de cubierta capacitiva, onda acústica guiada, capa resistiva, imagen de efecto cercano y barrido infrarrojo pueden ser selladas para cumplir también con el estándar NEMA 4, el cual requiere que el sistema continúe operando aún después de que éste haya sido expuesto a un baño de agua.

Durabilidad: La durabilidad es la habilidad para soportar millones de toques en muchos años y la resistencia al vandalismo es la habilidad para resistir daños tales como rayaduras, rupturas, robo, etc. Ambas características se indican en la Tabla 2.2.

Limpieza: Acumulaciones excesivas de polvo, suciedad u otros contaminantes pueden afectar adversamente el funcionamiento de algunas tecnologías touchscreen. Las tecnologías de cubierta capacitiva, barrido infrarrojo y onda acústica superficial operarán con niveles de acumulación de polvo o suciedad de bajo a moderado, sin embargo, los niveles excesivos afectarán su funcionamiento. Por otro lado, los diseños de onda acústica guiada, cubierta resistiva y de imagen de efecto cercano no son afectadas por suciedad.

Resistencia a productos químicos: Las soluciones limpiadoras de propósito general no afectan ningún diseño touchscreen. De cualquier manera, algunos de los diseños pueden ser atacados por ciertos químicos. Un sistema de cubierta resistiva por ejemplo, tiene una capa de poliéster expuesta, por lo que tales diseños no deben ser utilizados en áreas donde se emplean químicos que atacan el poliéster. Con respecto a los sistemas de barrido infrarrojo, éstos contienen biseles expuestos de policarbonato, por lo que tales diseños no deben ser utilizados en áreas donde se emplean químicos que atacan el policarbonato, tales como químicos basados en petróleo.

Vibraciones e impactos: Las vibraciones e impactos son una consideración importante si la aplicación del sistema touchscreen está instalada sobre un dispositivo en movimiento o sobre un equipo que está sujeto a vibración o impactos significativos.

Luz ambiental: La luz ambiental es el nivel de luz visible e invisible en el área activa; la mayoría de los diseños no son afectadas por ésta. Sin embargo, algunos diseños infrarrojos pueden verse severamente afectados. Los niveles de luz ambiental que se encuentra presente dentro de espacios cerrados no presentan ningún problema.

Temperatura, humedad y altitud: Los niveles de: temperatura, humedad y altitud a los cuales va a operar el sistema presentan efectos en el desempeño y durabilidad de cualquier sistema touchscreen. Los plásticos y la electrónica son afectadas por la temperatura, la humedad provoca la corrosión en la circuitería y la altitud afecta la disipación del calor generado por el funcionamiento de la circuitería eléctrica. Se puede decir, sin embargo, que el impacto de éstos factores ambientales será menor que (o al menos no tan significativo como) el impacto de la circuitería de la pantalla o la pantalla plana sobre la cual está integrado el sistema.

2.3. Diseño general del sistema

El integrador del sistema debe poner especial atención a las consideraciones de atributos físicos y mecánicos de los componentes además de ponderar tales consideraciones.

2.3.1. Consideraciones mecánicas

Selección de la pantalla: Seleccionar la pantalla es una de las consideraciones de mayor efecto en el costo del sistema touchscreen. Como regla general, las aplicaciones touchscreen que requieren un número mayor de objetivos en una pantalla simple deberá usar una pantalla más grande.

Integración del sistema touchscreen: Los diseñadores de sistemas touchscreen pueden elegir entre las opciones de integración invasiva y no invasiva. Una integración invasiva requiere típicamente que la pantalla sea desensamblada. Esto puede consumir mucho tiempo y puede invalidar la garantía de fábrica de la pantalla. La integración no invasiva requiere muy poco tiempo para ensamblar y no afectará la garantía de fábrica, además de que el mantenimiento también se simplifica.

Espacio físico: Muchos sistemas touchscreen están ubicados en áreas en donde el espacio es limitado. La cantidad de espacio físico requerido por el sistema touchscreen varía para los diferentes diseños. El método de integración seleccionado puede afectar también la cantidad de espacio físico requerido por el sistema. En general, la integración invasiva tiende a requerir menos espacio que la integración no invasiva.

2.3.2. Atributos físicos

El diseñador del sistema debe acoplar los requerimientos de la aplicación a las capacidades del diseño touchscreen. Entre los factores a ser considerados se incluyen: resplandor bajo la luz solar, transmitividad, resolución, tipo de apuntador y estética. Por ejemplo, los sistemas que requieren gráficos de alta calidad deberán inclinarse por aquellas tecnologías con la mejor transmitividad y menor resplandor, mientras que las aplicaciones que requieran de reconocimiento de escritura de mano deberán inclinarse por aquellas tecnologías que presenten una resolución muy alta.

2.3.3. Consideraciones de programación

Para cada aplicación, el programador debe considerar la interacción o comunicación entre:

1. *La operación de tocar y el usuario*
2. *Las unidades de **Hardware** (circuitería) del sistema*
3. *Los paquetes de software del sistema*

Opciones de circuitería para la interfaz.- Los sistemas touchscreen están diseñados para comunicarse con el procesador principal en una variedad de configuraciones diferentes. Algunas configuraciones involucran comunicación serie, usando RS-232, RS-422 u otros protocolos. Otras configuraciones involucran comunicación en paralelo vía un ducto estándar. Como ejemplo se pueden mencionar: ISA/EISA, microcanal y PC/104. Otros métodos de comunicación utilizan el puerto del mouse, en éste método, el sistema touchscreen está conectado al puerto del mouse del procesador de la computadora y utiliza ya sea el protocolo de interfaz estándar del mouse o un protocolo propietario del sistema

touchscreen. Los fabricantes de sistemas touchscreen tienen software propietario de protocolo de interfaz única para sus sistemas. Todos los protocolos reportan una coordenada en “x” y una coordenada en “y”. Algunas tecnologías permiten el reporte de una coordenada en “z” también.

Opciones de la interfaz de Software.- En el método de interfaz directa, la aplicación touchscreen se comunica directamente con el sistema utilizando un protocolo de interfaz propietario. Los drivers están disponibles por parte de los proveedores, esos drivers usualmente proporcionan soporte de calibración y escalamiento, además, permiten la comunicación con el sistema utilizando el protocolo propietario y con la aplicación vía una simple interfaz gráfica (API, Application Program Interface). Un sistema de autoría (authoring system) es un programa que el desarrollador de la aplicación puede utilizar para crear una aplicación touchscreen sin escribir código de programación. Los sistemas de autoría incluyen ya sea soporte directo por el sistema touchscreen o corren bajo una interfaz gráfica de usuario, el cual proporciona el soporte para el sistema. Hypercard para la Macintosh y Asymetrix Toolbox para IBM son ejemplos de tales sistemas de autoría.

Los drivers para el emulador de mouse que hacen que el sistema touchscreen aparente ser un mouse están disponibles por parte del proveedor. Con el sistema touchscreen conectado y el emulador de mouse instalado, las aplicaciones que hacen uso de un mouse pueden ser utilizadas con el touchscreen requiriendo poca o ninguna modificación de la aplicación. Si la aplicación utiliza objetos que son lo suficientemente grandes para ser utilizados con un mouse, pero muy pequeños para ser utilizados con el dedo, la aplicación tendría que ser modificada para agrandar los objetos a un tamaño adecuado para ser manipulados con un dedo.

Las interfaces gráficas de usuario (GUIs) tal como las de Apple Macintosh o Microsoft Windows son sistemas operativos que usan íconos, menús, ventanas, etc., en vez de mandos teclados. Las GUIs típicamente soportan drivers instalables para dispositivos señaladores. El proveedor del sistema proporciona drivers para el dispositivo de señalamiento, el cual genera los mensajes de señalamiento que son enviados a la aplicación. Las aplicaciones son escritas para utilizar mensajes de señalamiento estándar y por lo tanto son independientes de cualquier

otro dispositivo de señalamiento, tal como un mouse, sistema touchscreen, pizarra gráfica u otro dispositivo.

Opciones de la interfaz de Software.- Para mantener la simplicidad natural de la interfaz touchscreen y guiar al usuario de una manera fácil a través del programa, el diseñador de la interfaz debe tomar en cuenta los siguientes factores:

1. La posición de los objetos en la pantalla está determinada por la importancia relativa del objeto. La consistencia también debe ser considerada. El usuario debe colocar los objetos con mayor velocidad y con menos confusión o errores cuando los objetos de alguna función similar están consistentemente localizados en la misma posición relativa de la pantalla.
2. El número de objetos por pantalla debería estar limitado a tan pocos como sea posible, balanceados por la dificultad de conmutar entre pantallas. El acomodo y la prioridad elimina la necesidad de llenar de objetos la pantalla y con esto se reduce un potencial error humano. En el caso de menús, se pueden incluir más opciones sobre la misma pantalla, pero si los menús son sobrecargados, los usuarios pronto se cansarán de buscar a través del menú. El uso de símbolos gráficos (íconos) puede ayudar de manera efectiva al usuario a identificar rápidamente los objetos.
3. El tamaño de los objetos está limitado al tamaño del apuntador. El número de errores puede ser reducido al incrementar el tamaño de los objetos. Cuando se diseñan los objetos para ser activados por el dedo, las investigaciones han mostrado que solo unas cuantas puntas de dedo miden más de 22 milímetros. Cada objeto debe ser rodeado por una banda de guarda y una zona muerta, en donde el toque no es reconocido. las bandas de guarda reducen la posibilidad de confusión y frustración del usuario ya que se elimina la posibilidad de activar un objeto adyacente.
4. El modo de activación se refiere al comportamiento del objeto cuando es tocado. Barras, interruptores y botones son variantes típicas de los objetos. Un objeto en forma de botón típico tiene tres estados: armado, desarmado y activado. El modo de activación más simple del objeto es cuando el dedo está sobre él. El objeto

pasa directamente del estado desarmado a el estado activado, forma muy similar a como el puntero del mouse activa simplemente apuntando a un área sin dar *click* al botón. Éste método de activación es el menos deseable porque es un proceso de un solo paso al cual le falta la opción de cancelar la activación del objeto. Una variación de este método es activar el objeto cuando el dedo es removido del objeto en la pantalla. Este modo de activación solo es un poco mejor, ya que también significa que no hay una manera de cancelar la activación y el resultado puede ser una activación inadvertida.

5. El modo de activación más frecuentemente utilizado es provocar que el objeto vaya al estado armado cuando el dedo esté sobre el objeto. Si el dedo está sobre el objeto cuando éste es retraído de la pantalla, el objeto es activado. Si el dedo se aparta del objeto antes de que el objeto sea retraído de la pantalla, el objeto no es activado. Esto permite al usuario cancelar la selección.
6. La Retroalimentación al toque es una parte integral de la mayoría de los modos bien diseñados. El usuario debe recibir retroalimentación inmediata para saber con certeza cuando el objeto ha sido armado y/o activado. El remarcado y cambio de color, son buenas técnicas de retroalimentación visual para indicar que el objeto está armado o activado [Elo, 1998] [Liptak, 2005].

Tipo de Diseño	Resolución y eje Z	Transmitividad	Activación, Parallax y tiempo de respuesta	Tipo de apuntador	Variación de Sensor y Calibración	Integración	Confianza
Cubierta capacitiva	1024 x 1024, no eje z	85 a 92 %	Táctil, no parallax, 15 a 25 ms	Requiere apuntador conductivo, Incapaz de detectar simultáneamente un dedo con guante y sin guante	Sujeto a variación, requiere calibración repetitiva	Invasiva y no invasiva	20 millones de toques por punto
Imagen de campo cercano	1024 x 1024, no eje z	85 %	Táctil, parallax, 15 a 25 ms	Requiere apuntador conductivo	No sufre variaciones	Invasivo, se requiere adherencia óptica para claridad óptima	Sensor sin límite
Onda acústica guiada	21,904 puntos cuadrado + eje z	92 %	Táctil, no parallax, 18 a 50 ms	Requiere apuntador que absorba energía	No sufre variaciones	Invasivo, se requiere adherencia óptica para claridad óptima	Sensor sin límite
Cubierta resistiva	256 x 256 a 4096 x 4096, no eje z	55 a 78 %	Táctil, no parallax, 13 a 18 ms	No hay limitaciones	Sujeto a variación, requiere calibración repetitiva	Invasivo, se requiere adherencia óptica para claridad óptima	2 millones de toques por punto
Infrarrojo	0.25" físico, 0.125" lógico, no eje z	100 %	Activación por proximidad, parallax, 18 a 40 ms	No hay limitaciones en material, mínimo diámetro del apuntador 5/16"	No sufre variaciones	Invasiva y no invasiva	Sensor sin límite
Onda acústica superficial	0.030" físico + eje z	92 %	Táctil, no parallax, 53 a 59 ms	Requiere apuntador que absorba energía	No sufre variaciones	Invasivo, se requiere adherencia óptica para claridad óptima	50 millones de toques por punto

Tabla 2.1: Comparación de características de las tecnologías Touchscreen.

Tipo de Diseño	Durabilidad y resistencia a vandalismo	NEMA, resistencia a la humedad	Resistencia al polvo y suciedad	Resistencia química	Resistencia a vibración y golpes	Luz ambiental	Temperatura, humedad y altitud
Cubierta capacitiva	Dificultad para rayarse, la cubierta de vidrio es rompible	NEMA 12, NEMA 4	Puede operar con polvo y suciedad moderada, acumulación excesiva afectará el desempeño	No es afectada por soluciones de limpieza general	Tolerante a vibración, la cubierta de vidrio es susceptible a los golpes	No es afectado	0 a 70 °C, 0 a 95% de humedad no conductiva, 9000 m
Imagen de campo cercano	Dificultad para rayarse, la cubierta de vidrio es rompible	NEMA 12, NEMA 4	No es afectada por polvo y suciedad	No es afectada por soluciones de limpieza general	Tolerante a vibración y golpes	No es afectada por luz ambiental	0 a 50 °C, 0 a 95% de humedad no conductiva, no especificada
Onda acústica guiada	Dificultad para rayarse, la cubierta de vidrio es rompible	NEMA 12, NEMA 4	No es afectada por polvo y suciedad	No es afectada por soluciones de limpieza general	Tolerante a vibración, la cubierta de vidrio es susceptible a los golpes	No es afectada por luz ambiental	0 a 50 °C, 0 a 95% de humedad no conductiva, no especificada
Cubierta resistiva	Vulnerable a rayaduras y erosión, cubierta de vidrio es rompible	NEMA 12, NEMA 4	No es afectada por polvo y suciedad	No es afectada por soluciones de limpieza general	Tolerante a vibración, la cubierta de vidrio es susceptible a los golpes	No es afectada por luz ambiental	0 a 50 °C, 0 a 95% de humedad no conductiva, 4500 m
Infrarrojo	No es susceptible a rayaduras ni golpes, no tiene partes expuestas	NEMA 12, NEMA 4	Puede operar con polvo y suciedad moderada, acumulación excesiva afectará el desempeño	No es afectada por soluciones de limpieza general	Tolerante a vibración y golpes	Varía dependiendo del fabricante	0 a 50 °C, 0 a 95% de humedad no conductiva, no especificada
Onda acústica superficial	Dificultad para rayarse, la cubierta de vidrio es rompible	NEMA 12	Puede operar con polvo y suciedad moderada, acumulación excesiva afectará el desempeño	No es afectada por soluciones de limpieza general	Tolerante a vibración, la cubierta de vidrio es susceptible a los golpes	No es afectada por luz ambiental	0 a 50 °C, 0 a 95% de humedad no conductiva, no especificada

Tabla 2.2: Comparación de condiciones de operación para tecnologías Touchscreen

2.3.4. Ruido por iluminación ambiental

La iluminación de fondo introduce ruido en el detector, lo cual reduce la relación señal a ruido (SNR) y el rango del sistema, por lo que limita la tasa de transmisión. Los sistemas en lugares cerrados, por ejemplo, están expuestos a la iluminación de lámparas incandescentes y fluorescentes, mientras que los sistemas colocados en lugares abiertos deben ser capaces de operar bajo iluminación solar intensa, lo cual hace el diseño del receptor un reto particular. La potencia solar que alcanza al fotodetector puede ser de varios órdenes de magnitud más grande que la máxima potencia emitida por el transmisor y saturar al fotodetector.

En la mayoría de los ambientes cerrados y abiertos, el fotodetector del sistema touchscreen no solo está expuesto a la radiación infrarroja emitida por el transmisor, sino también a la iluminación del sol y de lámparas. Estas fuentes de iluminación de fondo poseen una fracción de energía en la parte infrarroja del espectro, lo cual introduce ruido en el fotodetector y reduce la relación señal a ruido del sistema. La SNR de cualquier sistema de detección óptico está definida por Kotzin y Van den Heuvel [Kotzin and den Heuvel, 1986] como se muestra en la ecuación 2.4.

$$\frac{S}{N} = \frac{(nP_s)^2}{2enB(P_s + P_b + P_o) + \frac{4kTB}{R}} \quad (2.4)$$

en donde:

n : Eficiencia de conversión del fotodetector [A/W]

P_s : Potencia de la señal que incide en el fotodetector [W]

B : Ancho de banda de la señal [Hz]

P_b : Potencia óptica de la luz de fondo incidente en el fototransistor [W]

P_o : Potencia equivalente de la corriente de oscuridad del fotodetector [W]

R : Resistencia de carga del detector [Ω]

De la ecuación 2.4 se puede observar que la sensibilidad del sistema infrarrojo está determinada por la cantidad de iluminación de fondo no deseada que éste puede rechazar. Por lo tanto, un buen entendimiento de las diferentes fuentes de iluminación de fondo y de las técnicas disponibles para reducir

o eliminar esta radiación no deseable es importante para el diseño de un sistema de detección infrarrojo.

Las tres fuentes más comunes de luz ambiental encontradas en ambientes cerrados son:

1. *Lámparas fluorescentes*
2. *Lámparas incandescentes*
3. *Luz solar*

Sus densidades de potencia normalizada por unidad de longitud de onda se ilustran en la Figura 2.8 [F.R. Gfeller and Vettiger, 1978], en donde se observa que la densidad de potencia espectral de las lámparas fluorescentes es mínima a las longitudes de onda cercanas al infrarrojo, en las cuales la mayoría de los detectores de infrarrojo cercano son más sensitivos (típicamente alrededor de 850 y 950 nm). Por otra parte, la Luz de día y la luz incandescente presentan un espectro de banda ancha y una mayor cantidad de energía en la región del espectro del infrarrojo cercano. Las lámparas de Tungsteno, por ejemplo presentan una densidad espectral de potencia alta en los 800 a 1400 nm de longitud de onda. El ruido generado por la iluminación de luz solar afecta a los sistemas en ambientes cerrados particularmente cuando el receptor está colocado cerca de las ventanas.

Para los sistemas en ambientes abiertos, la luz de día constituye un problema más grave, el cual puede ser únicamente reducido por la óptica apropiada o filtrado electrónico (y mediante la reducción del campo de vista del receptor).

La luz de la luna y la iluminación estelar también introducen radiación indeseable en los receptores infrarrojos, pero su efecto puede ser considerado como despreciable debido a que la luna es solo un reflector de energía solar y no emite radiación por sí misma (lo cual significa que aún durante la luna llena, la radiación re-emitida es de una intensidad muy baja) y las estrellas están a tal distancia que la iluminación que ellas producen es también extremadamente baja (el total de la intensidad de la luz estelar en la parte visible del espectro es aún más baja que la intensidad producida por una luna llena). por lo tanto, ambos tipos de iluminación ambiental no introducen ningún ruido significativo en el receptor. Además, dependiendo de la fase de la luna, la intensidad de la energía re-emitida puede ser aún más baja, ya que solo una fracción de la superficie de la luna puede estar reflejando energía solar en un tiempo específico [Veck, 1985].

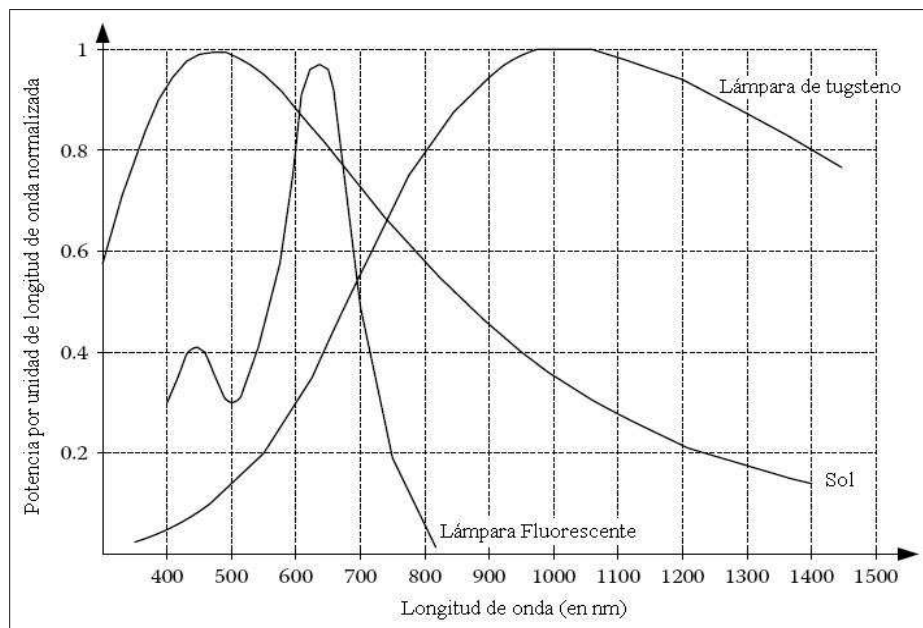


Figura 2.8: Densidades espectrales de potencia de tres fuentes típicas de iluminación de fondo

La mayoría de las oficinas y ambientes cerrados, en donde los sistemas ópticos son empleados, en lugar de las lámparas incandescentes se utilizan lámparas fluorescentes que introducen menos ruido en el fotodetector. Desafortunadamente, la luz emitida por lámparas fluorescentes presenta fluctuaciones rápidas que crean líneas espectrales en la corriente resultante del fotodetector a múltiplos de la frecuencia de línea [Nar, 1996]. El intervalo de frecuencia de los armónicos generados por iluminación fluorescente depende del modelo de la lámpara, con modelos más viejos se tienen armónicos de hasta 500KHz, mientras que con modelos más nuevos (principalmente utilizados en Estados Unidos y en Japón) se tiene armónicos de hasta varios Megahertz [A.M. Street and O'Brien, 1997]. El espectro de potencia de emisión IR de una lámpara fluorescente manejado por una balastro electrónica a 22KHz se muestra en la Figura 2.9.

Existen varias técnicas que pueden ser utilizadas para reducir el ruido introducido por la luz de fondo. Una de esas técnicas consiste en restringir el ángulo de vista del receptor. Alternativamente, pueden ser utilizados filtros ópticos antes de la detección por el fotodetector. Los filtros pueden ser ya

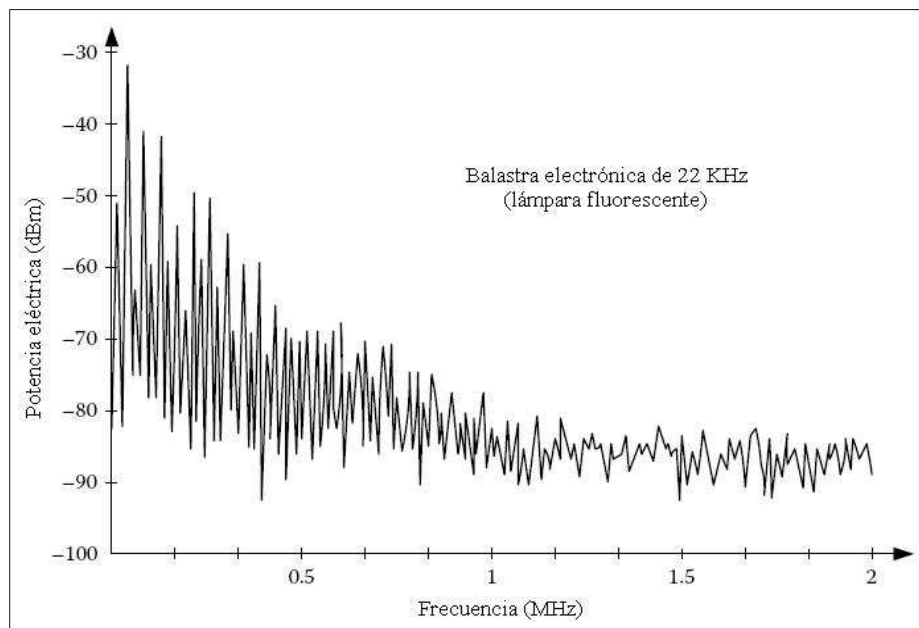


Figura 2.9: Variación de la potencia eléctrica con la frecuencia de una lámpara fluorescente

sea del tipo pasa-banda o *longpass* (que permiten el paso de longitudes de onda más largas) cuyo intervalo de frecuencias de paso debe coincidir con la frecuencia de la fuente para minimizar la cantidad de ruido no deseado sin atenuar la señal deseada. Los filtros *longpass* pueden ser fabricados con plástico colorido o vidrio. Por ejemplo, si se emplea un filtro que permite el paso de la energía más allá de su longitud de onda de corte y cuando se combina con un fotodetector de silicio, la combinación genera un filtro del tipo pasabanda [F.R. Gfeller and Vettiger, 1978]. El hecho de que las características de transmisión de los filtros *longpass* coloridos sean principalmente independientes del ángulo de incidencia de la energía recibida, hacen de ellos los filtros más comúnmente utilizados en sistemas IR comerciales. Desafortunadamente, el filtro pasa-banda total es generalmente amplio. Esto es ilustrado en la Figura 2.10, en donde la sensibilidad espectral del fotodiodo de silicio y la transmitancia del filtro *longpass* colorido se superponen en la misma gráfica [F.R. Gfeller and Vettiger, 1978].

Una técnica de filtrado alterna para reducir la iluminación de fondo indeseable presentada por Gfeller [F.R. Gfeller and Vettiger, 1978] consiste en

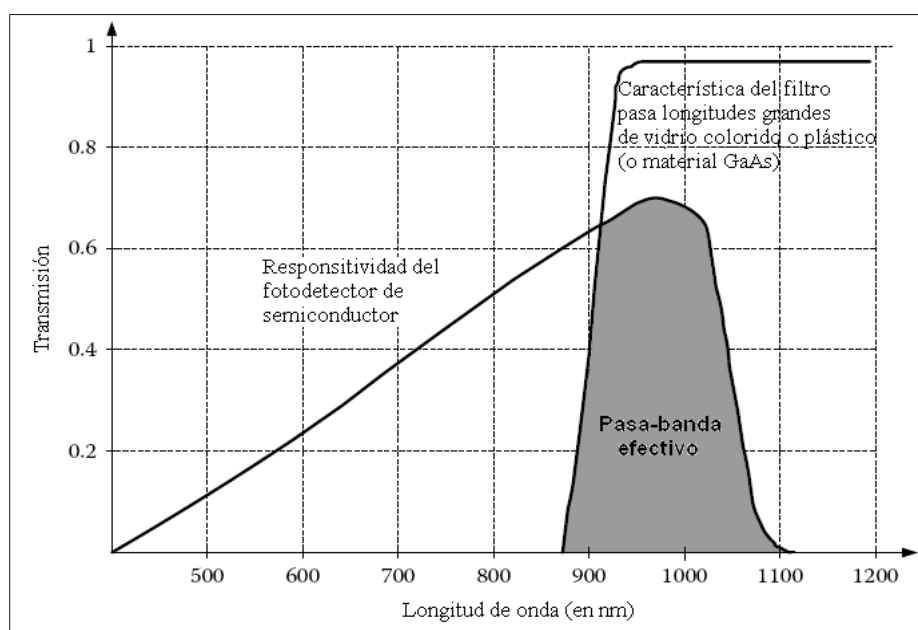


Figura 2.10: Sensibilidad espectral de un fotodiodo de silicio y de la transmitancia del material con características de longpass.

desarrollar una película de color no expuesta y usarla como filtro a la entrada del fotodetector. Ellos calcularon que, usando esta técnica la luz de la lámpara fluorescente se puede reducir en un factor de 50, mientras que la luz solar se puede reducir en un factor de aproximadamente 3.

Los filtros pasa-banda de película óptica delgada son otra opción para reducir la luz ambiental en los receptores de luz infrarroja. Estos filtros consisten en varias capas de separadores dieléctricos que pueden ser combinados para formar anchos de banda ópticos muy angostos y por lo tanto proveer una reducción máxima de la iluminación de fondo. Ha sido demostrado que un filtro pasa-banda de película delgada de alrededor de 60 nm puede reducir la luz fluorescente por un factor de 300 y la luz de fondo por un factor de 10 [F.R. Gfeller and Vettiger, 1978]. La principal desventaja de los filtros ópticos de película delgada es que su característica de transmisión depende significativamente del ángulo de incidencia de la energía recibida, lo cual hace el diseño del *front-end* del receptor un reto. La potencia óptica promedio P_n creada por la iluminación ambiental que alcanza a un receptor (que consiste en un concentrador óptico, un filtro óptico y un fotodetector) está dada por

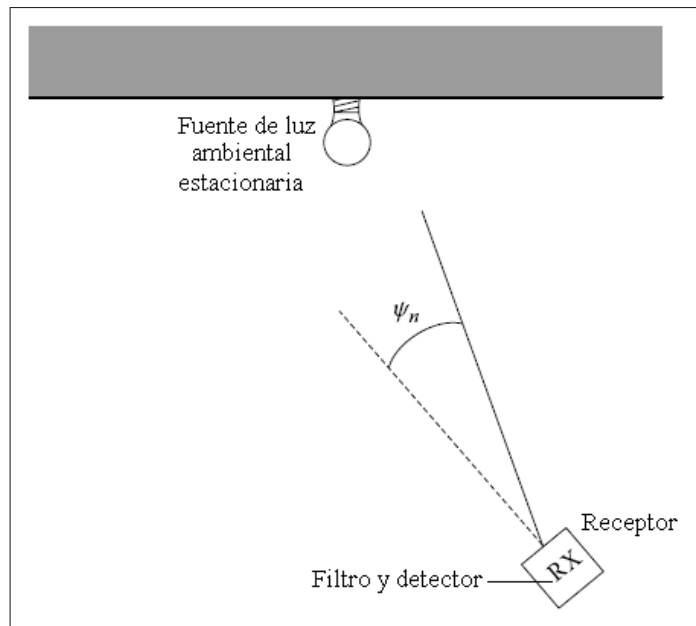


Figura 2.11: Fuente de iluminación introduciendo ruido en un receptor infrarrojo.

la ecuación 2.5.

$$P_n = \rho_n \Delta\lambda_n T_o A g(\Psi_n) \cos \Psi_n \quad (2.5)$$

en donde:

ρ_n : Irradiancia espectral (independiente de la longitud de onda) del ruido de la luz ambiental en W/cm^2

$\Delta\lambda_n$: Banda de paso del filtro óptico

T_o : Transmisión pico del filtro

A : Área del detector

$g(\Psi_n)$: Ganancia del concentrador.

Esta expresión asume que la luz se origina de una fuente localizada formando un ángulo Ψ_n con la normal del receptor como se ilustra en la Figura 2.11.

2.3.5. Luz directa y luz reflejada

Como se explicó anteriormente, el rendimiento del receptor óptico puede ser afectado por la luz externa al emisor óptico, la cual puede alcanzar al fotodetector directamente o a través de reflexiones desde objetos adyacentes, generando corrientes adicionales (en el detector) y creando ruido blanco gaussiano (WGN, -White Gaussian Noise-) en el receptor. Este WGN reduce la SNR del sistema. Además produce problemas tales como la reducción en la impedancia del receptor y ruido de parpadeo o flickering, el cual genera perturbaciones irregulares [M. Gebhart and Bregenzer, 2003]. Más aún, cuando el fotodetector es expuesto a radiación solar directa, la elevada potencia óptica del sol puede potencialmente saturar el fotodetector, interrumpiendo completamente el barrido del sistema touchscreen. Por tales razones, un buen entendimiento de la contribución de potencia de la iluminación por luz solar es necesaria porque ayuda a diseñar y evaluar el desempeño del sistema bajo condiciones de iluminación de fondo intensa.

2.3.6. Consideraciones en el diseño del transmisor óptico

El transmisor, que consiste de dos partes: un circuito interfaz y un circuito de manejo de la fuente, convierte la señal de entrada en una señal óptica deseable para la transmisión. El circuito manejador del transmisor transforma la señal eléctrica en una señal óptica variando el flujo de corriente a través de la fuente luminosa. La información de la señal modula el campo generado por la fuente óptica. El campo óptico modulado se propaga entonces a través de una trayectoria por el espacio libre antes de arribar al receptor. Aquí, el fotodetector convierte la señal óptica en una señal eléctrica nuevamente.

La modulación óptica puede ser obtenida de dos maneras: Por modulación directa de la fuente de luz (también conocida como modulación interna) o por modulación externa. Estos dos métodos se ilustran en la figura 2.12. En cada caso, pueden ser empleados esquemas de modulación analógica o digital.

La figura 2.13 muestra la modulación digital de un LED utilizando un transistor como conmutador.

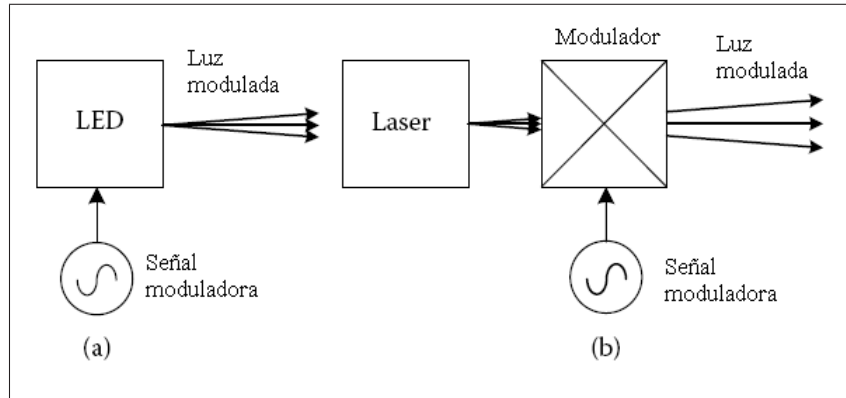


Figura 2.12: Moduladores Ópticos: (a) modulador interno y (b) modulador externo.

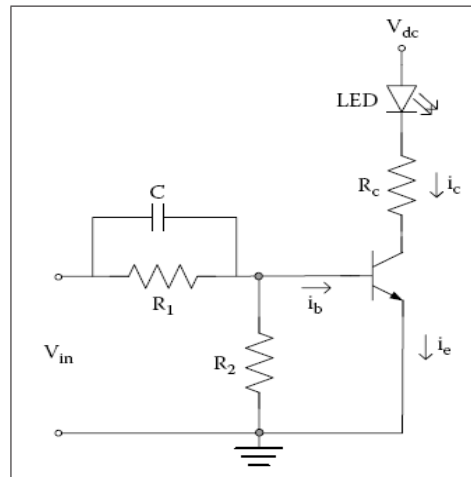


Figura 2.13: Modulador digital de LED por un transistor conmutador.

2.3.7. Consideraciones en el diseño del receptor óptico

El diseño de un receptor óptico depende del formato de modulación utilizado por el transmisor. Los sistemas con receptores ópticos inalámbricos son muy parecidos a los sistemas con receptores basados en fibra. Consisten esencialmente de un fotodetector y un pre-amplificador incluyendo la posibilidad de circuitería adicional del procesamiento de señal. Por lo tanto, es necesario considerar las propiedades del fotodetector en el contexto de la circuitería asociada al receptor porque es esencial que el detector funcione eficientemente con las etapas posteriores de amplificación y procesamiento.

El fotodetector es una parte integral del receptor infrarrojo porque es el que convierte la señal óptica en señal eléctrica. Es importante para el receptor detectar niveles bajos de señal óptica sin introducir muchos errores. Por lo tanto, cuando se considera la atenuación en el sistema, el rendimiento está determinado por el detector. Por esto, mejorar las características y rendimiento del fotodetector permiten una mejor cobertura del sistema óptico. El siguiente criterio define algunos de los más importantes requerimientos de rendimiento y compatibilidad para detectores ópticos inalámbricos:

1. *Alta sensibilidad en la longitud de onda de operación.*
2. *Alta fidelidad: para reproducir la forma de onda de la señal recibida con exactitud (para transmisión analógica, la respuesta del fotodetector debe ser lineal con respecto a la señal óptica, sobre un rango amplio).*
3. *Área de detección grande: para ofrecer una apertura de recolección grande y una detección de campo de vista efectivo incrementado.*
4. *Gran respuesta eléctrica a la señal óptica recibida: el fotodetector debe ser capaz de producir una señal eléctrica tan alta como sea posible para una cantidad de potencia óptica dada.*
5. *Respuesta de tiempo corta.*
6. *Mínimo nivel de ruido: las corrientes de oscuridad, corrientes de fuga y conductancia debe ser bajos. Además, el mecanismo de ganancia con el que el detector está asociado debe presentar bajo ruido.*
7. *Otras consideraciones: bajo costo, tamaño pequeño, alta estabilidad y confiabilidad.*

2.3.8. Consideraciones de ruido en el receptor

El ruido es una perturbación que enmascara, corrompe y reduce la información contenida en la señal deseada. Un buen entendimiento de los orígenes del ruido es requerido para la caracterización exacta del rendimiento del receptor infrarrojo, ya que la cantidad de ruido presente en el receptor es el principal factor que define su sensibilidad. Es además muy útil considerar el límite del rendimiento de un sistema por su relación señal a ruido (SNR, Signal to Noise Ratio). Además del SNR, un receptor en particular puede ser caracterizado por su factor de ruido. En cualquier red que se involucre detección y amplificación, el factor de ruido F (figura de ruido, $NF = 10 \log F$) es una medida de cuanto ruido es agregado por el pre-amplificador o amplificador principal. La figura de ruido es un método versátil usado para determinar la “calidad” de un amplificador y cuanta degradación de la SNR es contribuida por los fotodetectores.

El ruido es el factor que por último limita la sensibilidad del receptor. El ruido introducido por el receptor puede ser independiente o dependiente de la señal. El ruido dependiente de la señal, por ejemplo, resulta de la generación aleatoria de electrones por la incidencia de potencia óptica. El nivel de la potencia óptica incidente no afecta a la señal independiente del ruido. El diagrama a bloques mostrado en la figura 2.14 ilustra varias fuentes de ruido asociadas con sistemas con receptor óptico. El ruido en exceso se refiere al ruido asociado con la amplificación interna del fotodetector. Un análisis extensivo del ruido, especialmente en fotodetectores de semiconductor, está dado en [F.Ñiblers and Schmerhr, 1996] [G. Jacobsen, 1994] [Alexander, 1997].

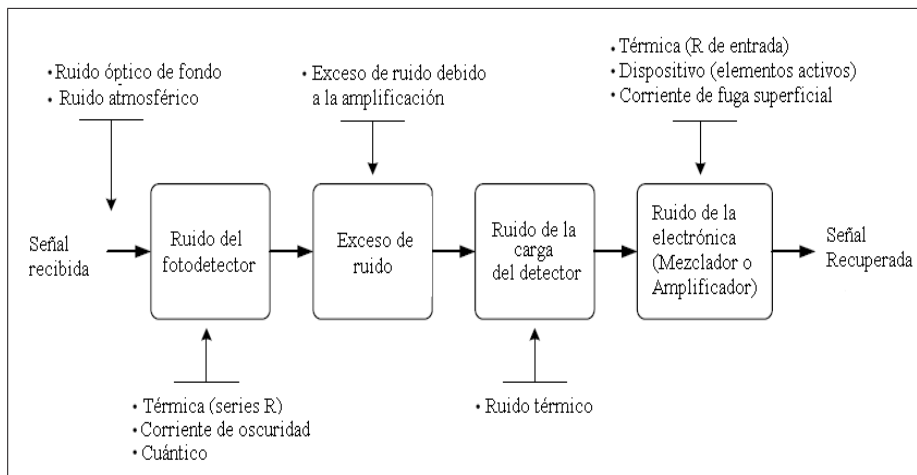


Figura 2.14: Fuentes de ruido en un receptor óptico típico.

Capítulo 3

Diseño del sistema touchscreen IR

3.1. Funcionamiento general

El sistema touchscreen infrarrojo está implementado físicamente sobre un marco que contiene múltiples pares emisor-detector alrededor del marco, cubriendo el área correspondiente a una pantalla, dichos pares emisor-detector son activados por medio de un microcontrolador que controla la secuencia de activación y desactivación tanto de emisores como receptores para realizar el barrido del área cubierta por el marco y procesa la información para determinar la posición dentro de la pantalla.

El arreglo de emisores y receptores consta de 30 diodos emisores de luz (LEDs) y 30 fototransistores respectivamente. Los 30 LEDs están conectados de tal manera que forman un arreglo de 5 grupos de ánodos y 6 grupos de cátodos, dicho tipo de arreglo se diseño de tal forma que para activar un LED en particular se necesita activar su correspondiente ánodo y su correspondiente cátodo. Por lo tanto, para controlar el arreglo completo de LEDs se necesitan 11 puertos de Entrada/Salida (I/O) del microcontrolador configurados como salidas. El sistema tipo touchscreen infrarrojo que se presenta en este trabajo está diseñado para utilizarse sobre un display de 10.4" de diagonal. El diseño está formado por una arreglo de 17×13 LEDs y 17×13 fototransistores, en una distribución como la mostrada en la figura 3.1.

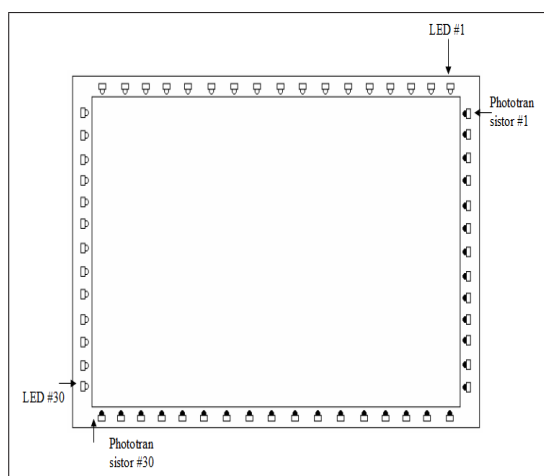


Figura 3.1: Arreglo de LEDs y Fototransistores en la pantalla Touchscreen.

3.2. Análisis del circuito transmisor

3.2.1. Descripción del funcionamiento

El circuito transmisor está formado por fuentes de corriente constante, las cuales son multicanalizadas para activar un LED en particular siguiendo la secuencia de control. La señal transmitida por cualquier LED es una señal luminosa cuya envolvente corresponde a una señal cuadrada de 10 KHz. Cuando un LED en específico está transmitiendo, su correspondiente cátodo debe de estar activado mientras que su correspondiente ánodo está conmutando a una frecuencia de 10 KHz. La Figura 3.2 muestra el diagrama a bloques del circuito transmisor, el cual inicia con las señales de salida del microcontrolador. Primeramente se activa el circuito de multicanalización correspondiente al cátodo del LED seleccionado para la transmisión, tal acción se puede interpretar como conectar a tierra el cátodo del LED seleccionado. Enseguida el microcontrolador activa la fuente de corriente perteneciente al grupo de LEDs donde se encuentra el LED seleccionado para la transmisión. La señal de activación de la fuente de corriente seleccionada consta de 5 pulsos de una señal cuadrada cuyo periodo corresponde a una frecuencia de 10 KHz, es decir, el LED inicia una ráfaga de 5 pulsos de 10KHz los cuales son transmitidos hacia el área activa de la pantalla.

En la figura 3.3 se puede observar el circuito utilizado para activar los ánodos, tal circuito corresponde a una fuente de corriente constante. Cuan-

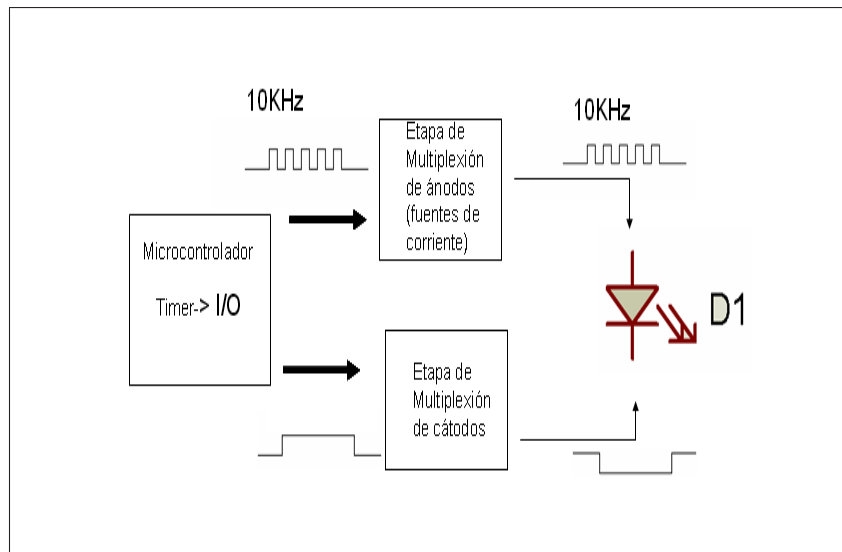


Figura 3.2: Diagrama a bloques del circuito transmisor.

do el microcontrolador envía un “uno” lógico a la señal de corriente alterna (AC), se polariza el transistor Q_6 , el cual funciona como un interruptor y prácticamente realiza una conexión a tierra con la resistencia R_{21} , dicha resistencia forma un divisor de voltaje con R_{19} . Por lo que el voltaje en la base de Q_5 está dado por la expresión 3.1:

$$V_{B_{Q_5}} = 5V \frac{1.5 \text{ K}\Omega}{1.5 \text{ K}\Omega + 1.8 \text{ K}\Omega} = 2.2727 \text{ V} \quad (3.1)$$

Dado que el transistor Q_5 está polarizado con una configuración de tipo base común, entra en conducción generando una corriente de emisor I_E igual a:

$$I_E = \frac{(5 \text{ V} - 2.2727 \text{ V} - 0.7 \text{ V})}{10\Omega} = 202.73 \text{ mA} \quad (3.2)$$

como

$$I_C \approx I_E = 202.73 \text{ mA} \quad (3.3)$$

La corriente I_C es la corriente que se suministra a los LEDs cuando son activados y debe mantenerse dentro de los niveles de operación especificados por el fabricante. Para comprobar que la corriente dada por la ecuación (3.3) está dentro lo especificado por las hojas de datos del fabricante del LED se realizó el análisis mostrado a continuación.

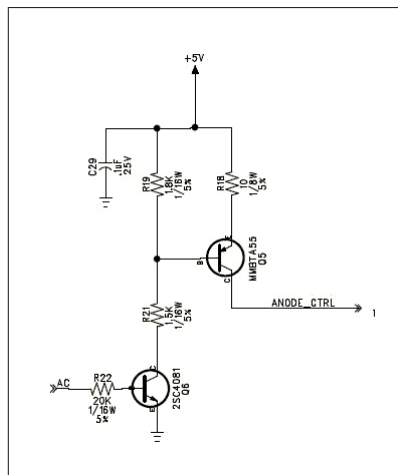


Figura 3.3: Fuente de corriente constante.

La corriente dada por la ecuación (3.3), tiene un valor de 202.73 mA y solo se origina cuando un LED en particular está siendo activado. Cada activación de un LED equivale a una ráfaga de 5 ciclos de 10 KHz y con una tasa de repetición de $\frac{1}{10}$ de segundo.

Por lo tanto, la corriente promedio queda determinada de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
I_{E_{promedio}} &= \frac{1}{T} \int_0^T I_E dt \\
&= \frac{202.73 \text{ mA}}{T} \int_0^T dt \\
&= \frac{202.73 \text{ mA}}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} dt \\
&= \left[\frac{202.73 \text{ mA}}{T} \times t \right]_0^{\frac{T}{2}} \\
&= \frac{202.73 \text{ mA}}{T} \left(\frac{T}{2} \right) \\
&= 101.36 \text{ mA}
\end{aligned} \tag{3.4}$$

Esta corriente se encuentra muy por debajo de los valores de corriente pico especificada por la hoja de datos (1.2 A). Además, tomando en cuenta que sólo se transmite durante 0.5 milisegundos cada 100 milisegundos, el valor de la corriente promedio es mucho menor que la calculada en la ecuación (3.4).

3.2.2. Secuencia de activación

La Figura 3.4 muestra la dirección del barrido de los haces generados por los LEDs, la cual se realiza en dirección contraria a las manecillas del reloj. Un barrido completo consta de tres ciclos de una señal de 10 KHz por cada uno de los LEDs en la pantalla, es decir, desde el LED #1 hasta el LED #30.

La tabla 3.1, muestra la tabla de verdad para activar cada uno de los LEDs. Las señales de control para los cinco ánodos se etiquetaron como: $AC\#0$, $AC\#1$, $AC\#2$, $AC\#3$ y $AC\#4$; mientras que las señales de control para los seis cátodos fueron etiquetadas como $CC\#0$, $CC\#1$, $CC\#2$, $CC\#3$, $CC\#4$ y $CC\#5$. Todas estas señales son manejadas por el microcontrolador, por lo que sus respectivas combinaciones hacen posible seleccionar un LED a la vez y poder transmitir la señal modulada de 10KHz.

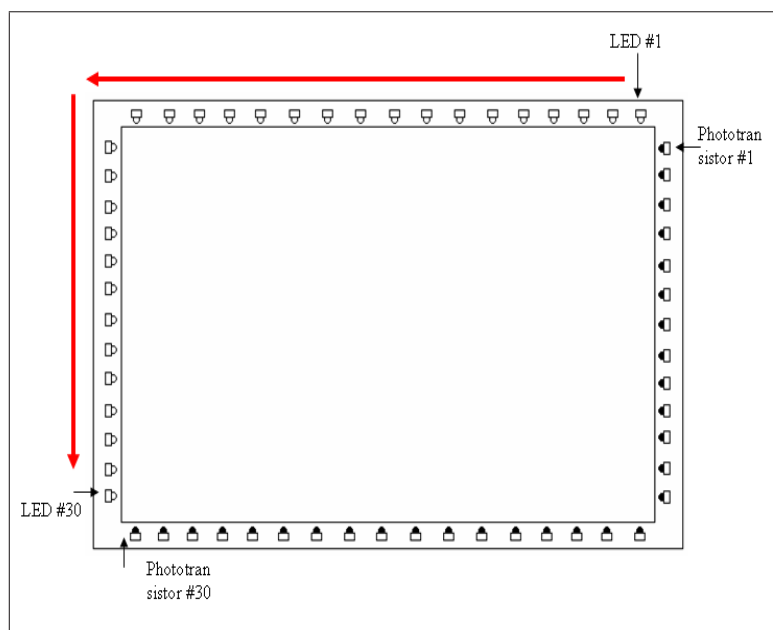


Figura 3.4: Dirección del barrido de los haces generados por los LEDs.

LED	AC#0	AC#1	AC#2	AC#3	AC#4	CC#0	CC#1	CC#2	CC#3	CC#4	CC#5
1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
9	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
10	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
11	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
12	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
13	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
14	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
15	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
16	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
17	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
18	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
19	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
20	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
21	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
22	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
23	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
24	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
25	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
27	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
28	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
29	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
30	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

Tabla 3.1: Secuencia de activación de LEDs.

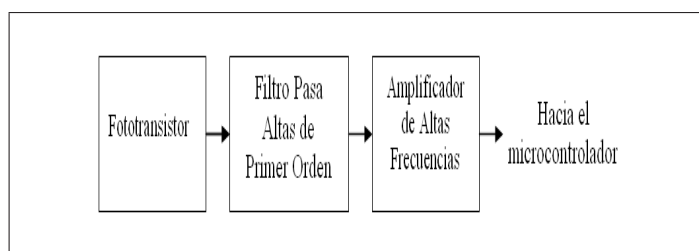


Figura 3.5: Diagrama a bloques del circuito receptor.

3.3. Análisis del circuito receptor.

La señal modulada de 10 KHz transmitida por los LEDs en el circuito transmisor es recibida por los fototransistores que están dentro del ángulo de cobertura de la señal transmitida. Todos los fototransistores se encuentran polarizados y por lo tanto se puede tomar su lectura en cualquier momento. Las señales captadas por los fototransistores son enviadas hacia dos circuitos multicanalizadores de 16 canales cada uno, de tal manera que se abarcan todas las señales de los fototransistores. El microcontrolador selecciona un canal en particular para dejar pasar la señal del fototransistor correspondiente hacia un circuito de amplificación. La tabla 3.2, muestra las combinaciones de las señales de control para ambos multicanalizadores empleados para seleccionar a cada fototransistor en particular.

La señal de cada fototransistor en particular, es entonces multicanalizada hacia un filtro pasa-altas y posteriormente a un circuito de amplificación. La Figura 3.5 muestra el diagrama a bloques del circuito utilizado para filtrar y amplificar la señal proveniente de los multicanalizadores. A continuación se describen las diferentes etapas mostradas en la Figura 3.5.

3.3.1. Filtro pasa altas.

Todos los fototransistores receptores están siempre polarizados, de tal manera que todo el tiempo están proporcionando un nivel de señal eléctrica proporcional a la señal óptica recibida. Las señal proporcionada por cada fototransistor es dirigida hacia un filtro pasa-altas de tal manera que deja pasar la señal de 10 KHz que está siendo transmitida por los LEDs y sirve de filtro para señales de menor frecuencia, tales como la luz proveniente de lámparas y el sol. En la figura 3.6 se puede observar la respuesta en frecuencia

Fototransistor	A	B	C	D	INH1	INH2
1	0	0	0	0	1	0
2	0	0	0	1	1	0
3	0	0	1	0	1	0
4	0	0	1	1	1	0
5	0	1	0	0	1	0
6	0	1	0	1	1	0
7	0	1	1	0	1	0
8	0	1	1	1	1	0
9	1	0	0	0	1	0
10	1	0	0	1	1	0
11	1	0	1	0	1	0
12	1	0	1	1	1	0
13	1	1	0	0	1	0
14	1	1	0	1	1	0
15	1	1	1	0	1	0
16	1	1	1	1	1	0
17	0	0	0	0	0	1
18	0	0	0	1	0	1
19	0	0	1	0	0	1
20	0	0	1	1	0	1
21	0	1	0	0	0	1
22	0	1	0	1	0	1
23	0	1	1	0	0	1
24	0	1	1	1	0	1
25	1	0	0	0	0	1
26	1	0	0	1	0	1
27	1	0	1	0	0	1
28	1	0	1	1	0	1
29	1	1	0	0	0	1
30	1	1	0	1	0	1

Tabla 3.2: Secuencia de lectura de fototransistores.

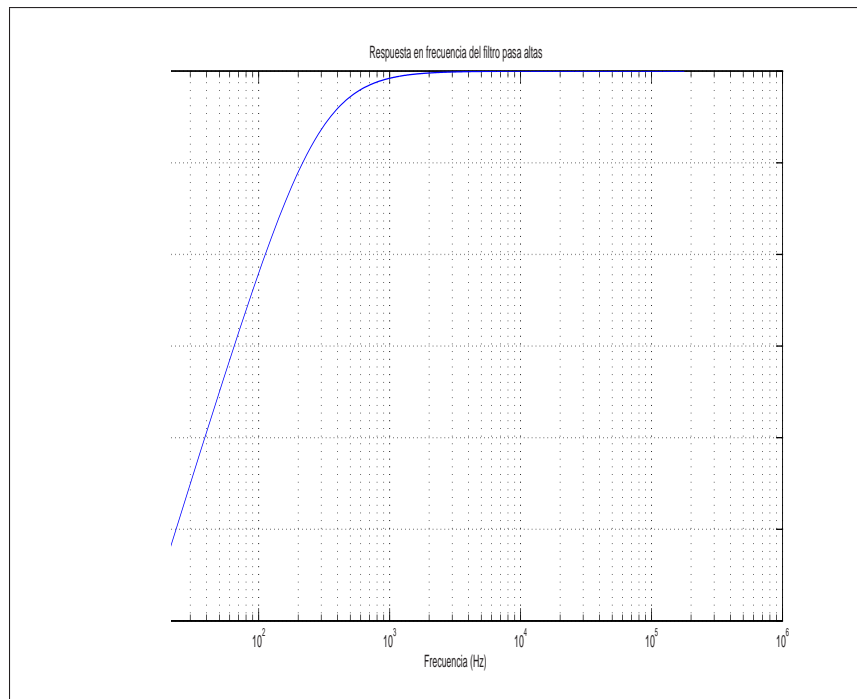


Figura 3.6: Respuesta en frecuencia del filtro pasa altas de primer orden.

del filtro pasa altas de primer orden utilizado. Como se puede observar, el filtro tiene una frecuencia de corte de aproximadamente 1 KHz, lo cual es suficiente para nuestra aplicación, en donde se desea que la señal de 10 KHz pase sin ser atenuada por el filtro, mientras que señales de menor frecuencia tales como las señales de lámparas que son moduladas a 60Hz sean atenuadas considerablemente.

3.3.2. Etapa de amplificación.

Después de pasar por el filtro pasa altas, la señal necesita ser amplificada para posteriormente ser introducida a una etapa de acondicionamiento que ajuste sus niveles dentro del intervalo dinámico del convertidor analógico digital del microcontrolador. El mencionado nivel es de 5 V en este diseño. Además de amplificar la señal a un valor adecuado, la señal es referenciada a un nivel de voltaje de corriente directa de 2.5V de manera que la señal está centrada dentro del rango dinámico del convertidor.

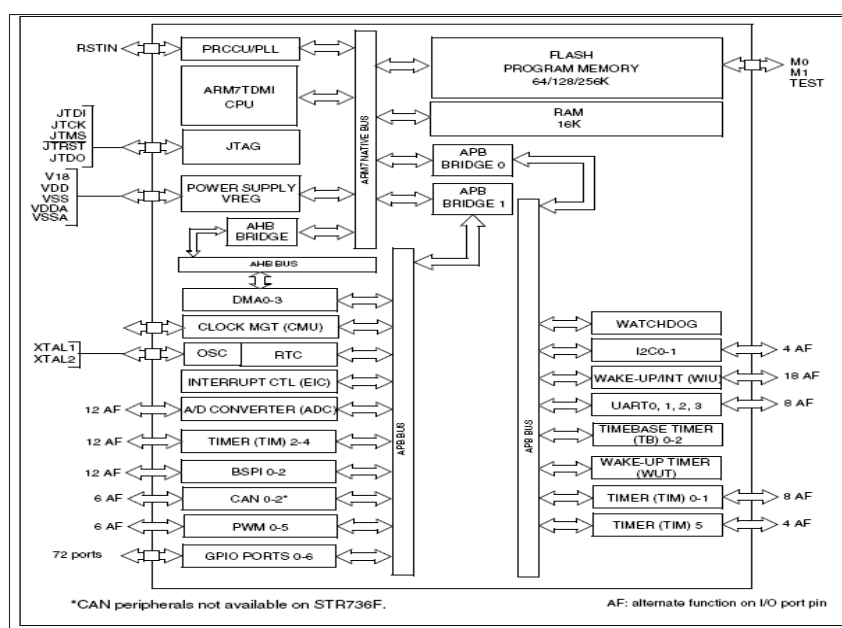


Figura 3.7: Diagrama a bloques del microcontrolador STR736.

3.3.3. Sistema de interfaz digital

Para el control del sistema touchscreen, se utilizó el microcontrolador *STR736* del fabricante ST, el cual es un microcontrolador con núcleo ARM7 de 32 bits de alto rendimiento y de poco consumo de potencia. Además, este microcontrolador ejecuta 32 millones de instrucciones por segundo (32 MIPS). En la Figura 3.7 se puede apreciar el diagrama a bloques del microcontrolador STR736 utilizado. En la Figura 3.8 se puede apreciar la configuración de patillas de este microcontrolador [STMicroelectronics, 2008].

La Figura 3.9 muestra la interconexión general del microcontrolador STR736 utilizado y la manera como se comunica con los sistemas de transmisión y recepción para realizar el barrido completo de la pantalla con los haces generados por los LEDs.

A continuación se detallan las operaciones realizadas por el microcontrolador dentro del sistema touchscreen para efectuar el barrido completo de la pantalla con los haces luminosos:

Selección del par emisor-detector: El microcontrolador selecciona el primer par emisor-receptor, de esta manera transmite tres ciclos de la señal

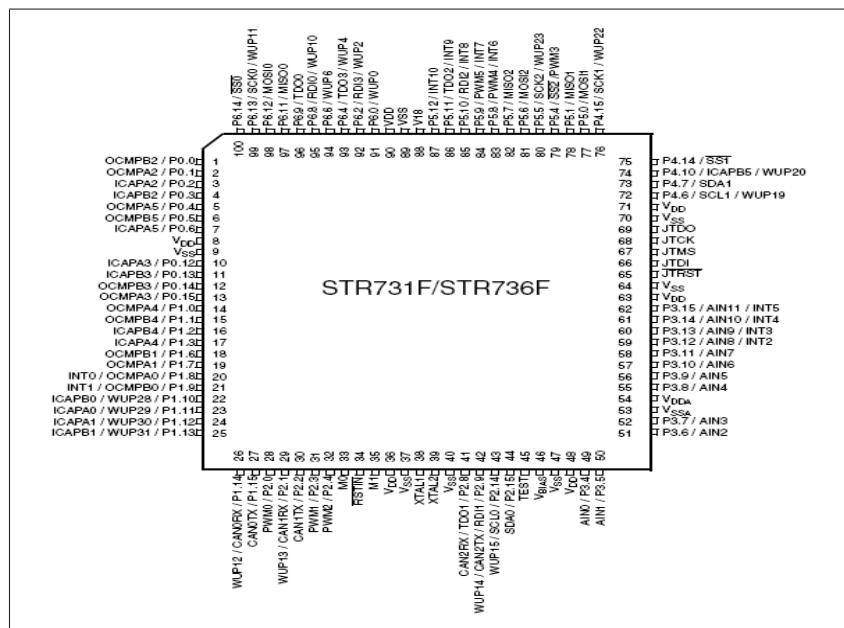


Figura 3.8: Configuración de patillas del microcontrolador STR736.

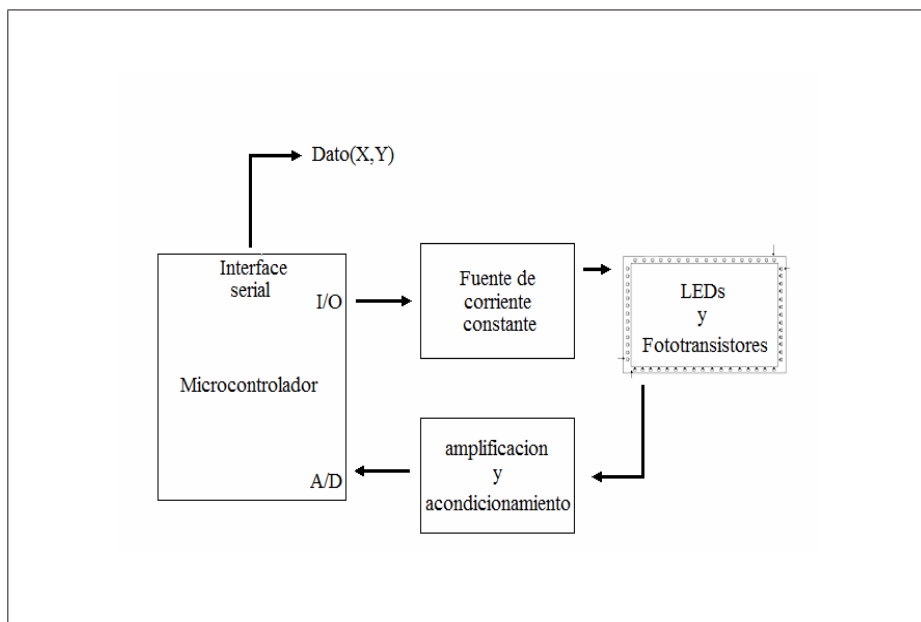


Figura 3.9: Interconexión del microcontrolador dentro del sistema touchscreen infrarrojo.

de 10 KHz y al mismo tiempo lee la señal amplificada del receptor para obtener la amplitud de voltaje pico de la señal recibida.

Secuencia de barrido: El microcontrolador repite el paso anterior para cada par emisor-detector de manera secuencial hasta realizar el barrido completo de la pantalla, almacenando las lecturas registradas por todos los fototransistores.

Procesamiento y cálculo de coordenadas: Después de completar el barrido de los 30 pares emisor-receptor, el microcontrolador realiza el procesamiento y en base a las amplitudes registradas determina que posiciones dentro de la pantalla están siendo ocupadas.

Envío de coordenadas: El microcontrolador envía las posiciones válidas por protocolo RS-232 hacia la computadora para su despliegue.

La figura 3.10 muestra el algoritmo implementado en el microcontrolador para manejar el sistema touchscreen.

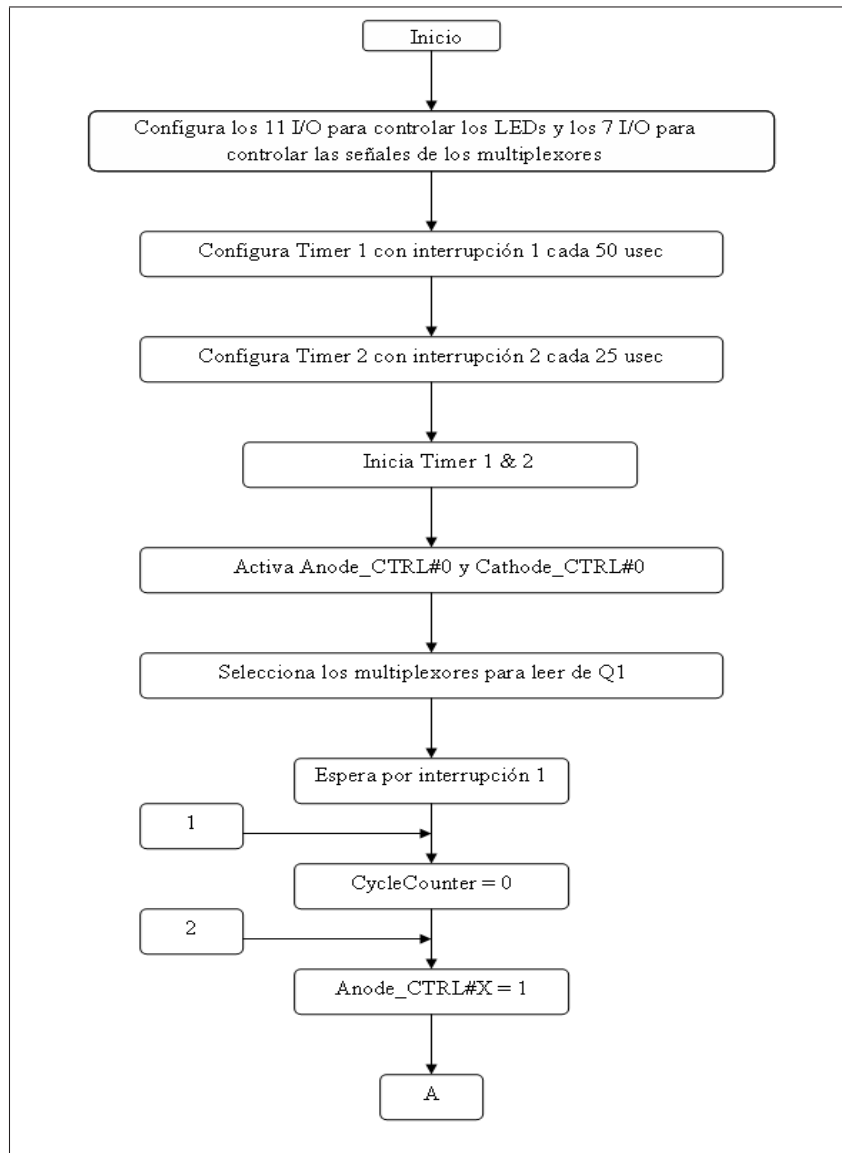


Figura 3.10: Diagrama de flujo implementado en el microcontrolador para calcular la posición dentro de la pantalla (parte 1).

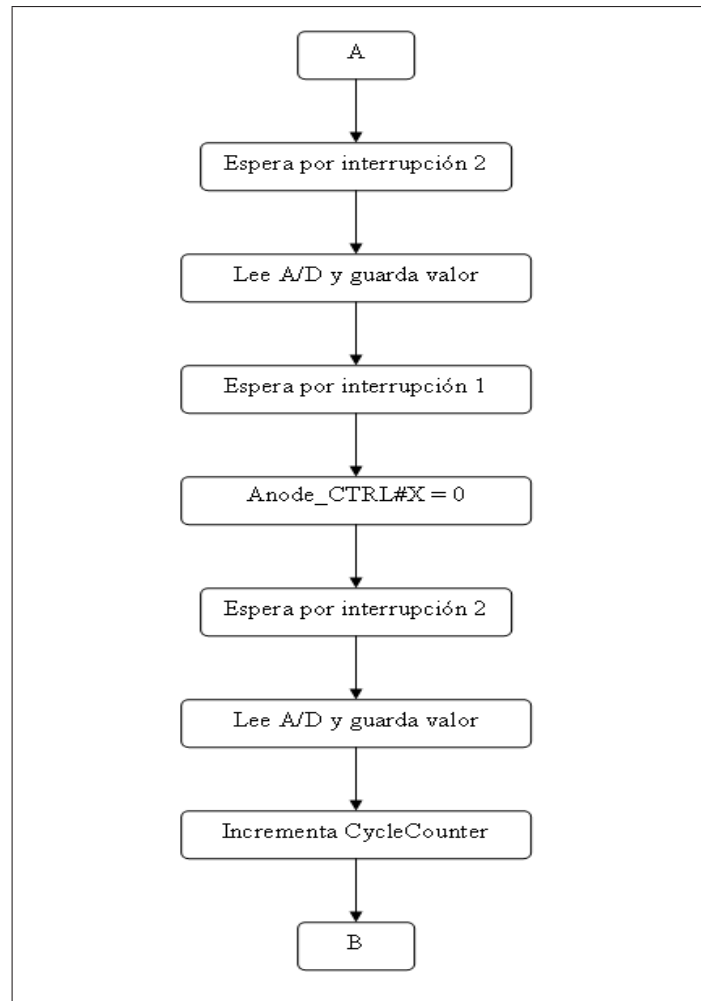


Figura 3.11: Diagrama de flujo implementado en el microcontrolador para calcular la posición dentro de la pantalla (parte 2).

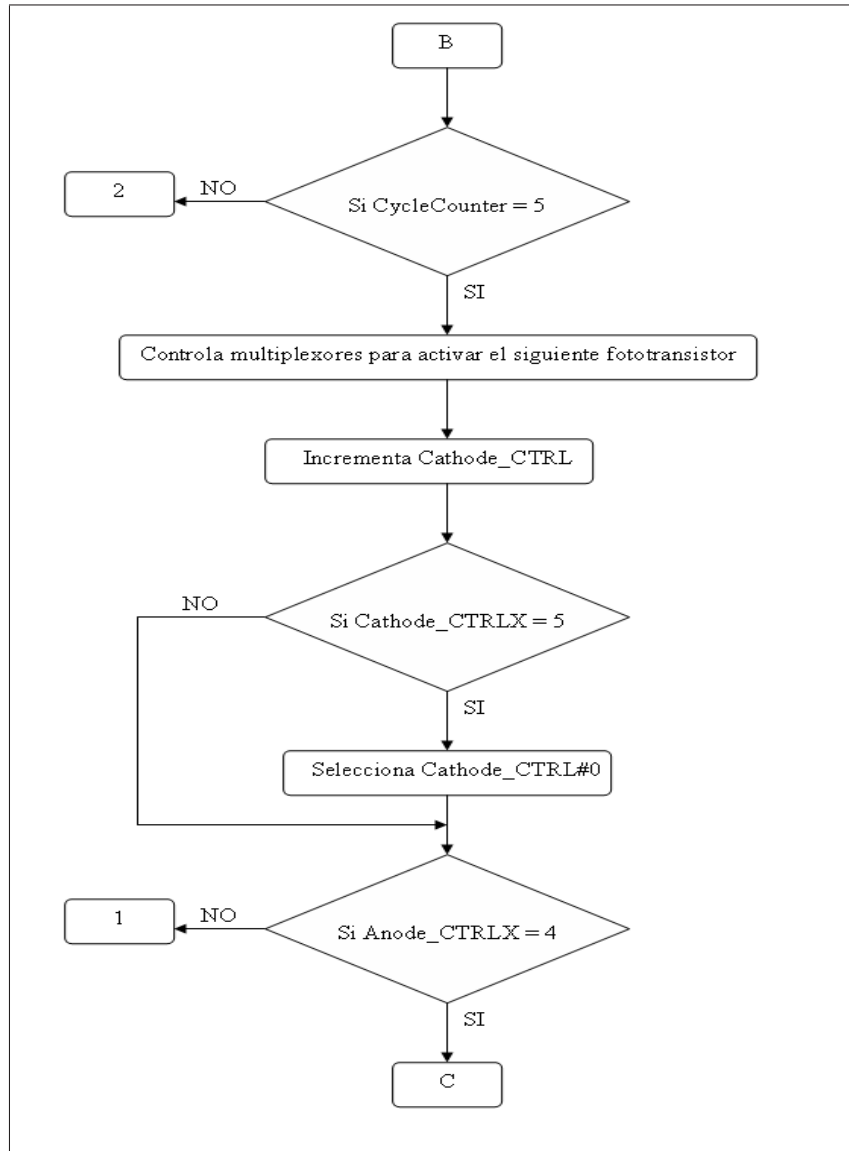


Figura 3.12: Diagrama de flujo implementado en el microcontrolador para calcular la posición dentro de la pantalla (parte 3).

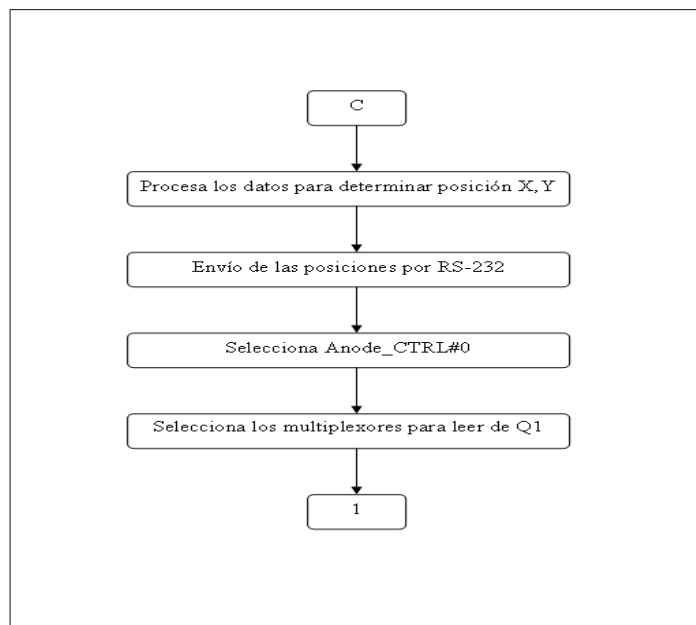


Figura 3.13: Diagrama de flujo implementado en el microcontrolador para calcular la posición dentro de la pantalla (parte 4).

Capítulo 4

Pruebas y Resultados

En este capítulo se presentan las pruebas realizadas y resultados obtenidos en la caracterización tanto del transmisor como del receptor infrarrojo. También se indica el funcionamiento del sistema completo, los resultados obtenidos con el algoritmo de detección de la posición y el envío de los datos por protocolo serial hacia la PC.

Por otro lado, se incluyen los resultados de la variación del nivel de detección del arreglo de emisores y receptores, bajo diferentes condiciones de iluminación externa.

4.1. Caracterización del circuito Transmisor

Puesto que es necesario conocer el desempeño de los dispositivos emisor y detector para efectuar un diseño adecuado de las etapas de transmisión y recepción, se realizó la caracterización de los LEDs y fototransistores. Para el caso de los LEDs se utilizó una fuente de corriente constante debido a que la potencia óptica emitida por este tipo de diodos es una función directa de la corriente que circula a través del dispositivo. El diagrama de la fuente de corriente implementada se muestra en la Figura 3.3. La salida de la fuente de corriente se utilizó para modular un LED Kingbright [Kingbright USA,] con una señal cuadrada de 10 KHz a una corriente de 202.73 mA. Con respecto al montaje mecánico para la caracterización, se utilizó un riel sobre el cual se desplazaba la etapa de recepción en línea recta y por lo tanto se aseguraba que la variación en la intensidad detectada correspondía únicamente al cambio de longitud del enlace y no a variaciones en el ángulo de apuntamiento.

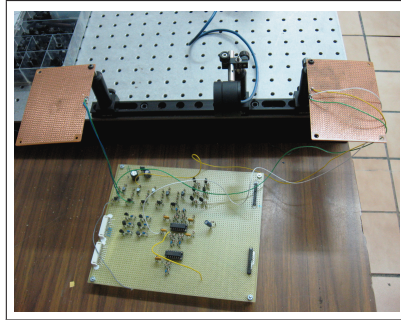


Figura 4.1: Montaje de LED y fototransistor en el riel.

En un extremo del riel se fijó el LED junto con el circuito transmisor (fuente de corriente constante) y en el otro extremo se colocó el fototransistor junto con su circuito receptor (amplificador no inversor) y se orientaron el LED con el fototransistor para obtener la máxima respuesta, tal como se muestra en la figura 4.1. En el circuito receptor se utilizó un amplificador no inversor implementado con amplificadores operacionales comerciales, de tal forma que el nivel de voltaje captado por el fototransistor pudiera ser medido sin presentar problemas de acoplamiento de impedancias.

Una vez realizado el montaje mecánico y probado las conexiones y operación de las etapas de transmisión y recepción se procedió a desplazar el fototransistor a lo largo de la longitud del riel para variar la distancia del enlace emisor-detector, se tomó una lectura de voltaje a la salida del amplificador no inversor cada 0.5 cm comenzando a una distancia de referencia de 8.0 cm y finalizando a una distancia de 24 cm. Los datos de voltaje contra distancia, considerando que se utilizó un amplificador no inversor con ganancia de 17 para amplificar el voltaje leído en el fototransistor se pueden observar en la tabla 4.1.

Posteriormente se utilizó un medidor de potencia óptica, para hacer la caracterización de la potencia óptica entregada por el LED en función de la distancia. En la tabla 4.2 se muestran los valores de potencia óptica *vs* distancia. La gráfica de los datos mencionados se puede observar en la figura 4.4.

Distancia[cm]	Voltaje[V]	Normalizado	dB
8	3.160	1.000	0.000
8.5	2.840	0.899	-0.927
9	2.600	0.823	-1.694
9.5	2.280	0.722	-2.835
10	2.040	0.646	-3.801
10.5	1.920	0.608	-4.328
11	1.680	0.532	-5.488
11.5	1.520	0.481	-6.357
12	1.440	0.456	-6.826
12.5	1.280	0.405	-7.850
13	1.240	0.392	-8.125
13.5	1.160	0.367	-8.705
14	1.080	0.342	-9.325
14.5	1.000	0.316	-9.994
15	0.900	0.285	-10.909
15.5	0.792	0.251	-12.019
16	0.728	0.230	-12.751
16.5	0.696	0.220	-13.142
17	0.648	0.205	-13.762
17.5	0.624	0.197	-14.090
18	0.576	0.182	-14.785
18.5	0.552	0.175	-15.155
19	0.528	0.167	-15.541
19.5	0.512	0.162	-15.808
20	0.480	0.152	-16.369
20.5	0.464	0.147	-16.663
21	0.440	0.139	-17.125
21.5	0.432	0.137	-17.284
22	0.416	0.132	-17.612
22.5	0.384	0.122	-18.307
23	0.376	0.119	-18.490
23.5	0.360	0.114	-18.868

Tabla 4.1: Valores medidos en el fototransistor para obtener la relación voltaje *vs* distancia.

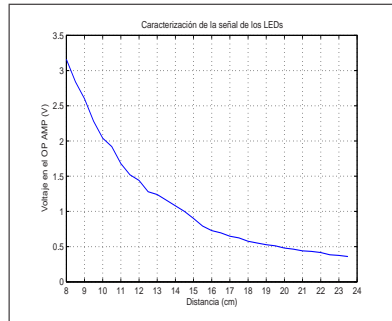


Figura 4.2: Gráfica de voltaje medido contra distancia de enlace.

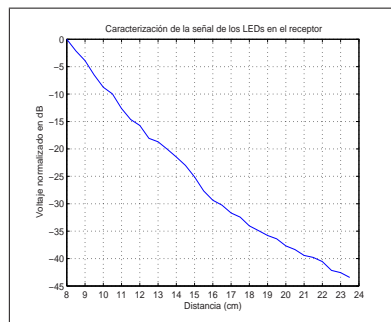


Figura 4.3: Gráfica de potencia contra distancia.

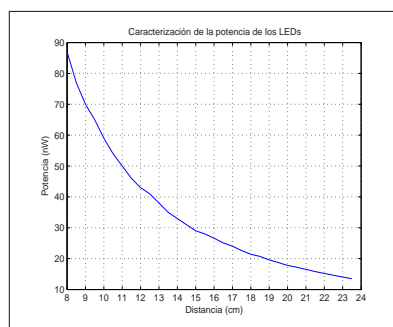


Figura 4.4: Caracterización de la potencia emitida por los LEDs Kingbright.

Distancia[cm]	Pot [nW]	Normalizado
8	87	1
8.5	77	0.885
9	70	0.804
9.5	65	0.7471
10	59	0.678
10.5	54	0.620
11	50	0.574
11.5	46	0.528
12	43	0.494
12.5	41	0.471
13	38	0.436
13.5	35	0.402
14	33	0.379
14.5	31	0.356
15	29	0.333
15.5	28	0.321
16	26.6	0.305
16.5	25.1	0.288
17	24	0.275
17.5	22.6	0.259
18	21.4	0.245
18.5	20.7	0.237
19	19.6	0.225
19.5	18.7	0.214
20	17.8	0.204
20.5	17.2	0.197
21	16.5	0.189
21.5	15.8	0.181
22	15.2	0.174
22.5	14.6	0.167
23	14	0.160
23.5	13.5	0.155

Tabla 4.2: Valores medidos de potencia óptica *vs* distancia.

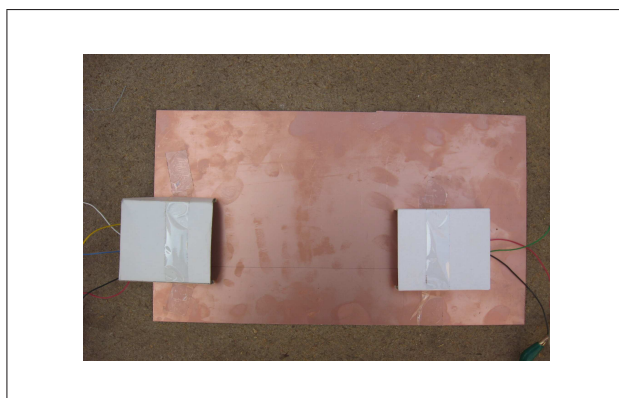


Figura 4.5: Diagrama a bloques del circuito transmisor.

4.2. Pruebas ante iluminación con luz solar.

Con el fin de conocer los efectos adversos de iluminación externa excesiva, se realizaron pruebas bajo condiciones de exposición directa a la luz solar para observar el comportamiento de los fototransistores y comprobar bajo que condiciones la luz solar pudiera enmascarar la señal transmitida por los LEDs. Lo cual evitaría que el barrido de emisores y receptores se realizara de manera adecuada y por lo tanto el microprocesador sería incapaz de proporcionar resultados de posiciones válidas.

Para realizar la prueba se utilizó una fuente corriente como la mostrada en la figura 3.3 para activar un LED con una frecuencia de 10 KHz, la señal de modulación se obtuvo por medio de un generador de funciones marca *BK Precision* modelo 4003A. La señal óptica transmitida fue captada por el fototransistor, el cual se encontraba localizado a una distancia de 8 pulgadas. El fototransistor fue polarizado en el colector con +5 V a través de una resistencia de $1\text{ K}\Omega$ y su emisor se conectó a tierra. Con ayuda de un osciloscopio marca *Tektronix*, modelo TDS2012, se monitoreó en el canal 1 la señal de corriente alterna medida en el colector del fototransistor y con el canal 2 del osciloscopio se monitoreó el nivel de corriente directa en el colector del fototransistor. Para proteger tanto a los emisores como a los receptores de la luz solar directa, se colocó un cuadro de cartón encima de los circuitos transmisor y receptor, tal como se muestra en la figura 4.5.

Puesto que la caracterización requiere una gran cantidad de lecturas de datos (realizadas bajo las mismas condiciones), se decidió utilizar un banco



Figura 4.6: Convertidor USB a GPIB marca Agilent modelo 82357A.

de caracterización controlado por medio de una computadora personal (PC) para realizar un monitoreo automático. El control de los instrumentos involucrados en el banco de caracterización se realizó con ayuda del estándar GPIB, debido a que se cuenta con instrumentos que contienen esta interfaz. Para efectuar la conexión con la PC se utilizó un convertidor USB a GPIB modelo 82357A del fabricante *Agilent*, tal como el que se muestra en la Figura 4.6. La secuencia de captura de mediciones se implementó mediante un programa hecho en lenguaje Matlab [®], el cual permitió obtener una muestra por minuto de cada uno de los canales del osciloscopio. Con dicho programa, se monitoreó la señal del fototransistor bajo luz solar durante 5 horas, de 9:00 AM a 5:00 PM en un día soleado. La Figura 4.7 muestra el comportamiento del nivel de corriente directa (DC) en función de la hora (es decir del ángulo de incidencia de la luz solar).

La señal de corriente alterna (AC) captada por el fototransistor, siempre mantuvo un nivel constante, tal como puede observarse en la Figura 4.8. La señal se comporta de la misma manera independientemente del nivel de DC que tiene el fototransistor. Este comportamiento es debido a que la tapa de cartón cubre al fototransistor suficientemente como para que la luz solar no afecte a la señal IR transmitida por el LED.

4.3. Algoritmo de detección.

Después de que fueron fabricadas las etapas del circuito electrónico correspondientes al transmisor y receptor, se desarrolló el algoritmo que rige las

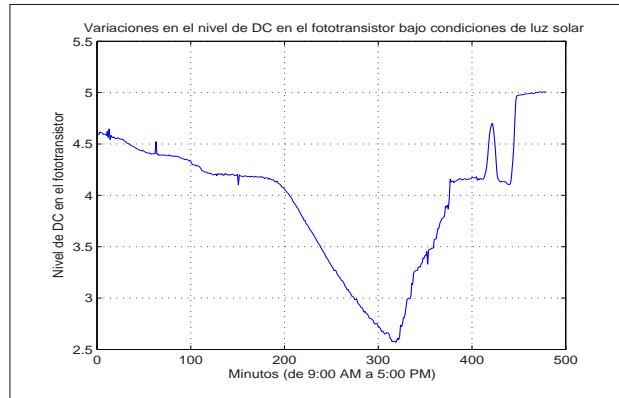


Figura 4.7: Variaciones en el nivel del DC proporcionados por fototransistor bajo diferentes condiciones de luz solar.

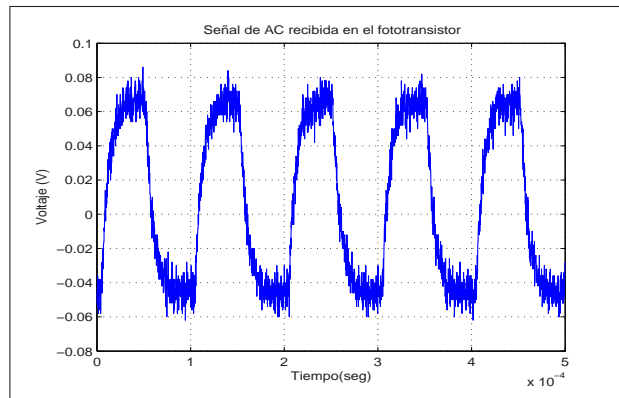


Figura 4.8: Señal de AC recibida en el fototransistor.

tareas de control del sistema touchscreen, así como el código correspondiente para un microcontrolador de 32 bits como el mostrado en el Capítulo 3. Las tareas de control del sistema touchscreen pueden resumirse en:

1. Configuración de periféricos
2. Lectura de detectores
3. Barrido de haces
4. Procesamiento de datos
5. Envío de datos de posición

El algoritmo mostrado en la Figura 4.9, fue desarrollado de tal manera que se respetara el tiempo necesario para dar una respuesta lo suficientemente rápida para el ojo humano que proporcionara la sensación de movimiento continuo. En la figura 4.17 se observa los tiempos que se deben respetar para realizar 24 barridos por segundo.

4.4. Interfaz gráfica de evaluación de desempeño del sistema touchscreen

Con el fin de desplegar las coordenadas y poder monitorear el comportamiento del sistema, se desarrolló una aplicación gráfica en lenguaje LabView[®], con la cual es posible mostrar los datos enviados por el microcontrolador y graficar la posición o posiciones válidas dentro de la pantalla con ayuda de íconos. Por otro lado, se le incluyó una opción en el programa con la cual es posible modificar la sensibilidad (es decir, el umbral) de decisión para determinar las posiciones válidas. El algoritmo implementado en el programa mencionado se indica en la Figura 4.9. Los diagramas a bloques de los procesos implementados en LabView pueden observarse en las Figuras 4.10, 4.11 y 4.12.

4.5. Diseño de circuitos impresos (PCB) del prototipo

Para verificar el funcionamiento del circuito, se desarrolló un prototipo completo (incluyendo el marco de la pantalla) en donde se montaron tanto

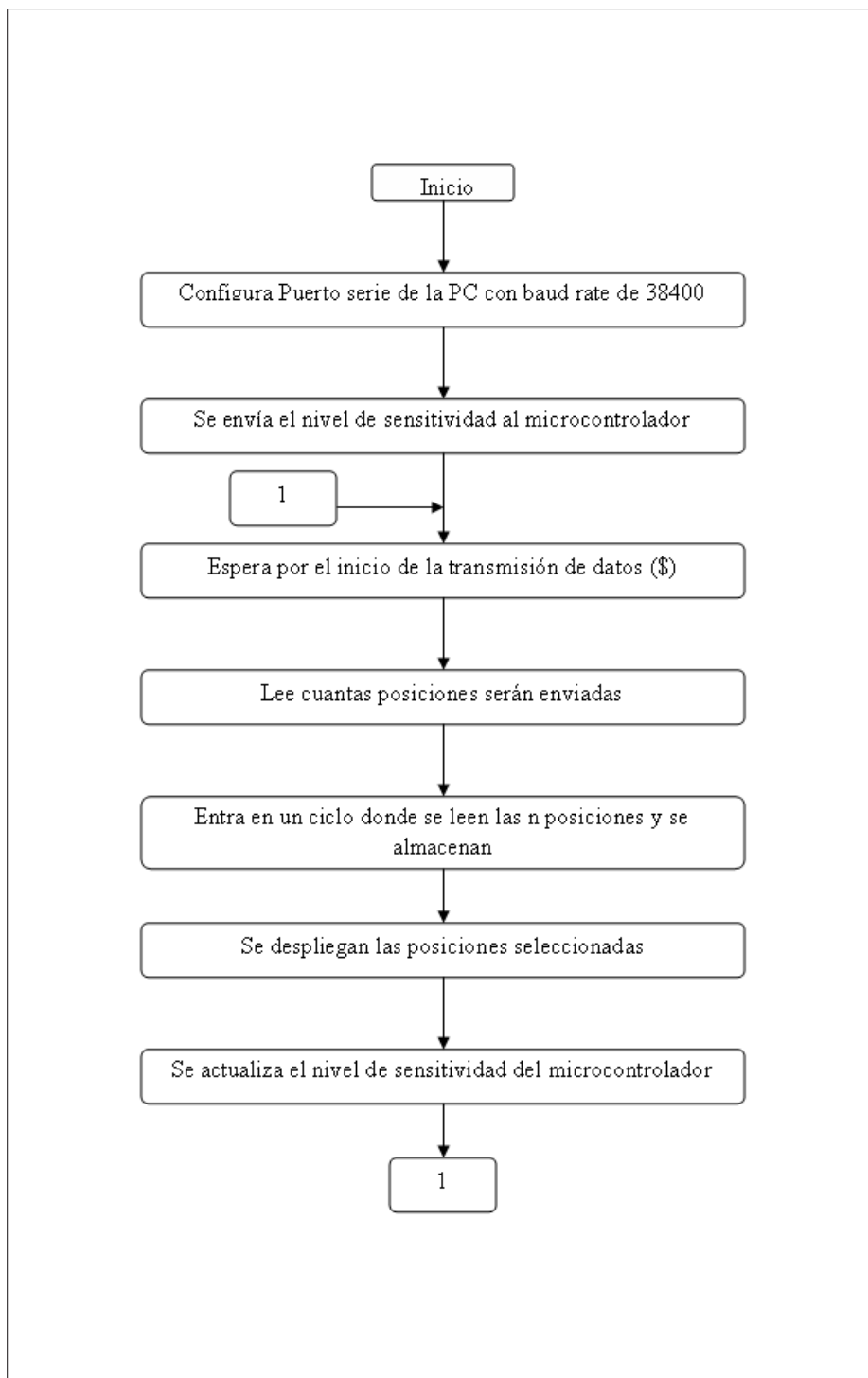


Figura 4.9: Diagrama de flujo del algoritmo implementado para la interfaz gráfica.

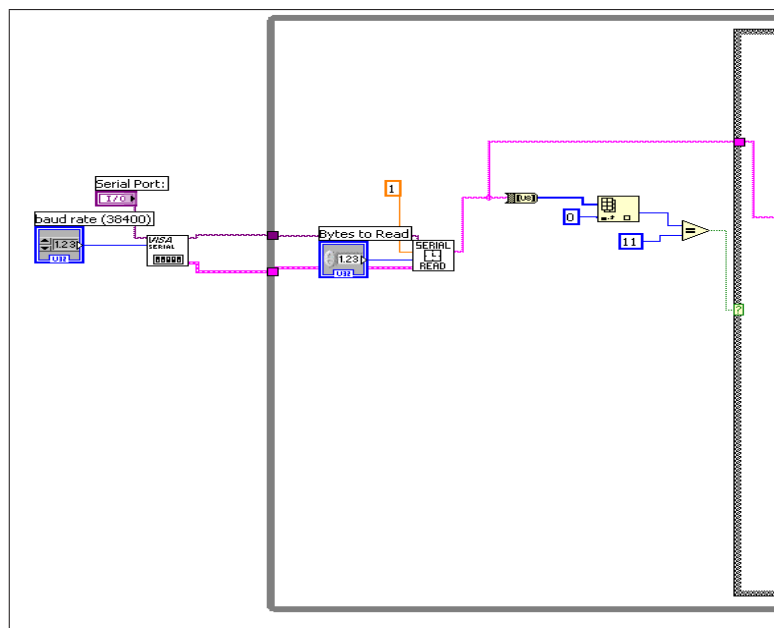


Figura 4.10: Código en lenguaje LabView de la interfaz gráfica (inicialización del puerto serial).

emisores como detectores. Los circuitos impresos se diseñaron utilizando el paquete de diseño PADS® de la compañía Mentor Graphics. También se construyó un circuito impreso principal, el cual contiene las etapas de transmisión, recepción y la etapa digital. En la parte correspondiente a la etapa digital se incluyó el microcontrolador, que controla las secuencias de barrido, procesamiento y envío de las posiciones válidas.

4.5.1. Diseño de PCBs

En la Figura 4.13 se muestran los 4 PCBs que se diseñaron para fabricar el marco (que sirve como soporte para los pares emisor-receptor) así como el PCB principal que controla el sistema. La Figura 4.14 presenta un acercamiento a unos de los PCBs del sistema para mostrar con más detalle el montaje de los dispositivos y la distribución de las pistas, para éste caso correspondiente a los emisores infrarrojos.

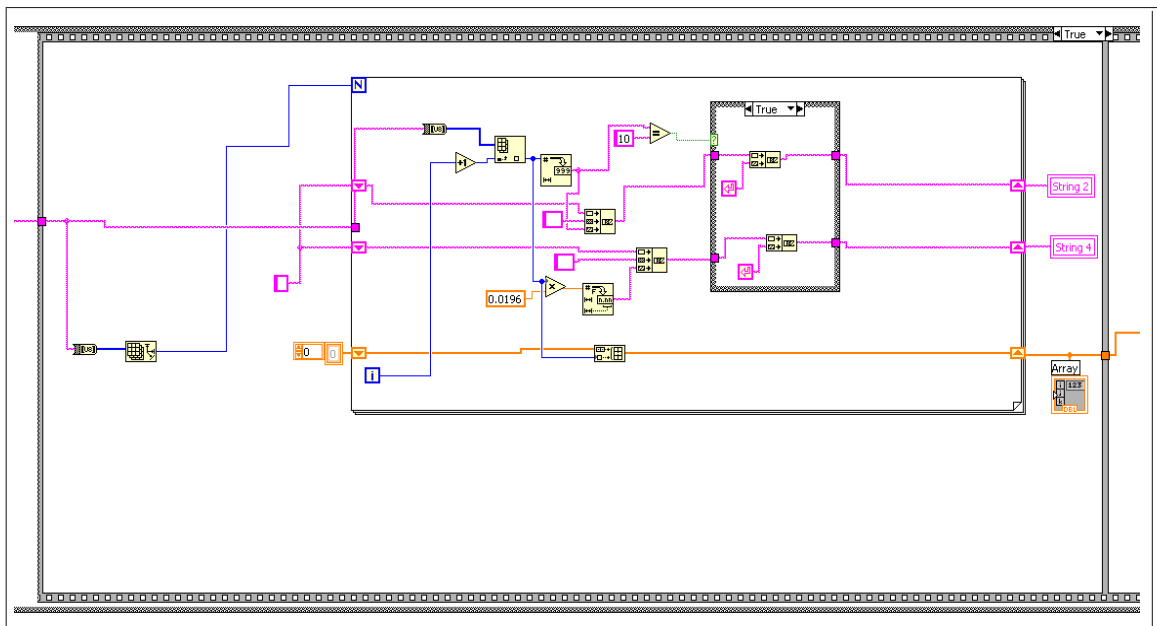


Figura 4.11: Código en lenguaje LabView de la interfaz gráfica (lectura de posiciones X,Y).

4.5.2. Sistema touchscreen integrado

La figura 4.15 muestra el momento en que está siendo probado el sistema touchscreen mediante el posicionamiento de un dedo dentro del área activa de la pantalla. Como se ha mencionado anteriormente, una vez que el sistema es encendido y se completan las rutinas de inicialización, se mantiene un barrido de haces infrarrojos que cubre la pantalla en forma continua, por lo que la respuesta a una entrada como la que se muestra en la Figura 4.15 se puede monitorear en la forma que se ilustra en la Figura 4.16. Los cuadros azules representan al objeto que interfiere los haces en el prototipo y se despliegan en la posición correspondiente a la zona seleccionada en la pantalla de la computadora. El valor numérico de las coordenadas es calculado por medio del microcontrolador que se encuentra detectando las posiciones válidas siempre que este encendido el sistema touchscreen.

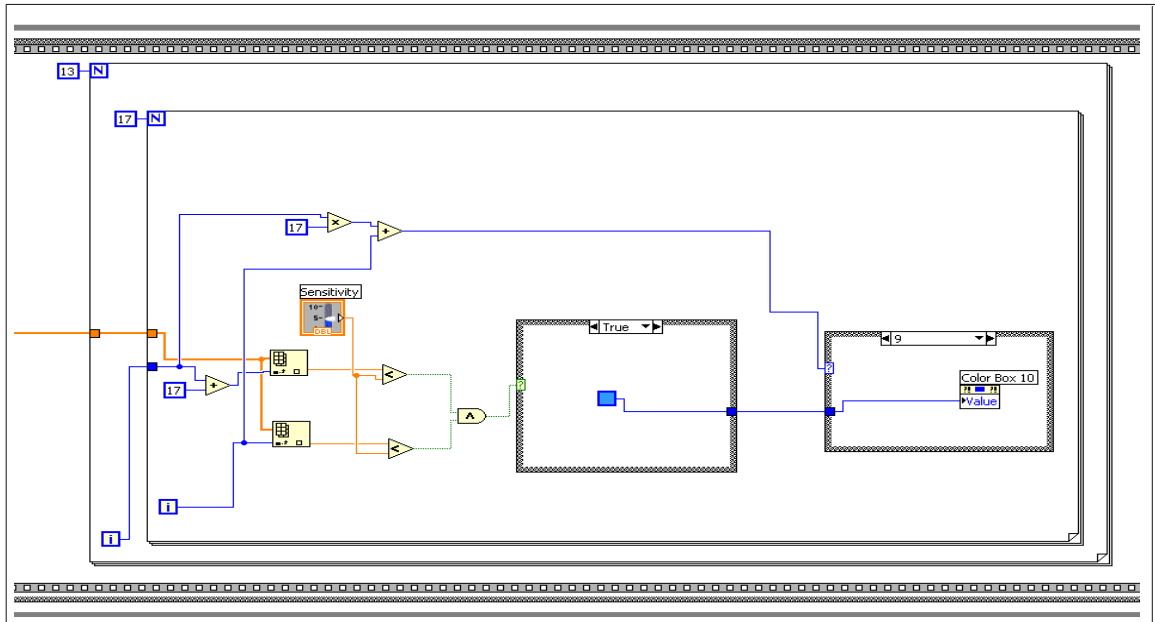


Figura 4.12: Código en lenguaje LabView de la interfaz gráfica (despliegue de posiciones válidas dentro de la pantalla).

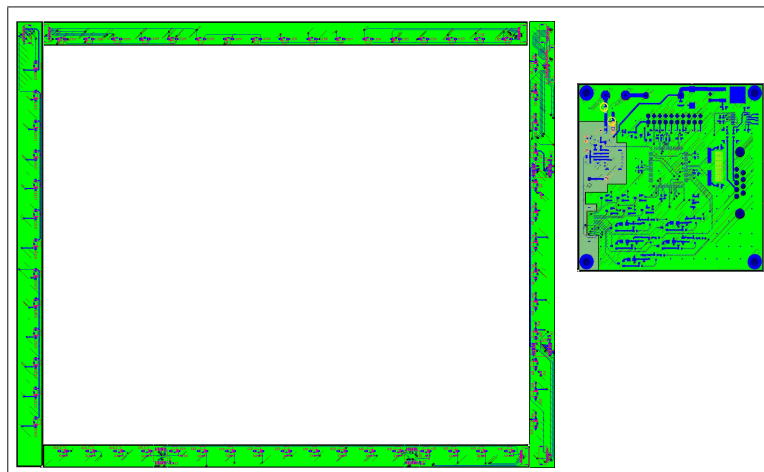


Figura 4.13: Circuitos impresos fabricados para el prototipo.

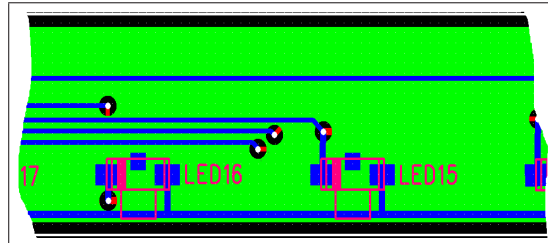


Figura 4.14: Acercamiento a un PCB del prototipo, en donde se puede apreciar con más detalle el montaje y las pistas.

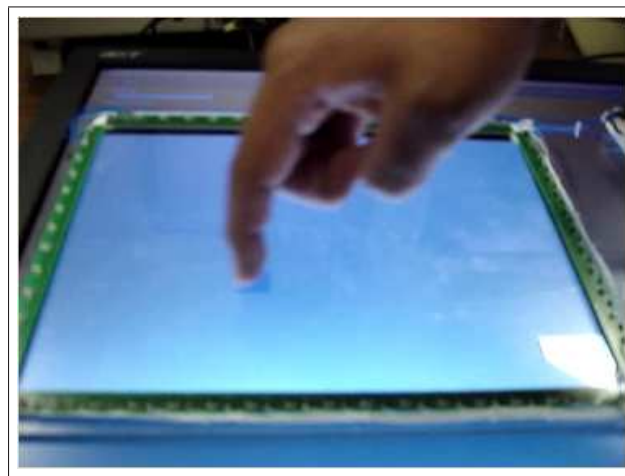


Figura 4.15: Posicionamiento y detección de un objeto dentro de la pantalla del sistema touchscreen prototipo.

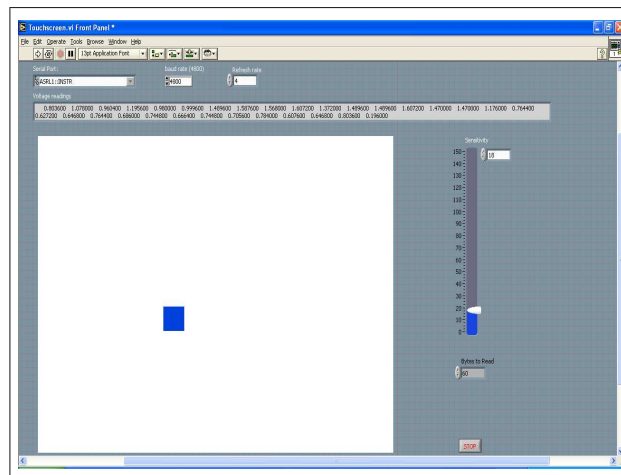


Figura 4.16: Respuesta de la aplicación gráfica en la computadora.

4.5.3. Control del tiempo de barrido

El algoritmo implementado en el microcontrolador mostrado en las Figuras 3.10, 3.11, 3.12 y 3.13, fue desarrollado de tal manera que se respetó el tiempo necesario para dar una respuesta lo suficientemente rápida para el ojo humano y proporcionar así la sensación de movimiento continuo. En la Figura 4.17 se describe de manera gráfica la composición de los tiempos a respetar para realizar 24 barridos por segundo (cadencia empleada en las películas de cine para dar sensación de movimiento).

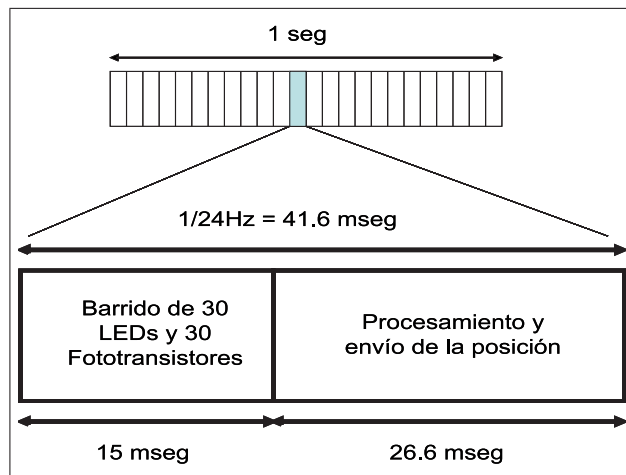


Figura 4.17: Composición del tiempo de barrido.

Capítulo 5

Conclusiones Generales

5.1. Conclusiones

En este trabajo, se diseñó e implementó una interfaz hombre-máquina touchscreen del tipo infrarrojo. Dicho sistema proporciona varias ventajas en relación a las tecnologías touchscreen competidoras, entre las que se pueden mencionar: la robustez (ya que no utiliza partes mecánicas que sufran desgaste) y un incremento en la vida útil del sistema (puesto que su operación solo está limitada por la duración de los componentes electrónicos utilizados). Además, dado que los sensores están colocados sobre el marco de la pantalla, se puede conseguir una transparencia cercana al 100 % y esta característica es muy importante, debido a que el usuario no perderá detalles de la información visual proporcionada por el sistema.

El diseño y justificación de cada etapa del sistema se indican claramente, haciendo énfasis en la solución de los problemas encontrados a lo largo de éste trabajo. Con el fin de asegurar un correcto desempeño del sistema touchscreen, se dio una gran importancia al diseño del receptor, debido principalmente a que ésta es la parte más crítica del sistema por su exposición a diversas fuentes de ruido que pueden contribuir a la degradación de la señal emitida por los LEDs infrarrojos. Para evitar que los niveles de ruido llegaran a saturar a los fototransistores y con ello hacer inoperante al sistema touchscreen se redujo el nivel de ruido por medio de filtros analógicos cuyo ancho de banda permitía el paso de la señal deseada sin degradarla.

La elección de dispositivos que forman los pares emisor-receptor infrarrojos se basó tanto en las características de emisión y detección espectral, como

de su desempeño eléctrico. Para asegurar una adecuada operación de los dispositivos se realizaron pruebas de caracterización para valorar: la potencia óptica entregada por el emisor (LED infrarrojo) en función de la distancia, la potencia mínima de operación y el ruido detectado en el fototransistor infrarrojo. También se midió el nivel de desbalance en el circuito de amplificación empleado en el sistema para calcular el valor adecuado del nivel de decisión. En cuanto a la parte de circuitería digital se eligió un microcontrolador con núcleo ARM de 32 bits debido a su robustez y bajo costo.

Para verificar el desempeño total del sistema se construyó un prototipo, el cual requirió de 4 circuitos impresos (PCB) para formar el marco de la pantalla: 2 PCBs para los emisores y dos PCBs para los detectores infrarrojos. También se fabricó un PCB principal en donde se incluyeron las etapas de: transmisión, recepción, interfaz RS-232 y del microcontrolador.

La verificación de despliegue “*instantáneo*” de coordenadas se efectuó con ayuda de una interfaz gráfica desarrollada en lenguaje LabView ®, la cual permitió seguir la posición de un objeto sobre la pantalla desplegando un ícono indicador sobre la posición seleccionada, al mismo tiempo que indicaba las coordenadas numéricas que el microcontrolador transmitía. Una verificación subjetiva por parte de algunos usuarios (ajenos al desarrollo del sistema) con respecto a la sensibilidad y exactitud del sistema, arrojó resultados muy positivos en cuanto a su facilidad de utilización.

Tanto la circuitería como la programación se diseñaron para trabajar en condiciones de iluminación interior. Con el fin de evaluar la degradación del sistema expuesto a incidencia de luz solar directamente sobre la pantalla, se realizaron diversas pruebas y los resultados obtenidos indican que es posible utilizar éste sistema bajo condiciones de luz solar, siempre y cuando los fototransistores estén protegidos con el marco de la pantalla, de tal manera que se restrinja el ángulo de vista del fototransistor.

5.2. Aportaciones

Entre las principales aportaciones de éste trabajo se pueden mencionar:

- Documentación de la metodología para el diseño de sistemas touchscreen IR
- Construcción de un prototipo touchscreen IR

- Desarrollo de un banco de pruebas para caracterización del desempeño del sistema y componentes con ayuda de instrumentos controlados por medio de una computadora personal.
- Desarrollo de una interfaz gráfica para evaluar de manera didáctica el funcionamiento de un sistema touchscreen.
- Mostrar la capacidad de desarrollo de sistemas tecnológicos de alto valor agregado al aplicar la ingeniería electrónica en el diseño de equipos versátiles con potencial de aplicación en múltiples entornos.

5.3. Trabajo a futuro

Es necesario mencionar que además de la importancia técnica y académica del sistema desarrollado, su impacto social y económico dependerá directamente de su implementación como interfaz hombre-máquina en ambientes que ofrezcan al usuario facilidad de operación y reducción de errores en tareas tales como el monitoreo y control de riego en campos agrícolas o control de iluminación y ventilación en edificios con solo presionar posiciones específicas de la pantalla. Para mejorar la aceptación de este tipo de interfaces se recomienda desarrollar programas con calidad profesional que permitan al usuario acceder a la información de la aplicación deseada, e ingresar instrucciones de manera intuitiva. Finalmente, se recomienda desarrollar programas que instalen de manera transparente al usuario las aplicaciones que permitan conectar con facilidad el sistema touchscreen por medio de un puerto serial universal (USB) a una computadora personal, tal como se conectan actualmente periféricos (ratones, memorias, etc.) que inmediatamente son reconocidos por las computadoras y están listos para utilizarse casi de forma inmediata.

Bibliografía

- [nem,] NEMA. Standard. <http://www.nema.org>.
- [Nar, 1996] (1996). *Effect of Electronic-Ballast Fluorescent Lighting on Wireless Infrared Links*.
- [Elo, 1998] (1998). *Handbook of Touch Technology*. Elo TouchSystems.
- [A. Sears et al., 1993] A. Sears, D. Revis, J. Swatski, B. Crittenden, and Schneiderman, B. (1993). Investigating touchscreen typing: the effect of keyboard size on typing speed. *Behaviour & Information Technology*, 12:17–22.
- [A. T. Welford, 1968] A. T. Welford (1968). *Fundamentals of skill*. Methuen, London.
- [Alexander, 1997] Alexander, S. (1997). Optical communication receiver design. *IEE Telecommunication*, Vol. 37.
- [A.M. Street and O'Brien, 1997] A.M. Street, P. S. and O'Brien, D. (1997). Indoor optical wireless systems -A review. *Optical and Quantum Electronics*, 29:349–378.
- [Andrew Sears et al., 1992] Andrew Sears, Catherine Plaisant, and Ben Schneiderman (1992). *A new era for high-precision touchscreens*, volume 3. Ablex, Norwood, NJ.
- [Blattner and Greenberg, 1989] Blattner, M. M. and Greenberg (1989). *Earcons and icons: Their structure and common design principles*. Human-Computer Interaction 4.

- [English and Berman, 1967] English, William K., E. D. C. and Berman, M. L. (1967). Display selection techniques for text manipulation. *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics*, pages 5–15.
- [F.Ñiblers and Schmerhr, 1996] F.Ñiblers, K. Kupfer, W. J. N. K. M. L. P. P. A. R. and Schmerhr, F. (1996). High frequency circuit engineering. iee.
- [Foley and Chan, 1984] Foley, James D., W. V. L. and Chan, P. (1984). The human factors of computer graphics interaction techniques. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 4:13–48.
- [F.R. Gfeller and Vettiger, 1978] F.R. Gfeller, H. M. and Vettiger, P. (1978). Infrared communication for in-house applications. *IEEE COMPCON 78*, pages 132–178.
- [G. Jacobsen, 1994] G. Jacobsen (1994). *Noise in Digital Optical Transmission System*. Artech House.
- [Gould and Barnes, 1985] Gould, John D., L. C. and Barnes, V. (1985). Effects of cursor speed on text-editing. *Proc. ACM CHI '85 Conference*, pages 7–10.
- [Gungl, 1989] Gungl, K. P. (1989). *Computer interface and touchsensitive screens*. IBM Labor E+F, West Germany.
- [Haller and Voss, 1984] Haller, R., M. H. and Voss, M. (1984). Comparison of input devices for correction of typing errors in office systems. *INTERACT 84*, pages 218–223.
- [Ian Maxwell, 2007] Ian Maxwell (2007). *An Overview of Optical Touch Technologies*. Information Display, New York U. S.
- [Karat and Anderson, 1984] Karat, John, M. J. and Anderson, M. (1984). A comparison of selection techniques: Touch panel, mouse and keyboard. *INTERACT 84*, pages 149–153.
- [Kingbright USA,] Kingbright USA. SMD Infrared LED. Catalog on line. <http://www.kingbrightusa.com/>.
- [Kotzin and den Heuvel, 1986] Kotzin, M. and den Heuvel, A. V. (1986). A duplex infra-red system for in-building communications. *IEEE VTC*, pages 179–185.

- [Liptak, 2005] Liptak, B. G. (2005). *Intrument Engineers' Handbook: Process Control and Optimization*. CRC Press, fourth edition edition.
- [Lynne A. Price, 1984] Lynne A. Price (1984). Studying the mouse for CAD systems. In *DAC '84: Proceedings of the 21st conference on Design automation*, pages 288–293, Piscataway, NJ, USA. IEEE Press.
- [M. Gebhart and Bregenzer, 2003] M. Gebhart, E. L. and Bregenzer, J. (2003). Atmospheric effects on optical wireless links. *7th International Conference on Telecommunications (ConTEL)*, pages 395–401.
- [MacKenzie, 2002] MacKenzie, S., R. S. (2002). *Text entry for mobile computing: models and methods, theory and practice*.
- [M.N. Zoran, 2000] M.N. Zoran (2000). Optimal receiver for touch signal detection. *Ei Televizija*.
- [N. C. Goodwin, 1975] N. C. Goodwin (1975). Cursor positioning on an electronic display using lightpen, lightgun, or keyboard for three basic tasks. *Human Factors 17*, pages 289–295.
- [Paul M. Fitts, 1954] Paul M. Fitts (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47(6):381–391.
- [Rogers, 2006] Rogers, W. A., O. M. A. M. L. A. C. (2006). *Selection and design of input devices for assistive technologies*. Sch. of Psychol., Georgia Inst. of Technol., Atlanta, GA.
- [Shneiderman, 1992] Shneiderman, B. (1992). *Designing the user interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. Addison-Wesley, The University of Maryland, second edition edition.
- [Sol Sherr, 1988] Sol Sherr (1988). *Input Devices*. Academic Press, San Diego, CA.
- [STMicroelectronics, 2008] STMicroelectronics (2008). STR73xFxx. STR73x reference manual. <http://www.st.com>.
- [Veck, 1985] Veck, N. (1985). Atmospheric transmission and natural illumination (visible to microwave regions). *GEC Journal of Research*, pages 209–223.

[Z. Milivojevic, 1997] Z. Milivojevic (1997). *Touchscreen in Touch terminal and monitor*. Informacione Tehnologije.