

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERÍA**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA PIZARRA DIGITAL INTERACTIVA  
MULTIUSUARIO CON DESARROLLO DE APLICACIÓN PARA TELE  
EDUCACIÓN EN PERSONAS CON CAPACIDADES DIFERENTES”**

**JULIO CÉSAR CARRIÓN CASTELLANOS**

**ROBERTO DANIEL TORRES FONSECA**

**SANGOLQUÍ – ECUADOR**

**2012**

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto de grado titulado **“Implementación de una Pizarra Digital Interactiva multiusuario con desarrollo de aplicación para tele educación en personas con capacidades diferentes”**;, ha sido desarrollado en su totalidad por los señores; **Julio César Carrión Castellanos** con C.I.: 1715959209 y **Roberto Daniel Torres Fonseca** con C.I.: 1711862514, bajo nuestra dirección, el cual ha sido guiado y revisado periódicamente, por lo que cumple con las normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército,

---

Ing. Fabián Sáenz

**DIRECTOR**

---

Ing. Carlos Romero

**CODIRECTOR**

## RESUMEN

En el presente proyecto titulado *“Implementación de una Pizarra Digital Interactiva multiusuario con desarrollo de aplicación para tele educación en personas con capacidades diferentes”*, se realizó la implementación del hardware y software de una PDi, presentando una solución distinta que contribuya con las diferentes metodologías de enseñanza utilizadas en la actualidad por el institutos educativos.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron varias herramientas tales como el lenguaje de programación C#, el mismo que sirvió para desarrollar el software de funcionamiento de la PDi, además se utilizó el lenguaje de programación Visual Basic con el cual se elaboró el software de teleeducación. Para la implementación de hardware se utilizaron varios estándares de comunicación inalámbrica como Bluetooth para conseguir la comunicación ente los dispositivos, como también IrDA para la detección de un punto en el espacio sobre la superficie de proyección.

En cuanto al desarrollo del hardware se utilizaron varios dispositivos electrónicos tales como resistencias, capacitores, puentes de diodos, ya que se elaboró una fuente de voltaje continuo para alimentar el circuito final. Se utilizó también el dispositivo *WiiRemote®* debido a sus excelentes características y prestaciones.

El proyecto está enfocado en desarrollar una solución que permita llevar la educación a un entorno digital, en el cual tanto el maestro como los alumnos tengan mayor interacción con los recursos actuales como internet y con software especializado para pizarras digitales. Este proceso permitirá desarrollar diferentes habilidades en los alumnos y mejorar el sistema de aprendizaje actual.

## DEDICATORIA

*A Dios, por ser mi amigo incondicional quien me guía por el camino de la verdad y la vida.*

*A mis queridos padres Carlos Julio y Cecilia Mercedes, quienes han sido un pilar fundamental de mi educación; ya que gracias a sus principios y valores, han hecho de mi un ser humano de perseverancia, honestidad y sobre todo sencillez, han sido ustedes, que con cariño, paciencia y dedicación, han permitido en mi; formar mi carácter y visión a futuro para conseguir lo que me proponga. Esta es una pequeña muestra de correspondencia, en referencia a todo lo que han hecho por mí; tengan la seguridad de que vendrán muchos éxitos más por delante.*

*A mi querido hermano Juan Carlos, con quien he compartido toda mi vida, e indudablemente que éste y la consecución de sus éxitos como los míos en un futuro; afiancen nuestros lazos de hermandad para toda la vida.*

*A mis queridas abuelitas Ma. Teresa Garcia, y Raquel León, que con mucho cariño siempre las recuerdo, e intento seguir todas sus enseñanzas que desde muy niño me impartían; son mis angelitos en el cielo que de igual forma me protegen y guían mi camino al andar.*

**Julio César Carrión Castellanos**

## DEDICATORIA

*El presente trabajo ha sido la culminación de una de las etapas más importantes y trascendentes de mi vida, por eso se lo dedico:*

*A mi madre la Dra. Rocío Fonseca porque en todo momento de mi vida estuvo presente para darme su amor y apoyo incondicional, motivándome a seguir adelante sin importar cuantos obstáculos tenga frente a mí, y enseñándome que con esfuerzo y perseverancia se pueden alcanzar todas nuestras metas.*

*A mi abuelo Dr. Carlos Fonseca Zambrano quien siempre ha sido un padre cariñoso y empeñoso en que todos sus nietos salgamos adelante y sigamos en busca de obtener una profesión, que posteriormente nos permita progresar a nivel personal y profesional; nunca olvidaré los consejos que me dio, me da y me seguirá dando, los mismos que han sido fundamentales para mi formación y para ser un hombre honesto y de bien.*

*También deseo extender esta dedicatoria a mi familia en general, a mi hermano Carlos, a mis tíos y tías, a todos mis primos que son como mis propios hermanos, finalmente quiero realizar una especial dedicatoria para mi padre el Ing. Fernando Javier Torres y para Dios quienes siempre están conmigo cuidándome y dándome fuerza para seguir adelante todos los días de mi vida.*

**Roberto Daniel Torres Fonseca**

## AGRADECIMIENTO

*A mis queridos padres Carlos Julio, y Cecilia Mercedes que por su esfuerzo y dedicación me apoyaron incondicionalmente durante todo mi proceso de formación personal y profesional.*

*A mi querido hermano Juan Carlos, por su apoyo y compañía, a mis abuelitas, tíos y tías, primos y primas, y a mi familia en general que depositó su confianza en mí y que de alguna u otra forma colaboraron en la consecución de este logro.*

*A mis queridos e incondicionales amigos y amigas; que desde tiempos de escuela y colegio, hemos formado lazos entrañables de amistad, y siempre han estado a mi lado en momentos de alegría y tristeza.*

*A María Augusta, David, Henry, como también amigos y amigas de la universidad, quienes me acompañaron en esta trayectoria de aprendizaje, donde juntos superamos todas las metas planteadas, y a la vez vivimos experiencias inolvidables que sin duda alguna; no solo han aportado en mi desarrollo profesional, sino también en mi desarrollo personal.*

*A Roberto, quien con nuestro apropiado trabajo en equipo, y su aporte de conocimiento, esfuerzo y entrega; fue sin duda alguna parte fundamental, para la consecución del presente proyecto.*

*A los Ingenieros que fueron mis docentes durante la carrera; y una mención especial a Fabián Sáenz y Carlos Romero; director y codirector del proyecto respectivamente, ya que por medio de su orientación, enseñanza, y herramientas impartidas, fueron y serán de gran aporte para complementar mi formación profesional.*

**Julio César Carrión Castellanos**

## AGRADECIMIENTO

*Quiero agradecer a Dios por darme energías para culminar esta importante etapa de mi vida, y por ayudarme incondicionalmente a alcanzar todos los propósitos y metas que me he planteado.*

*A mi madre quien siempre ha estado a mi lado para ayudarme a solventar cualquiera de mis necesidades y sobre todo para brindarme apoyo y cariño en todos los momentos de mi vida.*

*A mi Hermano, abuelos, primos y tíos quienes siempre han estado presentes para brindarme su apoyo en cualquier situación o momento.*

*A mi compañero de proyecto Julio César Carrión Castellanos quien con sus conocimientos, esfuerzo y dedicación fue sin duda una parte fundamental, para que el presente proyecto se concrete de forma exitosa.*

*A mi Director el Ingeniero Fabián Sáenz y a mi Codirector el Ingeniero Carlos Romero, estoy inmensamente agradecido por todo su apoyo a nivel académico pero sobre todo por su apoyo a nivel personal durante el transcurso del presente proyecto de grado.*

*A todos mis amigos de la universidad con quienes compartí momentos inolvidables, a ustedes les agradezco por apoyarme en ese largo proceso que fue la vida universitaria.*

**Roberto Daniel Torres Fonseca**

## PRÓLOGO

En el presente proyecto se pretende realizar el diseño e implementación de una Pizarra Digital interactiva, presentando una solución tecnológica innovadora y diferente a las técnicas tradicionales de enseñanza.

Considerando la actual situación socioeconómica del país, las herramientas educativas de última tecnología no están al alcance de todas las personas o instituciones de aprendizaje, por lo que se presenta dicha alternativa, la cual es de interés colectivo, lo que permitirá brindar accesibilidad a escuelas, colegios y universidades sin importar sus recursos económicos y sobre todo que dichas instituciones cuenten con un instrumento de última tecnología.

Tomando en cuenta lo antes mencionado es imperativo innovar en nuevas tecnologías que estén enfocadas a la tele educación, con la finalidad de que el método de enseñanza de los docentes, disponga de herramientas de apoyo, las cuales permitan cumplir con los propósitos de enseñanza de una manera más eficaz y eficiente; las clases resultan más atractivas y vistosas, tanto para el docente como para los alumnos, por la posibilidad de uso de recursos de índole tecnológico y aplicaciones educativas que de alguna forma complementaran la formación que reciben las personas que estén inmersas en la educación y con mayor razón aquellas con capacidades diferentes.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	vi
PRÓLOGO .....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xv
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO .....	2
1.2.1. Justificación .....	2
1.2.2. Importancia.....	2
1.3. ALCANCE DEL PROYECTO .....	3
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos .....	3
CAPÍTULO II .....	5
FUNDAMENTO TEÓRICO.....	5
2.1. MATERIAL DIDÁCTICO CONVENCIONAL.....	5
2.1.1. Introducción .....	5
2.1.2. La Pizarra .....	6
2.1.3. Magnetógrafo y el Franelógrafo.....	15
2.1.4. Papelógrafo .....	16
2.1.5. El Cartel.....	18
2.2. PIZARRA DIGITAL.....	19
2.2.1. Que es la Pizarra Digital Interactiva (PDi) .....	20

2.2.2.	Elementos que integran la Pizarra Interactiva .....	21
2.2.3.	Funcionamiento de la pizarra Digital Interactiva .....	22
2.2.4.	Tipos de Pizarra Interactiva y Accesorios Asociados .....	24
2.2.5.	Comparativa de los Tipos de Pizarra Digital Interactiva .....	31
2.2.6.	Beneficios de la Implementación de la Pizarra Interactiva.....	33
2.2.7.	La Pizarra Digital en Educación Especial .....	35
2.3.	TECNOLOGÍA APLICADA EN LA PIZARRA DIGITAL INTERACTIVA.....	37
2.3.1.	Comunicación Bluetooth (IEEE 802.15.1) .....	37
2.3.2.	Comunicación Infrarroja (IrDA) .....	43
2.3.3.	Dispositivo de Conexión con el Ordenador.....	47
2.4.	CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE REQUERIDO PARA EL DESARROLLO DE LA PIZARRA DIGITAL.....	57
2.4.1.	Consideraciones Generales .....	57
2.4.2.	Lenguaje de Programación C# .....	58
2.4.3.	Características Generales de C#.....	59
2.5.	SOFTWARE PARA TELEEDUCACIÓN.....	62
2.5.1.	Antecedentes.....	62
2.5.2.	Características.....	62
CAPÍTULO III .....		64
DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN .....		64
3.1.	HARDWARE .....	64
3.1.1.	Introducción. ....	64
3.1.2.	Elaboración del lápiz de luz infrarroja.....	64
3.1.3.	Elaboración del dispositivo de recepción.....	70
3.1.4.	Esquema general del hardware desarrollado. ....	85
3.2.	SOFTWARE.....	85
3.2.1.	Estudio del funcionamiento general del programa.....	86
3.2.2.	Conexión del dispositivo de recepción con el ordenador utilizando el software IVT Bluesoleil®.....	106
CAPITULO IV .....		110
PRUEBAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES .....		110

4.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	110
4.1.1. Pruebas de funcionamiento del lápiz infrarrojo.....	110
4.1.2. Pruebas de ubicación del dispositivo de recepción. ....	111
4.1.3. Pruebas de Tracking entre el dispositivo de recepción, y resultados experimentales. ....	122
4.1.4. Pruebas de funcionalidad del software para tele educación.....	124
4.1.5. Resultados finales .....	127
CÁPITULO V .....	130
CONCLUSIONES.....	130
ANEXO I.....	133
MANUAL DE USUARIO DE LA PDi.....	133
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	140

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

Figura. 2.1. La Pizarra Convencional .....	8
Figura. 2.2. Pizarra de Tiza .....	9
Figura. 2.3. Pizarra Blanca de Tiza Líquida .....	11
Figura. 2.4. El Magnetógrafo .....	16
Figura. 2.5. El Papelógrafo.....	17
Figura. 2.6. El Cartel .....	19
Figura. 2.7. Funcionamiento de una PDi .....	23
Figura. 2.8. Pizarra Digital Interactiva de Gran Formato Smart Board .....	25
Figura. 2.9. PDi Portátil MIMIO.....	26
Figura. 2.10. PDi Portátil eBeam .....	27
Figura. 2.11. PDi Numonics.....	28
Figura. 2.12. PDi Interwrite.....	28
Figura. 2.13. PDi QOMO .....	29
Figura. 2.14. PDi eBeam Edge Projection.....	30
Figura. 2.15. PDi Polyvision TS Series.....	31
Figura. 2.16. Protocolo de comunicación Bluetooth .....	41
Figura. 2.17. Protocolo de comunicación IrDA .....	43
Figura. 2.18. Imagen del Acelerómetro sobre la placa PCB Wiimote.....	51
Figura. 2.19. Imagen del chip de comunicación Bluetooth integrado en el Wiimote..	52
Figura. 2.20. Imagen de la cámara sobre la placa PCB del Wiimote .....	53
Figura. 2.21. Imagen superior de la placa de circuito impreso del Wiimote .....	54
Figura. 2.22. Imagen inferior de la placa de circuito impreso del Wiimote .....	54
<b>CAPÍTULO III: DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN</b>	
Figura. 3. 1. Primer circuito de montaje del lápiz infrarrojo .....	65
Figura. 3.2. Envoltura de un lápiz infrarrojo.....	66
Figura. 3.3. Primer circuito de lápiz infrarrojo completo .....	66
Figura. 3.4. Bolígrafo con led de luz ultravioleta.....	67
Figura. 3.5. Pieza con baterías, led y pulsador .....	67
Figura. 3.6. Pines de polarización del led.....	68

Figura. 3.7. Pieza con baterías, led y pulsador .....	68
Figura. 3.8. Funcionamiento del dispositivo .....	69
Figura. 3.9. Circuito fuente de voltaje para el dispositivo de recepción.....	71
Figura. 3. 10. Pistas del circuito .....	74
Figura. 3. 11. Circuito impreso de la fuente de voltaje .....	74
Figura. 3. 12. Vista frontal de la caja de almacenamiento.....	75
Figura. 3. 13. Vista posterior de la caja de almacenamiento.....	76
Figura. 3. 14. Vista lateral derecha de la caja de almacenamiento .....	76
Figura. 3. 15. Vista lateral izquierda de la caja de almacenamiento.....	77
Figura. 3. 16. Vista superior de la caja de almacenamiento.....	78
Figura. 3. 17. Vista inferior de la caja de almacenamiento.....	79
Figura. 3.18. Identificar el Wiimote .....	107
Figura. 3.19. Actualización de servicios .....	108
Figura. 3. 20. Conexión con el Wiimote.....	108
Figura. 3.21. Dispositivo conectado exitosamente .....	109
<b>CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES</b>	
Figura. 4.1. Posicionamiento del dispositivo cuando la proyección tiene una altura de 1.5 m. ....	112
Figura. 4.2. Cálculo del ángulo $\alpha$ .....	115
Figura. 4.3. Cálculo de distancias entre el dispositivo y la proyección .....	117
Figura. 4.4. Distancia de visión utilizada para observar toda la proyección. ....	118
Figura. 4.5. Aplicación banderas del mundo .....	125
Figura. 4.6. Inicio de la aplicación de seguimiento de puntos .....	126
Figura. 4. 7. Aplicación de sucesión de puntos .....	126
Figura. 4.8. Presentación inicial del programa .....	127
Figura. 4.9. Interfaz de usuario final del programa.....	128

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

Tabla. 2.1. Tipos de Pizarra Digital Interactiva .....	31
Tabla. 2.2. Estándar Bluetooth .....	39
Tabla. 2.3. Direcciones de recepción .....	48
Tabla. 2.4. Direcciones de envío de datos del Wiimote.....	49
Tabla. 2.5. Datos a enviar para obtener los diferentes niveles de sensibilidad de la cámara .....	55
Tabla. 2.6. Diferentes modos de recibir la información del Wiimote.....	57

### CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

Tabla. 4.1. Distancias de visión del dispositivo, ubicado a 1 metro de la proyección .....	113
Tabla. 4.2. Porcentaje de visión cámara IR, radio de 2.76 m.....	119
Tabla. 4.3. Porcentaje de visión cámara IR, radio de 2 m.....	120
Tabla. 4.4. Porcentaje de visión cámara IR, radio de 2.5 m.....	121
Tabla. 4. 5. Porcentaje de visión cámara IR, radio de 3 m.....	121

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **PDi:** (Pizarra Digital Interactiva): Se utiliza para abreviar la descripción ya detallada.
- **Wii Remote:** es el mando principal de la consola Wii de Nintendo, sus características más destacables son la capacidad de detección de movimiento en el espacio y la habilidad de apuntar hacia objetos en la pantalla.
- **IEEE** (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*): En español Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización.
- **WPAN** (*Wireless Personal Area Networks*): Red Inalámbrica de Área Personal, es un tipo de red que permite la comunicación entre distintos dispositivos cercanos al punto de acceso. Estas redes normalmente son de unos pocos metros y para uso personal.
- **PHY** (*Physical Signaling Layer*): establece la distancia máxima, la velocidad de transmisión y el modo en el que la información se transmite.
- **IrLAP** (*Link Access Protocol*): facilita la conexión y la comunicación entre dispositivos.
- **IrLMP** (*Link Management Protocol*): permite la multiplexación de la capa IrLAP
- **IAS** (*Information Access Service*): actúa como unas páginas amarillas para un dispositivo infrarrojo de comunicación.
- **Tiny TP:** mejora la conexión y la transmisión de datos respecto a IrLAP, dentro del estándar Infrarrojo de comunicación.
- **IrOBEX:** diseñado para permitir a sistemas de todo tamaño y tipo intercambiar comandos de una manera estandarizada. , dentro del estándar Infrarrojo de comunicación.

- **IrCOMM:** para adaptar IrDA al método de funcionamiento de los puertos serie y paralelo, dentro del estándar Infrarrojo de comunicación.
- **IrLAN:** permite establecer conexiones entre ordenadores portátiles y LANs de oficina. , dentro del estándar Infrarrojo de comunicación.
- **IrPHY:** establece la distancia máxima, la velocidad de transmisión y el modo en el que se transmite la información, dentro del estándar Infrarrojo de comunicación.
- **IrLAP** (*Infrared Link Access Protocol*, Protocolo de Acceso al Enlace Infrarrojo): se utiliza para el descubrimiento de dispositivos dentro del rango y el establecimiento de conexiones confiables entre ellos, dentro del estándar Infrarrojo de comunicación.
- **LC** (Banda base y controlador de enlace): Controlan los enlaces físicos vía radio, ensamblando paquetes y generando el salto de frecuencia.
- **LM** (Manejador de enlace) : Controla y configura los enlaces con otros dispositivos del estándar *Bluetooth*
- **HCI** (Interfaz controladora de *host*): Lleva las comunicaciones entre un módulo Bluetooth y un host separados, permitiéndole a este último acceder a las capacidades de hardware del módulo.
- **L2CAP** (Protocolo de adaptación y enlace lógico): Distribuye y acondiciona el tamaño de paquetes para las capas altas dentro del estándar Bluetooth
- **RFCOMM:** Suministra una interfaz serial similar al RS232 dentro del protocolo *Bluetooth*
- **TCS** (Protocolo de control de telefonía): Suministra servicios de telefonía dentro del protocolo *Bluetooth*
- **OBEX, WAP:** Suministra otros protocolos de comunicación a las capas altas de ser requerido dentro del estándar *Bluetooth*

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. ANTECEDENTES**

Los instrumentos de enseñanza que actualmente disponen las aulas de las instituciones educativas del país, no han intervenido en un constante proceso de actualización tecnológico. Como es de conocimiento público antiguamente se utilizaban las clásicas pizarras de tiza que posteriormente quedaron obsoletas debido a la incursión de las pizarras de marcador. Sin embargo es importante considerar la posibilidad de desarrollar otro tipo de instrumentos que potenciarían la enseñanza y el aprendizaje de los estudiantes apoyándose en el continuo desarrollo de las Tecnologías de la Información y Comunicación.

Tomando en cuenta lo antes mencionado es imperativo innovar en nuevas tecnologías que estén enfocadas a la tele educación, con la finalidad de que el método de enseñanza actual disponga de herramientas de apoyo, que le permitan cumplir con sus propósitos de una manera más eficaz y eficiente.

---

## **1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO**

### **1.2.1. Justificación**

Considerando la actual situación socioeconómica del país, las herramientas educativas de última tecnología no están al alcance de todas las personas o instituciones de aprendizaje.

Antiguamente era prácticamente imposible lograr una interactividad con las pizarras tradicionales como por ejemplo crear un movimiento de las figuras dibujadas o guardar una imagen de lo escrito en el pizarrón, por este motivo el presente proyecto pretende desarrollar una pizarra digital interactiva multiusuario de bajo costo con el fin de brindar accesibilidad a escuelas, colegios y universidades sin importar sus recursos económicos y sobre todo que dichas instituciones cuenten con un instrumento de última tecnología con el cual puedan conseguir los beneficios mencionados y muchas otras aplicaciones. Además se proyecta desarrollar un software educativo orientado a personas de capacidades diferentes.

### **1.2.2. Importancia**

Con el desarrollo de la pizarra digital interactiva multiusuario se obtienen grandes ventajas en la metodología de enseñanza que el docente puede aplicar, de igual manera se tendrá un aumento de la eficiencia y eficacia en el proceso de enseñanza, por lo que las clases resultan más atractivas y vistosas, tanto para los docentes como para los alumnos, por la posibilidad de uso de recursos de índole tecnológico como sitios web, videos, audio, e-mail, aplicaciones educativas que de alguna forma complementaran la formación que reciben las personas de capacidades diferentes.

### 1.3. ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto contempla el desarrollo de una pizarra digital interactiva multiusuario, para esto se utilizarán un *Wii Remote*®, un lápiz de luz infrarrojo y una computadora, el primero es un instrumento que contiene una cámara infrarroja la misma que se empleará para detectar los movimientos de un lápiz que emita luz infrarroja con el cual se manipulará la pizarra.

El *Wii Remote*® se comunicará con la computadora por medio de la tecnología Bluetooth, enviando las coordenadas de la ubicación actual del puntero. A su vez la computadora se conectará a un proyector multimedia con el cual se logrará conseguir el tamaño ideal de la pizarra.

### 1.4. OBJETIVOS

#### 1.4.1. Objetivo General

- Implementar una pizarra digital interactiva multiusuario con desarrollo de aplicación para tele educación en personas con capacidades diferentes

#### 1.4.2. Objetivos Específicos

- Investigar alternativas tecnológicas para conectar el dispositivo de recepción con la computadora.
- Analizar el código del programa con el cual se realiza el seguimiento del puntero en la pizarra digital.
- Diseñar y desarrollar un puntero de luz infrarroja óptimo para ser utilizado en la pizarra.

- 
- Diseñar y desarrollar un software con aplicaciones orientadas a teleeducación, el mismo que será utilizado por personas con capacidades diferentes.
  - Realizar la instalación y pruebas de evaluación requeridas para el prototipo de la pizarra digital interactiva.
  - Documentar los resultados.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTO TEÓRICO**

#### **2.1. MATERIAL DIDÁCTICO CONVENCIONAL**

##### **2.1.1. Introducción**

Los recursos materiales de enseñanza son el eje central de los métodos didácticos que emplea el profesor para favorecer la comunicación con sus alumnos. Funcionan como una extensión de los sentidos poniendo a disposición del docente recursos, que generalmente son visuales, ya que pueden representar conceptos, sistemas de organización, imágenes reales, y otro tipo de opciones con las que el alumno puede alcanzar una mayor comprensión del contenido que recibe.

Como parte de una investigación se ha determinado que los medios de apoyo a la comunicación oral son, esencialmente, visuales. Por lo que con el pasar del tiempo, y en los últimos años, han ido apareciendo distintos medios capaces de representar una imagen y cada vez más sofisticados, con mayores prestaciones como apoyo a la comunicación y con una gran capacidad de llegar hacia los alumnos y satisfacer sus necesidades de aprendizaje.

Las diapositivas han ampliado considerablemente las posibilidades de la comunicación oral ya que en el aula han tenido una presencia importante, por lo que los sistemas de presentación mediante un computador han recogido todas las posibilidades de representación de las imágenes proyectas y le han añadido unas cuantas características en cuanto al acceso, manipulación, orden y combinación de las mismas.

No cabe duda de que el material proyectado ha encontrado un gran campo de aplicación en todo lo relacionado con el apoyo a la comunicación oral. Pero existen otros medios, un poco más tradicionales, que a lo largo de muchos años han demostrado una extraordinaria capacidad de completar el lenguaje oral y, en algunas ocasiones, de funcionar autónomamente.

La pizarra, junto con todos sus derivados como los papelógrafos, franelógrafos, y el cartel han sido capaces de ilustrar cualquier explicación y permitir su desarrollo de una manera ordenada y coherente. Estos medios, en la actualidad, se benefician de las tecnologías de la información que facilitan su elaboración u ofrecen nuevas prestaciones, como las pizarras digitales electrónicas. Pero, se manifiesta firmemente que mantienen sus posibilidades expresivas que las han hecho imprescindibles en aulas y laboratorio durante mucho tiempo dentro de la enseñanza educativa.

### **2.1.2. La Pizarra**

El texto escrito en cualquier superficie es el recurso didáctico más antiguo que existe, y sin duda es el medio de comunicación que más incidencia ha tenido a lo largo de los tiempos. Fue el primer medio de comunicación de las ideas del pensamiento y del saber científico, permitiendo, por primera vez, el almacenamiento de la información. La imprenta revolucionó todas las formas de comunicar de la

época y fue la primera industria que se desarrolló completamente, y hasta hoy en día en las clases presenciales, es el medio fundamental de apoyo a la explicación del profesor.

Los primeros datos sobre el empleo de la pizarra datan del siglo XVIII. Es, en la actualidad, el recurso didáctico más empleado en los diferentes ámbitos educativos. Su presencia es indiscutible en todas las aulas y la larga tradición de su uso la convierten en un recurso indispensable. Es fácil de usar y muy pocos docentes pueden prescindir de ella.

La facilidad de representación gráfica y enorme superficie que pone a nuestra disposición, la transforman en un medio de apoyo en todos aquellos contenidos relacionados con el cálculo numérico y la presentación secuencial o paso a paso de cualquier tipo de información.

La pizarra es el elemento principal que configura el entorno escolar, permitiendo:

- ✓ Mejorar la comprensión de la explicación a través de los dibujos ilustrativos.
- ✓ Atraer el interés de los alumnos hacia la explicación, ya que todos los elementos expresivos que se utilizan en la pizarra se hacen en ese preciso momento y constituyen un acto de creación que añade interés a la exposición.
- ✓ La creación de ideas a través de dibujos que logran sin duda alguna transmitir una idea. La pizarra es una fuente de imágenes que se desarrollan a la vista de los alumnos. Permite brindar un apoyo gráfico, dinámico y adaptado a las variadas situaciones que se producen durante una clase.



**Figura. 2.1.** La Pizarra Convencional

La pizarra como ya se lo ha venido detallando, es el medio más accesible de todos los materiales didácticos de enseñanza que pueden existir, ya que está presente en todas las aulas y constituye el punto de convergencia de todas las miradas del aula de clase o el sitio donde se está impartiendo alguna enseñanza.

No permite la elaboración previa de los apoyos didácticos e información que será detallada para la enseñanza. Se trata de una información urgente, al hilo del desarrollo de la clase e improvisada en muchas ocasiones. No obstante, es un extraordinario elemento para otorgar secuencialidad a los contenidos que componen una clase.

- *Tipos de Pizarras*

Existen varios tipos de pizarra que se adaptan a diferentes necesidades. En unos casos, relacionados con las materias que se van a explicar, así como los

contenidos de carácter matemático van a necesitar pizarras de gran tamaño, y en otros, con las características de la sala, su aspecto, muebles del salón y los aparatos o artefactos que allí se encuentran. Cuanto más grande es ésta más posibilidades tiene como medio de expresión.

Los tipos de pizarra más aconsejables para su empleo en aulas que van a tener un uso constante son las tradicionales de tiza, ya sean negras o verdes, pues son las más baratas y fáciles de mantener, se ven mejor y, sobre todo, son las que menos cansan la vista de los alumnos; este detalle es importante cuando está previsto que el alumno pase muchas horas delante de ella y de igual forma cuando el aula no tiene buenas condiciones de iluminación.



**Figura. 2.2.** Pizarra de Tiza

El inconveniente principal es que la tiza puede ser una fuente de polvo, que puede dañar equipos y aparatos, manchar las ropas y, en algunos casos, provocar alergias entre los presentes dentro del salón de clases. No obstante, desde hace algún tiempo se emplea más un tipo de tiza que no produce polvo y que, en consecuencia, es más limpia. Para los casos de alergia se puede emplear porta tizas que evite el contacto del yeso con la piel, y el polvo se esparza por todas partes.

Existen diferentes tipos de pizarra de tiza:

- a) Acero Vitrificado.- Este tipo de pizarra no requiere mantenimiento alguno y a la vez son las más aconsejables en las aulas donde van a ser utilizadas continua e intensivamente. Su gran dureza permite escribir con facilidad trazos firmes y legibles y borrarlos sin que queden manchas ni restos de tiza. Estas pizarras permiten también una limpieza que se aconseja se haga al final de cada jornada. Como observación novedosa este tipo de pizarra permite la adhesión de elementos magnéticos que complementen algunas explicaciones a base símbolos y expresiones conceptuales.
- b) Madera.- Estas están acondicionadas con una pintura especial. Es un tipo de pizarra barata y portátil que tiene su utilidad en lugares donde no es posible colocar una pizarra sobre la pared o tiene un empleo restringido. Este tipo de pizarra se deteriora con facilidad, lo que se pone de manifiesto en que cuesta trabajo borrarla, quedan siempre restos de escritura y la marca que deja la tiza comienza a ser imperceptible.
- c) Cemento.- Son construidas directamente sobre la pared y preparadas para escribir con tiza. Estas pizarras son las características de aulas antiguas. Cuando se deterioran es necesario pintarlas con una pintura adecuada. Si la pared no tiene un tratamiento bien hecho son muy duras para escribir sobre ellas, presentan muchas irregularidades y son muy difíciles de borrar.
- d) Lienzo.- También son fabricadas de un plástico especial, pues son enrollables y están acondicionadas para escribir con tiza. Son pizarras que se instalan y desmontan fácilmente y se las emplea ocasionalmente.

- *Pizarra Blanca*

Este tipo de pizarra es la más moderna que las tradicionales ya nombradas anteriormente y presenta un aspecto más elaborado. Son de un material llamado polivinilo rígido, son de color blanco, y sobre ellas se escribe con un marcador

especial. Sin embargo, desde el punto de vista de la eficacia como recurso de apoyo a la comunicación, presentan algunas deficiencias.



**Figura. 2.3.** Pizarra Blanca de Tiza Líquida

En primer lugar, una sesión larga sobre ella es agotadora para el alumno, su brillo cansa la vista, el trazo del marcador siempre es más fino y la letra más pequeña por lo que para algunas personas se dificulta su lectura cuando se encuentran alejados de la pizarra. Por otro lado, estas pizarras no suelen ser muy grandes pues están pensadas fundamentalmente para aulas pequeñas o salas de reuniones donde su empleo no es continuado.

Una observación que es muy importante tomar en cuenta es que no se debe proyectar nunca con el retroproyector sobre la pizarra, aunque sea para escribir, acotar o completar algún destalle relacionado con la proyección, ya que la proyección

sobre una superficie brillante crea reflejos que se transmiten a la audiencia creando una imagen muy clara, sin contraste y que cansa inmediatamente a la audiencia.

Para escribir sobre estas pizarras se debe disponer de marcadores adecuados. Estos no sólo se deben borrar con facilidad sino que deben escribir con la suficiente intensidad como para que el trazo sea legible.

Un inconveniente importante de este tipo de pizarras es que con el tiempo se estropean, pierden el brillo y no se pueden borrar bien. Hay que cambiarlas cada cierto tiempo. Por otro lado, los marcadores manchan las manos y cualquier superficie que se ponga en contacto con ellos y su mancha es más perdurable que la de la tiza.

- *Técnicas esenciales del uso de la pizarra*

- a) Estructuración.- Orden en la información que presenta. Se debe comenzar a escribir por la parte superior izquierda y terminar en la inferior derecha. No obstante, lo más aconsejable es dividir la superficie, al menos, en dos zonas y escribir empleando la técnica de las columnas. Así, comenzaremos a escribir arriba a la izquierda sin que la longitud de las líneas sobrepase la mitad de la superficie. Una vez terminada la columna, seguimos la explicación en la siguiente, de manera que lo expuesto anteriormente permanezca a la vista de los alumnos. Una vez terminada la segunda columna, borramos la primera, escribimos esa superficie, borramos la segunda y así sucesivamente.

El objetivo de esta técnica es dejar un tiempo a los alumnos para escribir o comprobar lo escrito. El borrado, aparte de liberar la superficie y centrar el contenido como veremos más adelante, permite dar tiempo a los alumnos a copiar lo escrito en la columna que acabamos de completar.

Esta estructura del escrito facilita la lectura al no emplear renglones demasiado largos. Un borrado selectivo centra la atención, permite

relacionar los contenidos entre las partes y tomar apuntes a los alumnos de forma más cómoda.

El número de zonas en las que podemos dividir la pizarra está en función, en primer lugar, del tamaño de la pizarra y después del contenido que vamos a desarrollar.

La distribución de la información sobre la pizarra no puede ser espontánea, necesita una planificación de antemano que precise en qué momento se va a emplear y qué se propone con ella.

- b) Legibilidad.- Este es un factor fundamental en el uso de la pizarra y se refiere tanto a la claridad de la letra como al tamaño y la intensidad del trazo. Es necesario hacer letras grandes, en mayúsculas, si no tenemos una letra cursiva clara y legible, y apretando la tiza contra el encerado de manera que queden bien marcados los trazos. Lo más adecuado es emplear letras de imprenta, pero diferenciando claramente entre mayúsculas y minúsculas y empleando tildes donde la regla ortográfica lo indique.

El tamaño de la letra debe estar relacionado con la distancia a la que se encuentran los alumnos. Una clase grande exige un tamaño de fuente superior al de un aula más pequeña. Siempre será mejor escribir letras grandes, aunque estos nos obliguen a borrar más veces, que trazos que los alumnos no puedan leer. Un consejo interesante para comprobar la legibilidad de los textos es hacer una pausa en la explicación, mientras los alumnos copian, y antes de borrar caminar hasta el fondo de la clase y leer, desde allí, lo escrito. Por otro lado, si mantenemos una buena comunicación con los alumnos, nuestro contacto visual con ellos y las expresiones de éstos nos darán una idea cabal de la legibilidad de los textos.

Resulta conveniente el empleo de tizas y rotuladores de distintos colores. La utilización de estos recursos gráficos permite secuenciar y ordenar mejor la explicación, diferenciar sus distintas partes y componentes de cada una de ellas, hacer énfasis y ofrecer variedad visual en el escrito de manera que aumente la motivación y favorezca la retención. Para atraer la atención sobre lo escrito conviene llamar la atención con recursos gráficos como subrayados, cajas, flechas o colores. Para indicar movimiento o dirección se pueden emplear flechas.

A lo largo del escrito es conveniente no emplear abreviaturas, salvo que sean de uso muy extendido entre los alumnos. Por último, en la pizarra no debemos escribir lo obvio. No merece la pena el esfuerzo y podemos caer en la trivialidad. No debemos olvidar que todo lo que aparece en la pizarra tiene un porqué, es sustancial a la materia y es copiado por todos los asistentes. Su presencia es un testimonio de lo expuesto y como tal debe ser considerado.

- c) Borrado.- Se debe comenzar a escribir sobre una superficie limpia, sin restos de la explicación anterior y con la precaución de borrar todo aquello que no forme parte en, ese momento, del tema. El borrado de la pizarra antes de empezar la clase es una precaución que debemos emplear para que no se confundan los contenidos que estamos desarrollando con los que están en la pizarra. Como cortesía o como medida privacidad es conveniente borrar la pizarra una vez terminada la exposición. El borrado también se emplea para centrar la atención, ordenar el contenido y no distraer a la audiencia con algo que permanece en la pantalla una vez que hemos terminado la exposición. Esta precaución es importante cuando hemos concluido un tema y queremos pasar al siguiente.

- d) Posición.- Delante de la pizarra debemos situarnos de manera que no entorpecamos la visión de la audiencia, ofreciéndoles la posibilidad de contemplar todo el desarrollo de la explicación completo y tomar apuntes. No debemos hablar de cara a la pizarra. Al escribir, si no hemos adquirido la habilidad de hacerlo mirando alternativamente a la pizarra y a la audiencia conviene no hablar mientras escribimos. Al escribir de cara a la pared damos la sensación de que no estamos muy convencidos de lo que explicamos y la comunicación con la audiencia se hace indirecta al no poder observar sus reacciones.
- e) Iluminación.- Este es otro de los factores que se debe tener en cuenta para lograr un uso adecuado de ésta. Sobre la superficie de la pizarra no siempre incide la luz necesaria en cuanto a cantidad y calidad para lograr un perfecto visionado. Sobre la pizarra debe incidir una luz dedicada que la ilumine uniformemente sin producir reflejos. La colocación de pantallas fluorescente de luz de día encima de la pizarra es una buena solución.

### **2.1.3. Magnetógrafo y el Franelógrafo**

Se denomina también pizarra de conceptos. Es una especie de póster montable y desmontable sobre la marcha. Es útil para la explicación de conceptos sencillos y de carácter orgánico, jerárquico, etc. Se ha empleado en la escuela tradicional a modo de un mecano para componer las distintas partes de elementos u organismos. En la universidad tiene un uso muy limitado, salvo en aquellas situaciones, generalmente de laboratorio, donde es necesario presentar sistemática y organizadamente algún sistema o mecanismo.

Aunque en origen es una superficie magnética o de franela, se puede sustituir por un corcho donde se van pegando los elementos que integran el razonamiento, concepto, etc., que han sido previamente recortados.



**Figura. 2.4.** El Magnetógrafo

Al ser un medio basado en imágenes y símbolos, sólo se pueden utilizar las ilustraciones necesarias y adecuadas al tema. En definitiva, los puntos clave. Estas ilustraciones deben ser claras en cuanto a la expresión de las ideas y con más imágenes o ilustraciones que textos escritos. Deben estar coloreadas, bien rotuladas y cuidadosamente realizadas.

#### **2.1.4. Papelógrafo**

En algunos de los manuales consultados sobre los medios didácticos recibe el nombre de multiplán o rotafolio. Se trata, en definitiva, de un cuaderno de 90 x 70 cm que nos sirve de apoyo para la comunicación oral.

Dadas sus dimensiones, su empleo es aconsejable únicamente en pequeños grupos y para utilizaciones muy concretas, ocasionales (una fecha, un nombre, una bibliografía, una fórmula, etc.) y siempre en manos de alguien que tenga una letra agradable y legible. Como medio de comunicación aparece cercano y solidario pues supera las barreras que impone la pizarra en cuanto a las relaciones interpersonales y la distancia. La pizarra es un medio de comunicación vertical (profesor -> alumno) que no resulta aceptable en una comunicación entre iguales y, además, para usarla, en muchas ocasiones hay que separarse del grupo y encaramarse a un estrado. El papelógrafo rompe estas relaciones y favorece la igualdad entre todos los que acuden a la charla, tanto los que hablan como los que escuchan.

No es un medio para estar continuamente sobre él. Pues cada hoja que se utiliza no es recuperable y permite, con dificultad, relacionar partes de un mismo razonamiento. No soporta un desarrollo matemático largo o complicado.



**Figura. 2.5.** El Papelógrafo

Sin embargo, es un medio muy interesante para intercambiar opiniones y debatir ideas. Cada una de éstas se presenta en hojas aparte en el papelógrafo y, una vez terminada la exposición, se arranca y se pega sobre la pared. En el momento del debate todas las ideas permanecen a la vista del grupo y éste estará más documentado y mejor dirigido. A medida que se van discutiendo o descartando

cada una de las opiniones se descuelgan de la pared y nos vamos centrando en las que quedan. De esta manera cada una de las hojas del papelógrafo funciona como un improvisado póster que permite tener acceso permanente a cada uno de los temas que se han tratado.

También puede sustituir a la pizarra en presentaciones de tipo divulgativo, donde no sea necesario su empleo continuo y con pequeños grupos. En estos casos, presenta algunas ventajas tales como la posibilidad de traer el material confeccionado y ordenado, secuenciando así la presentación y colaborando decisivamente en la preparación. Asimismo, puede servir de material de repaso, como síntesis, conclusión de la sesión, refuerzo o como aclaración de alguna duda pendiente o pregunta al final de la sesión.

Si tenemos previsto utilizar alguna hoja más de una vez a lo largo de la sesión, es aconsejable marcar éstas con algún recurso (post-it, Clip, doblez, etc.) para poder encontrarlo rápidamente y que no sea necesario buscarlo hoja por hoja.

Para secuenciar bien la presentación es aconsejable dejar páginas en blanco entre cada uno de los bloques que forman la exposición, empezando por la primera.

### **2.1.5. El Cartel**

El cartel es la esencia de una idea o un concepto, de un proyecto, de un desarrollo o de todo un razonamiento teórico donde los argumentos se transforman en frases, éstas en enunciados breves o titulares y estos últimos en palabras. Por ello, hacer un cartel, es un proceso de destilación que consiste en filtrar, purificar, organizar, analizar y presentar de forma clara, amena, eficaz y segura una información completa que debe ser asimilada y comprendida inmediatamente por la persona que la ve.

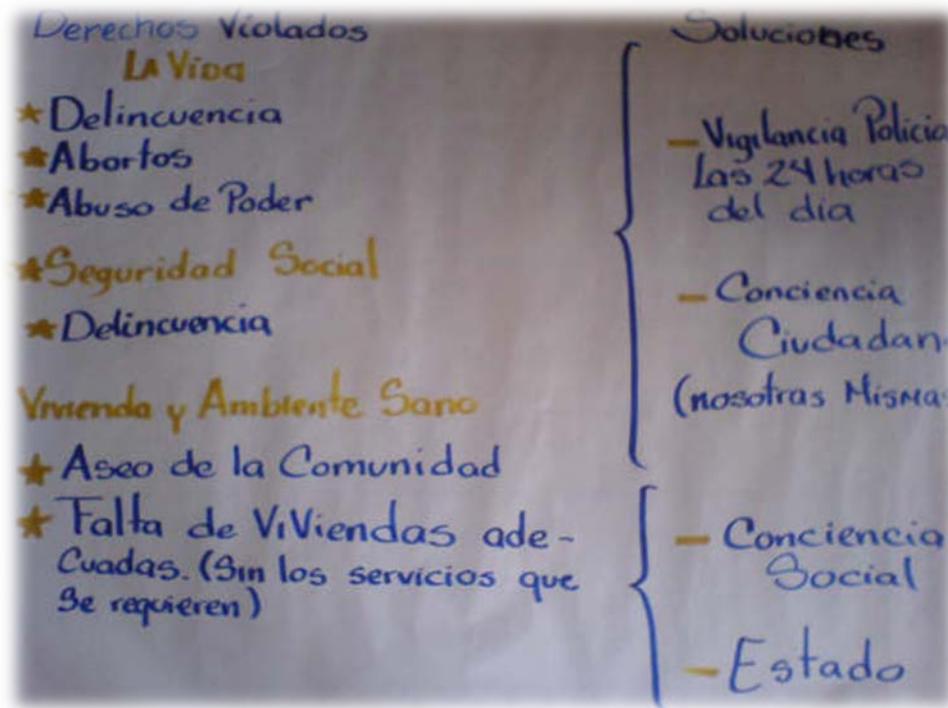


Figura. 2.6. El Cartel

Los aspectos visuales deben estar por encima de los de carácter abstracto (letras o números). Los textos deben ser contundentes con la información que expresan, facilitando la retención mediante pocas palabras, cortas, de fácil recuerdo, del dominio absoluto de la audiencia, con una cierta musicalidad, donde pueden estar presentes juegos de palabras o ambigüedades que buscan la complicidad del receptor (tipo eslogan publicitario). Los números tendrán, cuando sea posible, una representación gráfica.

## 2.2. PIZARRA DIGITAL

Los avances tecnológicos hoy en día ponen a disposición de la educación muchos instrumentos que proporcionan una infinidad de nuevas posibilidades, entre dichos instrumentos podemos mencionar la pizarra digital interactiva (PDi). Este

dispositivo se exhibe como una solución muy adecuada al tratarse de un elemento tecnológico de apariencia familiar, sencilla utilización, además de constar con una gran potencia.

La pizarra interactiva permite una continua innovación en las prácticas docentes, una mejora de la motivación y atención de los alumnos; y sobre todo la disponibilidad de nuevas herramientas para atender la diversidad de los alumnos, especialmente a aquellos alumnos con capacidades diferentes o dificultades en el aprendizaje. La llegada de la pizarra digital interactiva propone diferentes interrogantes tales como ¿Qué beneficios se obtienen con el empleo de este recurso en el aula?, ¿Qué tipo de pizarras existen y cuál se ha de seleccionar? y ¿Qué impacto va a tener la actuación en el proceso educativo?

En este capítulo se busca responder a estos interrogantes ofreciendo información práctica acerca del concepto de pizarra, los tipos de pizarra, los accesorios asociados y una serie de consejos y estrategias en torno a su instalación y utilización.

### **2.2.1. Que es la Pizarra Digital Interactiva (PDi)**

Es un sistema tecnológico, común mente compuesto por un ordenador, un video proyector y un dispositivo de control de puntero, que permite proyectar en una superficie, interactiva o no, contenidos digitales con un formato apto para la visualización en grupo.

Se puede interactuar directamente sobre la superficie de proyección, permitiendo escribir sobre ella y controlar los programas informáticos que posee el ordenador al cual se encuentra conectada; cualquier anotación o modificación puede ser salvada, y posteriormente impresa y distribuida.

Con todas estas características la PDI se convierte en una potente herramienta en el ámbito de la educación, ya que en esta se combinan el uso de la pizarra convencional con todos los recursos de los actuales sistemas multimedia y de las TIC.

### **2.2.2. Elementos que integran la Pizarra Interactiva**

Una pizarra Digital convencional debe constar como mínimo de los elementos mencionados a continuación:

- *Ordenador Multimedia*

El ordenador debe constar de características de hardware y software adecuadas para reproducir y ejecutar cualquier tipo de información multimedia que esté almacenada en el disco duro, además se requiere que el sistema operativo del equipo sea compatible con el software de ejecución de la Pizarra Digital.

- *Proyector*

Se sugiere contar con un proyector de resolución y luminosidad adecuadas para trabajar en ambientes oscuros o medianamente iluminados. Se recomienda tener una superficie plana, de preferencia de color blanco, ya que en esta se proyectan los datos del ordenador además de funcionar como pizarra. Se debe seleccionar la mejor posición del proyector en función del espacio físico del aula.

- *Medio de conexión*

El medio de conexión constituye la tecnología por la cual se conectan el ordenador con el dispositivo receptor de la pizarra. Existen varios tipos de conexiones ya sean a través de Bluetooth, cable (USB, paralelo) o conexiones basadas en tecnologías de identificación por radio frecuencia.

- *Pantalla interactiva*

Existen varios tipos de pantallas y depende exclusivamente del tipo de pizarra, en la pantalla se proyecta la imagen del ordenador y se controla mediante un puntero o incluso con el dedo en algunos modelos. Tanto los profesores como los alumnos tienen a su disposición un sistema capaz de visualizar e incluso interactuar sobre cualquier tipo de documentos, Internet o cualquier información de la que se disponga, en diferentes formatos, como pueden ser las presentaciones multimedia, documentos de disco o vídeos.

- *Software de la Pizarra Digital Interactiva*

El fabricante o distribuidor proporciona el software de la PDi, este software dependerá del modelo de pizarra digital y puede ser licenciado o libre. El programa generalmente permite gestionar una pizarra, capturar imágenes, pantallas, disponer de diversos recursos educativos y herramientas de texto entre otras opciones.

### **2.2.3. Funcionamiento de la pizarra Digital Interactiva**

Existen varios pasos con los cuales se explica el funcionamiento de una pizarra digital interactiva y son:

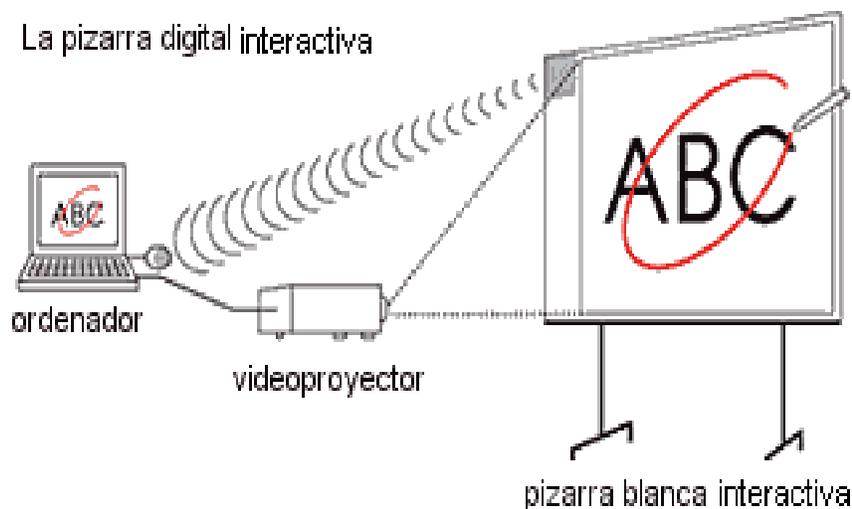
- a) Conexión de los equipos.- En lo que respecta al hardware se dispone de tres equipos que son el proyector de digital, el ordenador y el dispositivo receptor o de ser el caso la pizarra digital.

Con el fin de proyectar la imagen digital, se conecta el ordenador con el proyector digital por medio de un cable o de manera inalámbrica. Por último se conecta el ordenador al dispositivo receptor de la pizarra utilizando un cable USB o la tecnología Bluetooth dependiendo de las especificaciones técnicas de la pizarra que se disponga a utilizar.

- b) Calibración.- Previo a la utilización de la pizarra digital se realiza el proceso de calibración, en este proceso se define el área o superficie de trabajo, esta superficie debe coincidir con el tamaño de la imagen proyectada.

- c) Transmisión y Recepción de datos Desarrollando los procesos anteriores se consigue proyectar sobre la pantalla interactiva cualquier información procedente del ordenador.

A partir de ese momento, todos los movimientos que se realizan al interactuar sobre la pantalla quedarán registrados en el receptor, el mismo que enviará la información hasta el equipo donde el software de control de la pizarra lo convertirá en imagen. Este registro se lleva a cabo gracias a los sensores, que triangulando las señales detectan las coordenadas exactas de los emisores dentro de la extensión total de la pizarra. En la siguiente figura se muestra el funcionamiento de una PDi.



**Figura. 2.7.** Funcionamiento de una PDi

- *Funcionamiento general de la Pizarra Digital Interactiva de Bajo Costo*

La idea principal es mantener el dispositivo receptor en una posición fija y haciendo uso de su cámara de luz infrarroja capturar las acciones del usuario a través de la señal infrarroja que emite el puntero.

Se proyecta con normalidad la imagen del ordenador usando un proyector y una pantalla, y apuntando el dispositivo receptor hacia la pantalla, se consigue reconocer la posición de la fuente de luz infrarroja realizando una previa calibración para calcular el ángulo y distancia del receptor a la pantalla, además de su tamaño.

El dispositivo receptor envía la ubicación de la señal en el sensor al ordenador utilizando la tecnología Bluetooth. El programa que se está ejecutando en el equipo realiza un cálculo de la matriz de homografía para asignar la ubicación en el sensor a la ubicación en la pantalla.

#### **2.2.4. Tipos de Pizarra Interactiva y Accesorios Asociados**

Existe una gran variedad de pizarras digitales interactivas entre las más importantes se encuentran las de gran formato, que son fijas como pueden ser las *Smart Board* y las de *Team Board* como ejemplo, y las pizarras digitales interactiva portátiles (PDiP).

- *Pizarra Digital Interactiva de gran formato*

Este tipo de pizarras se caracterizas porque la superficie de escritura es específica, y solo se puede utilizar la pizarra digital dentro de dicha superficie, que a su vez viene impuesta por el fabricante que comercializa el producto.

Esto se debe a que se utiliza la inducción electromagnética como tecnología de posicionamiento del puntero de escritura. Por este motivo toda la superficie de escritura debe de ser sensible a los cambios del campo electromagnético que aparecen sobre esta. Esta tecnología permite un posicionamiento óptimo, pero su principal desventaja es su movilidad ya que imposibilita su uso en otro lugar que no sea en el que se encuentra instalado, además de encarecer enormemente su precio debido a que se tiene de adquirir toda la pizarra y el puntero específico para esta. En la figura se muestra un ejemplo de este tipo de pizarra.



**Figura. 2.8.** Pizarra Digital Interactiva de Gran Formato Smart Board

- *Pizarra digital interactiva portátil*

La principal diferencia de este tipo de pizarra, es que se puede convertir cualquier superficie donde realicemos la proyección en pizarra interactiva, ya que no se necesita que la superficie lleve sensores.

Para permitir esta opción, se requiere incluir algún tipo de hardware que permita ubicar la posición actual del puntero sobre la superficie de proyección. Este hardware puede utilizar diversas tecnologías para dicho propósito como por ejemplo, lectura de señales infrarrojas o emisión y recepción de ultrasonidos.

Esta pizarra ofrece como ventajas la posibilidad de poder instalarse en cualquier lugar, pero el principal inconveniente es el posicionamiento menos preciso que las comentadas anteriormente, ya que los diferentes sensores utilizados siempre

tienen una desviación causada por múltiples factores externos que pueden impedir la correcta ubicación del puntero.

También se debe tomar en cuenta que, cada vez que se instala el sistema en un lugar diferente, se ha de calibrar la zona proyectada para conocer el tamaño funcional de la pizarra, mientras que en las pizarras de gran formato no es necesario ya que la pizarra no cambia nunca de tamaño.

Los precios de las pizarras de ambos tipos (de gran formato y portátiles) pueden variar notablemente, las de gran formato son mucho más caras que las portátiles; y su instalación y elección depende de los recursos y el espacio físico disponible. A continuación se muestran las figuras con dos tipos de PDi portátiles existentes en el mercado.

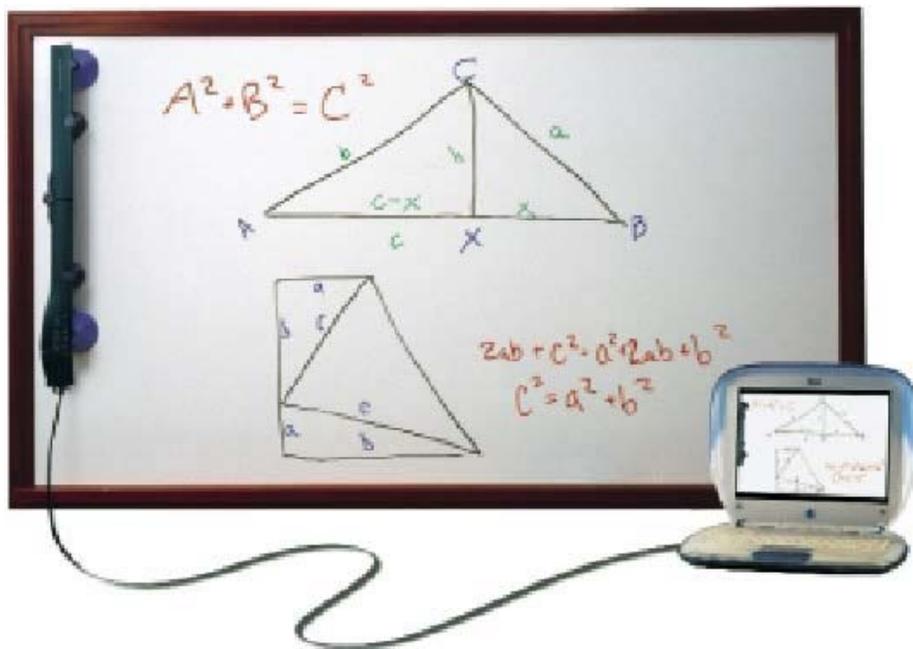


Figura. 2.9. PDi Portátil MIMIO



**Figura. 2.10.** PDi Portátil eBeam

Los precios de las pizarras de ambos tipos (de gran formato y portátiles) pueden variar notablemente, ya que las de gran formato son mucho más caras que las portátiles, y su instalación depende de los recursos y el espacio disponible.

- *Tipos de pizarras electrónicas usadas para el posicionamiento del puntero*
  - a) Electromagnética.- Se utiliza un lápiz emisor de señales electromagnéticas como puntero, combinado con una malla sensorial ubicada en toda la superficie de proyección. Dicha malla detecta la señal del lápiz en toda la superficie de censado con muy alta precisión y envía la posición del puntero cuando este toca cualquier punto de la superficie.

Una pizarra electromagnética tiene en 2.5 cm<sup>2</sup> la misma resolución que una táctil de 77 pulgadas de tamaño puede tener en toda la superficie. Esta tecnología es implementada por las empresas Numonics e Interwrite como se observa en las siguientes figuras.

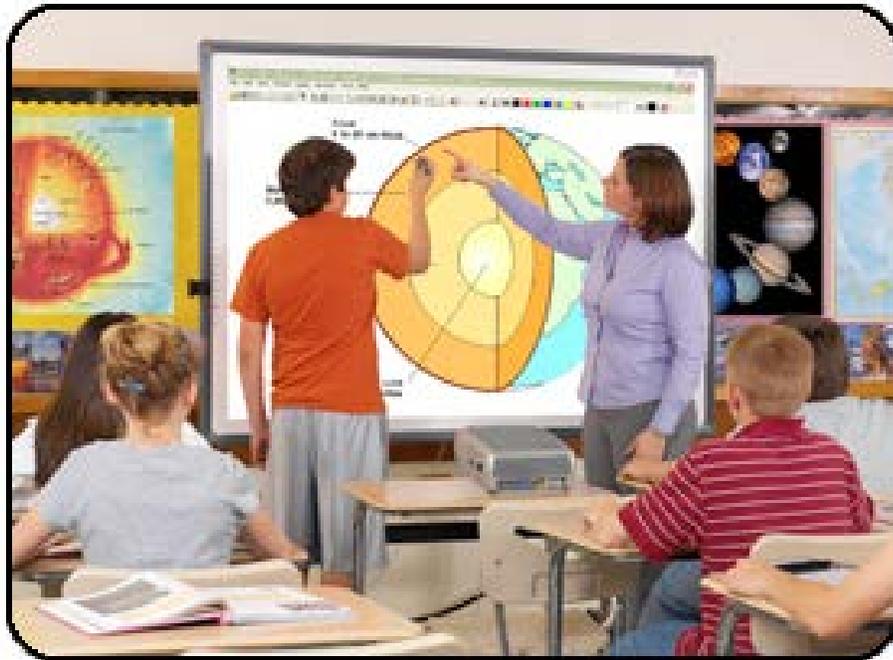


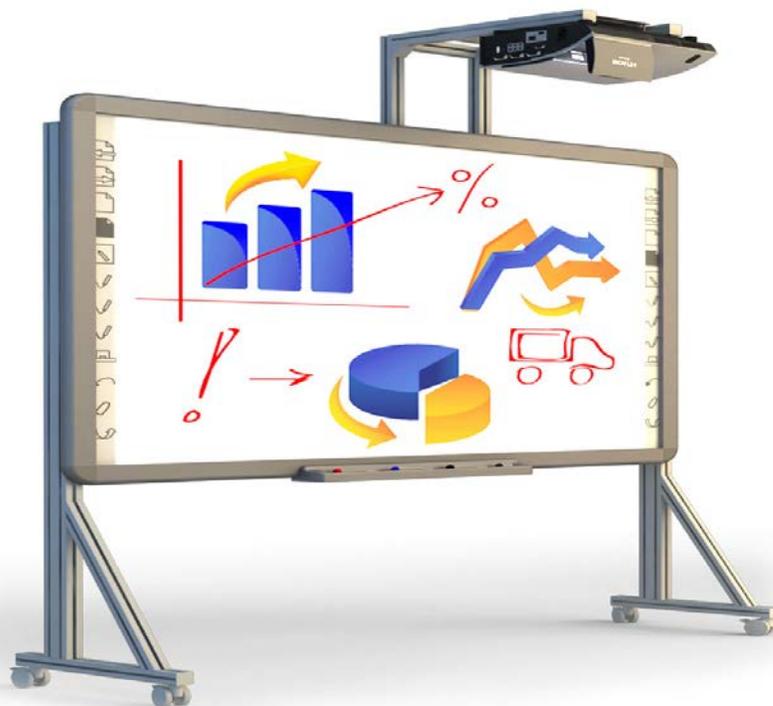
Figura. 2.11. PDi Numonics



Figura. 2.12. PDi Interwrite

- b) Infrarroja.- En este caso, el puntero está dotado de un diodo emisor de luz infrarroja en la parte superior. El sensor detecta la luz infrarroja emitida y posiciona el punto infrarrojo sobre un eje de coordenadas cartesianas. Se necesita calibrar la pizarra antes de utilizarla para definir el área activa, para que esto sea posible el sensor tiene que estar ubicado a cierta distancia.

Esta tecnología no requiere pegar sensores especiales en la superficie de trabajo, ni soportes o superficies sensibles, tampoco limita el área de proyección pudiendo ser incluso de varios metros cuadrados.



**Figura. 2.13.** PDi QOMO

- c) Ultrasónica – Infrarrojo.- Cuando el marcador entra en contacto con la superficie de la pizarra, este envía simultáneamente una señal ultrasónica y otra de tipo infrarrojo para el sincronismo. Se coloca un receptor en uno de los costados de la pizarra el mismo que recibe las señales y calcula la posición del puntero en el área de proyección. Esta tecnología permite que

las pizarras sean de cualquier material; siempre y cuando sea blanca y lisa para una proyección adecuada. El mejor ejemplo de esta tecnología son las pizarras elaboradas por la empresa *eBeam*.



**Figura. 2.14.** PDi eBeam Edge Projection

- d) Resistiva.- El panel de la pizarra es el elemento que facilita la posición del puntero y está formado por dos capas separadas, la capa exterior la misma que es deformable a la presión y al tacto. La presión aplicada facilita el contacto entre las capas exterior e interior, provocando una variación de la resistencia eléctrica que nos permite localizar el punto señalado.

Se puede utilizar cualquier tipo de puntero con esta tecnología, ya que el sensor es la superficie donde escribimos. Esta tecnología se utiliza en pizarras fijas. Tecnología utilizada por Polyvision y Smart Board.



Figura. 2.15. PDi Polyvision TS Series

### 2.2.5. Comparativa de los Tipos de Pizarra Digital Interactiva

Tabla. 2.1. Tipos de Pizarra Digital Interactiva

	Productos			
	Edge for Education	MimioTeach	ActiveBoard 378 Pro	SMART Board 685
				
Compañía	Luidia	Mimio	Promethean Inc.	SMART Tech
Precio Aproximado	\$1,049.95 USD	\$ 799 USD	\$1,319.89 USD	\$2,599 USD

País de origen	USA	USA	U.K.	Canadá
Características de Utilización				
Facilidad de instalación	★★★★★	★★★★★	★★★★☆	★★★★☆
Facilidad de uso	★★★★★	★★★★☆	★★★★★	★★★★★
Fiabilidad	★★★★☆	★★★★☆	★★★★★	★★★★★
Funciones adicionales	★★★★★	★★★★☆	★★★★★	★★★★☆
Otras características				
Portabilidad	Total	Total	No	No
Reutilización de superficie existente	Si	Si	No	No
Área útil	Más de 4 m <sup>2</sup>	Más de 4 m <sup>2</sup>	1,98 m <sup>2</sup>	1,95 m <sup>2</sup>
Tecnología de Tracking	Ultrasónica - Infrarrojo	Ultrasónica - Infrarrojo	Electromagnética	Resistiva
Peso	0,5 Kg	0,81 Kg	25,85 Kg	20 Kg
Superficie especial	No (Virtual)	No (Virtual)	Propietaria	Propietaria

### 2.2.6. Beneficios de la Implementación de la Pizarra Interactiva

- *Beneficios Generales*

- ✓ Las clases resultan más atractivas y entretenidas, tanto para los docentes como para los alumnos, por la posibilidad de utilizar recursos más vistosos, dinámicos y variados como por ejemplo: sitios web, vídeos, audio, email, aplicaciones educativas, etc.
- ✓ Las oportunidades de participación y discusión en las clases, aumentan considerablemente, puesto que se incrementan los niveles de interacción entre el profesor, los alumnos, la materia a impartir y la tecnología utilizada.
- ✓ El uso de la pizarra optimiza el corto tiempo de enseñanza que dispone el docente, ya que le permite utilizar nuevas fuentes de recursos educativos que facilitan la explicación del tema estudiado.
- ✓ La pizarra digital interactiva es un recurso que el docente puede utilizar con alumnos de todas las edades y en todas las áreas de cualquier nivel académico.

- *Beneficios para los docentes*

- ✓ La pizarra digital interactiva se acopla a cualquier tipo de pedagogía, reforzando las estrategias de enseñanza con la clase completa, y al

mismo tiempo sirviendo como adecuada combinación entre el trabajo grupal e individual de los estudiantes.

- ✓ La PDi es un instrumento perfecto para el educador constructivista ya que promueve el pensamiento dinámico, participativo y crítico de los alumnos. El uso creativo de la pizarra sólo está limitado por la imaginación del docente y sus alumnos.
  - ✓ La PDi estimula la confianza y la espontaneidad de los docentes, debido a que estos pueden realizar anotaciones directamente en los recursos web utilizando marcadores de diferentes colores.
  - ✓ La PDi es un excelente recurso para su utilización en sistemas de videoconferencia, favoreciendo el aprendizaje colaborativo a través de diferentes herramientas de comunicación.
  - ✓ La PDi incrementa el interés de los docentes por la innovación y el desarrollo profesional, hacia el cambio pedagógico que puede suponer la utilización de una tecnología que inicialmente encaja con los modelos tradicionales, y que resulta fácil al uso.
  - ✓ El software vinculado a la pizarra posibilita el acceso a gráficos, diagramas y presentaciones, lo que permite preparar las clases de forma más sencilla y eficiente; además de almacenar dichas clases para una próxima utilización.
- 
- *Beneficios para los alumnos*
    - ✓ Permite incrementar la motivación e interés de los alumnos gracias a la posibilidad de disfrutar de clases más llamativas y llenas de color en las que se favorece el trabajo colaborativo, la participación estudiantil; impulsando así la auto confianza y el desarrollo de habilidades sociales.

- ✓ La utilización de pizarras digitales facilita la comprensión de las asignaturas, especialmente en el caso de conceptos complejos ya que puede reforzar las explicaciones utilizando vídeos, simulaciones e imágenes con las que es posible interactuar.
- ✓ Los estudiantes con dificultades visuales se beneficiarán de la posibilidad del aumento del tamaño de los textos e imágenes, así como de las opciones de manipular símbolos y objetos.
- ✓ Los alumnos con problemas de audición se verán beneficiados gracias a la posibilidad de utilizar presentaciones visuales además del contenido multimedia que se puede encontrar en internet.
- ✓ Los estudiantes con problemas cenestésicos reforzarán su aprendizaje a través de ejercicios que implican el contacto y manipulación de las pizarras interactivas ya que disponen de una superficie de gran tamaño sensible a un lápiz electrónico o incluso al tacto

### **2.2.7. La Pizarra Digital en Educación Especial**

Está claro que cuando un alumno tiene necesidades educativas especiales, presenta mayores dificultades que el resto de sus compañeros en el aprendizaje, por lo que necesita ciertas adaptaciones en la metodología educativa que lo lleve al entendimiento del conocimiento. Las necesidades educativas especiales pueden ser temporales o permanentes y a su vez, pueden ser debidas a causas físicas, psíquicas, sensoriales, afectivo emocionales o inadaptación.

Desde hace unos años atrás, y hasta el momento, la pizarra digital ha ido tomando su lugar central en la clase, e indudablemente para los niños con necesidades educativas especiales ya que es un recurso motivador, y no

discriminador, capaz de adaptarse a las necesidades de los alumnos. Específicamente se hace trabajar a la PDi con alumnos de capacidades diferentes estará claro muchas de las razones por las que las TIC se adentran en la educación de manera exitosa. Por lo que a continuación se detalla las ventajas que ofrece frente a la metodología educativa que se imparte para personas con capacidades diferentes:

- ✓ Novedad: se sabe que el mejor comienzo para una actividad puntual es que un recurso educativo sea novedoso para los alumnos.
- ✓ Captar y centrar la atención: Sin duda alguna da muy buenos resultados el trabajar con herramientas específicas software de la pizarra y diversidad de lenguajes en niños con trastornos como Déficit de Atención e Hiperactividad.
- ✓ Independencia y auto-concepto: Desde edades muy tempranas el niño puede poner en funcionamiento parte del mecanismo, favoreciendo y estimulando su independencia, autoestima y mejorando la interacción.
- ✓ Diversidad de lenguajes: El lenguaje verbal, visual, digital, etc. están siendo un gran apoyo a la hora de trabajar la comprensión de diferentes conceptos más abstractos, como por ejemplo los conceptos temporales.
- ✓ Motivador: Proporciona una gran variedad de colores y sonidos con movimiento que se puede enlazar. Es un simple proceso rutinario que afianza la confianza en el aprendizaje del alumno, ayudándose de características como la paciencia (aumento de repeticiones), el refuerzo positivo (en los pasos que el alumno hace en la pizarra) o la interactividad.
- ✓ Adaptabilidad: Permite que los contenidos sean adaptados a las necesidades que el profesor se va encontrando en el aula (desde zoom de objetos que no pierden sus propiedades hasta sonidos u otros aspectos que apoyarán las explicaciones.) De esta manera, las clases

son más abiertas para adaptar los contenidos y ser modificados durante su proceso.

## 2.3. TECNOLOGÍA APLICADA EN LA PIZARRA DIGITAL INTERACTIVA

### 2.3.1. Comunicación Bluetooth (IEEE 802.15.1)

La idea atractiva de lograr interconectar dispositivos electrónicos o compartir información entre sistemas de forma inalámbrica, ha emprendido la investigación de tecnologías que permitan este fin y así eliminar los cables de comunicación en gran proporción. Existe en el mercado productos con distintas tecnologías de comunicación inalámbrica como por ejemplo IEEE 802.11, Bluetooth, HiperLAN/PAN1, HomeRF2, IrDA, etc., ofreciendo al consumidor distintas posibilidades con sugestivas características de interconexión como: velocidad de transmisión, cobertura, capacidad, desempeño y economía.



La tecnología bluetooth se caracteriza por brindar calidad en la comunicación como es: velocidad de transmisión, cobertura y capacidad de satisfacer las necesidades básicas de una red de área personal y es más económica que las otras tecnologías.

Bluetooth utiliza radiofrecuencia para el enlace, fue pensado para personas de negocios que viajan mucho, por lo que la operabilidad global es muy importante. Es así como Bluetooth fue diseñado para que trabajara sobre una banda de frecuencia de uso libre en todo el mundo.

- *Historia de la Tecnología Bluetooth.*

En 1.994, la compañía de telecomunicaciones ERICSSON, comenzó un estudio para investigar la viabilidad de una interfaz de radio de baja potencia y bajo costo entre teléfonos móviles y sus accesorios.

El objetivo era eliminar los cables entre los teléfonos móviles y tarjetas de PCs, headsets, dispositivos desktop, etc. El estudio fue parte de otro gran proyecto de investigación que involucra multicomunicadores conectados a la red celular por medio de los teléfonos celulares.

El último enlace en dicha conexión debería ser un radio enlace de corto rango. A medida que el proyecto progresaba, se volvió claro que las aplicaciones que envuelven dicho enlace de corto rango serían ilimitadas.

A comienzos de 1997, Ericsson se aproxima a otros fabricantes de dispositivos portátiles para incrementar el interés en esta tecnología. El motivo era simple: para que el sistema fuera exitoso y verdaderamente utilizable, una cantidad crítica de dispositivos portátiles deberían utilizar la misma tecnología de radio enlaces de corto alcance.

En Febrero de 1998, cinco compañías, Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba e Intel, forman un Grupo de Interés Especial (SIG). Dicho grupo contiene la mezcla perfecta en lo que es el área de negocios, dos líderes del mercado en telefonía móvil, dos líderes del mercado en computadoras laptop y un líder del mercado en tecnología de procesamiento de señales digitales.

La meta era establecer la creación de una especificación global para conectividad sin hilos de corto alcance. La razón del nombre es que en el siglo X el rey Harald II de Dinamarca, apodado "diente azul" (bluetooth) a causa de una enfermedad que le daba esta coloración a su dentadura.

El 20 y el 21 de mayo de 1998, el consorcio de bluetooth anuncio al público general de Londres, Inglaterra, San José, California, y Tokio, Japón, lo que provoco la adopción de la tecnología por varias compañías.

Bluetooth estándar IEEE 802.15.1 es una tecnología de red de área personal inalámbrica ( WPAN3 ), empleado para enlaces de radio de corto alcance, destinado para remplazar el cableado existente entre dispositivos electrónicos y hacerlo en forma inalámbrica.

Esta tecnología permite a los usuarios conexiones inalámbricas entre equipos con circuitos de radio y a través del medio por el cual se comunican se pueda transmitir voz y datos.

El estándar Bluetooth se divide en múltiples normas como se detalla en la siguiente Tabla.

**Tabla. 2.2.** Estándar Bluetooth

Estándar	Características
IEEE 802.15.1 – Bluetooth 1.x	Puede alcanzar velocidades de 1 Mbps
IEEE 802.15.2	Recomienda utilizar la banda de frecuencia de 2.4 GHz no se aprueba.
IEEE 802.15.3	Actualmente se está desarrollando, que ofrecerá velocidad de banda ancha (20 Mbps) con Bluetooth
IEEE 802.15.4	Actualmente se está desarrollando para el uso con aplicaciones Bluetooth de baja velocidad.

- *Características Técnicas*

La especificación de Bluetooth define un canal de comunicación de máximo 720Kb/seg, con rango óptimo de 10 metros (opcionalmente 100m).

La frecuencia de radio con la que trabaja está en el rango de 2.4 a 2.48Ghz con amplio espectro y saltos de frecuencia con posibilidad de transmitir en Full Dúplex

con un máximo de 1600 saltos/seg. Los saltos de frecuencia se dan entre un total de 79 frecuencias con intervalos de 1Mhz; esto permite dar seguridad y robustez.

Para lograr alcanzar el objetivo de bajo consumo de energía y bajo costo en los dispositivos bluetooth, éstos son implementados mediante circuitos CMOS4.

Alcance de aproximadamente diez metros cuando se utiliza un transmisor clase III y menos de cien metros cuando se utiliza un transmisor clase I.

- *Ventajas y desventajas de Bluetooth*

Entre las principales ventajas de bluetooth tenemos las siguientes:

Se utiliza dispositivos bluetooth en los ordenadores portátiles, teléfonos celulares, reproductores de música, auriculares, impresoras y en otros productos. Para utilizar la tecnología bluetooth lo puede realizar cualquier tipo de persona por ser simple de utilizar por brindar sencillez al momento de conectar dispositivos que tengas las mismas tecnologías.

Si se desea realizar una comunicación bluetooth se lo realiza de forma gratuita porque la frecuencia que se emplea es libre. Se evita de utilizar cables para establecer la comunicación entre dispositivos, el tipo de conexión es inalámbrica y la distancia va a variar de acuerdo al dispositivo.

Existe seguridad en los dispositivos bluetooth con el fin de que no se pueda ingresar a archivos sin la autorización del propietario.

Entre las principales desventajas de bluetooth se detalla a continuación:

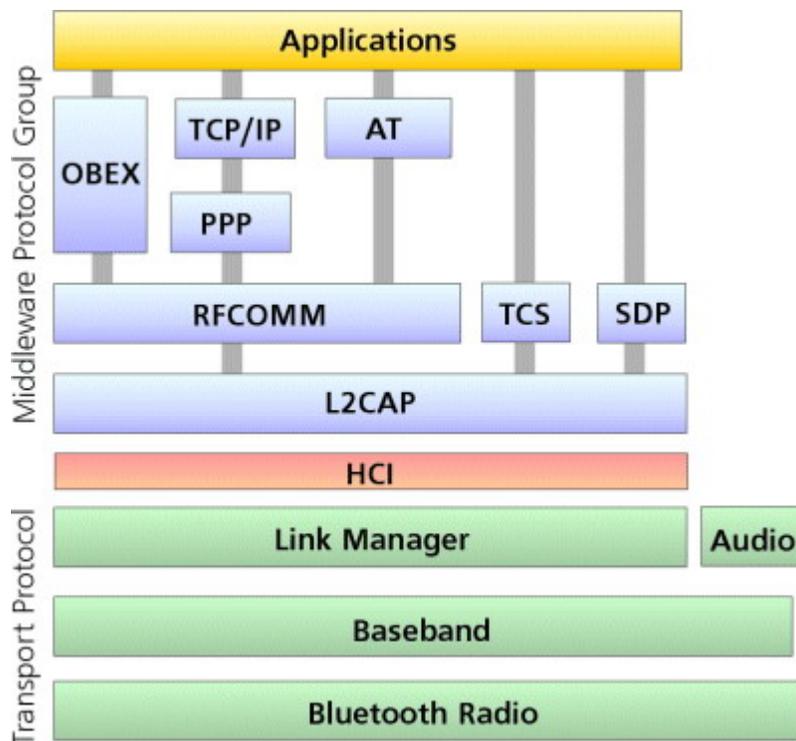
El teléfono móvil que tienen incorporado un dispositivo bluetooth, reproductores de música si se está utilizando el bluetooth existe más consumo de batería.

Cuando se desea utilizar Bluetooth para tener servicios de Internet, la conexión a veces puede funcionar de manera muy lenta.

- *Pila de Protocolo Bluetooth*

La pila se encuentra constituida por varias capas las cuales se pueden organizar en los siguientes grupos como: grupos de transporte, protocolos middleware5 y grupo de aplicación.

Los datos en la pila fluyen a través de todas las capas a excepción de la información de audio, que va directamente desde la banda base hacia la aplicación con alto grado de prioridad, para garantizar la calidad de servicio en tiempo real, esperada en aplicaciones de audio. En la Figura se pueden apreciar la pila del protocolo Bluetooth.



**Figura. 2.16.** Protocolo de comunicación Bluetooth

A continuación se detalla cada bloque que forman la pila del protocolo bluetooth desde el bloque de radio hasta aplicación.

**Bluetooth Radio:** Modula y demodula los datos para la transmisión y recepción a través del aire.

**Banda base y controlador de enlace (LC):** Controlan los enlaces físicos vía radio, ensamblando paquetes y generando el salto de frecuencia.

**Manejador de enlace (Link Manager):** Controla y configura los enlaces con otros dispositivos.

**Interfaz controladora de host (HCI):** Lleva las comunicaciones entre un módulo bluetooth y un host separados, permitiéndole a este último acceder a las capacidades de hardware del módulo.

**Protocolo de adaptación y enlace lógico (L2CAP):** Distribuye y acondiciona el tamaño de paquetes para las capas altas.

**RFCOMM:** Suministra una interfaz serial similar al RS232.

**Protocolo de descubrimiento de servicio:** Permite descubrir los servicios brindados por otros dispositivos.

**Protocolo de control de telefonía (TCS):** Suministra servicios de telefonía.

**OBEX, WAP:** Suministra otros protocolos de comunicación a las capas altas de ser requerido.

**Aplicación:** Programa que hace uso de la pila bluetooth en una forma determinada.

### 2.3.2. Comunicación Infrarroja (IrDA)

Este tipo de comunicación define un estándar físico en la forma de transmisión y recepción de datos por rayos infrarrojos. Dicho protocolo se crea en 1993 entre HP, IBM, Sharp y otros.

Esta tecnología está basada en rayos luminosos que se mueven en el espectro infrarrojo. Los estándares IrDA soportan una amplia gama de dispositivos eléctricos, informáticos y de comunicaciones, permite la comunicación bidireccional entre dos extremos a velocidades que oscilan entre los 9.600 bps y los 4 Mbps. Esta tecnología se encontraba en muchos ordenadores portátiles y en teléfonos móviles de finales de los 90's y principios de la década del 2000, sobre todo en los de fabricantes líderes como Nokia y Ericsson, fue gradualmente desplazada por tecnologías como wifi y bluetooth. El VFIR se encuentra en estudio, con unas velocidades teóricas de hasta 16 Mbps.

- *Estructura*

En IrDA se define una organización en capas:



**Figura. 2.17.** Protocolo de comunicación IrDA

Además cualquier dispositivo que quiera obtener la conformidad de IRDA ha de cumplir los protocolos obligatorios (azul), no obstante puede omitir alguno o todos los protocolos opcionales (verde). Esta diferenciación permite a los desarrolladores optar

por diseños más ligeros y menos costosos, pudiendo también adecuarse a requerimientos más exigentes sin que sea necesario salirse del estándar IRDA.

- *Características*

Cono de ángulo estrecho de 30°.

Opera en una distancia de 0 a 1 metro.

Conexión universal sin cables.

Comunicación punto a punto.

Soporta un amplio conjunto de plataformas de hardware y software.

- *Protocolos IrDA*

PHY (Physical Signaling Layer) establece la distancia máxima, la velocidad de transmisión y el modo en el que la información se transmite.

IrLAP (Link Access Protocol) facilita la conexión y la comunicación entre dispositivos.

IrLMP (Link Management Protocol) permite la multiplexación de la capa IrLAP.

IAS (Information Access Service) actúa como unas páginas amarillas para un dispositivo.

Tiny TP mejora la conexión y la transmisión de datos respecto a IrLAP.

IrOBEX diseñado para permitir a sistemas de todo tamaño y tipo intercambiar comandos de una manera estandarizada.

IrCOMM para adaptar IrDA al método de funcionamiento de los puertos serie y paralelo.

IrLan permite establecer conexiones entre ordenadores portátiles y LANs de oficina.

- *IrPHY*

La capa física IrPHY establece la distancia máxima, la velocidad de transmisión y el modo en el que se transmite la información. Su segmentación provee servicios de transmisión y recepción para paquetes individuales.

La capa más baja de la plataforma IrDA presenta las siguientes especificaciones; Rango (Estándar: 1 metro; baja-energía a baja-energía: 0,2 metros; Estándar a baja-energía: 0,3 metros). Ángulo (cónico mínimo +- 15°). Velocidad (2.4 kbit/s a 16 Mbit/s). Modulado (Banda Base, sin portadora).

Los transceptores (transmisor-receptor) de IrDA se comunican con pulsos infrarrojos en un cono con medio ángulo de mínimo 15 grados. Las especificaciones de IrPHY requieren un mínimo de irradiación para que la señal pueda ser visible a un metro de distancia, de igual manera requiere que no se exceda un máximo de irradiación para no abrumar un receptor con brillo cuando viene un dispositivo cerca. En el mercado hay dispositivos que no alcanzan un metro, mientras otros pueden alcanzar varios metros, también existen dispositivos que no toleran proximidad extrema. La distancia típica para las comunicaciones IrDA es de 5 a 60 centímetros de separación entre los transceptores, en el medio del cono.

La comunicación IrDA funciona en modo half duplex debido a que su receptor es cegado por la luz de su transmisor, así la comunicación full dúplex no es factible. Dos dispositivos simulan conexión full dúplex invirtiendo la comunicación rápidamente.

IrPHY se compone de tres especificaciones físicas: SIR (Serial Infrared, Infrarrojo Serial), MIR (Medium Infrared, Infrarrojo Medio) y FIR (Fast Infrared, Infrarrojo Rápido). SIR cubre las velocidades de transmisión soportadas por el puerto RS-232 (9600 bps, 19.2 kbps, 38.4 kbps, 57.6 kbps y 115.2 kbps); dado que el denominador común más bajo para todos los dispositivos es 9600 bps el descubrimiento y la negociación se realizan a esta velocidad. MIR es un término no oficial utilizado para referirse a las velocidades de transmisión de 57.6 kbps a 115.2 kbps. FIR es visto como un término obsoleto por la especificación IrDA, pero no

obstante es comúnmente usado para denotar las velocidades de transmisión de 4 Mbps.

- *IrLAP*

La capa IrLAP (Infrared Link Access Protocol, Protocolo de Acceso al Enlace Infrarrojo) se utiliza para el descubrimiento de dispositivos dentro del rango y el establecimiento de conexiones confiables entre ellos. Es la segunda capa de la especificación IrDA, entre IrPHY e IrLMP y representa la capa de Enlace de Datos del modelo de referencia OSI.

Sus especificaciones más importantes son: Control de acceso Establecimiento de una conexión bidireccional confiable Negociación de los roles primario/secundario de los dispositivos En IrLAP la comunicación de los dispositivos se divide en dispositivos primarios y uno o más dispositivos secundarios. El dispositivo primario controla a los secundarios. Al dispositivo secundario se le permite enviar sólo si el primario se lo solicita.

Las conexiones IrLAP están etiquetadas por el par de las direcciones (32-bits) de los dispositivos envueltos en la conexión. En el siguiente establecimiento de conexión, una dirección de conexión de 7-bits temporal es usada en los paquetes como un alias para esa dirección de dispositivos concatenada.

IrLAP define un esquema de descubrimiento de dispositivo con ranuras de tasa fija que permiten establecer el contacto inicial. Los parámetros de comunicación críticos tales como la tasa de conexión de datos, el máximo tamaño del paquete, el mínimo y máximo intervalo de tiempo, se negocian durante el establecimiento de la conexión. Siguiendo con el establecimiento de la conexión IrLAP, dos dispositivos comprometidos en la comunicación estiman la región espacial que ambos iluminan, literalmente la unión de dos conos solapados de 1m cada uno, con medio ángulo de 15 grados mínimo.

IrLAP provee un mecanismo básico de descubrimiento de dispositivos. Funcionalmente, el resultado de invocar el proceso de descubrimiento IrLAP es una

lista de registros que codifican: Dirección del dispositivo: Un identificador de 32-bits semi permanente del dispositivo descubierto. NickName (Apodo): Un pequeño nombre del dispositivo descubierto que puede ser presentado en las interfaces de usuario para ayudarlo en la selección. Hints (Pistas): Una máscara de bits dando pistas (no oficial) de los servicios que pueden estar disponibles en el dispositivo descubierto. Esto puede ser usado para ordenar consultas en el IAS para establecer concienzudamente la presencia o ausencia de un servicio en particular.

### 2.3.3. Dispositivo de Conexión con el Ordenador

La función de detección de infrarrojos se desarrolló en el *Wiimote* después de que Nintendo, durante el desarrollo de su videoconsola “Wii”, detectara que el posicionamiento mediante acelerómetro era insuficiente. Deseaban utilizar el mando para mover un cursor por la pantalla, y el acelerómetro no era lo suficiente preciso. Por tanto, necesitaban un método para posicionar un punto fijo cercano a la pantalla. Con esa idea en mente, dotaron al mando de un sensor de puntos infrarrojos y diseñaron una barra con dos grupos de 5 leds infrarrojos separados 19 centímetros entre ellos. Esta barra de leds se sitúa debajo de la pantalla utilizada, con lo que le permite a la consola posicionar el lugar donde se encuentra la imagen en la que tiene que colocar el cursor.

En este proyecto, aprovechamos esta funcionalidad del mando para situar nuestro puntero infrarrojo sobre la superficie proyectada, y de esta manera indicar al software la posición a la que queremos enviar el puntero del mouse del computador.

El funcionamiento del *Wiimote* es simple. Dispone de un filtro infrarrojo delante de la cámara de alta resolución, con lo que la cámara solo recibe la imagen de fuentes emisoras de infrarrojos. Si situamos un led infrarrojo delante, esta cámara percibe un punto y envía su posición X e Y, respecto la imagen que capta la cámara en ese momento, que tiene una resolución de 1024 pixeles de ancho por 768 de alto.

Por tanto, el punto superior izquierdo que ve la cámara sería la posición (0,0), el punto superior derecho la posición (0,1024), el punto inferior izquierdo la posición (768,0) y el punto inferior derecho la posición (1024,768). El mando dispone de un chip que posiciona el punto que recibe la cámara sobre el plano que capta esta, y envía la posición del punto por Bluetooth al dispositivo al que esté conectado. Este chip ha sido desarrollado por la empresa *PixArt Imaging, Inc.* Este sistema de posicionamiento de puntos recibe el nombre de “Sistema de posicionamiento multiobjeto”, o también llamado MOTS (*Multi-Object Tracking System*). Se trata de un sistema de procesamiento de imagen asistido por ordenador, que ya se encuentra integrado en el hardware, lo que permite localizar la posición de los puntos brillantes que reciba la cámara.

El chip de procesado de la posición de los puntos puede procesar hasta 4 puntos diferentes simultáneamente, y enviar la posición de todos ellos. Por tanto, podríamos posicionar 4 punteros infrarrojos diferentes si se deseara. Si hubiera más de 4 punteros en la superficie, escogería los 4 puntos más brillantes por defecto.

El mando dispone de un tiempo de muestreo de 100 ms. Este será el tiempo que se tarda en refrescar la información de los puntos.

A continuación se expone una tabla con las direcciones en las que el mando recibe los datos enviados por el ordenador:

**Tabla. 2.3.** Direcciones de recepción

Dirección	Función
0x11	Indicación del número de jugador y activación/desactivación del vibrador.
0x12	Indicación de la ID del mando
0x13	Activación del sensor IR
0x14	Activación del altavoz
0x15	Estado del mando
0x16	Escribir datos en memoria
0x17	Leer datos de memoria

0x18	Datos enviados al altavoz
0x19	Silenciar altavoz
0x1a	Activar sensor IR 2

También existen direcciones en las que el mando coloca los datos a enviar al PC. Estas son las siguientes:

**Tabla. 2.4.** Direcciones de envío de datos del Wiimote

Dirección	Función
0x20	Puerto de expansión
0x21	Lectura de datos de memoria
0x22	Escritura de datos de memoria
0x30	Botones
0x31	Estado botones/Información acelerómetro
0x32	Estado botones/Información sensor IR
0x33	Estado botones/Información acelerómetro
0x34	Estado botones/Información sensor IR
0x35	Estado botones/Información acelerómetro
0x36	Estado botones/Información sensor IR
0x37	Estado botones/Información acelerómetro
0x3d	Estado botones/Información sensor IR
0x3e	Estado botones/Información acelerómetro
0x3f	Estado botones/Información sensor IR

La información sobre el puerto de expansión indica si hay algún elemento auxiliar conectado al puerto que hay debajo del mando. Las direcciones de lectura de datos en la memoria del mando y escritura de datos en la memoria del mando se utilizan para conocer qué datos han sido los últimos que se han introducido, tanto en lectura como en escritura.

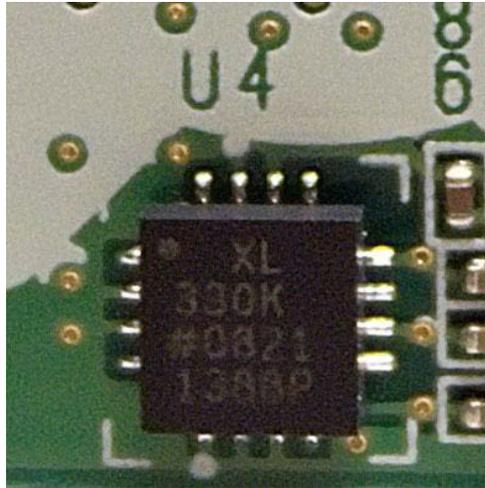
- *Hardware*

A nivel de hardware, el mando dispone de diversos componentes. A continuación comentaremos los más importantes y usados para la implementación de la pizarra digital interactiva:

- a) Acelerómetro.- El mando dispone de un acelerómetro integrado que proporciona los datos de movimiento y giro/inclinación del mando en todo momento.

Este tipo de dispositivos se conocen como MEMS (sistema micro electro-mecánico). El chip MEMS utilizado en el Wiimote proviene de Analog Devices y es exactamente el modelo ADLXL330, con un tamaño de 4x4x1,45 mm. Este chip está diseñado específicamente para tener un consumo muy bajo, alargando la vida de las pilas. Su rango de detección es de  $\pm 3,6$  gravedades y tiene una resolución de 300 mV/g.

Estudiando el funcionamiento de estos chips, se descubre que miden tanto la aceleración. Para comprender su funcionamiento, imagine una pila con dos minúsculas placas dentro del sensor. Una se mantiene fija, pero la otra se mueve. Los electrones que rodean la placa que se ha movido varían, y midiendo la capacitancia, el sensor es capaz de detectar el movimiento realizado. El dispositivo puede así enviar datos de movimientos relativos en todos los ejes de coordenadas, aparte de los datos de aceleración, detectando (dentro de sus limitaciones) giros, movimientos en el aire, inclinaciones... Estos datos se envían al chip Broadcom, encargado de la emisión de datos a través de Bluetooth.

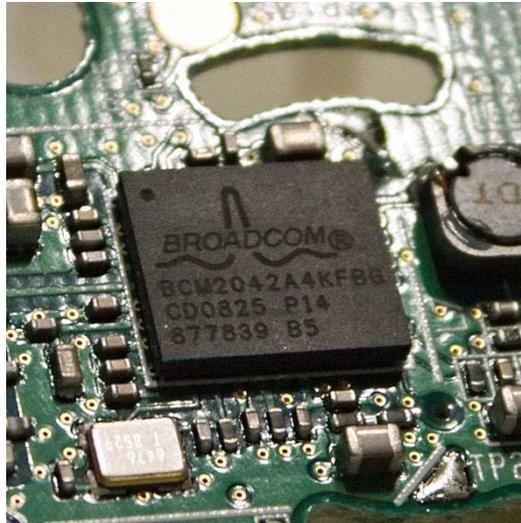


**Figura. 2.18.** Imagen del Acelerómetro sobre la placa PCB Wiimote

- b) Emisor/receptor Bluetooth.- Para comunicarse con la computadora, el Wiimote dispone de un chip emisor y receptor de datos por Bluetooth, proporcionado por la empresa especializada en comunicaciones Broadcom Technologies. Se trata del modelo BCM2042.

Este chip se encarga de enviar el conjunto de datos para su recepción en otro dispositivo Bluetooth que aplique el tratamiento necesario a los datos recibidos. La velocidad de transferencia que ofrece este chip es de 2.1 Mbits/s. Broadcom ha incluido mejoras especiales que permiten una latencia muy baja entre consola y mando, intentando que la respuesta sea prácticamente la de un mando cableado clásico. Además, el componente Bluetooth de la compañía tiene un consumo realmente bajo.

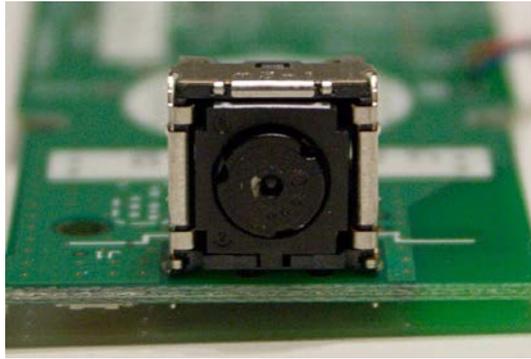
Este chip utiliza el protocolo estándar Bluetooth HID para comunicarse con la consola, con lo que podemos leer sus datos desde cualquier stack Bluetooth estándar. Este protocolo de comunicación está basado en el USB HID, con lo que podemos interpretar el mando como un dispositivo USB, una vez se haya emparejado este con el dispositivo Bluetooth del PC.



**Figura. 2.19.** Imagen del chip de comunicación Bluetooth integrado en el Wiimote

- c) Sensor de emisiones infrarrojas (Cámara IR).- El Wiimote incluye en su parte superior una cámara monocroma con una resolución de 128x96, con procesado de imagen mediante hardware ya incorporado. En la parte delantera del mando encontramos un plástico de color negro. Se trata de un filtro que solo deja pasar rayos infrarrojos, con lo que esta cámara únicamente captará puntos en los que haya un emisor infrarrojo. Como ya hemos dicho anteriormente, el procesador de imagen incorporado es capaz de posicionar hasta 4 puntos infrarrojos en movimiento. Los datos de la posición de estos puntos se envían por *Bluetooth* al dispositivo al que esté conectado el mando. Al incluir este procesado por hardware, solo está disponible el resultado de la posición de los puntos, y por tanto, no podemos recibir toda la imagen que capta la cámara, con lo que no se podría utilizar para leer imágenes del exterior y tratarlas posteriormente. Si elimináramos el filtro de infrarrojos del mando, podríamos posicionar cualquier punto brillante, pero siempre siguiendo las especificaciones del procesador de imagen. Es decir, podríamos posicionar 4 puntos únicamente y nunca podríamos obtener la imagen de lo que está viendo el mando.

El procesador MOTS de la marca *PixArt* incorporado utiliza un análisis de subpíxeles, los cuales multiplica automáticamente por 8, llegando a obtener una resolución de 1024x768 para los puntos posicionados.



**Figura. 2.20.** Imagen de la cámara sobre la placa PCB del Wiimote

Esta cámara dispone de un rango de visión efectiva de 33 grados horizontales y 23 grados verticales. Con el filtro de infrarrojos intacto, los emisores infrarrojos con una longitud de onda de 940 nm. Son detectados con el doble de intensidad que los emisores que disponen de una longitud de onda de 850 nm, aproximadamente. El inconveniente de los emisores de 940 nm es que cuando la distancia entre el mando y el emisor es muy corta, el mando no lo posiciona correctamente debido a la gran intensidad que ofrece.

No podemos indicar el modelo del procesador de imagen ni las características de este porque es información confidencial de Nintendo, sobre la cual no hay ningún tipo de documento publicado. Este procesador fue desarrollado íntegramente para su aplicación en el mando de la consola Wii, y Nintendo dispone de la licencia en exclusiva, con lo que no hay información pública sobre sus características.

Finalmente, el circuito completo que forma el mando es el siguiente:



Figura. 2.21. Imagen superior de la placa de circuito impreso del Wiimote



Figura. 2.22. Imagen inferior de la placa de circuito impreso del Wiimote

- *Control de la cámara por software*

Centraremos este apartado en que datos enviar a la cámara para inicializarla o cambiar funciones de control del procesador.

- a) Puesta en marcha de la cámara

1. Escribir byte bajo del registro de activación de cámara, enviando 0x04 al registro de salida 0x13.
2. Escribir byte alto del registro de activación de cámara, enviando 0x04 al registro de salida 0x1a.
3. Escribir 0x08 en el registro 0xb00030.

4. Escribir bloque 1 de información de sensibilidad de la cámara (se explicará la información a enviar en el siguiente apartado) en la dirección 0xb00000.
5. Escribir bloque 2 de la información de sensibilidad de la cámara en la dirección 0xb0001a.
6. Escribir el número de modo (se explicará la información a enviar en posteriores apartados) en el registro 0xb00033.
7. Escribir 0x08 en el registro 0xb00030 otra vez. Después de realizar estos pasos, el Wiimote tendrá la cámara IR activada y estará cogiendo datos con la sensibilidad deseada [3]. Para el desarrollo de este proyecto la sensibilidad se ajusta siempre al máximo para detectar el puntero aunque la intensidad del infrarrojo sea baja.

b) Ajuste de sensibilidad

La sensibilidad de la cámara IR se controla mediante dos bloques de configuración, de 9 bytes y 2 bytes de longitud respectivamente. La siguiente tabla expresa los datos a enviar para configurar la sensibilidad deseada. Hay 6 niveles de sensibilidad. El nivel 6 es el más alto.

**Tabla. 2.5.** Datos a enviar para obtener los diferentes niveles de sensibilidad de la cámara

Bloque 1									Bloque 2		Nivel
00	00	00	00	00	00	90	00	41	40	00	Máxima sensibilidad
02	00	00	71	01	00	64	00	fe	fd	05	Wii nivel 1
02	00	00	71	01	00	96	00	b4	b3	04	Wii nivel 2
02	00	00	71	01	00	aa	00	64	63	03	Wii nivel 3

02	00	00	71	01	00	c8	00	36	35	03	Wii nivel 4
02	00	00	71	01	00	72	00	20	1f	03	Wii nivel 5

El último byte de ambos bloques determina la intensidad de la sensibilidad. Incrementando el valor de este último byte reduces la sensibilidad. Cuando el último byte del bloque 1 es 0x41 y el segundo byte del bloque 2 es 0x00, el Wiimote envía datos para los puntos menos brillantes que pueda ver su cámara. Por tanto, con esa configuración obtendremos la mayor sensibilidad posible. Poniendo la sensibilidad lo más alto posible conseguimos la mayor resolución posible después del tratamiento del procesador de imagen. Al reducir la sensibilidad, reducimos también la resolución con la que el procesador tratará los datos de la imagen recibida. Si escogiéramos el nivel 1, la resolución de los puntos enviados por el mando sería muy próxima a la resolución real de la cámara, que es de 128x96 [3].

### c) Formato de los datos

La cámara IR puede devolver diferentes configuraciones de datos describiendo los objetos que está posicionando. Cuando la cámara IR identifica un objeto, lo asigna a la primera posición del vector disponible. Hay que recordar que el mando devuelve 1 vector con 8 posiciones (posición x de 4 puntos y posición y de 4 puntos). Si el objeto se mueve a una zona fuera de visión de la cámara, la posición de memoria donde se encontraba la información de ese punto se marca como vacía, pero los otros puntos que está viendo la cámara en ese momento mantienen su posición en memoria. Por ejemplo, si la cámara estuviera posicionando dos puntos diferentes y el primero que hubiera visto saliera de la zona de visión de la cámara, los datos que devolvería el mando serían [vacío, posición X e Y del segundo objeto, vacío, vacío] [3].

Hay 3 tipos diferentes de datos que nos puede enviar el mando de cada punto posicionado. Según el Número de Modo que configuremos al inicializar la cámara, enviara unos datos más básicos y reducidos o más extensos, lo que mejorará la precisión.

**Tabla. 2.6.** Diferentes modos de recibir la información del Wiimote

<b>Modo</b>	<b>Número de Modo</b>
Básico	1
Extendido	3
Completo	5

## **2.4. CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE REQUERIDO PARA EL DESARROLLO DE LA PIZARRA DIGITAL**

### **2.4.1. Consideraciones Generales**

Para el desarrollo del software de la pizarra digital interactiva se ha utilizado como base el programa de licencia libre “*Wiimote Whiteboard v0.3*” desarrollado por el investigador norteamericano *Johnny Chung Lee*, por lo que para la modificación del mismo y la re potenciación del código del programa se empleó el *IDE Visual Studio 2010 Ultimate* el mismo que se presentará a continuación.

*Microsoft Visual Studio 2010 Ultimate* es un entorno de desarrollo integrado (IDE) que funciona sobre una plataforma *Windows*, además es el perfecto paquete de herramientas de administración del ciclo de vida de las aplicaciones para equipos. Con este paquete se garantiza la calidad de los resultados, desde el diseño hasta la

implementación, de nuevas aplicaciones o de las ya existentes. Tanto si crea soluciones nuevas como si quiere mejorar las aplicaciones ya existentes.

*Visual Studio 2010 Ultimate* soporta varios lenguajes de programación tales como *Visual C++*, *Visual C#*, *Visual J#*, *ASP.NET* y *Visual Basic .NET*, aunque actualmente se han desarrollado las extensiones necesarias para muchos otros. Visual Studio permite a los desarrolladores crear sitios y aplicaciones web, así como servicios web en cualquier entorno que soporte la plataforma *.NET*.

#### **2.4.2. Lenguaje de Programación C#**

El lenguaje de programación utilizado para el desarrollo de la pizarra digital interactiva fue *C# (C Sharp)* a continuación se presenta una definición de este lenguaje y sus principales características.

*C#* es el nuevo lenguaje de propósito general diseñado por *Microsoft* para desarrollo de software en su plataforma *.NET*. Sus principales creadores son *Scott Wiltamuth* y *Anders Hejlsberg*.

Aunque es posible escribir código para la plataforma *.NET* en muchos otros lenguajes, *C#* es el único diseñado específicamente para ser utilizado en ella, por lo que programarla usando *C#* es mucho más sencillo que con cualquiera de los otros lenguajes. Por estas razones, se dice que *C#* es el lenguaje nativo de *.NET*.

La sintaxis y estructuración de *C#* es muy similar a la de *C++*, ya que la intención de *Microsoft* es facilitar la migración de códigos escritos en dichos lenguajes a *C#* además de facilitar su aprendizaje a desarrolladores acostumbrados a los anteriores lenguajes. Cabe mencionar que su sencillez y alto nivel de desempeño son muy comparables con los de *Visual Basic*. *C#* es un lenguaje de programación que permite el desarrollo de aplicaciones para Internet, para móviles y aplicaciones de propósito general.

En conclusión C# es un lenguaje de programación que toma las mejores características de lenguajes preexistentes como Visual Basic, Java o C++ y las combina en uno solo. El hecho de ser relativamente nuevo no implica que sea un lenguaje inestable, pues Microsoft ha escrito la mayor parte de la BCL usándolo, por lo que su compilador es el más depurado y optimizado de los incluidos en el *.NET Framework SDK*.

### 2.4.3. Características Generales de C#

A continuación se presenta las principales características de C#:

- *Sencillez*

C# elimina muchos elementos que otros lenguajes incluyen y que son innecesarios en .NET, como el código escrito en C# es auto contenido, lo que significa que no necesita de ficheros adicionales; el tamaño de los tipos de datos básicos es fijo e independiente del compilador, sistema operativo o máquina, lo que facilita la portabilidad del código.

- *Modernidad*

C# incorpora en el lenguaje elementos que se ha demostrado su importancia para el desarrollo de aplicaciones y que en otros lenguajes como Java o C++ hay que simular, como un tipo básico decimal que permita realizar operaciones de alta precisión con reales de 128 bits, muy utilizado en el mundo financiero, además de la inclusión de una instrucción *foreach* que permita recorrer colecciones con facilidad.

- *Orientación a objetos*

Como todo lenguaje de programación de propósito general actual, C# es un lenguaje orientado a objetos. C# soporta todas las características propias del paradigma de programación orientada a objetos: encapsulación, herencia y polimorfismo.

En lo referente a la encapsulación es importante señalar que aparte de los típicos modificadores *public*, *private* y *protected*, C# añade un cuarto modificador llamado *internal*, que puede combinarse con *protected* e indica que al elemento a cuya definición precede sólo puede accederse desde su mismo ensamblado.

A diferencia de Java, en C# se ha optado por hacer que todos los métodos sean por defecto sellados y que los redefinibles deban marcarse con el modificador virtual, lo que permite evitar errores derivados de redefiniciones accidentales.

- *Orientación a componentes*

La propia sintaxis de C# incluye elementos propios del diseño de componentes que otros lenguajes tienen que simular mediante construcciones más o menos complejas. Es decir, la sintaxis de C# permite definir cómodamente propiedades, eventos o atributos.

- *Seguridad de tipos*

C# incluye mecanismos que permiten asegurar que los accesos a tipos de datos siempre se realicen correctamente, lo que permite evita que se produzcan errores difíciles de detectar por acceso a memoria no perteneciente a ningún. Para ello se toman diferentes medidas como:

No se pueden usar variables no inicializadas. El compilador da a los campos un valor por defecto consistente en ponerlos a cero y controla mediante análisis del flujo de control de la fuente que no se lea ninguna variable local sin que se le haya asignado previamente algún valor.

Se comprueba que todo acceso a los elementos de una tabla se realice con índices que se encuentren dentro del rango de la misma. Se puede controlar la producción de desbordamientos en operaciones aritméticas, informándose de ello con una excepción cuando ocurra.

A diferencia de Java, C# incluye delegados, que son similares a los punteros a funciones de C++ pero siguen un enfoque orientado a objetos, pueden almacenar referencias a varios métodos simultáneamente.

- *Sistema de tipos unificado*

A diferencia de C++, en C# todos los tipos de datos que se definan siempre derivarán, aunque sea de manera implícita, de una clase base común llamada *System.Object*, por lo que dispondrán de todos los miembros definidos en ésta clase (es decir, serán “objetos”)

- *Eficiente*

En principio, en C# todo el código incluye numerosas restricciones para asegurar su seguridad y no permite el uso de punteros. Sin embargo, y a diferencia de Java, en C# es posible saltarse dichas restricciones manipulando objetos a través de punteros. Para ello basta marcar regiones de código como inseguras (modificador *unsafe*) y podrán usarse en ellas punteros de forma similar a cómo se hace en C++, lo que puede resultar vital para situaciones donde se necesite una eficiencia y velocidad procesamiento muy grandes.

- *Compatible*

Para facilitar la migración de programadores, C# no sólo mantiene una sintaxis muy similar a C, C++ o Java que permite incluir directamente en código escrito en C# fragmentos de código escrito en estos lenguajes, sino que el CLR también ofrece, a través de los llamados *Platform Invocation Services (PInvoke)*, la posibilidad de acceder a código nativo escrito como funciones sueltas no orientadas a objetos tales como las DLLs de la API Win32.

## 2.5. SOFTWARE PARA TELEEDUCACIÓN

### 2.5.1. Antecedentes

En la actualidad en el Ecuador no existen muchas herramientas, en cuanto a software se refiere, que impulsen el desarrollo cognoscitivo de los alumnos de primera infancia o de educación primaria, este proyecto tiene por objetivo desarrollar ejemplos básicos y prácticos de este tipo de software con la finalidad de que sean utilizados en conjunto con la pizarra digital interactiva.

La unión de la pizarra digital con el software a desarrollarse tienen como finalidad estimular las capacidades físicas y mentales de niños de temprana edad y/o capacidades diferentes, por ejemplo la manipulación del puntero infrarrojo sirve para mejorar la motricidad de los niños. Otro objetivo fundamental es mejorar la parte académica de los alumnos mediante la pizarra y el software previamente mencionado.

### 2.5.2. Características

El software a desarrollarse es un compendio de varios programas enfocados a diferentes edades y asignaturas académicas tales como matemáticas, geografía e historia; los lenguajes de programación que se utilizarán para el desarrollo del

software serán C#, Visual C# y Visual Basic. Se optó por el uso de estos lenguajes debido al conocimiento previo de programación en los mismos, además de su alto rendimiento y estabilidad al momento de ejecución.

- *Figuras con sucesión de puntos.*

En este programa el objetivo es señalar los puntos que aparecen en la pantalla para formar el contorno de una figura específica, para esto se utilizará el puntero de la PDI; este tipo de aplicaciones tienen por objetivo mejorar las habilidades visuales y motrices de niños de primera infancia (entre 0 a 5 años) además que es una excelente herramienta de entrenamiento para que las nuevas generaciones se familiaricen con las modernas herramientas educativas desde temprana edad.

Para el desarrollo de esta actividad se pretende utilizar el lenguaje de programación Visual Basic, debido a las comodidades que ofrece a la hora de desarrollar aplicaciones en un entorno gráfico.

- *Aplicación banderas de países.*

Esta aplicación tiene como objetivo principal que el alumno de educación básica incremente sus conocimientos en la cátedra de geografía, mediante la presentación de una bandera el alumno debe elegir el país correcto, de entre varias opciones, al que pertenece dicha bandera. De esta manera se pretende crear un ambiente más relajado y entretenido para que se desenvuelvan los alumnos, sin descuidar en ningún momento la parte académica.

Para el desarrollo de esta actividad se pretende utilizar el lenguaje de programación Visual Basic, debido a las comodidades que ofrece a la hora de desarrollar aplicaciones en un entorno gráfico.

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN**

#### **3.1. HARDWARE**

##### **3.1.1. Introducción.**

En esta sección del proyecto se presenta el diseño y desarrollo de los diferentes instrumentos que servirán para la implementación final de la pizarra digital interactiva. Se desarrollará principalmente un lápiz de luz infrarroja y un dispositivo de recepción de señales infrarrojas, el mismo que se conectará con un computador. A continuación se muestra una explicación del proceso de diseño y elaboración de dichos instrumentos.

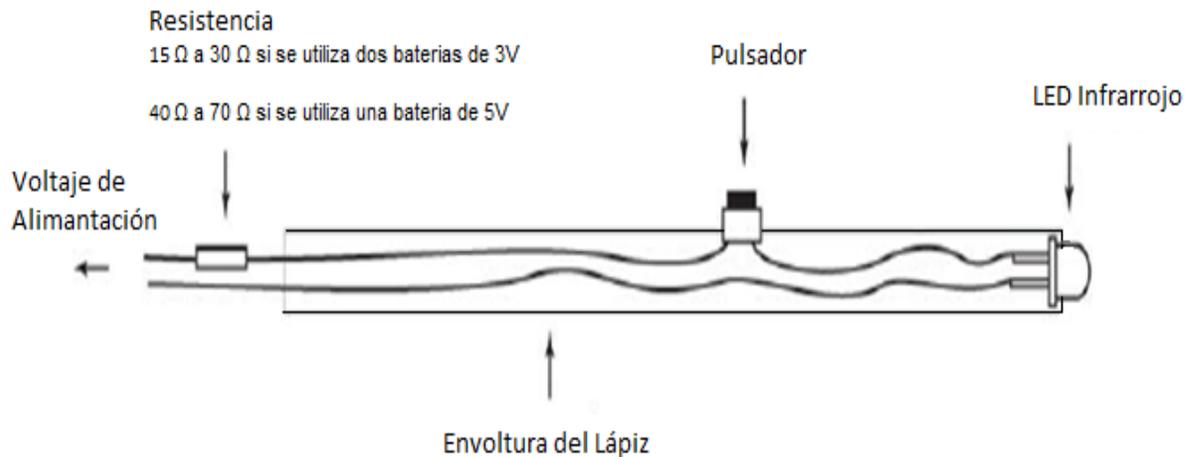
##### **3.1.2. Elaboración del lápiz de luz infrarroja.**

La función del lápiz o puntero de luz infrarroja es indicar la posición del mouse en la pantalla de la pizarra, con este dispositivo el usuario podrá escribir, señalar y en definitiva interactuar con los distintos programas que estén ejecutándose en la pizarra. Se debe recordar que el dispositivo de recepción únicamente detecta la posición de un emisor de luz infrarroja.

Existen dos posibilidades para elaborar el puntero infrarrojo, las mismas que serán explicadas durante el desarrollo de este capítulo, a continuación se procede a desarrollar el primer circuito.

- *Primer circuito.*

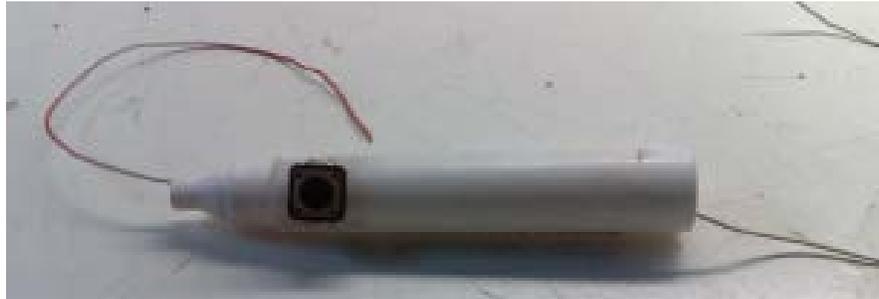
El circuito a realizarse consta de varios elementos como un led infrarrojo de 1.5 V DC, un pulsador que conecta el led con la alimentación, la misma que pueden ser pilas o baterías. La inclusión del pulsador ofrece la posibilidad de iluminar el led, a manera del clic de un ratón, para marcar exclusivamente las opciones deseadas por el usuario. En el caso de utilizar un voltaje de alimentación mayor a 1,5 V DC es imperativo colocar una resistencia, para protección del led, cuyos valores se muestran en la siguiente figura.



**Figura. 3. 1.** Primer circuito de montaje del lápiz infrarrojo

En cuanto a la envoltura del lápiz se recomienda utilizar un marcador de pizarra de tiza líquida o un bolígrafo de plástico, en los cuales se pueda colocar el led infrarrojo y la batería que alimentará al circuito. Un aspecto muy importante que se debe tomar en cuenta es el lugar donde se pretende instalar el led, ya que se

necesita una completa visibilidad del mismo para que el dispositivo receptor pueda obtener una señal infrarroja plenamente identificable. A continuación se muestran algunas de las posibles opciones utilizando el primer circuito del lápiz infrarrojo.



**Figura. 3.2.** Envoltura de un lápiz infrarrojo



**Figura. 3.3.** Primer circuito de lápiz infrarrojo completo

- *Segundo Circuito*

Este circuito se basa en la utilización de un bolígrafo con linterna o un bolígrafo con un led de luz ultra violeta como el que se muestra en la *Figura 3.4*.



**Figura. 3.4.** Bolígrafo con led de luz ultravioleta

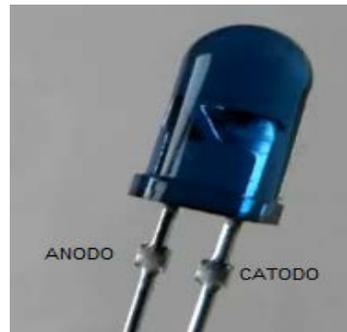
La principal ventaja de la utilización de un producto como este es que la adaptación del pulsador y las baterías ya se encuentran listas y con esto se facilita mucho el trabajo debido a que solo se necesita intercambiar el led ultravioleta por un led infrarrojo. Existe una pieza en la que se encuentra el pulsador, las baterías y el led (*Figura. 3.5*); a continuación se indica cómo se debe intercambiar el led.



**Figura. 3.5.** Pieza con baterías, led y pulsador

Primero se retira el led original, es importante fijarse como está montada la estructura por que posteriormente deberá ser reconstruida con el led infrarrojo.

Se toma en cuenta la ubicación correcta del led para realizar el cambio puesto que como el voltaje es continuo (DC) la polaridad es un factor fundamental para que encienda el led. A continuación se muestra la polaridad del led en la *Figura 3.6*.



**Figura. 3.6.** Pines de polarización del led

Se corta el led infrarrojo y se da la misma forma la misma forma que el anterior led, además se retiran las baterías del interruptor para posteriormente colocar el nuevo led en el dispositivo, como se muestra en la *Figura 3.7*.



**Figura. 3.7.** Pieza con baterías, led y pulsador

Luego de insertar el led se colocan nuevamente las baterías y se comprueba su funcionalidad utilizando una cámara digital ya que estas son capaces de reconocer la emisión de luz infrarroja, a continuación se ilustra el procedimiento mencionado en la *Figura 3.8*.



**Figura. 3.8.** Funcionamiento del dispositivo

Finalmente se arma el bolígrafo uniendo todas sus piezas al lugar original y se tiene como resultado un lápiz de luz infrarroja.

- *Led Infrarrojo*

Es importante que la longitud de onda del led sea de 940 nm, ya que leds con longitud de onda inferior, son receptados por la cámara infrarroja, pero son interpretados como si tuvieran menor intensidad. Este efecto incrementa la aparición de errores por pérdida de visión.

Después de analizar todos los parámetros previamente mencionados se decidió adquirir el modelo Vishay TSAL 6400, las características de este modelo son una longitud de onda de 940 nm y un ángulo de visión de  $\pm 25^\circ$ . Este led soporta una tensión máxima de 1.7 V. Por este motivo no necesita una resistencia entre el led y la pila como seguridad.

### 3.1.3. Elaboración del dispositivo de recepción.

El proceso de elaboración consta de varias etapas que son diseño y elaboración de una fuente de voltaje de 3 voltios, elaboración de una caja de almacenamiento y ensamblaje de los elementos.

- *Fuente de voltaje*

Una fuente de voltaje es un dispositivo que suministra una cantidad específica de energía eléctrica continua a un circuito, para que este pueda mantener sus condiciones de operación de manera óptima y correcta. El principio de funcionamiento es convertir la tensión alterna de la red de suministro, en tensión continua que alimenta los diferentes tipos de circuitos electrónicos que se pueden encontrar en artefactos como computadores, televisores, teléfonos, radios, artefactos de línea blanca, etc.

Una fuente de alimentación básica consta de tres secciones fundamentales. Dependiendo de los requerimientos de cada dispositivo, las secciones pueden ser simples o extremadamente complejas. Cada parte sirve para uno o más propósitos, y son las siguientes:

Transformador – El transformador sirve para convertir la tensión AC, a un nivel de voltaje más apropiado para las necesidades del circuito, debido a que la amplitud de voltaje que nos entrega la red eléctrica no es la adecuada para que trabajen los circuitos electrónicos. Además, el transformador provee aislamiento galvánico entre la línea principal AC y el circuito que está siendo alimentado.

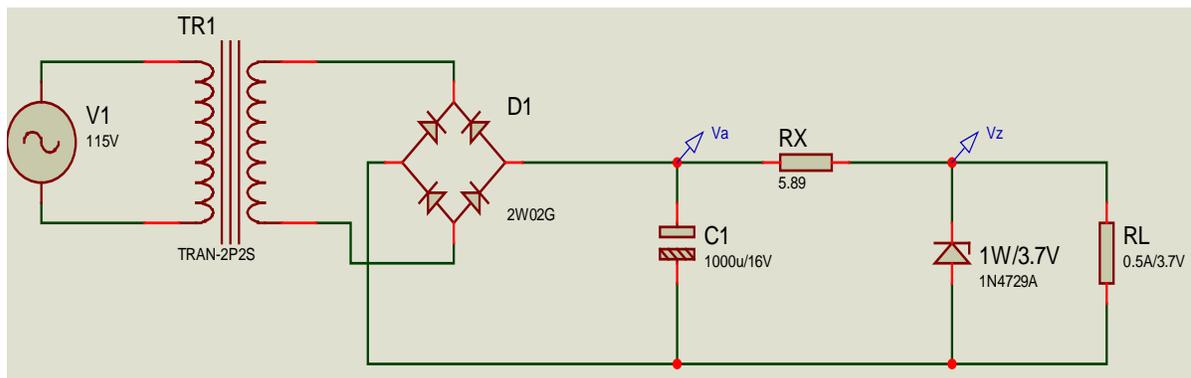
Rectificador – En esta etapa se pretende rectificar la totalidad de la forma de onda de entrada en una polaridad constante, positiva o negativa, en la salida; mediante la inversión de las porciones (semiciclos) negativas (o positivas) de la forma de onda de entrada. A este proceso se le conoce como *rectificación*, y el

circuito que realiza la tarea es el rectificador de onda completa. Para este proyecto se utilizó un puente de diodos obteniendo a la salida del rectificador un voltaje DC, que todavía conserva algunas variaciones de la línea AC y el transformador.

Filtro – El voltaje DC obtenido a la salida del rectificador no es generalmente el apropiado para dar carga al circuito, es una tensión de pulsaciones que normalmente varían de cero voltios al pico de salida del transformador. Por ello, se insertó un circuito para almacenar energía durante cada pico de voltaje, y liberarlo cuando ese pico vuelve a bajar. En este proyecto se utilizó un capacitor de 1000 uF como circuito de filtro y su trabajo es reducir las pulsaciones del rectificador a un voltaje menor.

- *Circuito*

El circuito presentado en la *Figura 3.8*, se utilizó para la elaboración de la fuente de voltaje.



**Figura. 3.9.** Circuito fuente de voltaje para el dispositivo de recepción

- *Calculo de los elementos*

A continuación se muestra de forma general el procedimiento realizado:

**DATOS:**

Transformador:

$$V_{in}: 115 \text{ [VAC]}$$

$$V_{out}: 6 \text{ [VAC]}$$

Voltaje de la carga (Voltaje del diodo Zener):

$$V_{RL} = V_z = 3.7 \text{ [VDC]}$$

Potencia del diodo zener:

$$P_z = 0.5 \text{ [W]}$$

Corriente máxima de carga suficiente para el control:

$$I_{RL} = 0.18 \text{ [A]}$$

**DESARROLLO:**

$$P_z = V_z * I_z;$$

$$I_z = P_z / V_z;$$

$$I_z = 0,5 \text{ [W]} / 3.7 \text{ [V]}$$

$$I_z = 0.135 \text{ [A]}$$

$$R_x = V_{R_x} / I_{R_x}$$

$$V_{R_x} = V_a - V_z$$

$$V_a = V_{pp} - 2 * V_{d1}$$

$$V_{d1} = 0.7 \text{ [V]} \text{ (Voltaje de activación del diodo)}$$

$$V_a = 6 * \sqrt{2} \text{ [V]} - 2 * 0.7 \text{ [V]}$$

$$V_a = 7.06 \text{ [V]}$$

$$V_{Rx} = 7.06 [V] - 3.7 [V]$$

$$V_{Rx} = 3.36 [V]$$

$$I_{Rx} = I_{RL} - I_z$$

$$I_{Rx} = 0.18 [A] - 0.135 [A]$$

$$I_{Rx} = 0.045 [A]$$

$$R_x = 3.36 [V] / 0.045 [A]$$

$$R_x = 74.66 [\Omega] \approx 100 [\Omega]$$

$$P_{Rx} = V_{Rx} * I_{Rx}$$

$$P_{Rx} = 3.36 [V] * 0.045 [A]$$

$$P_{Rx} = 0.15 [W] \approx 1/4 [W]$$

- *Pistas de la placa*

Una vez que se obtiene los valores de los elementos se procede a elaborar las pistas que posteriormente serán utilizadas para manufacturar la placa del circuito deseado. Para este procedimiento se utilizó el software *PROTEUS DESIGN SUITE v7.2 sp2*, en sus versiones *ISIS schematic capture* y *ARES PCB layout*.

A continuación se muestra la *Figura 3.10* que describe las pistas del circuito con los contornos de los elementos a utilizarse, así como cada uno de los puntos de suelda y sus respectivas configuraciones de polarización.

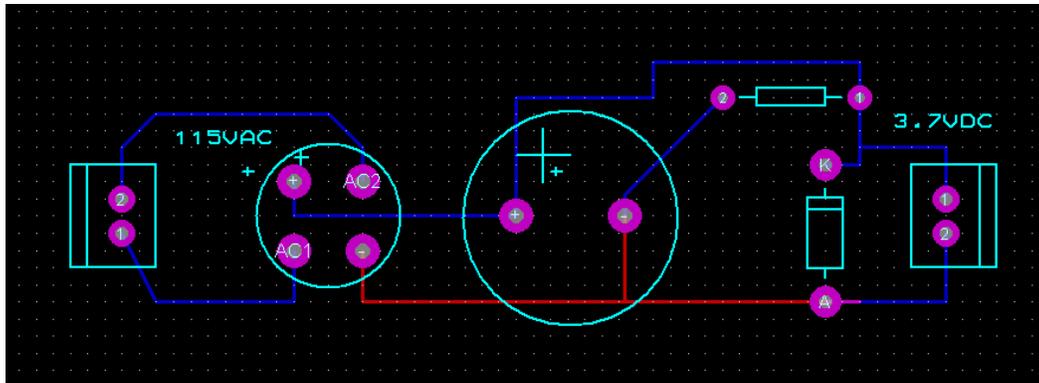


Figura. 3. 10. Pistas del circuito

En la *Figura 3.11* se detalla el circuito impreso que se utilizó para el desarrollo de la placa de la fuente de voltaje.

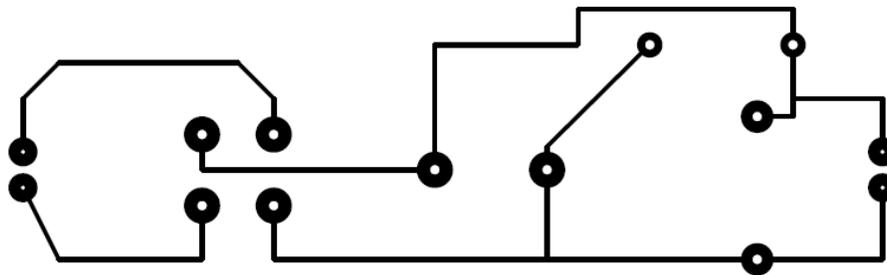


Figura. 3. 11. Circuito impreso de la fuente de voltaje

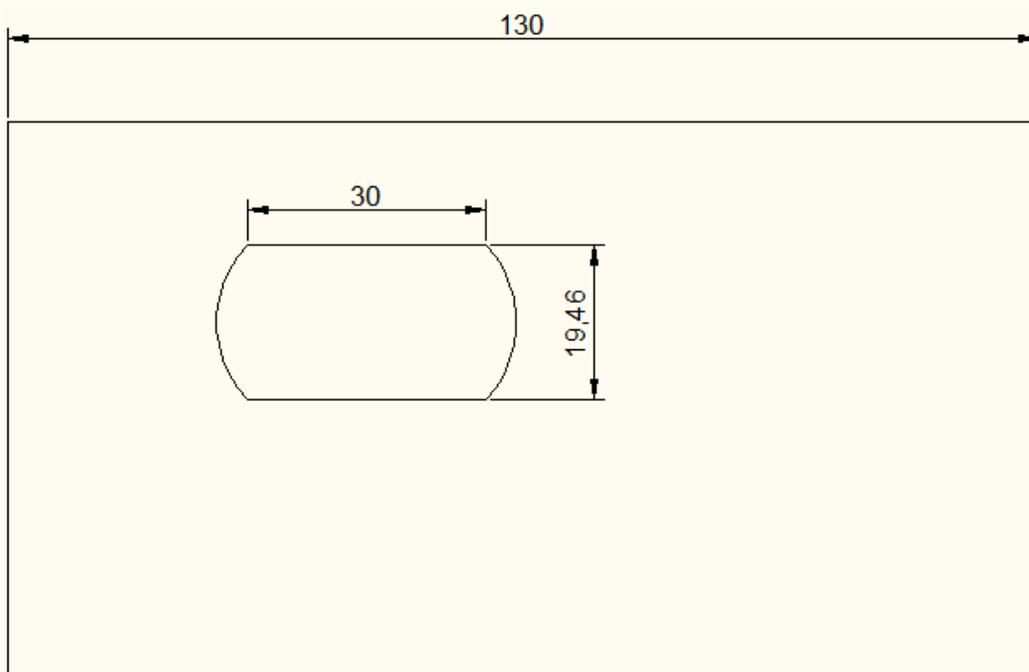
- *Caja de almacenamiento*

Se diseñó este artefacto con la finalidad de poder almacenar en el todas las partes y accesorios necesarios, tales como la fuente de voltaje y el *Wiimote*. Debido a que dichos elementos poseen características físicas propias, es importante al momento del diseño de la caja tomar en cuenta estas características para conseguir un mejor desempeño del dispositivo.

A continuación se muestra el diseño dimensional de la caja o contenedor.

## a) Vista frontal

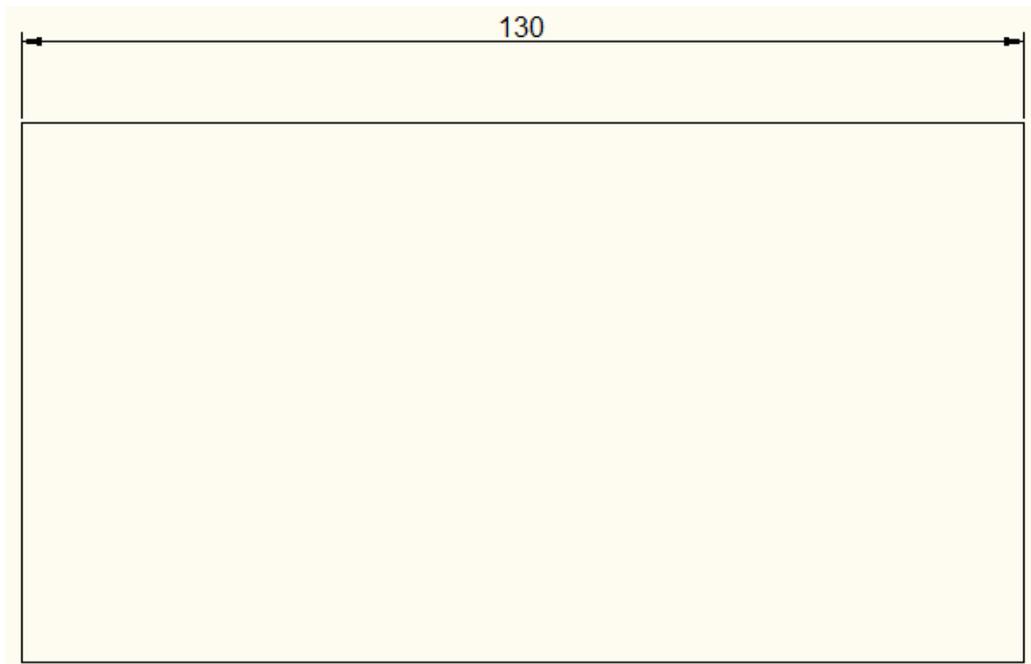
Este plano tiene una dimensión de 13 cm de ancho por 7 cm de altura. La principal particularidad de este plano es que se necesita realizar un agujero de dimensiones específicas, véase la *Figura 3.12*, por el motivo que se ubicará la cámara infrarroja, la misma que necesita plena visibilidad para obtener una mejor respuesta en cuanto a la recepción de las señales.



**Figura. 3. 12.** Vista frontal de la caja de almacenamiento

## b) Vista posterior

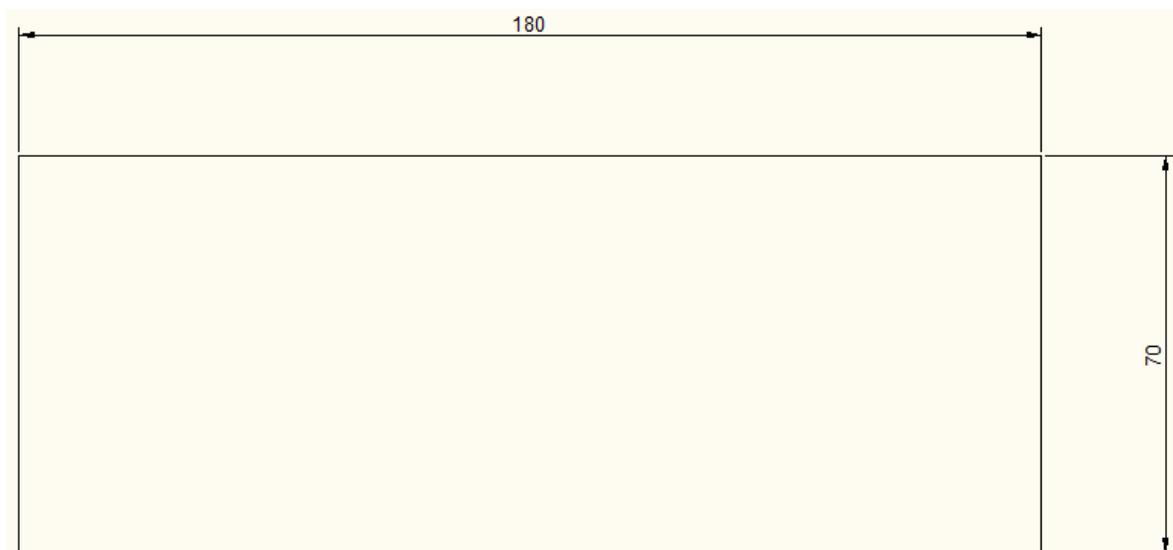
Este plano tiene una dimensión de 13 cm de ancho por 7 cm de altura, véase *Figura 3.13*.



**Figura. 3. 13.** Vista posterior de la caja de almacenamiento

c) Vista lateral derecha

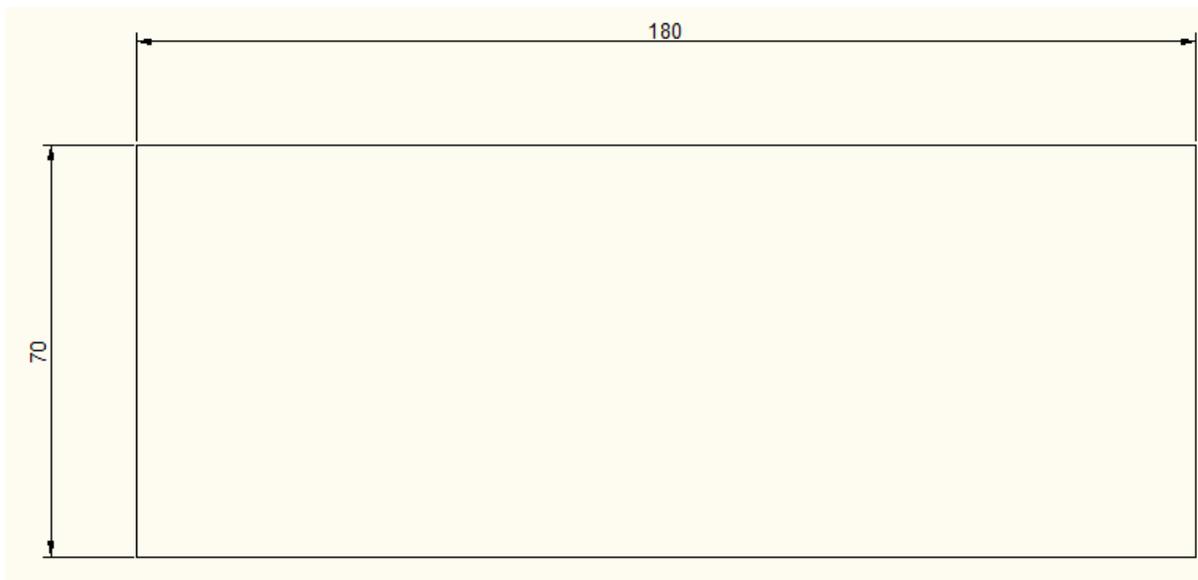
Este plano tiene una dimensión de 18 cm de ancho por 5 cm de altura, véase *Figura 3.14.*



**Figura. 3. 14.** Vista lateral derecha de la caja de almacenamiento

d) Vista lateral izquierda

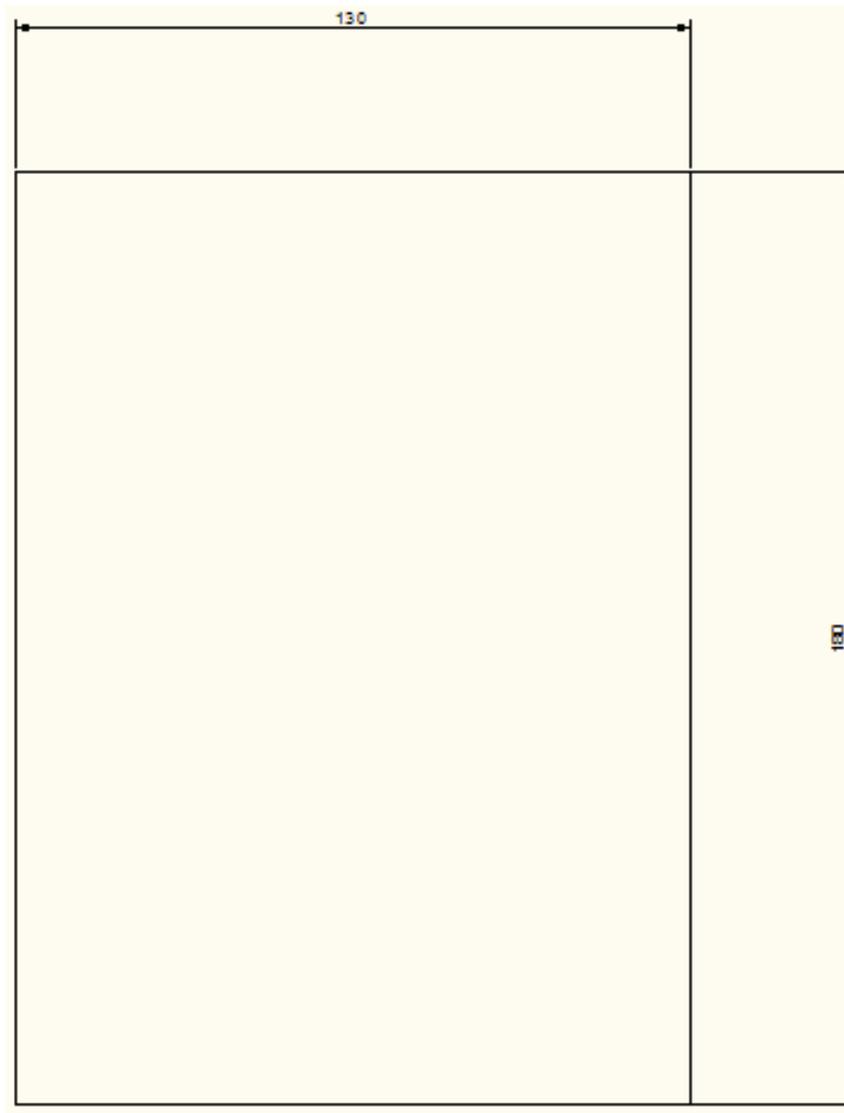
Este plano tiene una dimensión de 18 cm de ancho por 5 cm de altura, véase *Figura 3.15*.



**Figura. 3. 15.** Vista lateral izquierda de la caja de almacenamiento

e) Vista superior

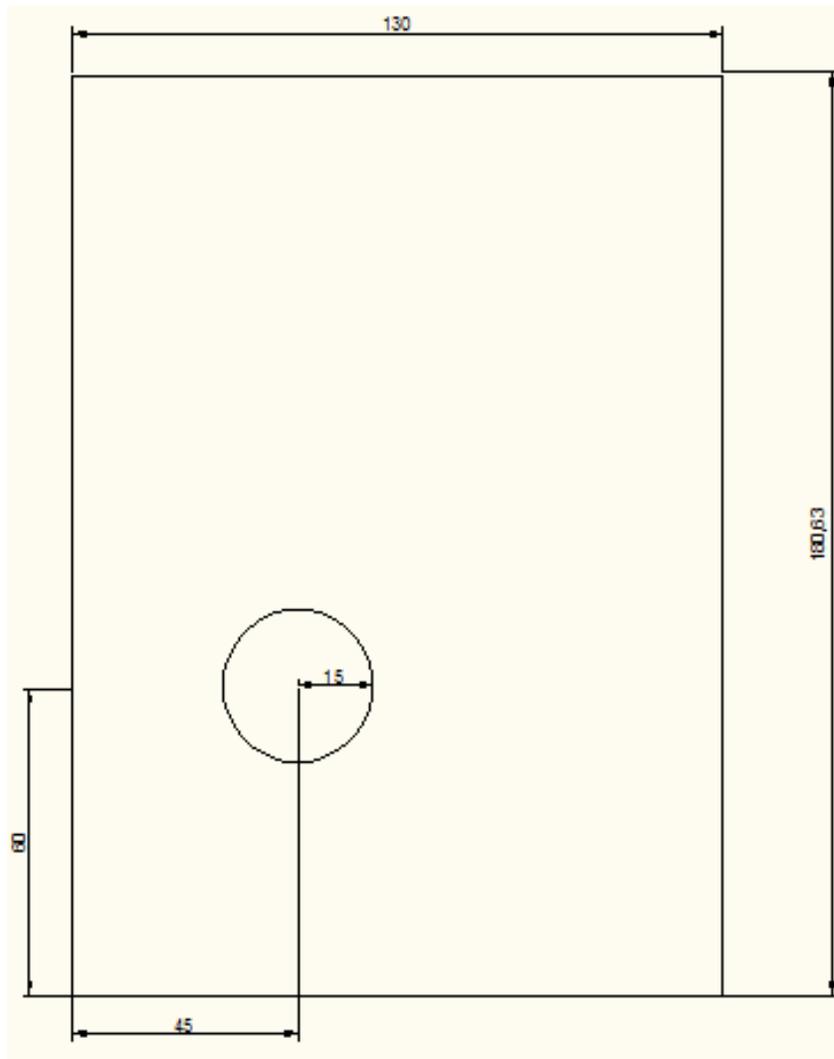
Este plano tiene una dimensión de 18 cm de ancho por 13 cm de altura, véase *Figura 3.16*.



**Figura. 3. 16.** Vista superior de la caja de almacenamiento

f) Vista inferior

Este plano tiene una dimensión de 18 cm de ancho por 13 cm de altura, véase *Figura 3.17*. La principal particularidad de este plano es que se necesita realizar un agujero de dimensiones específicas, véase *Figura 3.17*, por el motivo que se ubicará un botón que se utiliza para sincronizar el computador con el dispositivo receptor de señales infrarrojas.



**Figura. 3. 17.** Vista inferior de la caja de almacenamiento

- *Material de la caja o contenedor*

Después de evaluar las diversas posibilidades a cerca del material que se utilizaría para la construcción del contenedor se decidió elegir la madera del tipo MDP.

El MDP (Panel de Partículas de Media Densidad) es el resultado del uso de tecnología de prensas continuas, modernos clasificadores de partículas y complejo software de control de procesos. Se los realiza mediante la combinación de resinas de última generación y madera de plantaciones. El MDP pertenece a una nueva

generación de Paneles de Partículas de Media Densidad, con características superiores y totalmente distintas de los paneles de madera aglomerada.

El MDP es un producto ecológicamente correcto que no utiliza maderas de la Amazonia o de bosques primarios en su fabricación, si no maderas provenientes de áreas de reforestación, económica y ecológicamente sostenibles.

El MDP es el panel de madera industrializada más utilizado en el mundo para la fabricación de muebles residenciales o comerciales, ya sea por la industria mobiliaria de gran escala o por carpinteros en general.

a) Aplicaciones principales

- ✓ Estanterías
- ✓ Tapas rectas
- ✓ Puertas rectas
- ✓ Base superior e inferior
- ✓ Laterales de muebles
- ✓ Frentes y laterales de cajón
- ✓ Divisorias

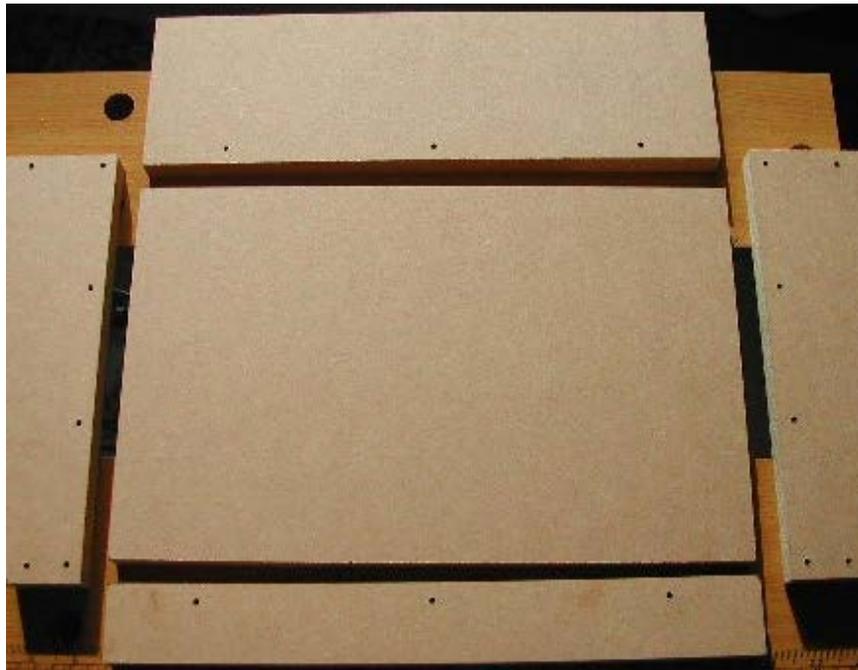
b) Características principales

- ✓ Homogeneidad y gran uniformidad de las partículas de los estratos externos e internos
- ✓ Propiedades mecánicas superiores: mejor resistencia al arranque o utilización de tornillos y las deformaciones.
- ✓ Menor absorción de humedad
- ✓ Alta densidad de los estratos superficiales, asegurando un acabado superior en los procesos de impresión, pintura y revestimientos.

c) Ensamblaje de los elementos

A continuación se detallará el proceso de ensamblaje del contenedor o caja de almacenamiento, se mencionará todos los elementos y materiales vinculados al procedimiento.

Primero se deben cortar los pedazos de madera, con las medidas especificadas anteriormente, como se observa en la figura.



Posteriormente se unen las piezas utilizando pegamento vinílico, el cual es utilizado con mucha frecuencia para todo tipo de trabajo en madera. Es necesario dejar secar el pegamento por aproximadamente dos horas.

Una vez pegadas las partes se refuerzan las uniones utilizando tornillos auto perforantes de madera.



Se realiza el agujero donde se coloca el botón de sincronización y el agujero por donde captará la cámara las señales infrarrojas.



Se ubica un cinturón de cuero que trabajará a menar de abrazadera regulable, la misma que facilitará la manipulación del Wiimote. Además se colocan las piezas necesarias que componen el dispositivo del botón.



Se masilla el contenedor para cubrir todas las pequeñas imperfecciones, utilizando masilla de madera.



Posteriormente se utiliza sellador de madera para dar varias capas de laca con lo cual se logra rellenar las porosidades propias de la madera, además este procedimiento sirve para conseguir un mejor acabado al momento de utilizar la pintura definitiva.

Se lija toda la caja utilizando una lija de grado 400 para dar un acabado extremadamente liso.



Luego se utiliza pintura de fondo en toda la superficie que se necesita pintar

Finalmente se pinta la caja en su totalidad, empleando laca automotriz, es necesario realizar este último procedimiento al menos en dos ocasiones para garantizar un buen acabado en las superficies pintadas.



### 3.1.4. Esquema general del hardware desarrollado.

En la siguiente figura se presenta el esquema general del hardware desarrollado, el mismo que consta de varias partes que son: la fuente de alimentación, la caja de almacenamiento y por supuesto el Wiimote. Este último como se ha señalado contiene la cámara de luz infrarroja y el transmisor Bluetooth; dichos elementos fueron mencionados con anterioridad para mayor información de su relevancia y función en este proyecto.

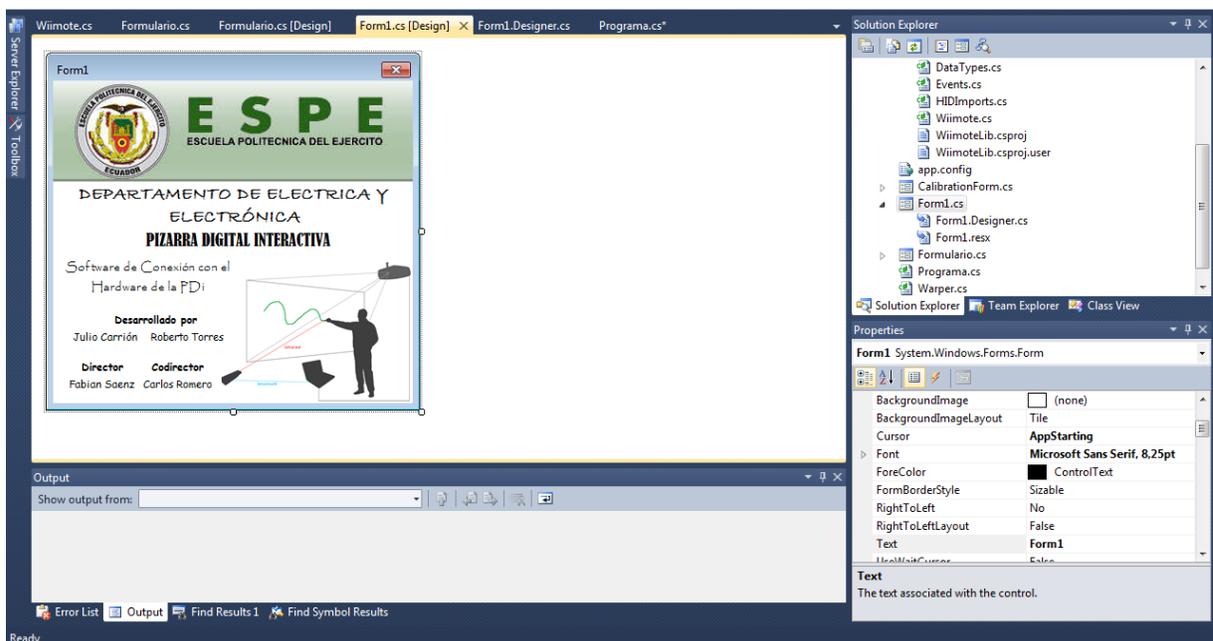


## 3.2. SOFTWARE

Una vez que se ha detallado la implementación del sistema en lo que respecta a su hardware; como en cualquier dispositivo electrónico, es necesario que este sea interpretado y por ende proporcionarle una funcionalidad, por lo que se hace indispensable el desarrollo de un conjunto de aplicaciones que obtengan toda la información necesaria del hardware y a la vez envíen instrucciones para obtener una interfaz humano maquina entra la pizarra, el dispositivo de recepción de datos y el software, por lo que, con su funcionamiento colectivo obtendremos una pizarra digital interactiva, a continuación se detalla cual ha sido el procedimiento realizado.

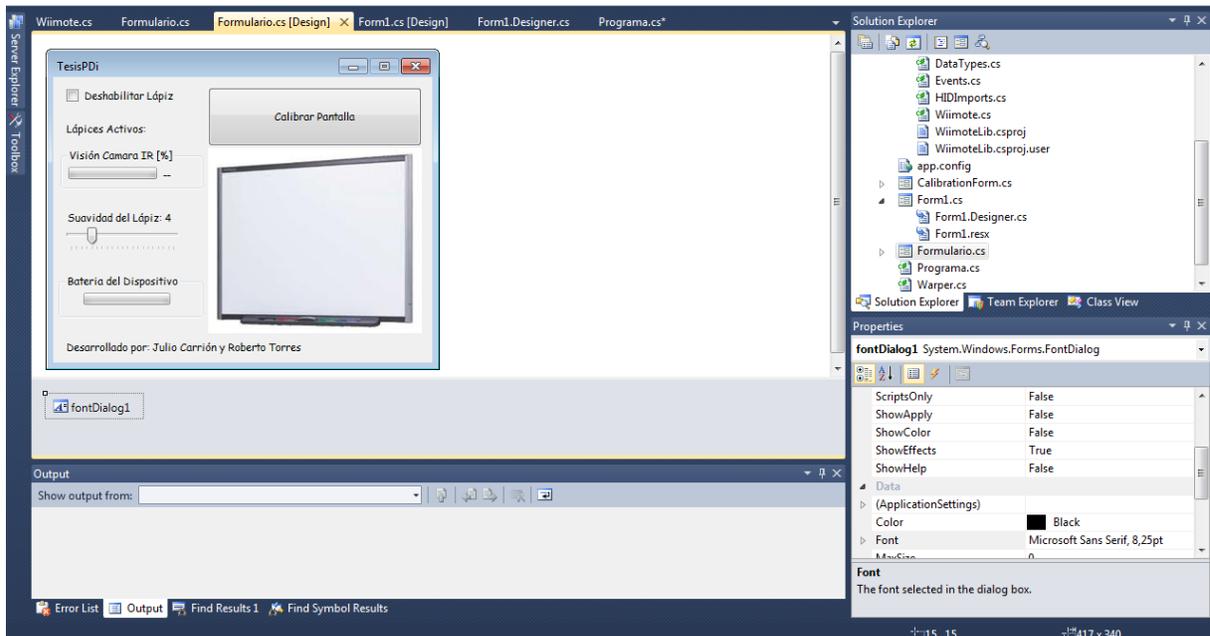
### 3.2.1. Estudio del funcionamiento general del programa.

Una vez listo el hardware para la implementación de la pizarra fue necesario diseñar un software que convierta el punto captado por la cámara infrarroja del dispositivo y transformarlo en una coordenada de la pantalla del computador para que de esta forma indique al puntero del mouse que se dirija hacia dicha coordenada.



Por tanto, se ha desarrollado un programa, que mediante una calibración previa, conozca las coordenadas del punto en el dispositivo de recepción son las esquinas de la proyección, para obtener así la relación de coordenadas del dispositivo y coordenadas del puntero de mouse. Como punto de referencia hemos tomado de referencia un pequeño programa desarrollado por Johnny Chung Lee, llamado “Wiimote Whiteboard”. Este programa implementa la calibración de una superficie, partiendo por las coordenadas que detectan la proyección y su conversión hacia las coordenadas en píxeles que son necesarias para detectar el puntero

infrarrojo y tomar el mando del PC con el puntero del mouse. Partiendo de estos conocimientos, se ha desarrollado el software que se detallará a continuación.

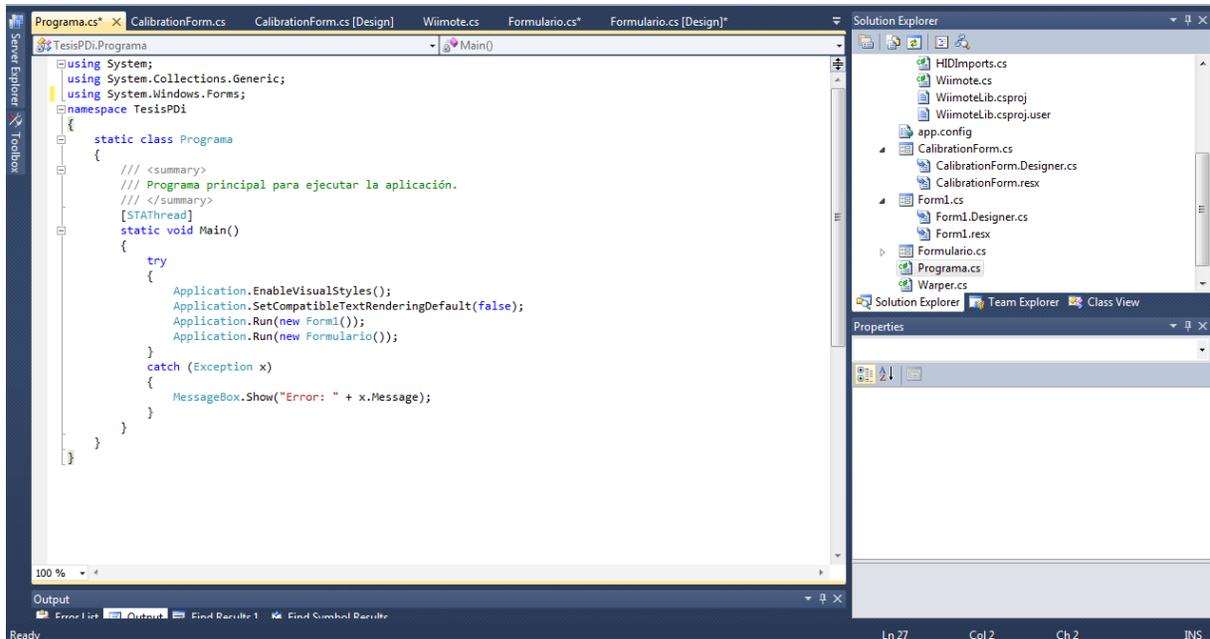


Hay que tener claro que cuando algún objeto, o el propio usuario, se interponen entre el lápiz infrarrojo y el dispositivo de recepción, este último no puede detectar la coordenada que el lápiz está identificando en el espacio, por lo que el programa no realizará la conversión del punto detectado en el espacio hacia la coordenada en pixeles necesaria para gestionar el puntero del mouse. En dicha aplicación hemos implementado una barra que permite modificar la suavidad que se requiere para el trazado, lo que permitirá una mejor condición de funcionamiento de la aplicación.

- *Interconexión entre el hardware externo y el PC*

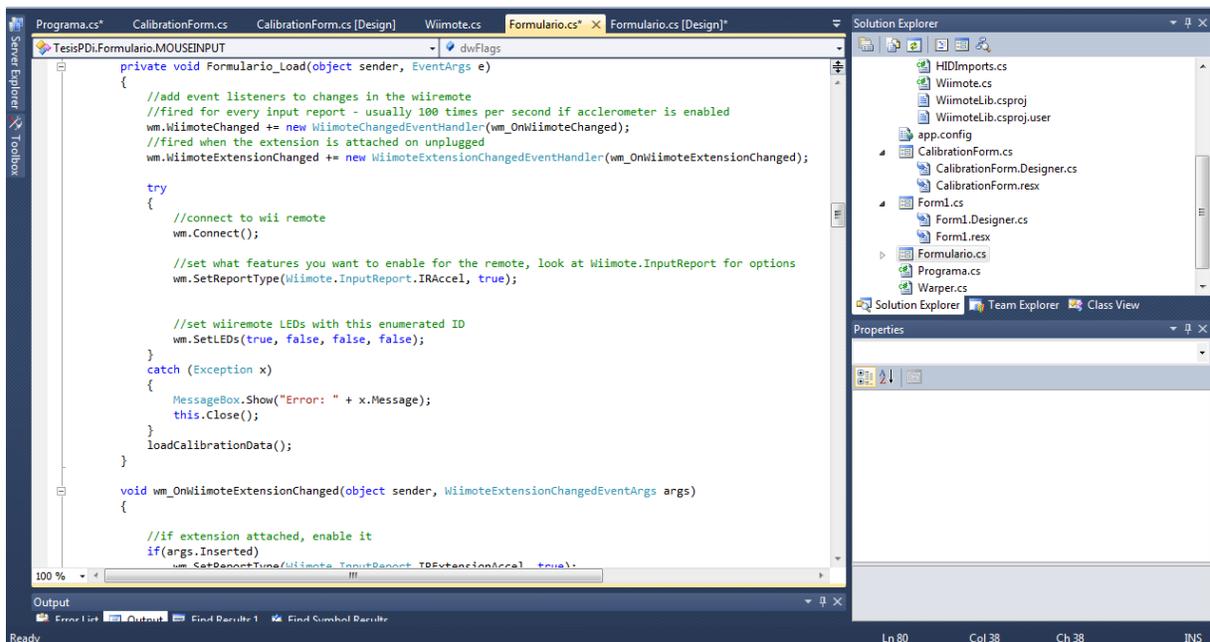
Este software es el encargado de recibir la información del hardware externo de censado e interpretarla para transformar la posición del puntero sobre la superficie de proyección en el punto que se quiere marcar sobre la pantalla del computador. Habitualmente en las pizarras digitales de otra tecnología como las ya mencionadas en este documento, este software es proporcionado por el fabricante o distribuidor de la pizarra digital y generalmente permite gestionar la pizarra, realizar trazos de

distintos tamaños, borrado de la misma, capturar imágenes y pantallas, disponer de plantillas, de diversos recursos educativos, herramientas tipo zoom, entre otras utilidades como el manejo del computador y la gestión de la pizarra simultáneamente, lo que es de gran soporte para el docente ya que con la misma puede desplegar presentaciones y realizar explicaciones extras que siempre son indispensables sobre la misma pizarra.



En la carga del formulario principal de control de este programa, se realiza la conexión al dispositivo de recepción. Al principio del código se crea una variable llamada *wm*. Esta variable será crítica para todo el desarrollo del software, ya que contiene los datos que envía el dicho dispositivo constantemente. Las funciones “try” y “catch” se aplican en zonas de código donde es posible que se pueda producir un fallo, ya que estas funciones lo que permiten es solucionar el posible fallo generado. Primero se prueba el código que hay dentro de try. Si este devuelve un error, se salta a la función catch, la cual indica que tratamiento dar a una excepción concreta. En este punto se tratan las excepciones más comunes, como que no haya el hardware conectado al computador, o que no se encuentre el dispositivo. En caso de que la excepción sea de otro tipo, se muestra un mensaje indicando que el error ocurrido es desconocido.

Cuando el dispositivo de recepción se encuentra conectado al PC y se listan correctamente sus datos en el vector `wm`, se pasa a la siguiente parte del código, donde se indica al programa que los datos de la que se desplegaran en el HMI sean las del dispositivo de recepción. La conexión entre el programa y el hardware de nuestro dispositivo se realiza con el comando "`wm.Connect ( );`". Al ejecutar este comando, el programa llama a la librería `WiimoteLib` y le indica que tiene que realizar la conexión con el mando. Esta librería ya se encarga de pasar los paquetes de datos a las direcciones necesarias para que así sea. Una vez ejecutado ese comando, finalmente se tiene enlace con el dispositivo y recibimos sus datos divididos según la información que requerimos del este.

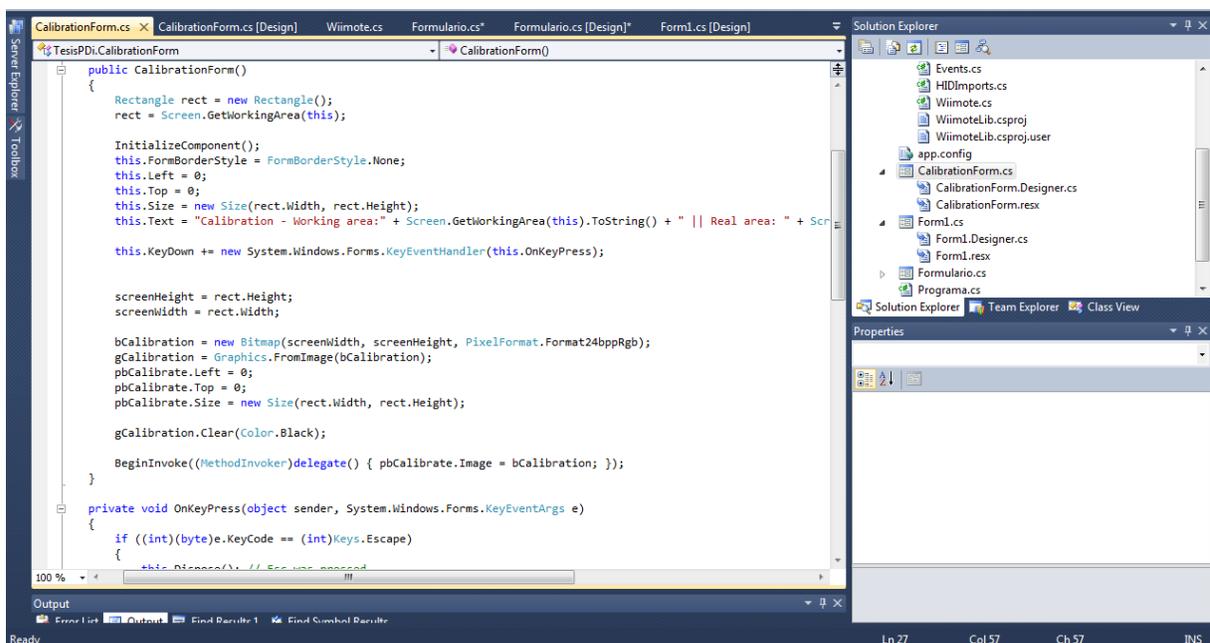


### ▪ *Calibración*

Una vez que se tiene el dispositivo de recepción conectado al computador y recibimos los datos que este envía, lo primero que debe hacer el programa es establecer la relación de correspondencia entre la posición de un punto captado en el espacio por su cámara infrarroja y la posición de ese punto sobre la pantalla de nuestro ordenador, esta puede ser una solución trivial, pero hay que tomar en cuenta

que el dispositivo de recepción no siempre podrá estar perpendicular a la pizarra, sino que dependiendo de la ubicación en la que se lo sitúe tendrá cierto ángulo en relación a esta, con lo que los puntos que posiciona el dispositivo están en una superficie trapezoidal para la visión de este. Por lo tanto, para establecer una relación real entre la posición captada en el hardware y la posición de ese punto en la pantalla, hay que convertir la posición del punto captado por el este sobre una superficie trapezoidal en una posición sobre una superficie rectangular.

Para realizar este procedimiento que por su descripción puede ser muy complejo, se aplican diversas multiplicaciones matriciales a los datos enviados por el hardware, las cuales dan como resultado la transformación de las coordenadas enviadas por el dispositivo en coordenadas sobre la pantalla del computador.



A continuación se explicará en qué consiste esta técnica de transformación con un ejemplo que de alguna manera más descifrable. Cuando se mira a través de las lentes de una cámara, este se percibe como una imagen plana y todas las cosas se ven distorsionadas, tal como dictan las leyes de la perspectiva. Los objetos que se pueden ver se encuentran lejos y se ven más pequeños, y los cuadrados se convierten en trapezoides. Si lo que se está observando a través de la lente es una superficie plana, esta distorsión puede ser tratada mediante la multiplicación de unas

matrices llamadas matrices de deformaciones (en inglés *Warper Matrix*) que convierten la posición X e Y de un punto sobre un trapecoide en posición X e Y de un punto sobre una superficie rectangular.

Para realizar ese cálculo lo único que se necesitan son 8 valores X e Y. Cuatro de ellos serán las posiciones de las esquinas de la pantalla o la pizarra, como superficie de proyección. Estos valores se guardarán en una matriz llamada “*destination quad*”. Los otros 4 serán esas mismas posiciones correspondientes a la cámara del mando, y se guardaran en la matriz llamada “*source quad*”. Con esta información y mediante cálculos matemáticos, el computador puede convertir cualquier punto visto por la cámara en un punto sobre la pantalla del computador.

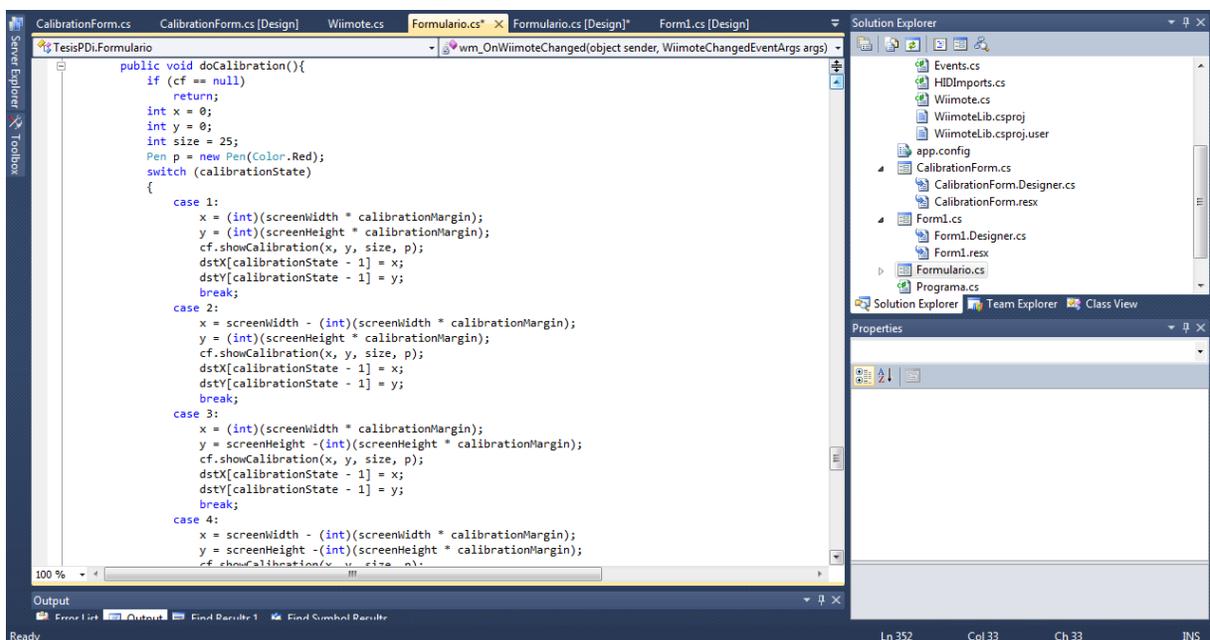
De esta manera se obtiene que el cursor del *mouse* vaya a la posición que se esté marcando con el lápiz infrarrojo sobre la proyección. Por lo tanto, para poder posicionar cualquier punto se necesita haber almacenado previamente las coordenadas de las esquinas. Las coordenadas de nuestra pantalla dependerán de la resolución de esta. La resolución de la pantalla se puede conocer rápidamente utilizando el comando “*Screen.GetBounds (this).Width;*” y “*Screen.GetBounds (this).Height;*”. Para conocer las posiciones de la cámara del dispositivo, debemos de leer en cada esquina de la proyección que posición nos envía el dispositivo, y almacenarla en la matriz “*source quad*”. Para conocer la posición de las esquinas, se debe realizar la etapa de calibración.

#### a) Funcionamiento

El funcionamiento de la calibración es muy sencillo. Se ha creado una pantalla con fondo de color negro y 4 puntos de referencia de color rojo, que serán puntos conocidos por el ordenador y corresponderán a las esquinas de la proyección. Entonces el usuario debe de marcar esos puntos con el lápiz infrarrojo. Al marcar esos puntos, el ordenador lee la posición que envía el hardware y la almacena. De esta manera podemos establecer qué punto nos envía el dispositivo en el origen de coordenadas de la pantalla. Se relaciona la posición 0,0 de la pantalla con la que envíe el dispositivo para la esquina superior izquierda. Con la calibración también se

delimita la superficie de trabajo, de manera que si se utiliza el cursor fuera de esa zona, no habrá ningún efecto sobre la posición del *mouse*.

Para realizar todas estas tareas se detalla la sección del código donde se crea la pantalla de fondo negro en la cual se dibujaran 4 cruces rojas indicando los puntos donde el usuario debe hacer clic con el lápiz infrarrojo. Esta función no almacenará las posiciones enviadas, sino que únicamente se encargará de controlar las imágenes que se muestran por pantalla. Es decir, irá cambiando la cruz de posición cada vez que las variables le indiquen que ya tiene almacenada la posición de dicho punto. Todas las demás tareas las realiza el código escrito en el formulario principal “Formulario.cs”. En el código de este formulario se realiza todo el almacenamiento de los datos de la calibración, y se controla la posición en pantalla del nuevo punto a calibrar. Para almacenar la posición de los puntos en pantalla dentro de la matriz “destination quad” e indicar en qué posición de pantalla hay que dibujar la cruz, se dispone de la función “doCalibration( )”. Los datos relativos a la posición de ese punto para el mando se almacenan en otra parte del código.



```
public void doCalibration(){
    if (cf == null)
        return;
    int x = 0;
    int y = 0;
    int size = 25;
    Pen p = new Pen(Color.Red);
    switch (calibrationState)
    {
        case 1:
            x = (int)(screenWidth * calibrationMargin);
            y = (int)(screenHeight * calibrationMargin);
            cf.showCalibration(x, y, size, p);
            dstX[calibrationState - 1] = x;
            dstY[calibrationState - 1] = y;
            break;
        case 2:
            x = screenWidth - (int)(screenWidth * calibrationMargin);
            y = (int)(screenHeight * calibrationMargin);
            cf.showCalibration(x, y, size, p);
            dstX[calibrationState - 1] = x;
            dstY[calibrationState - 1] = y;
            break;
        case 3:
            x = (int)(screenWidth * calibrationMargin);
            y = screenHeight - (int)(screenHeight * calibrationMargin);
            cf.showCalibration(x, y, size, p);
            dstX[calibrationState - 1] = x;
            dstY[calibrationState - 1] = y;
            break;
        case 4:
            x = screenWidth - (int)(screenWidth * calibrationMargin);
            y = screenHeight - (int)(screenHeight * calibrationMargin);
            cf.showCalibration(x, y, size, p);
            dstX[calibrationState - 1] = x;
            dstY[calibrationState - 1] = y;
            break;
    }
}
```

Para conocer el punto de calibración que se tiene que realizar se utiliza la variable global “calibrationState”. Como el almacenamiento de los datos que envía el dispositivo se realiza en otra parte del código, se utiliza esta variable para controlar

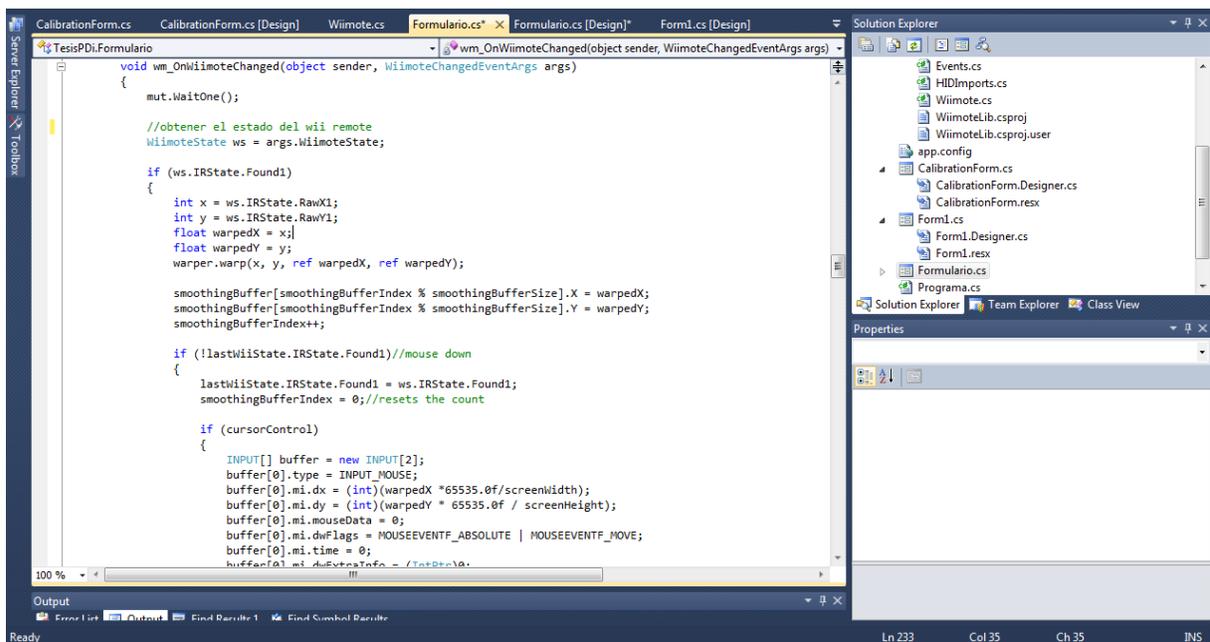
que se almacene la información relativa al mismo punto en las dos partes del código. La función “*doCalibration*” también se encarga de enviar las matrices “source quad” y “destination quad” a la subrutina Warper, la cual utilizará esta información para calcular la posición a la que debe ir el *mouse* durante la utilización de la aplicación.

Se puede apreciar en el código, que para cada punto se almacena la misma información en dos matrices diferentes: X1, Y1. El motivo de este almacenamiento que se ha elegido es para separar las coordenadas y no tener problemas al momento de procesar los datos y así conocer la ubicación del lápiz infrarrojo.

Para cada punto de la calibración, el programa toma la información de la posición de ese punto para el dispositivo, y no pasa al siguiente punto hasta que no tiene la posición del mismo. Por tanto, se dispone de la subrutina Warper, que devuelve la posición en pantalla del PC de lo que ve el hardware. La matriz “destination quad” que forma parte de la subrutina Warper se compone de una matriz, que almacena los datos de posición X y la que almacena los datos de posición Y.

Las coordenadas de esos puntos enviadas por el dispositivo no se almacenan aquí porque el mando envía una interrupción cada vez que tiene datos nuevos. Cuando la cámara capta una emisión IR, actualiza sus datos y provoca una interrupción, la cual debe ser atendida por el programa. Dentro de la rutina de atención a la interrupción se encuentra la parte de código referente al almacenamiento de esa información. Al tratarse de una interrupción, queda justificado el uso de una variable para sincronizar la función *doCalibration* con el almacenamiento de la información enviada por el hardware. Como no se sabe cuándo llegará esta información; “*calibrationState*” informa de ello a “*doCalibration*”. Mientras “*calibrationState*” tiene un valor de 0, y la calibración permanece inactiva. Al pulsar el botón Calibrar del programa, esta variable pasa a tener un valor de 1, y se dibuja el primer punto de calibración. Una vez se ha recibido la información del mando de ese punto, se pone un valor de 2 a “*calibrationState*”, y así sucesivamente hasta llegar al valor de 5, que es cuando se informa de que todos los datos han sido recibidos y se envían a la subrutina Warper.

En la entrada de la rutina de atención a la interrupción (RSI) se comprueba siempre cuando el dispositivo de recepción ha provocado. Dentro de la calibración, se comprueba que el hardware ha enviado la información y se la almacena en las diferentes matrices creadas con ese objetivo, tal como se hizo con los puntos de la función “doCalibration”. Las variables “x” e “y” que contienen la información enviada por el dispositivo de la posición del punto leído. Estas variables se actualizan al principio de la RSI, gracias a la línea de código siguiente:



```

void wm_OnWiiRemoteChanged(object sender, WiiRemoteChangedEventArgs args)
{
    mut.WaitOne();

    //obtener el estado del wii remote
    WiiRemoteState ws = args.WiiRemoteState;

    if (ws.IRState.Found1)
    {
        int x = ws.IRState.RawX1;
        int y = ws.IRState.RawY1;
        float warpedX = x;
        float warpedY = y;
        warper.warp(x, y, ref warpedX, ref warpedY);

        smoothingBuffer[smoothingBufferIndex % smoothingBufferSize].X = warpedX;
        smoothingBuffer[smoothingBufferIndex % smoothingBufferSize].Y = warpedY;
        smoothingBufferIndex++;

        if (!lastWiiState.IRState.Found1)//mouse down
        {
            lastWiiState.IRState.Found1 = ws.IRState.Found1;
            smoothingBufferIndex = 0;//resets the count

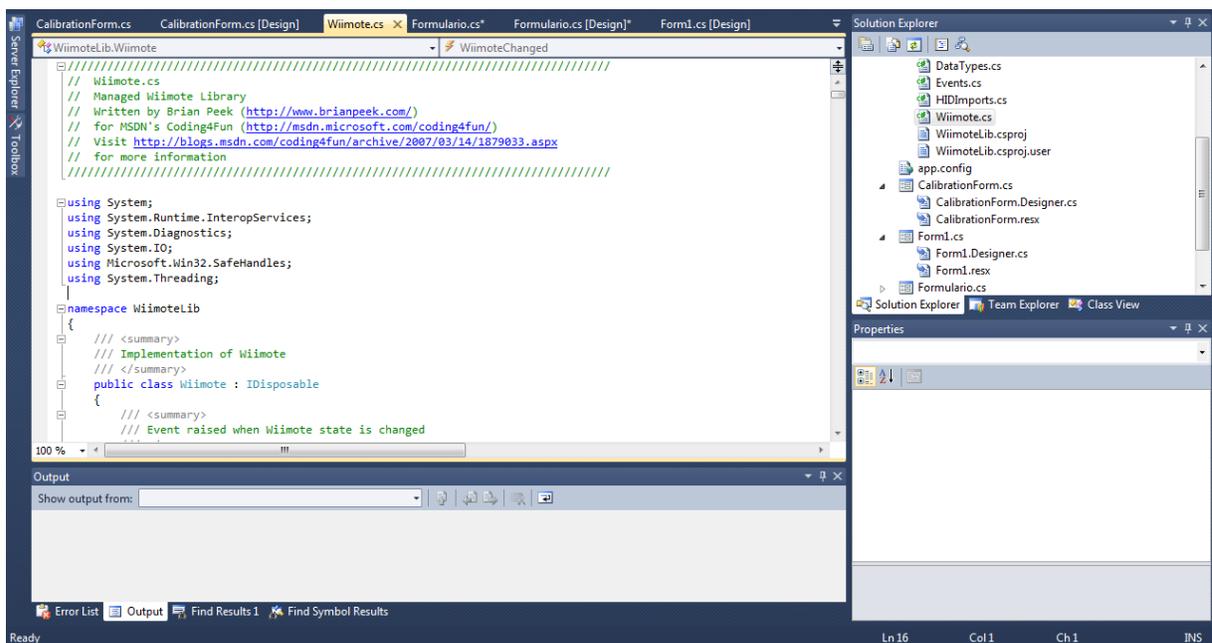
            if (cursorControl)
            {
                INPUT[] buffer = new INPUT[2];
                buffer[0].type = INPUT_MOUSE;
                buffer[0].mi.dx = (int)(warpedX * 65535.0f / screenWidth);
                buffer[0].mi.dy = (int)(warpedY * 65535.0f / screenHeight);
                buffer[0].mi.mouseData = 0;
                buffer[0].mi.dwFlags = MOUSEEVENTF_ABSOLUTE | MOUSEEVENTF_MOVE;
                buffer[0].mi.time = 0;
                buffer[0].mi.dwExtraInfo = (IntPtr)0;
            }
        }
    }
}

```

Desglosemos esta línea de código: “MultipleWiiRemoteForm” indica que la información que se requiere consultar se encuentra en el ese formulario. “mWC[0]” significa que se consultará la información del dispositivo. “WiiRemoteState.IRState.IRSensor[0]” indica que se comprobará la información del primer punto infrarrojo visto por la cámara IR. Si hubiera dos puntos en la superficie, se cogería las coordenadas del primer punto que viera el mando, el que se almacenara en la posición 0 de 3. Durante el desarrollo de este programa solo se tiene en cuenta este punto, ya que no debería haber más punteros en la superficie de proyección. Si los hubiera, imperaría la posición del que se hubiera encendido primero. Por último, “RawPosition.X”, indica al programa que coja la posición X del

punto recibido, teniendo en cuenta que el máximo es 1024. Todas las funciones aplicadas en esta línea de código vienen implementadas en la librería “WiimoteLib”.

Una vez hemos almacenado la información enviada por el dispositivo, se utilizarán dos variables globales de tipo booleano para conocer cuándo se ha recibido la información del hardware para ese punto. Esta variable es “calibra”. Cuando esta se pone en “true”, significa que se ha almacenado la posición de ese punto para el dispositivo, y que se puede pasar al siguiente punto. Se actualiza el valor de “calibrationState” y se actualizan los dos booleanos a valor “false” para utilizarlos en el siguiente punto de calibración. Con el nuevo valor de “calibrationState” se llama a la función “doCalibration” para que pinte el nuevo punto sobre la pantalla o en su efecto sobre la proyección.



Siguiendo este procedimiento, se obtiene las diferentes matrices que componen la información de las coordenadas X e Y de las cuatro esquinas, tanto para el dispositivo como para la pantalla. Esta información se almacena en la subrutina Warper, la cual será llamada cada vez que se reciba una coordenada nueva del dispositivo. A estas funciones les introduciremos las coordenadas que ha enviado el hardware, y devolverán la posición a la que hay que enviar el cursor del mouse del PC.

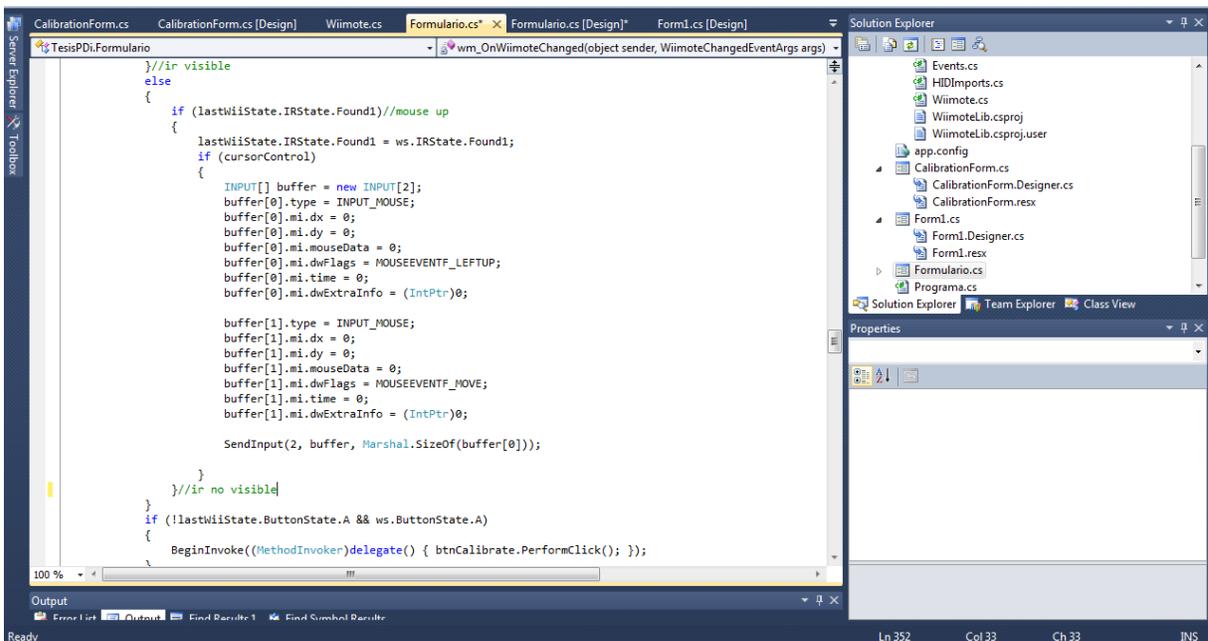
Se dispone de dos funciones adicionales relacionadas con la calibración: “saveCalibrationData( )” y “loadCalibrationData( )”. Estas funciones se encargan respectivamente de almacenar los datos de calibración en un fichero y recuperarlos al abrir el programa de nuevo. Si la instalación física del hardware es fija, no será necesario calibrarlo cada vez que se abra el programa. La última calibración realizada se cargará por defecto y no será necesario calibrar de nuevo antes de utilizar la pizarra digital, y así se podrá comenzar a utilizar directamente.

- *Selección de función que realiza el cursor según estado del puntero IR*

Dentro del desarrollo de la aplicación este fue sección del mismo que más tiempo de desarrollo necesitó, ya que sin una buena selección de que código se ejecutará en función del estado del puntero IR, ninguna de las partes del programa funcionaría correctamente. No se podría calibrar, ya que el código referente a calibración se encuentra dentro de esta selección. Sin una buena identificación según el estado del lápiz infrarrojo, no se podría desplazar el mismo sobre la proyección. Esta sección es crítica para el correcto funcionamiento de todo el software.

Para entender porque el programa incluye diferentes funciones, tomamos en cuenta como ejemplo un programa de dibujo genérico, como “Paint”, el cual viene integrado en todas las distribuciones del SO Windows®. Para poder pintar sobre una superficie en blanco, el usuario debe pulsar el botón izquierdo de su mouse y desplazarse por la superficie. Al desplazarse va dibujando un trazo por las zonas por las que mueve el cursor del mouse. Cuando quiere dejar de dibujar suelta el botón izquierdo del mouse. Este es el comportamiento que se quiere imitar en el programa, ya que su mayor funcionalidad será la de permitir la escritura manual sobre la pantalla del PC y así proyectar la mismo sobre una superficie. Como no se dispone de múltiples botones en el lápiz IR que informen a la PC de la acción que quiere realizar el usuario, hemos de utilizar las diferentes transiciones del led para clonar la acción que un usuario haría con su mouse tradicional.

El lápiz IR puede presentar 3 estados distintos: encendido del led infrarrojo, led infrarrojo mantenido en ON y apagado del led. Tendremos que tratar cada estado de forma diferente en nuestro software, ya que el comportamiento del cursor del mouse dependerá del estado del led IR. El encendido del led se produce cuando en el muestreo anterior el led estaba apagado, y en el muestreo actual esta encendido. El estado en el que el led se mantiene en ON ocurre cuando en el muestreo anterior el led estaba emitiendo infrarrojos y en el actual permanece emitiendo luz IR. Por último, el apagado del led ocurre cuando en el muestreo anterior el led estaba emitiendo y en el actual no se recibe ninguna emisión. No se trata el estado en el que el led permanece apagado, porque en este programa ese estado no tiene que realizar ninguna modificación, y por tanto no le afecta.



En el cambio de apagado a encendido del led IR, se tiene que detectar la nueva posición y enviar el cursor hacia esa coordenada. 10 ms después de enviar el cursor a la nueva posición se realiza la misma función que si el usuario apretara el botón izquierdo del ratón y lo mantuviera apretado. Se hace un clic sobre el punto en el que hayamos puesto el puntero IR. En caso de que estemos calibrando la pizarra, solo se tiene que leer la transición de apagado a encendido, ya que en caso de que permanezca encendido no se debe detectar como la posición de un punto nuevo.

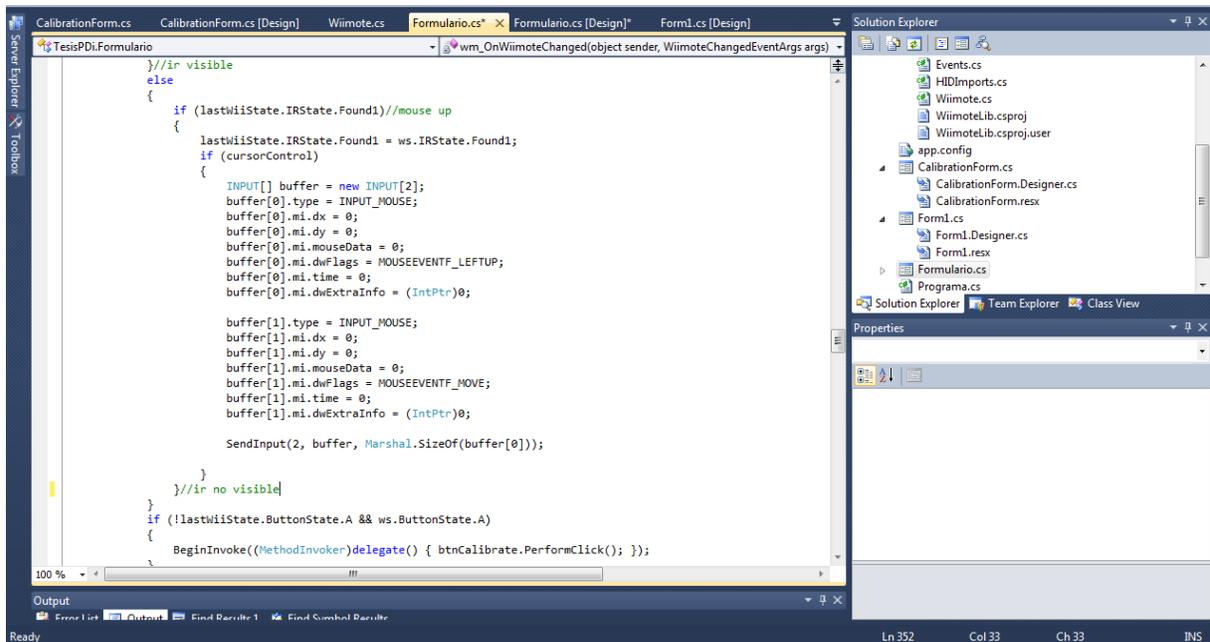
Solo se deben detectar coordenadas nuevas cuando el led pasa de apagado a encendido. Sino, como el programa es mucho más rápido que la persona encendiendo y apagando el led, se almacenarían las mismas coordenadas para los cuatro puntos antes de que le diera tiempo al usuario de desconectar el lápiz IR.

En el segundo estado, el led anteriormente estaba encendido y en el actualmente seguirá encendido. En el primer estado ya se ha realizado la acción de clic, y se mantiene el botón izquierdo del mouse apretado. En este estado lo único que se hace es arrastrar el mouse por la zona que se desea. Con este comportamiento conseguiremos escribir a mano sobre cualquier programa de dibujo, ya que lo que se hace es arrastrar el cursor mientras se lo mantiene apretado. Esta acción, en cualquier programa de dibujo, pintará un trazo por los lugares por los que se mueva el lápiz IR.

Finalmente, en el tercer estado el led pasa de encendido ha apagado. Debemos interpretar esta acción como que el usuario ha concluido de escribir y quiere cambiar de posición. Para posibilitarlo, hay que dejar de simular que se aprieta el botón izquierdo del mouse. Para conseguir realizar las funciones del mouse hay que engañar al sistema operativo para que asuma que todas esas acciones las está realizando el usuario con su ratón físico. Se utiliza una librería de Windows®, que es la misma que utiliza el mouse para que el sistema operativo pueda interpretar la información que envía. Por tanto, desde el sistema operativo, se recibe una información que para él es provocada por un hardware externo. Para poder imitar este hardware externo se programan unos buffers con la diferente información que envía el mouse real en caso de que él hiciera todas las acciones descritas anteriormente. Estos buffers se envían con el comando "SendInput", con lo que el sistema operativo los interpreta como si fuera un hardware externo, y hace las acciones indicadas anteriormente. Así se conseguirá controlar las funciones que realiza el cursor del computador en cada estado y modificarlas según las diferentes necesidades.

La diferenciación de estados y el código asociado a cada estado se encuentra dentro de la rutina de atención a la interrupción, ya que es el lugar donde nos llega la

información actualizada sobre el estado del lápiz IR. Las acciones de control del mouse se deben realizar inmediatamente después de recibir la información del estado del lápiz IR, ya que si hubiera retraso podría darse el caso de pintar en un lugar no deseado. Por tanto, esta diferenciación de estado es la primera acción a realizar después de identificar que el hardware ha generado una interrupción.



```
//ir visible
else
{
    if (lastWiiState.IRState.Found1)//mouse up
    {
        lastWiiState.IRState.Found1 = ws.IRState.Found1;
        if (cursorControl)
        {
            INPUT[] buffer = new INPUT[2];
            buffer[0].type = INPUT_MOUSE;
            buffer[0].mi.dx = 0;
            buffer[0].mi.dy = 0;
            buffer[0].mi.mouseData = 0;
            buffer[0].mi.dwFlags = MOUSEEVENTF_LEFTUP;
            buffer[0].mi.time = 0;
            buffer[0].mi.dwExtraInfo = (IntPtr)0;

            buffer[1].type = INPUT_MOUSE;
            buffer[1].mi.dx = 0;
            buffer[1].mi.dy = 0;
            buffer[1].mi.mouseData = 0;
            buffer[1].mi.dwFlags = MOUSEEVENTF_MOVE;
            buffer[1].mi.time = 0;
            buffer[1].mi.dwExtraInfo = (IntPtr)0;

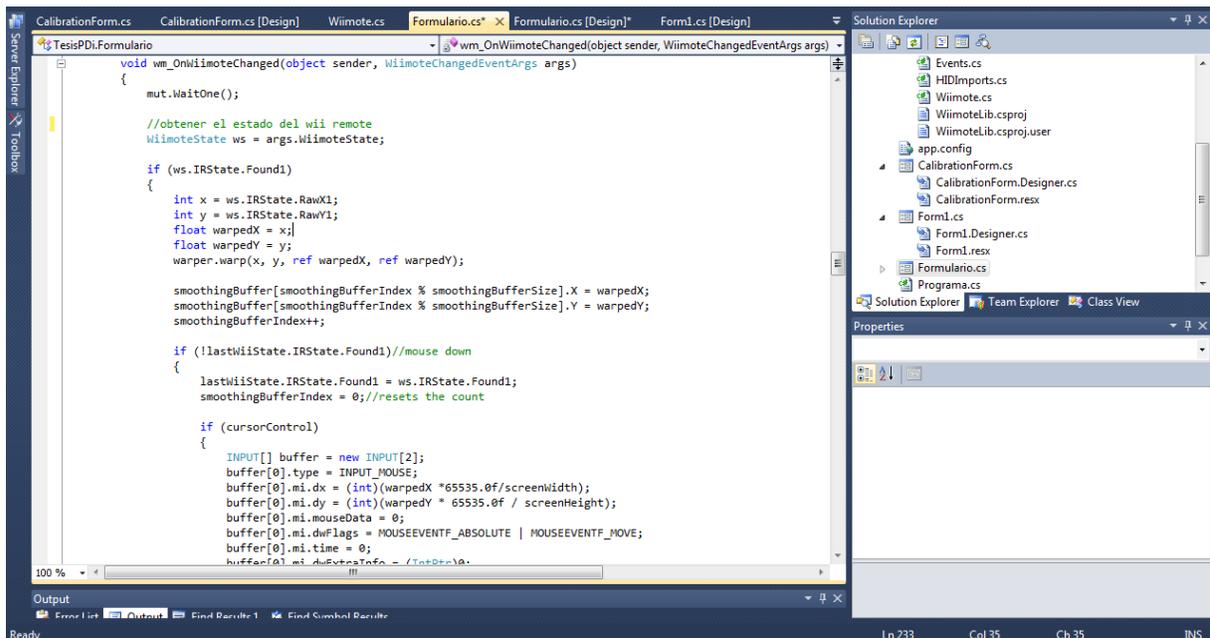
            SendInput(2, buffer, Marshal.SizeOf(buffer[0]));
        }
    }
}
//ir no visible
if (!lastWiiState.ButtonState.A && ws.ButtonState.A)
{
    BeginInvoke((MethodInvoker)delegate() { btnCalibrate.PerformClick(); });
}
```

Al momento de que el hardware provoca una interrupción, inmediatamente el software empieza a monitorear el estado actual y anterior del lápiz IR. Para controlar el estado anterior se utiliza la variable “lastWiiState”, la cual almacena toda la información enviada por el dispositivo en la última interrupción recibida. Esta variable actualiza su contenido al final de la rutina de atención a la interrupción en curso, con lo que al recibir una nueva interrupción siempre se mantiene la información de la anterior interrupción recibida.

El primer problema que se tuvo relacionado con este aspecto apareció muy pronto ya que después de realizar la programación del sistema de calibración para el dispositivo y comprobar que el código fuera correcto, este no funcionaba. Se diferenciaron en el código las partes más problemáticas, dejando únicamente el código necesario para que la calibración funcionara y comprobando que este estuviera escrito correctamente.

Ya organizado el código de una forma más sintetizable, seguía ocurriendo lo mismo. Por lo tanto, se identificó que el problema residía en que nunca se llegaba hasta esa sección del código. Hay dos condiciones para llegar a captar los datos de calibración de la primera esquina. La primera condición es que “calibrationState” debe estar en 0. Se creó un cuadro de texto para comprobar el estado de esta variable y resultó ser 0, por lo tanto el problema no provenía de esa condición. La condición anterior a esa era que nos encontraríamos en la transición de no ver emisión IR a verla. Por tanto, el problema residía en esa línea de código que se implementó para solucionar el mismo:

```
if (!lastWiiState.IRState.Found1)
```



Con esta línea de código se manifiesta la petición para que se ejecute el código que hay dentro del “if” siempre que en la última entrada a la rutina de atención a la interrupción, la cámara IR del hardware no encontrara ningún punto infrarrojo.

Con la anterior línea de código se indica si el dispositivo ha generado la interrupción, y que se compruebe el estado anterior del mismo. Así se evita entrar al “if” en situaciones no deseadas. Con esto, la calibración del programa ya funciona

correctamente. Adquiere todos los puntos y posiciona el mouse correctamente donde el usuario quiere que se traslade.

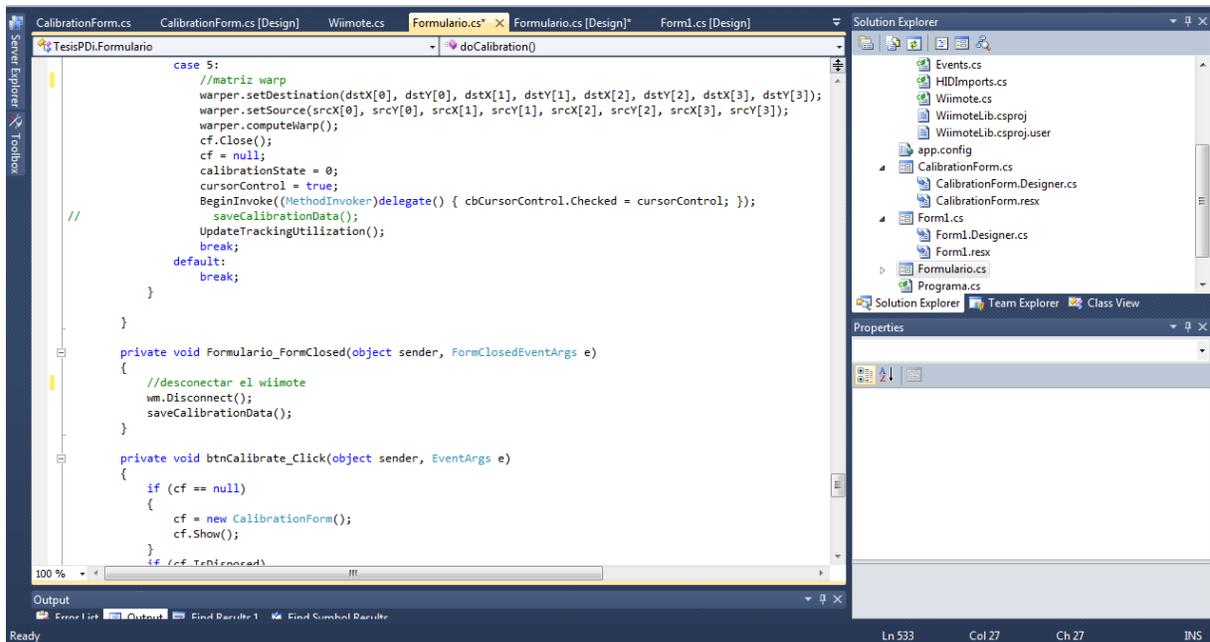
Exitosamente comprobado que la línea de código anteriormente mencionada indica al programa cuando tiene que hacer clic, es de similar importancia la parte del código en la que se indica cuando se debe de dejar de hacer clic. Es en esa sección del código donde se indica a la variable “lastWiiState” que actualice su valor a “false”, ya que si se entra en esa parte de código la cámara infrarroja ha pasado de ver las emisiones IR a no verlas. Si no se modificara el estado de “lastWiiState” correctamente, la calibración no funcionaría porque las condiciones del “if” no se cumplirían cuando se esperaría que lo hicieran.

La primera condición comprueba que el dispositivo ha generado la interrupción, y si este actualmente reconoce algún punto infrarrojo. Si lo ve, comprueba si antes lo veía o no. Si actualmente no viera ningún punto infrarrojo, pasa directamente a comprobar si antes lo veía. En el caso de que antes no viera punto infrarrojo y ahora tampoco, no se ejecuta acción alguna, y el programa quedaría en un estado pasivo.

Por tanto si en el instante en que se comprueba que el dispositivo genera la interrupción, ve una emisión IR y se pasa a comprobar si antes la veía o no. Si antes no la veía, es evidente que es un punto nuevo, y entonces se actualiza la información de “lastWiiState” para asegurarse de que el campo que indica se ve como un punto IR cambia de valor a “true”. Si antes ya se había detectado un punto IR, la función de mantener el botón izquierdo del ratón pulsado ya se ha ejecutado (esta función es simulada por el programa), con lo que el programa únicamente tiene que mover el cursor por las zonas por las que se mueva el lápiz IR. Esta función es la que se hace dentro del “else if” en el que se ha referenciado como arrastre del cursor.

En el caso de que no se vea emisión IR, puede ser que anteriormente sí y se tenga que soltar el botón del mouse. Para saberlo, se comprueba el estado de “lastWiiState”. Si tiene un valor de “true” es que antes se había recibido emisión IR. Lo que hay que hacer en este caso es actualizar el valor de “lastWiiState” a false, ya

que ahora no se recibe la señal IR. Adicionalmente, también hay que indicar al sistema operativo que deje de mantener el cursor del ratón en estado de clic.



Como ya se ha explicado en ocasiones anteriores, la ejecución de la interrupción se realiza de manera aleatoria de acuerdo a la señal infrarroja que el dispositivo detecte. Cuando este ha realizado la acción de clic puede entrar dos veces seguidas en la RSI por la rapidez en la que se detecte el punto IR. Cuando ocurra, como el hardware ha actualizado su valor de “lastWiiState” al hacer el clic, entra en el estado en el que antes se veía puntero IR y ahora también. En ese estado es donde se actualiza una variable llamada “click\_antes” a “false”. Se debería actualizar el valor de “click\_antes” en el último estado, cuando el dispositivo antes veía punto IR y ahora no. Para solucionar este inconcurrencia se realizó lo siguiente; en vez de utilizar una variable que indique si ya se ha realizado anteriormente el clic, se introdujo un “if” que compruebe si la variable “lastWiiState” tiene un valor de “false”. Si es así, realiza la acción de clic. Si no tiene valor “false”, es que ya se ha realizado el clic antes y ahora no es necesario hacerlo. El resto de código anterior permanece inalterado. Solo se modifica la condición de hacer el clic.

Con este nuevo código se asegura que se realiza la acción de clic únicamente una vez. Después de probarlo se comprueba que no da el mismo fallo pero en ciertas ocasiones el cursor realiza clics indeseados.

Después de cerciorarse de que el fallo no residía en la realización del clic, se llegó a la conclusión de que tiene que encontrarse en el punto en el que se deja de hacer clic. El problema consiste en que cuando el dispositivo deja de ver el lápiz infrarrojo, la variable “lastWiiState” actualiza su valor a “false”. Por tanto, si en la siguiente iteración el dispositivo vuelve a reconocer el lápiz IR, se volvía a realizar la acción de clic porque se cumplía la condición de la variable “lastWiiState” tenga un valor “false”.

La solución que se aplicó fue cambiar las condiciones de acceso a este estado. En vez de comprobar si el dispositivo entró en la RSI actualmente y no ve punto IR, en el caso de que ya se divise un punto IR, no hay que realizar la acción de soltar el clic. Para poder hacer esto, se declaró una variable booleana global que indica si el dispositivo identifica algún punto IR. Esta variable recibe el nombre de “vis”. Con la ayuda de esta variable se almacena la última información recibida sobre si el dispositivo ve punto IR y se mantiene durante las diferentes llamadas a la RSI. Por tanto, para dejar de clicar solo se ha de comprobar si actualmente la variable, “vis”, contiene el valor “false”. Si es así, se actualiza la información de “lastWiiState” y se deja de realizar la acción de clic. En caso contrario no se realiza ninguna acción.

- *Rutina de Servicio a la Interrupción*

A lo largo de la descripción del software se ha ido explicando el funcionamiento de las diversas partes que componen la Rutina de Servicio a la Interrupción. En este apartado se pretende comentar todo aquello que no he explicado en los anteriores.

A continuación se comentarán los detalles de programación más importantes de este código, que no se han comentado anteriormente.

Posteriormente de la selección de las coordenadas X e Y a las que se enviará el cursor del mouse. La función “warpedX<x>.warp” devuelve en las variables “warpedX” y “warpedY” las coordenadas a las que hay que enviar el mouse. Al llamarla se le pasa la coordenada X e Y que ha enviado la cámara IR, y las variables en las que se quiere escribir el resultado. Ella convierte las coordenadas enviadas por el mando en coordenadas sobre la pantalla del PC o en su efecto la superficie de proyección. Para poder hacerlo, previamente se debe haber calibrado la pantalla.

A continuación, se observa una matriz con el nombre “SmoothingBuffer”. La función “Smoothing” se utiliza para suavizar el trazo cuando se escribe con el puntero IR. Sin esta función, pequeños movimientos de la mano de la persona que escribe se plasman directamente en la pantalla, apareciendo la línea como si estuviera pixelada. Con la aplicación de esta función se evita. Se puede programar el grado de acción de la función “Smoothing”. En la interfaz de usuario del programa se dispone de una barra que indica el nivel de acción de esta función. Su rango es de 0 a 20. Cuando menor es la utilización de la cámara, más se tiene que subir el nivel. No la ponemos siempre al máximo porque consume muchos recursos, y puede causar que el cursor se mueva más lentamente. Para poder realizar este suavizado, se memorizan las últimas coordenadas recibidas. Una vez memorizadas, se hace la media de estas. Con este funcionamiento conseguimos hacer líneas mucho más suaves, pero se necesitan 5 puntos para pintar en la pantalla un punto. Como coge 5 puntos, se crea un buffer al que le pasamos los últimos puntos y un índice va aumentando para indicar cuantos puntos se tienen almacenados. Cuando llega a 5, comienza a aplicarse el suavizado. Cada vez que se deja de ver el puntero IR, la información del buffer se borra, para que esté listo para la siguiente línea a dibujar. Para asegurarse, al realizar la acción de clic se pone a 0 el índice. De esta manera se cogen 5 nuevos datos cada vez que clicamos de nuevo, borrando los anteriores si los hubiera. Los resultados de esta función se envían al arrastrar el cursor. Por este motivo, cuando el mando antes veía punto IR y ahora también, la selección del punto a enviar depende de un “if”. En este “if” se comprueba si la función “Smoothing” está activa. Si lo está, se cogen como puntos los enviados por esta función. Estos puntos serán la media de los últimos datos enviados. Se memorizará una cantidad de puntos igual al nivel al

que el usuario pone la función. Por tanto, aumentando el nivel se consigue que el cursor vaya más lento, pero que la línea dibujada no presente un trazo pixelado.

Después de la selección de función según el estado del puntero IR, encontramos dos “if” con una gran cantidad de líneas de código en su interior. Estos “if” tienen como condición de entrada la detección del mando que ha generado la interrupción. Su función es la de actualizar la información de la variable “lastWiiState” asociada a cada uno de los mandos. Se actualiza toda la información referente a la recepción de punteros IR. Como el mando envía la información de 4 puntos, y la estructura de “lastWiiState” es una copia de la estructura de datos que envía el mando, se actualiza la información para los cuatro puntos IR que puede posicionar el mando. Al final de cada uno de los dos “if”, se comprueba el estado de la variable “act\_<x>”, donde <x> es el número del mando que ha generado la interrupción. Si es “true”, se actualiza la información de “lastWiiState” del mando contrario. Recordar que se pone a “true” cuando el mismo mando ha entrado 10 veces seguidas en la RSI. Esto significará, que el otro mando no ve el punto IR desde hace 10 interrupciones, y por tanto hay que asegurarse que el valor de visibilidad almacenado en “lastWiiState” es “false”.

Por último, al final del código vemos la aparición de la función “BeginInvoke” repetidas veces. Todas estas cadenas solo se utilizan para actualizar el valor de porcentaje de carga de las baterías del mando que ha generado la interrupción, y pintar adecuadamente la barra de progreso asociada. En resumen, actualiza la información del estado de las pilas del mando que ha generado la interrupción.

La última línea de código está asociada a la primera. Son unas líneas clave para que la interrupción funcione adecuadamente. En la primera línea, la función “mut.WaitOne()” indica que no se deben atender nuevas peticiones de interrupción. Inhibe la llegada de nuevas peticiones de interrupción. La última línea, “mut.ReleaseMutex()”, se encarga de permitir que lleguen nuevamente interrupciones, las desinhibe. Con esas dos funciones conseguimos que no lleguen nuevas interrupciones mientras ejecutamos la RSI. Todas las interrupciones que lleguen durante ese periodo se desestiman.

Existe más código creado para que esta aplicación funcione correctamente, como por ejemplo el de apertura y cierre de nuevas ventanas o aplicaciones, pero el corazón del programa se basa en la RSI. Es en ella donde se controlan las funciones principales y donde se extrae la información de las coordenadas a las que enviar el puntero del mouse. También es donde realizamos la programación de las funciones que hará el ratón. Si esta no fuera la correcta, sería imposible escribir en la pantalla. Por tanto, la RSI forma el núcleo del proyecto. Gran parte del código que he realizado fuera de la RSI se encarga de cuestiones estéticas, y se utiliza para realizar un diseño más amigable de la interfaz de usuario. Se trata de funciones como la apertura de diferentes ventanas o de programas externos a este proyecto, pero que complementan las funciones del mismo. Su programación es muy sencilla, y es común para todos los programas desarrollados en C# con una interfaz gráfica similar a la de este programa. Tanto por internet, como en cualquier libro que trate las funciones que ofrece el lenguaje C#, se puede encontrar la descripción del funcionamiento del código implementado fuera de la RSI.

### **3.2.2. Conexión del dispositivo de recepción con el ordenador utilizando el software IVT Bluesoleil®.**

- *IVT BlueSoleil*

*BlueSoleil* es un controlador de software para hardware *Bluetooth*, desarrollado por *IVT Corporation* para *Windows* y diversas plataformas *Linux*. Desde las últimas versiones (actualmente 8.0), soporta conjuntos de chips *Bluetooth* de *CSR*, *Broadcom*, *Marvell*, etc. Suele estar ligado a los *dongles Bluetooth*, PCs, ordenadores portátiles, PDAs, dispositivos móviles, etc. Desde el año de 2002, *IVT* comenzó el desarrollo de *BlueSoleil* "con el objetivo de que su software se fácil de manejar la conectividad *Bluetooth*, ocultando los conceptos complejos del *Bluetooth* como es la búsqueda de dispositivos, emparejamiento de los mismos, introduciendo los códigos pin si fuera necesario, utilizando diferentes algoritmos para el establecimiento de la conexión. En relación a la utilidad de esta aplicación para el

desarrollo de la pizarra digital esta versión 8 de *BlueSoleil* se utiliza para conectar el dispositivo de recepción con su cámara IR a la portátil en relación con su sencillez de operación.

- *Establecer la conexión con el hardware de recepción*

Antes de conectar el dispositivo es necesario encenderlo pulsando el botón en la parte inferior del controlador como se muestra en la *Figura 3.18*. Si la activación fue exitosa esto se puede ver en los leds que empiezan a parpadear en la parte frontal.

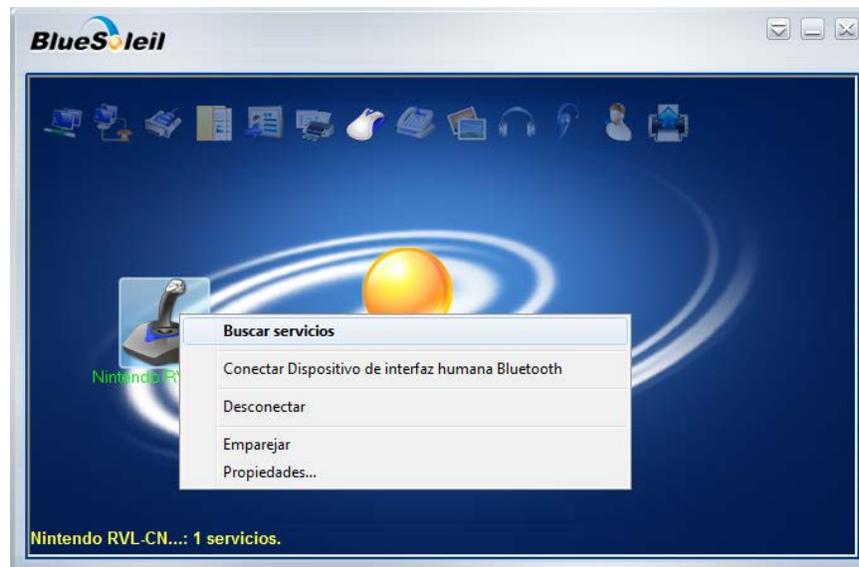
Las figuras de a continuación representan la facilidad de emparejamiento del dispositivo con el computador, específicamente con su hardware Bluetooth estándar. Una vez que *BlueSoleil* se ha instalado y se inicia la detección de dispositivos de forma automática, presenta la siguiente ventana donde su parte superior indica los servicios Bluetooth disponibles para los diferentes dispositivos y en su parte inferior los mismos como parte de grafico representativo para identificar su conexión.



**Figura. 3.18.** Identificar el Wiimote

Para iniciar la conexión, es necesario actualizar los servicios. Con el botón derecho del ratón se abre el menú contextual como se muestra en la *Figura 3.19*. El

servicio que es identificado por es como un dispositivo de interfaz humana que de esta forma permitirá manipular los periféricos de entrada del computador.



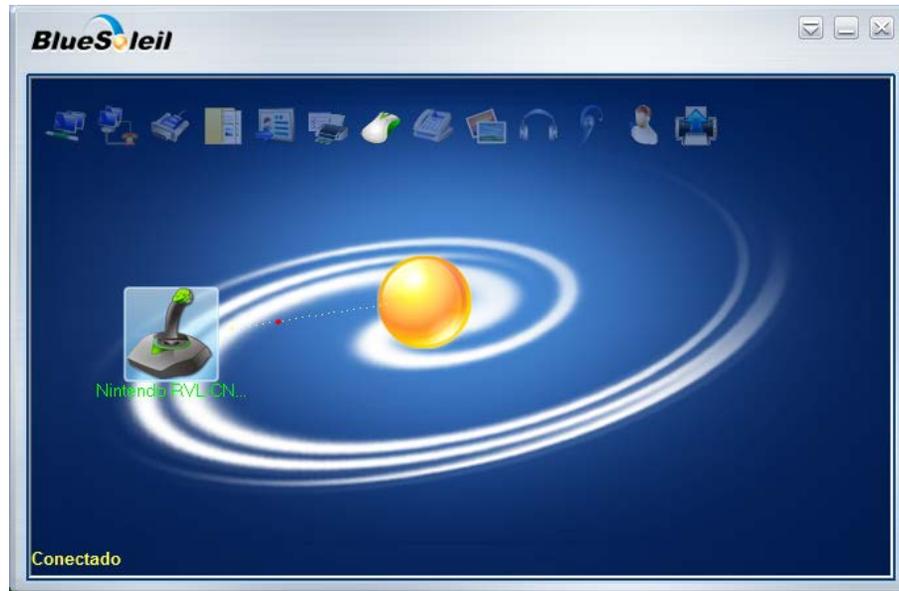
**Figura. 3.19.** Actualización de servicios

Inmediatamente se han identificado los servicios se procede a realizar la conexión del mismo como se muestra en la figura anterior, véase *Figura 3.20*, se hace clic en "Conectar Dispositivo de interfaz humana Bluetooth" del menú en el menú contextual de *BlueSoleil*.



**Figura. 3.20.** Conexión con el Wiimote

Después de la conexión que se estableció el icono que representa el dispositivo cambiara su color a verde para representar que la conexión se ha realizado con éxito, véase *Figura 3.21*.



**Figura. 3.21.** Dispositivo conectado exitosamente

## **CAPITULO IV**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES**

#### **4.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

##### **4.1.1. Pruebas de funcionamiento del lápiz infrarrojo.**

La principal prueba de funcionamiento que se puede realizar es comprobar si el led está emitiendo señales infrarrojas, además se recomienda verificar que exista una amplia visibilidad del led ya que como se mencionó previamente su ángulo de visión es de  $\pm 25^\circ$ .

Teniendo en cuenta estas consideraciones se obtienen excelentes resultados en cuanto a la emisión y recepción de las señales infrarrojas.

En el caso de utilizar un voltaje superior a 1,5 [V] DC se debe dimensionar correctamente la resistencia utilizando la información proporcionada previamente, caso contrario el led puede sufrir daños definitivos.

A continuación se muestran las imágenes de los tres tipos de lápices infrarrojos que están siendo utilizados en este proyecto, en las mismas se puede observar su correcto funcionamiento.

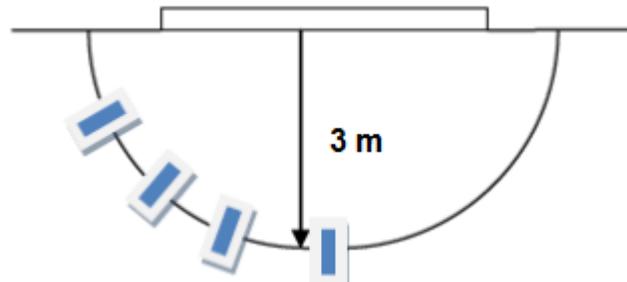


#### 4.1.2. Pruebas de ubicación del dispositivo de recepción.

- *Información para colocar correctamente el hardware*

Para una correcta ubicación del dispositivo de recepción, inicialmente este debe ubicarse aproximadamente a una distancia equivalente al doble de la altura de la proyección. Por tanto, si la proyección tiene una altura de 1.5 m, se coloca el dispositivo a 3 metros de distancia de la superficie de proyección y mirando recto hacia ella.

Una vez que el dispositivo está ubicado a la distancia adecuada, se pueden mover en sentido circular alrededor de la superficie de proyección. Es decir, si la proyección tiene una altura de 1.5 metros, 3 metros será el radio del semicírculo sobre el cual puede rotar el dispositivo, alrededor de la superficie de proyección; como se muestra en la Figura 4.1.



**Figura. 4.1.** Posicionamiento del dispositivo cuando la proyección tiene una altura de 1.5 m.

Se debe rotar el dispositivo hasta encontrar el punto adecuado para cada usuario, ya que este factor puede variar dependiendo de los hábitos de escritura del usuario. También se puede acercar o alejar el dispositivo, pero se recomienda como punto de partida el método explicado anteriormente, ya que ofrece un ajuste más rápido del punto más adecuado.

Si el usuario es diestro, deberá colocar el dispositivo receptor a la izquierda de la proyección. Si por el contrario es zurdo, deberá procurar colocar el dispositivo a la derecha de la proyección. Tomando en cuenta estas recomendaciones se consigue una mayor eficiencia de la pizarra digital.

- *Estudio del porcentaje de visión de la cámara infrarroja, según la posición en la que se encuentre el dispositivo receptor.*

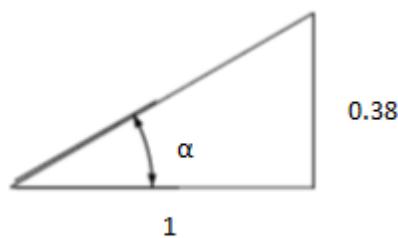
Previo a realizar cualquier ubicación del dispositivo de recepción, se debe conocer los ángulos de visión de la cámara integrada. Para esto se colocó el dispositivo a una distancia de 1 metro de la superficie de proyección, y enfocando al punto medio de la misma, de manera que esté perpendicular a la pared. Se utilizó un nivel para asegurar que el ángulo entre el suelo y la superficie del dispositivo fuera  $0^\circ$ .

Al ejecutar el software de la pizarra se ubica las cuatro esquinas que sirven para la calibración, una vez marcadas dichas esquinas se midió las distancias entre ellas tanto vertical como horizontal por cuatro ocasiones, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla. 4.1.** Distancias de visión del dispositivo, ubicado a 1 metro de la proyección

Medición	Vertical Derecha	Vertical Izquierda	Horizontal Arriba	Horizontal Abajo	Media Vertical (cm)	Media Horizontal (cm)
1	56.8	55.1	76.5	76.1	56.45	76.2
2	57.2	56.5	77.2	76.3	56.85	76.5
3	57	56.4	76.9	75.8	57	76.25
4	56.7	56.5	76.6	76.2	56.6	76.45
<b>Media Total</b>					<b>56.6</b>	<b>76.45</b>

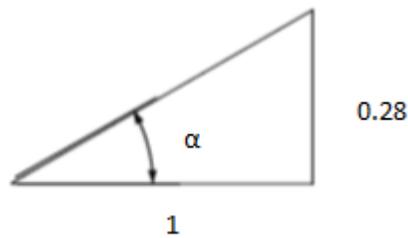
Con estas distancias medidas y aplicando conceptos básicos de trigonometría, se puede obtener el ángulo de visión del dispositivo, tanto en horizontal como en vertical; para esto se aplica el siguiente procedimiento:



$$\text{arc tg } \frac{\alpha}{2} = \frac{0.38}{1} = 20.8$$

$$\alpha \text{ horizontal} = 20.8 * 2$$

$$\alpha \text{ horizontal} = 41.61$$



$$\text{arc tg } \frac{\alpha}{2} = \frac{0.28}{1} = 15.77$$

$$\alpha \text{ vertical} = 15.77 * 2$$

$$\alpha \text{ vertical} = 31.55$$

Se obtiene como resultado que el ángulo de visión horizontal es de  $41.61^\circ$  y el vertical de  $31.55^\circ$ .

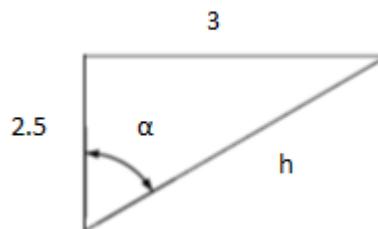
Conociendo estos datos y aplicando varios cálculos trigonométricos, se puede obtener el valor del porcentaje de uso de la visión de la cámara, para cualquier punto dado.

En este estudio se utiliza como referencia, que la dimensión del ancho de la proyección es de 1.9 metros. Para desarrollar la explicación de los cálculos llevados a cabo, se toma en cuenta que desde la mitad de la proyección hasta donde está el dispositivo de recepción hay una distancia de 3 metros en horizontal y 2.5 metros en vertical, como se muestra en la Figura 4.2. El punto medio de visión del dispositivo de recepción se enfocará al punto medio de la pizarra durante todo el desarrollo del estudio. Esto significa, que desde el punto medio de la proyección, el dispositivo ve  $20.80^\circ$  hacia el lado izquierdo como hacia el lado derecho.

Mediante la aplicación de funciones trigonométricas se obtiene la distancia de dos rectas. Una de ellas indica los metros de visión hábil del dispositivo y la otra los metros de visión utilizada para ver la proyección. La división entre estas dos distancias dará como resultado el porcentaje de uso de la visión total que ofrece el dispositivo receptor.

El desarrollo matemático es el siguiente:

Se obtiene la longitud de la línea que conecta el punto medio de la cámara del dispositivo con el punto medio de la proyección, para posteriormente obtener todos los demás ángulos.

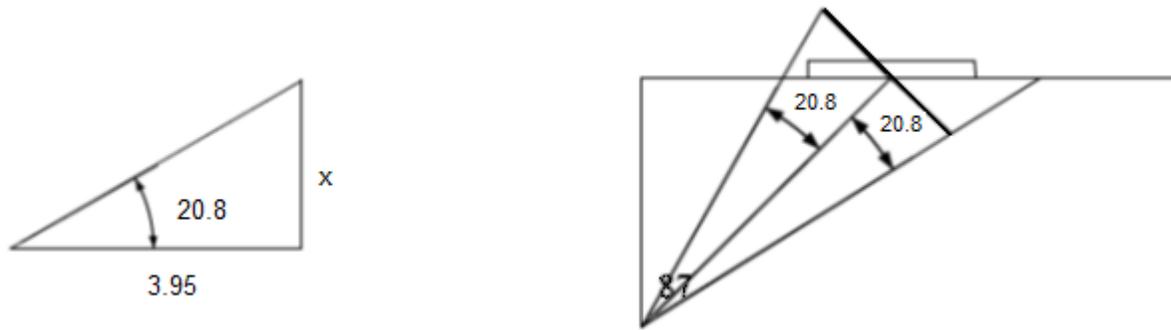


**Figura. 4.2.** Cálculo del ángulo  $\alpha$

$$\begin{aligned}
 h^2 &= c^2 + c^2 & \tan \alpha &= \frac{3}{2.5} \\
 h^2 &= 15.25 & \alpha &= 50.19^\circ \\
 h &= 3.9m
 \end{aligned}$$

Una vez que se tiene el ángulo total desde la pared hasta el centro de la proyección, y la distancia de la hipotenusa, se debe obtener la longitud de visión del dispositivo.

Utilizando el valor de  $h$ , se calcula la longitud de la línea marcada en negro. Esta línea delimita la longitud que es capaz de ver la cámara del dispositivo receptor.



$$\tan 20.8^\circ = \frac{x}{3.9}$$

$$x = \tan 20.8^\circ * 3.9$$

$$x = 1.48 \text{ m}$$

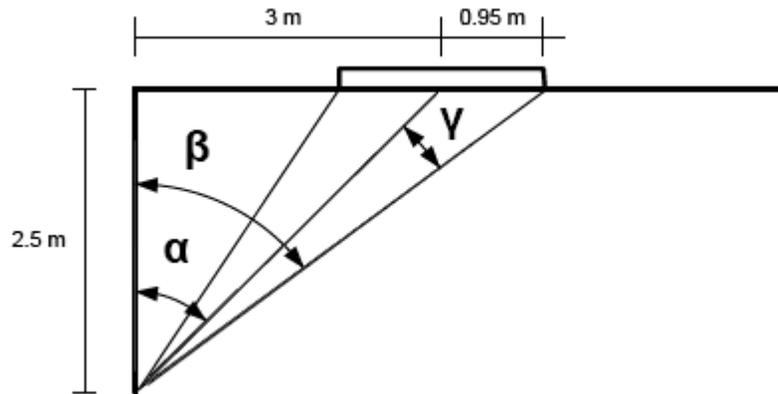
$$\text{longitud total} = 1.48 * 2$$

$$\text{longitud total} = 2.96 \text{ m}$$

Se necesita calcular la distancia entre el dispositivo receptor y la parte derecha de la proyección, para hacerlo, primero se calcula el ángulo comprendido entre la pared y dicha línea. Este ángulo se restará después al que se obtuvo anteriormente, que va desde la pared hasta el punto medio del ángulo como se muestra en la Figura 4.3.

Posteriormente se lleva a cabo el mismo cálculo para el lateral izquierdo de la proyección.

La pizarra mide 1.90 m de ancho, Se ubica en la mitad de esta para calcular los ángulos por separado, recordar que el punto medio de la proyección se encuentra a 3 metros en horizontal y 2.5 en vertical respecto al dispositivo, por lo tanto en una medición se suma 0.95 m y en la otra se sustrae el mismo valor.



**Figura. 4.3.** Cálculo de distancias entre el dispositivo y la proyección

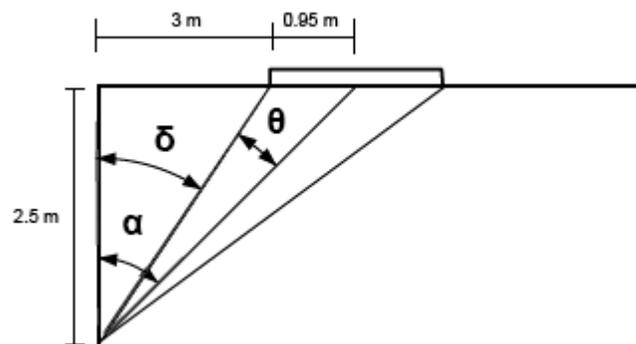
$$\tan \beta = \frac{3 + (1.9/2)}{2.5}$$

$$\tan \beta = 1.58$$

$$\beta = 57.67^\circ$$

$$\gamma = \beta - \alpha$$

$$\gamma = 57.67^\circ - 50.19^\circ = 7.48^\circ$$



$$\tan \delta = \frac{3 - (\frac{1.90}{2})}{2.5}$$

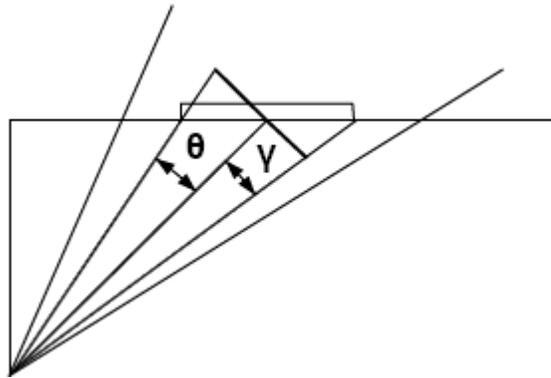
$$\tan \delta = 0.82$$

$$\delta = 39.35^\circ$$

$$\theta = \alpha - \delta$$

$$\theta = 50.19^\circ - 39.35^\circ = 10.84^\circ$$

Teniendo los ángulos  $\theta$  y  $\gamma$ , se puede definir dos triángulos, de los cuales se conoce un ángulo y uno de los lados, que será el valor de  $h$ , calculado anteriormente. Conociendo esos datos, se puede obtener el lado restante de ambos triángulos, que en este caso será la distancia que se desea encontrar, simbolizada por una línea más oscura en la Figura 4.4.



**Figura. 4.4.** Distancia de visión utilizada para observar toda la proyección.

Como los ángulos son diferentes, las distancias también, ya que dependen de la posición y orientación del dispositivo receptor. El cálculo de las distancias es el siguiente:

$$\tan 7.48 = \frac{x}{3.9}$$

$$x = 0.51 \text{ m}$$

$$\tan 10.84 = \frac{x'}{3.9}$$

$$x' = 0.746 \text{ m}$$

$$\text{longitud total} = 0.51 \text{ m} + 0.746 \text{ m}$$

$$\text{longitud total} = 1.256 \text{ m}$$

Los resultados obtenidos son los siguientes: la distancia horizontal de visión del dispositivo receptor es de 2.96 m, mientras que la distancia de visión utilizada para ver toda la proyección (Pizarra) es de 1.256 m. Por tanto, se están desperdiciando 1.7 m de visión.

$$\text{Porcentaje de utilización de cámara} = \frac{1.256}{2.96} * 100$$

$$\text{Porcentaje de utilización de cámara} = 42\%$$

Se utiliza un 42 % del total de la visión de la cámara si se coloca el mando a 3 metros en horizontal desde el punto medio de la proyección, y separado 2.5 metros en vertical.

Según el ángulo al que se ubique el dispositivo receptor respecto de la proyección y el radio que haya entre el punto medio de la proyección y el dispositivo; se aplican estos datos en una hoja de cálculo utilizando el procedimiento anterior y se obtienen los siguientes resultados:

- Radio = 2.76 m

**Tabla. 4.2.** Porcentaje de visión cámara IR, radio de 2.76 m

<b>Angulo del Dispositivo Receptor (°)</b>	<b>Porcentaje de Visión (%)</b>
80	89.532
75	88.202
70	86.321
65	83.876
60	80.846
55	77.215
50	72.966
45	68.089

40	62.579
35	56.447
30	49.711
25	42.412
20	34.603
15	26.359
10	17.773
5	8.947

- Radio = 2 m

**Tabla. 4.3.** Porcentaje de visión cámara IR, radio de 2 m

<b>Angulo del Dispositivo Receptor (°)</b>	<b>Porcentaje de Visión (%)</b>
80	123.956
75	122.605
70	120.657
65	118.057
60	114.735
55	110.614
50	105.609
45	99.637
40	92.618
35	84.496
30	75.237
25	64.851
20	53.394
15	40.983
10	27.789
5	14.039

- Radio = 2.5 m

**Tabla. 4.4.** Porcentaje de visión cámara IR, radio de 2.5 m

<b>Angulo del Dispositivo Receptor (°)</b>	<b>Porcentaje de Visión (%)</b>
80	<b>98.921</b>
75	97.545
70	95.593
65	93.039
60	89.854
55	86.009
50	81.473
45	76.22
40	70.236
35	63.517
30	56.078
25	47.954
20	39.204
15	29.915
10	20.195
5	10.174

- Radio = 3 m

**Tabla. 4.5.** Porcentaje de visión cámara IR, radio de 3 m

<b>Angulo del Dispositivo Receptor (°)</b>	<b>Porcentaje de Visión (%)</b>
80	82.324
75	81.046
70	79.245
65	76.91
60	74.031

---

55	70.598
50	66.603
45	62.042
40	56.92
35	51.251
30	45.059
25	38.383
20	31.274
15	23.797
10	16.031
5	8.066

#### **4.1.3. Pruebas de Tracking entre el dispositivo de recepción, y resultados experimentales.**

El primer resultado que se puede apreciar, es la incapacidad de visión si se coloca el dispositivo receptor a un radio de 2 metros y con un ángulo mayor a 45°. Se comprueba que por encima de ese ángulo, el porcentaje de visión es mayor a 100%, lo que significa que existe una zona de la proyección que no se vería.

También se obtiene de este estudio, que si se desea colocar el dispositivo a un ángulo de 45°, la posición óptima 2 metros de longitud es la posición óptima. Hay que tener en cuenta que estas distancias están medidas sobre una proyección de 1.38 m de alto por 1.90 m de ancho.

De este resultado se concluye que colocando el dispositivo receptor a 45 ° de ángulo respecto la proyección, la distancia a la que debe estar ubicado dicho dispositivo es un 27 % menor a multiplicar 2 veces la altura de la proyección; que es el método de ubicación recomendado anteriormente.

Comparando los valores de la tabla obtenida con un radio de 2.76 m, con las de radio de 2.50 m, se observa que los valores de uso de cámara de la última son más altos. Por tanto, con un radio de 2.5 m se ve mejor la superficie para todo el rango de diferentes ángulos de este estudio, que va de los 5 ° a los 80 °.

La pérdida de visión de colocarlo a 2.76 m respecto a colocarlo a 2.5 m es de 9.38 % en el caso más desfavorable. Por tanto, el cálculo  $d = 2h$ , resulta ser una aproximación muy buena al valor óptimo. Se demuestra que el resultado es muy bueno, con lo que se recomienda el uso de este método de ubicación.

Se comprueba también que ampliar el radio a una distancia mayor a  $d = 2h$ , da como resultado una disminución de la utilización del área de visión de la cámara. No habría que alejar el mando a una distancia mayor a  $2h$ , ya que a esa distancia el porcentaje de visión es muy bueno para un gran espectro de diferentes ángulos.

Utilizando el programa de la pizarra, se comprueba que porcentajes inferiores al 30 % ofrecen resultados no admisibles para dibujar con una calidad adecuada. Del 30% al 50 % se puede dibujar con muy baja calidad y a partir del 50 % la calidad es bastante buena.

Esto ocurre porque la resolución va creciendo según aumenta el uso del área de visión de la cámara. Con un valor de uso inferior al 30%, el programa funciona pero la resolución es tan baja que crea líneas al escribir, ya que no detecta cambios de posición hasta que el usuario mueve unos cuantos centímetros el puntero. Por este motivo, valores inferiores al 30 % deben ser descartados.

Si se comprueban los datos de las tablas, a un radio de 2.76 m el ángulo máximo al que se podría poner el mando, siguiendo el criterio explicado anteriormente, sería de 20 °.

Para poder ponerlo con un ángulo inferior, se debería colocar el mando a 2 metros de la proyección, y el ángulo mínimo sería 15°.

Para ángulos inferiores a 45°, se recomienda colocar el dispositivo receptor más cerca de la proyección. El uso de la fórmula " $d = 73\% * 2h$ " ofrece resultados muy

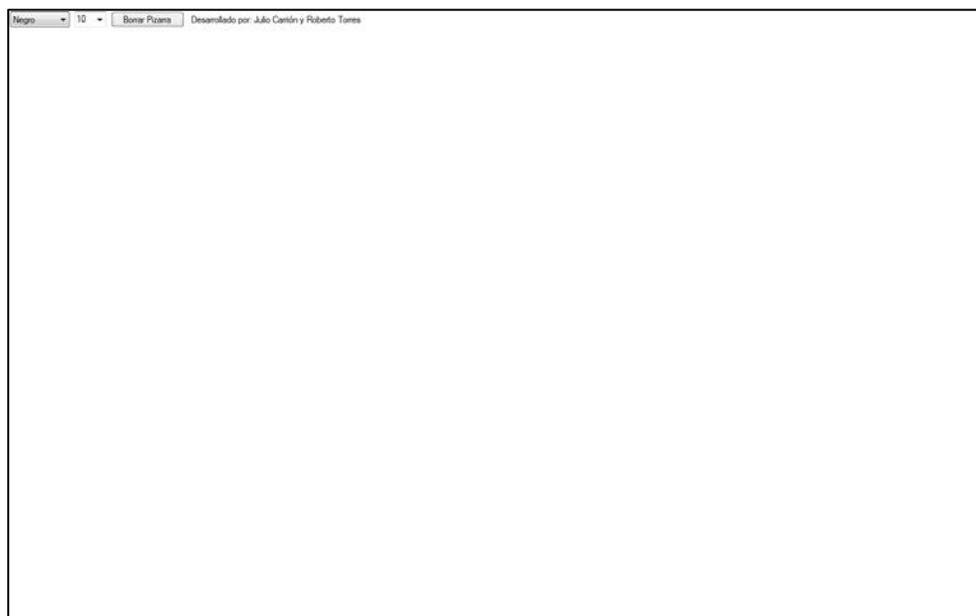
buenos para conocer la posición del dispositivo con ángulos que van desde los 45° hasta los 15°.

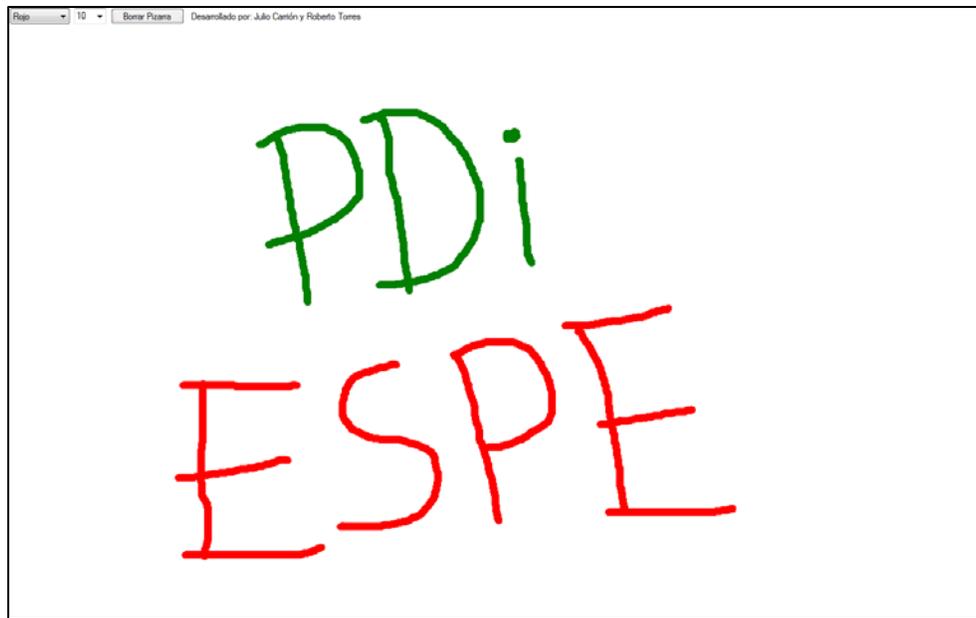
#### 4.1.4. Pruebas de funcionalidad del software para tele educación.

En esta sección del proyecto se pretende demostrar la funcionalidad completa del software desarrollado para la implementación completa de la pizarra digital interactiva, por lo que se ha incluido una aplicación que permite gestionar las características básicas de una pizarra convencional; por otro lado un conjunto de aplicaciones, las cuales están orientadas específicamente para desarrollar las capacidades intelectuales; así como de motricidad de los alumnos.

A continuación se detalla un conjunto de capturas de pantalla de las aplicaciones desarrolladas en pleno funcionamiento, para lo cual se ha incluido una descripción breve de las mismas

- *Aplicación Pizarra Digital*



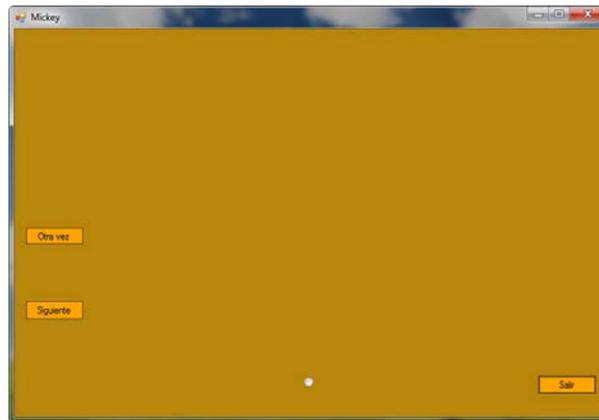


- *Aplicación banderas del mundo*

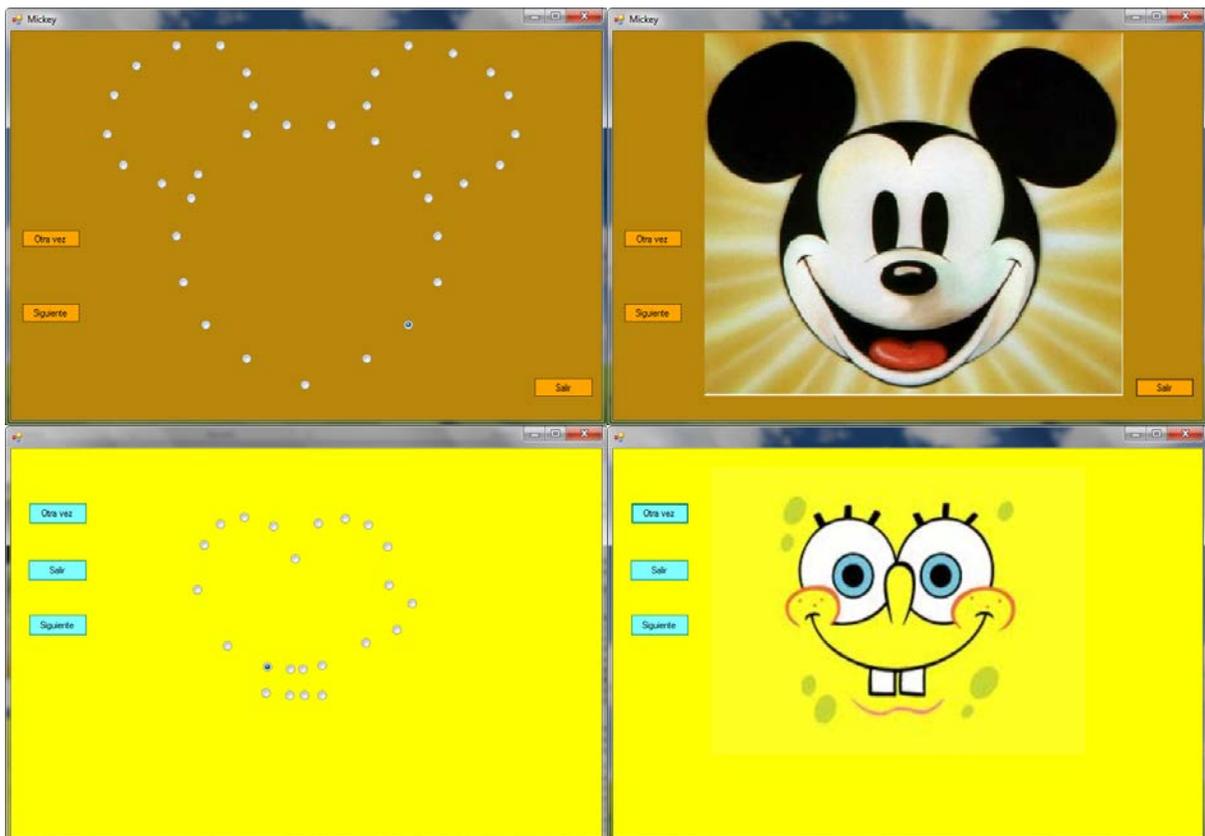


**Figura. 4.5.** Aplicación banderas del mundo

- *Aplicación de seguimiento de puntos*



**Figura. 4.6.** Inicio de la aplicación de seguimiento de puntos



**Figura. 4.7.** Aplicación de sucesión de puntos

#### 4.1.5. Resultados finales

Mediante la ejecución de todas las soluciones explicadas anteriormente para el código principal del software de interconexión con la *PDi* y las aplicaciones orientadas a teleducación, se obtiene el programa final de gestión del dispositivo de recepción, el cual presenta el siguiente aspecto:



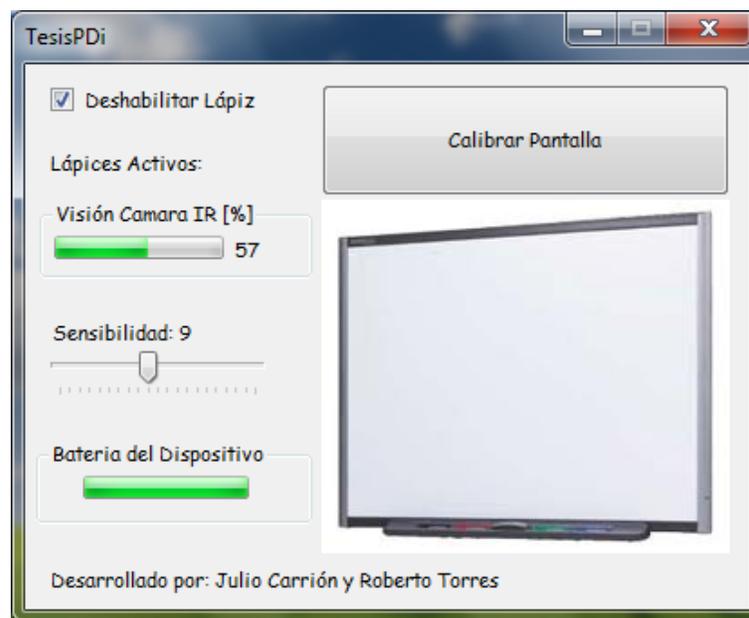
Figura. 4.8. Presentación inicial del programa

Después de colocar correctamente el dispositivo de recepción y calibrarlo, el programa permite convertir la proyección de la imagen enviada por la PC en una pizarra digital interactiva.

Para colocar el dispositivo correctamente se han de tener en cuenta los resultados obtenidos en el estudio realizado.

Mediante el testeo de la aplicación, se obtiene como resultado que el porcentaje mínimo de utilización de cámara que debe tener cada mando es del 30%, ya que valores inferiores ofrecen un resultado con una calidad muy baja. Esto se debe a que

la resolución para porcentajes inferiores al 30% es muy baja, y por tanto la cámara infrarroja no detecta cambios de posición hasta que el usuario mueve unos cuantos centímetros el lápiz IR. El efecto final obtenido es que al intentar escribir aparecen líneas entre una posición y otra muy alejada, impidiendo una escritura clara. Del 30% al 50% se puede utilizar el programa para dibujar o escribir, pero la calidad es baja, aunque se puede comprender lo que se escribe. A partir del 50% se puede apreciar texto escrito a mano con gran claridad y el cursor se puede mover con mucha precisión. Por tanto, no se puede utilizar esta aplicación con porcentajes de visión inferiores al 30%. Para asegurarse que el resultado sea superior a este porcentaje, se habrán de observar los resultados de los estudios realizados.



**Figura. 4.9.** Interfaz de usuario final del programa

El resultado ofrecido por los estudios ratifica que la fórmula “ $d=2h$ ” es la manera más rápida y eficaz de calcular la distancia a la que hay que colocar los mandos respecto a la proyección. Hay que recordar que se debe multiplicar por 2 la altura de la proyección para conocer esta distancia. Esta fórmula es válida para un rango de ángulos entre la proyección y el dispositivo de recepción que va desde los  $80^\circ$  a los

20°. Para un ángulo inferior a 20° se tendrían que acercar más los mandos para que el porcentaje de visión fuera superior al 30%. Para conocer a qué distancia se tendrían que poner, hay que aplicar la fórmula “ $d=73\% * 2h$ ”, es decir, coger el 73% del resultado de la fórmula anterior. Con la aplicación de esta fórmula se podría colocar el mando en un rango de ángulos que va desde 15° hasta 45°.

Para ángulos inferiores a 15° habría que colocar el dispositivo muy cerca de la proyección, lo que interferiría con los movimientos del usuario alrededor de la proyección, y aun así el porcentaje de visión obtenido difícilmente superaría el 30%. Por tanto, se descarta el uso de esta aplicación con ángulos inferiores a 15°, y se recomiendan ángulos superiores a 20° para poder mejorar el porcentaje de visión hasta valores superiores al 50%.

Con la realización de los estudios de visión con la presencia de un obstáculo delante del dispositivo se demuestra la mejora que ofrece la inclusión de un segundo mando para ver las zonas oscuras que un solo mando no puede ver. Con el uso de un único mando colocado a 60°, la zona oscura que aparece es de 58 cm y si el mando se encuentra a 30° esta es de 21.56 cm. En cambio, incluyendo un segundo mando y con el obstáculo en la misma posición que con la que se han obtenido los resultados anteriores, no hay zona oscura para ninguno de los ángulos. Por tanto, con la inclusión de un segundo mando el programa puede funcionar en un rango de ángulos muy amplio con una garantía elevada de que no existirán zonas oscuras, aunque si el obstáculo se coloca en la peor posición sí que surgirán pequeñas zonas oscuras.

## CÁPITULO V

### CONCLUSIONES

- Se concluye que para conseguir un adecuado funcionamiento de la pizarra digital interactiva, es fundamental ubicar correctamente el dispositivo receptor, para esto se debe tomar en cuenta varios parámetros tales como el espacio físico de instalación, la altura de la proyección, la misma que es primordial debido a que el dispositivo receptor se posiciona a un radio igual al doble de esta longitud. Además es importante considerar que el dispositivo receptor tiene un límite de distancia de funcionamiento, el cual se relaciona directamente con la altura de la proyección.
- Mediante este estudio se comprueba que al ubicar el dispositivo receptor con un ángulo ente 45o y 80o, respecto a la superficie de proyección, se obtienen excelentes resultados en cuanto al porcentaje de visión, además se concluye que la longitud de onda del led emisor debe ser igual a 940nm ya que para longitudes menores la cámara del dispositivo receptor no reconoce correctamente los pulsos de luz y los interpreta como errores por pérdida de visión.

- 
- El material seleccionado para elaborar el contenedor del dispositivo receptor es el MDP (Panel de Partículas de Media Densidad), fue escogido después de analizar las diferentes prestaciones que presenta frente a otras alternativas como el acrílico o algún material metálico. Como principales características se observa una gran homogeneidad de su superficie tanto externa como interna, posee una gran maleabilidad al momento de cortar, como a la hora de emplear clavos o tornillos; además el costo de este producto es definitivamente competitivo en relación a los materiales mencionados anteriormente. Por último se consideró el hecho que el dispositivo transmite y recibe señales electromagnéticas por lo cual el MDP no provoca interferencia de dichas ondas a diferencia de cualquier material metálico.
  
  - El empleo de una pizarra digital interactiva motiva al estudiante debido a que el maestro presenta una clase más llamativa y novedosa que las clases que utilizan los métodos pedagógicos tradicionales, además este sistema simplifica la comprensión de conceptos complejos dada la potencia para reforzar las explicaciones utilizando diferentes recursos didácticos como videos, imágenes, y diferente software especializado, con los cuales pueden interactuar tanto el maestro como los alumnos.
  
  - La utilización del puntero en el sistema de la pizarra digital permite a los niños de temprana edad estimular diferentes sentidos y capacidades como su motricidad fina ya que realizan distintas acciones con sus manos como desplazar el lápiz por la superficie de la pizarra y al mismo tiempo presionan el botón para seleccionar los objetos deseados. Los alumnos que padezcan de problemas auditivos se verán beneficiados debido a la gran cantidad de material visual que está disponible en el internet lo cual permite potenciar este tipo de aprendizaje.

- 
- Colocar el dispositivo a  $45^\circ$  resulta la opción más equilibrada. Para este ángulo, las zonas oscuras que puede aparecer son casi inexistentes, y en el peor de los casos llegan a ser de 3 cm. Por otra parte, el porcentaje de visión en esta posición según el primer estudio realizado es del 68 % si la distancia se obtiene aplicando " $d = 2h$ ", con lo que se asegura que el movimiento del cursor será muy fluido y la escritura se podrá comprender fácilmente. Al ofrecer un rango de zonas oscuras tan bajo y un porcentaje de visión elevado, se considera que es la mejor opción para colocar el dispositivo, y se recomienda esta colocación para obtener unos resultados óptimos.
  
  - Queda demostrado que la utilización del dispositivo aproximadamente a  $15^\circ$  o rangos menores no tienen sentido por los resultados de los cálculos realizados. Por tanto, colocar el dispositivo a  $10^\circ$  no ofrece ningún beneficio de uso y por el contrario reduce la resolución o área activa de detección en la superficie. Este efecto produce que el ratón se mueva a golpes e impidiendo que se pueda utilizar esta aplicación para escribir encima de la proyección, ya que el texto escrito no se podría comprender. Se concluye que el rango de utilización de este proyecto con dos mandos llega como máximo a  $15^\circ$  respecto la proyección.

## **ANEXO I**

### **MANUAL DE USUARIO DE LA PDI**

## MANUAL DE USUARIO PIZARRA DIGITAL INTERACTIVA

### Implementos necesarios

- Lápiz infrarrojo.
- Dispositivo receptor de señales infrarrojas
- Computador con dispositivo Bluetooth
- Software *BlueSoleil*.
- Software de la pizarra digital interactiva
- Proyector Multimedia.

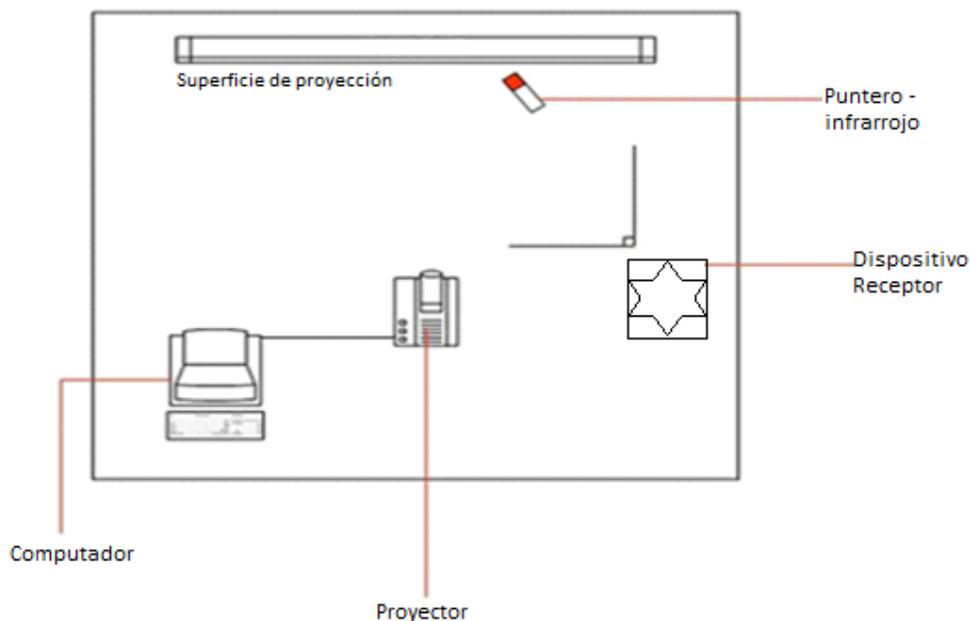
### Funcionamiento

Primero se necesita ubicar los elementos en un espacio físico adecuado para las necesidades de funcionamiento de la pizarra digital interactiva, como por ejemplo un aula de una institución educativa.

El computador se conecta con el proyector, el mismo que genera una imagen sobre una superficie de proyección; se conecta el computador con el dispositivo receptor de señales infrarrojas y finalmente se ejecuta el programa de la PDI, logrando convertir la superficie de proyección en una pizarra normal utilizando el lápiz infrarrojo.

## Procedimiento

A continuación se muestra un esquema de cómo se deben ubicar los distintos componentes de la pizarra digital interactiva:



**Figura 1.** Esquema de ubicación de los elementos de la PDI.

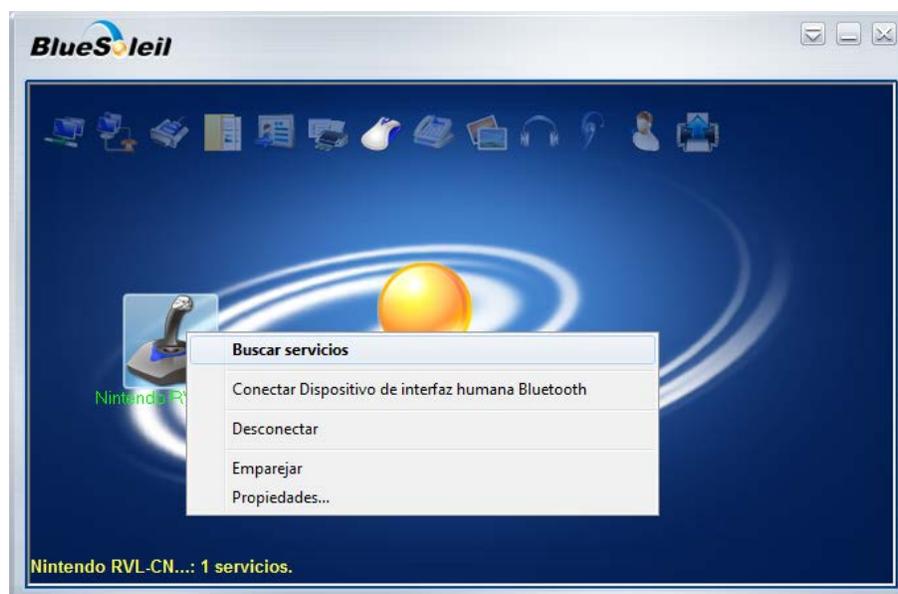
Se ubica el dispositivo receptor en el lado izquierdo o derecho según lo prefiera el usuario de la pizarra, se debe tomar en cuenta cuando el usuario este delante o frente a la pizarra, para no interferir con la transmisión y recepción de la señal entre el lápiz infrarrojo y el dispositivo receptor; de lo contrario la pizarra no tendrá un correcto funcionamiento. Es primordial lograr una buena ubicación del dispositivo receptor y para esto un método sencillo y funcional es colocarlo a la altura de la mitad de la superficie de proyección (pizarra), con una distancia de separación de 2 a 2.5 m.

Luego se efectúa la conexión del dispositivo receptor con el computador, para esto se utiliza el software BlueSoleil el mismo que realiza un enlace de datos utilizando la tecnología Bluetooth.

A continuación se muestra las Figuras 2, 3, 4 y 5 donde se detalla el procedimiento de conexión.



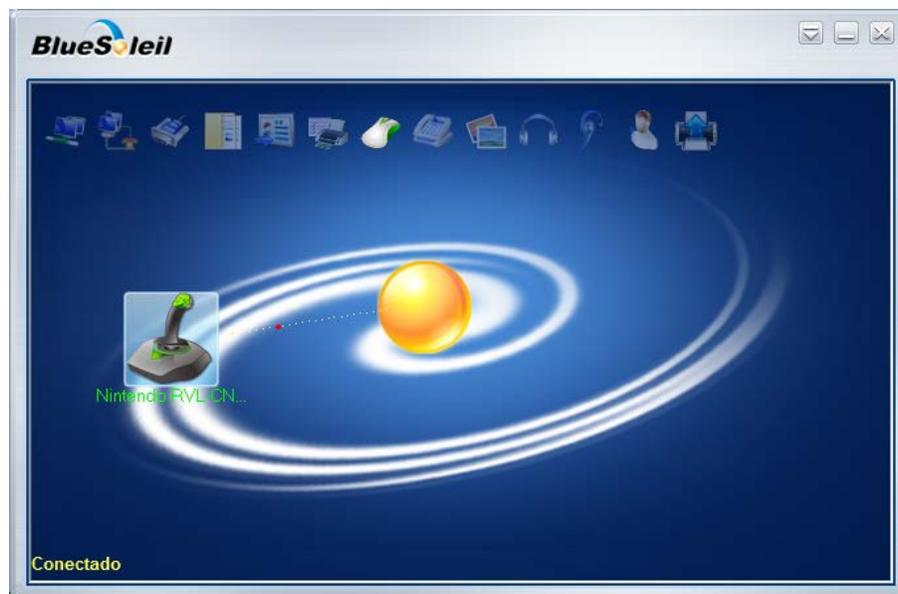
**Figura 2.** Proceso de búsqueda de dispositivos Bluetooth.



**Figura 3.** Búsqueda de servicios del dispositivo receptor.

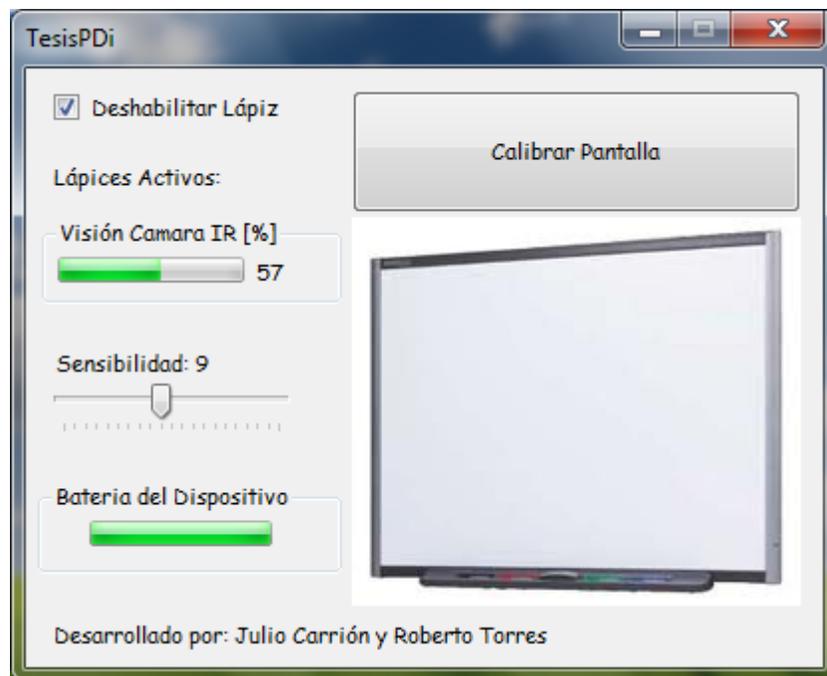


**Figura 4.** Conexión con el dispositivo receptor.



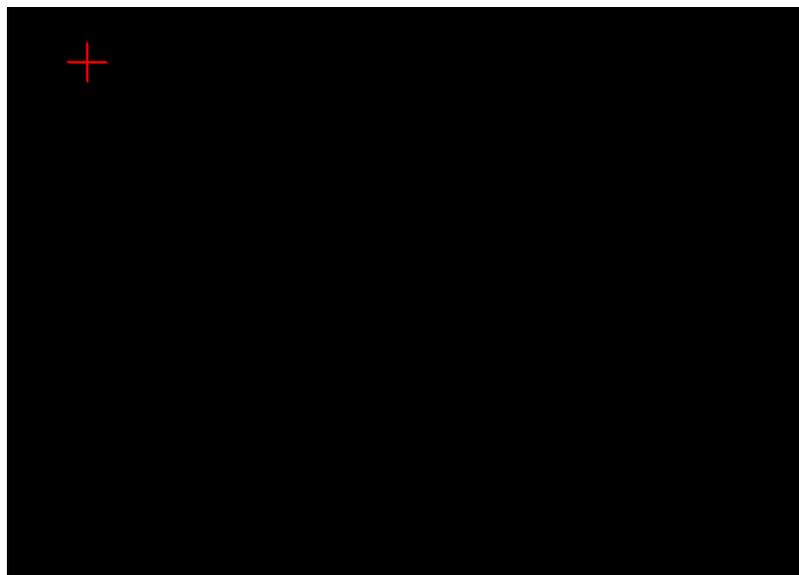
**Figura 5.** Establecimiento de la conexión vía Bluetooth

Una vez realizada la conexión mencionada, se procede a ejecutar el programa de la pizarra digital, como se muestra en la Figura 6, en el cual se encuentra el botón *Calibrar Pantalla*.



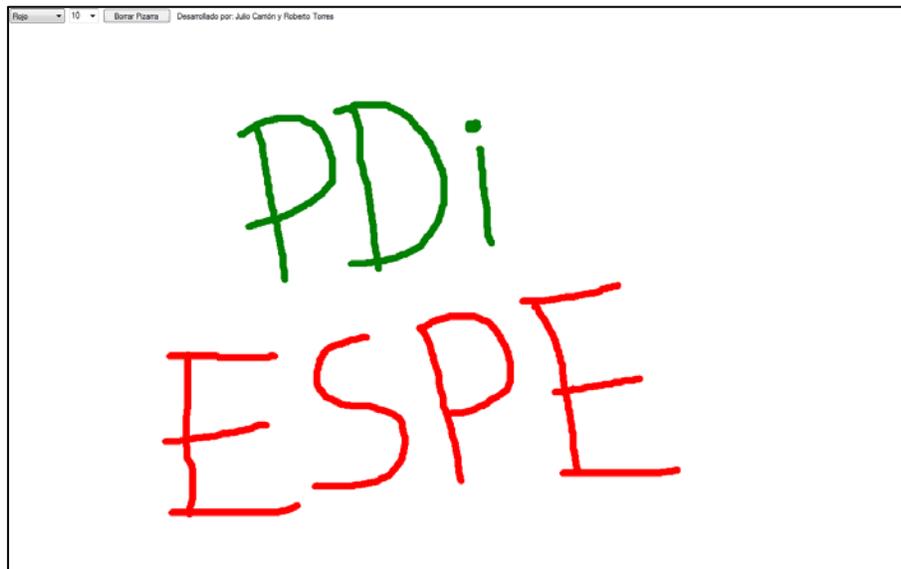
**Figura 6.** Programa de Pizarra digital interactiva.

Al presionar el botón de calibración se presentará una pantalla, como la de la Figura 7, en la cual se debe ubicar el lápiz infrarrojo en los cursores de cada esquina para efectuar el proceso de calibración. Este proceso permite definir el área de utilización de la pizarra digital interactiva.



**Figura 7.** Calibración de la PDI.

Finalmente se podrá utilizar la pizarra digital interactiva sobre el área de proyección y para esto es fundamental el empleo del lápiz infrarrojo que consta con un botón con la funcionalidad del clic izquierdo de un mouse, de esta manera el usuario podrá desplazarse y escribir libremente como se muestra a continuación en la Figura 8.



**Figura 8.** Escritura en la Pizarra digital interactiva.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

[1] Ceballos Sierra, Francisco Javier, El Lenguaje de programación C#, Editorial RA-MA, Madrid 2002.

[2] Programa Wiimote Whiteboard v0.3

<http://johnnylee.net/projects/wii/> Fecha de consulta: 13-05-2009

[3] Librería WiimoteLib\_v1.7

<http://www.codeplex.com/WiimoteLib> Fecha de consulta: 13-05-2009

[4] Esquema de montaje y componentes del puntero infrarrojo.

<http://johnnylee.net/projects/wii/pen.jpg>, Fecha de consulta: 06-08-2011.

[5] Elaboración Lápiz Óptico (Datasheet TSAL 6400)

<http://www.vishay.com/docs/81011/tsal6400.pdf>, Fecha de consulta: 06-08-2011.

[6] Tecnologías de comunicación Inalámbrica

<http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.15.1-2005.html> [Estándar IEEE

802.15] Fecha de consulta: 20-04-2011

[7] Posicionamiento del Dispositivo Receptor

---

<http://www.boonjin.com/smoothboard/index.php?title>

[Mount and position the Wiimote#Positioning the Wiimote](#) Fecha de consulta: 12-11-2011

[8] Martín Iglesias, Joaquín, La pizarra digital interactiva (PDi) en la educación, Editorial ANAYA, España 2010.

[9] Marqués Graells, Père, La pizarra digital en el aula de clase, Editorial EDEBE, España 2006.

[10] Murado Bouso, José Luis, Pizarra digital. Herramienta metodológica integral en el contexto del aula del siglo XXI, Editorial Ideaspropias, España 2011.

[11] MIMIO Xi Interactive. Pizarrones Interactivos.

<http://www.lumtec.com.mx/html/mimio.html>, Fecha de consulta: 24-03-2011

[12] Tipos de pizarras digitales interactivas.

[http://www.papelesdeeducacion.es/docshtm/numeros/dos/pdf/2\\_experiencias36.pdf](http://www.papelesdeeducacion.es/docshtm/numeros/dos/pdf/2_experiencias36.pdf),

Fecha de consulta: 26-03-2011

[13] Beneficios de la pizarra digital interactiva

[http://dim.pangea.org/docs/Redes\\_InformePizarrasInteractivas\\_250506.pdf](http://dim.pangea.org/docs/Redes_InformePizarrasInteractivas_250506.pdf), Fecha

de consulta: 22-05-2011

[14] Componentes Wiiremote, Pizarras existentes en el mercado

<http://mirror.transact.net.au/sourceforge/i/project/ii/iitools/Proyecto.pdf>, Fecha de

consulta: 24/03/2011

## HOJA DE ENTREGA

El presente proyecto de titulación fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica, y reposa en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí, a \_\_\_\_\_ de 2012

\_\_\_\_\_  
Sr. Julio César Carrión Castellanos

\_\_\_\_\_  
Sr. Roberto Daniel Torres Fonseca

\_\_\_\_\_  
Crnl. Edwin Chávez M. Ph.D

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**