

**Universidad
Autónoma
Metropolitana**



Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

**Diseño de un sistema electrónico integrado al
sensor Kinect como controlador de
efectos escénicos para crear
experiencias interactivas**

Juan Galindo Muñiz

ICR para optar por el grado de Maestro en Diseño
Posgrado en Diseño en Visualización de la Información

Miembros del Jurado:

Dr. Gustavo Iván Garmendia Ramírez

Director de la tesis

Dra. Oweena Camille Fogarty O'Mahony

Dr. Francisco Gerardo Toledo Ramírez

Dra. Marcela Burgos Vargas

Dr. César Martínez Silva

M. I. Rafael Prieto Meléndez

Ciudad de México

Marzo de 2018

Dedicada con especial cariño a mis padres que nunca olvidare

Pedro Galindo Rodríguez +

Natividad Muñiz García +

A mis hermanos

Guadalupe Galindo Muñiz

Fely Galindo Muñiz

Bertín Galindo Muñiz

A mis hijos motivos para seguir luchando por ser mejor, todo mi amor

Juan Enrique Galindo Deyta

Diego Gabriel Galindo Deyta

José Emilio Galindo Deyta

A mi esposa que con su paciencia y amor a sabido apoyarme

Alma Laura Deyta Pantoja

A mi familia política que supo impulsarme

Laura Pantoja López

Miguel Deyta Rivera

Carlos A. Deyta Pantoja

A los lectores de esta tesis

Dra. Oweena Camille Fogarty O'Mahony

Dr. Gustavo Iván Garmendia Ramírez

Dr. Francisco Gerardo Toledo Ramírez

Dra. Marcela Burgos Vargas

Dr. César Martínez Silva

M. I. Rafael Prieto Meléndez

Y a mis amigos por su apoyo y amistad incondicional

Humberto R. Rodríguez Jardón

Abraham Sánchez Hernández

Adriana Casas Mandujano

Amanda Lemus Cano

Nancy Duran Orizaba

Patricia Solís Meza

Arturo Armengot

Contenido

Introducción	1
Capítulo 1. Antecedentes	10
1.1 Las radiaciones y el espectro electromagnético	14
1.2 Historia del infrarrojo	16
1.2.1 Perspectiva histórica del infrarrojo	18
1.2.2 Clasificación de los detectores infrarrojos	22
Capítulo 2. La danza en las artes escénicas.....	25
2.1 ¿Qué son las artes escénicas?	26
2.2 Danza y lúdica.....	30
2.3 Problemática en la danza contemporánea en México.....	31
Capítulo 3. La tecnología en las artes escénicas	35
Capítulo 4. ¿Qué entendemos por interactividad?.....	45
4.1 El concepto de interactividad.....	46
4.2 Tres perspectivas para el concepto de interactividad según Jensen (1998).....	47
• El concepto sociológico	47
• El concepto de las ciencias de la comunicación	48
4.3 Genealogía del término interactividad	48
4.4 Niveles de comunicación interactiva.....	51
4.5 Otras líneas de investigación.....	52
4.6 Definición conceptual parcial de interactividad.....	56
Capítulo 5. El sensor Kinect, partes principales, antecesores y competencias tecnológicas.....	58
5.1 Partes principales del sensor Kinect.....	61
5.1.1 El infrarrojo del sensor Kinect (proyector y cámara)	61
5.1.2 El sistema de captura de audio	65
5.1.3 Cámara VGA	66
5.1.4 El motor del Kinect	67
5.2 Antecesores del sensor Kinect	70
5.2.1 El mouse	70
5.2.2 El Put-That-There	71

5.2.3 El Iconic System	72
5.2.4 El Dream Space.....	73
5.2.5 La Interface Natural de Usuario NUI	74
5.3 Competencias tecnológicas del sensor Kinect	76
5.3.1 WAVI Xtion	79
5.3.2 Leap Motion	80
5.3.3 PrimeSense Carmine	81
5.3.4 Sensor Kinect 2.....	82
5.4 Tabla comparativa de los principales sensores 3D	84
Capítulo 6. Planteamiento del problema	85
6.1 Movimiento, iluminación, audio e imagen	86
6.2 Software y hardware.....	87
6.3 Alternativas y posibles soluciones.....	87
6.3.1 Codificadora MIDI.....	88
6.3.2 El Very Nervous System.....	88
6.3.3 El VVVV	89
6.3.4 Isadora.....	91
Capítulo 7. Propuesta de diseño	92
7.1 Investigación sobre la plataforma Windows con software propietario de Microsoft	93
7.2 Investigación sobre la plataforma Windows con software Open Source.	94
7.3 Processing plataforma para Windows	95
7.4 Arduino plataforma para Windows.....	98
7.5 Tipos de detección en el sensor Kinect	102
7.6 Detección del esqueleto con el sensor Kinect.....	102
7.7 Detección de las posiciones del esqueleto en el espacio sensible.....	103
7.8 Diseño del escenario a escala.....	108
7.9 Diseño del programa en Processing.....	111
7.10 Diseño del programa en Arduino	117
7.11 Diseño de las interfaces de potencia periféricas a la tarjeta Arduino	118
7.11.1 Accionamiento de telón	118
7.11.2 Accionamiento de los LED de potencia RGB	121
7.11.3 Accionamiento del ventilador	122

7.11.4 Accionamiento de la bomba de humo	122
7.11.5 Accionamiento de la base giratoria.....	123
7.11.6 Accionamiento de la retroproyección simulada	124
7.11.7 Accionamiento de las pistas de audio.....	124
7.12 Construcción de los módulos del sistema electrónico.....	125
7.12.1 Módulo electrónico para el telón.....	125
7.12.2 Módulo electrónico para los LED's de potencia RGB.....	126
7.12.3 Módulo electrónico para el ventilador, bomba de humo y retroproyección	127
7.12.4 Módulo electrónico para la base giratoria.....	128
7.12.5 Sistema de audio	128
Capítulo 8. Evaluación del diseño	130
8.1 Pruebas y correcciones de los módulos electrónicos conectados a Arduino e	131
imágenes reales de la maqueta.	131
8.2 Pruebas finales entre usuario y el sistema para la detección del cuerpo humano	133
Conclusiones	135
Bibliografía	140
Anexos.....	143
Síntesis curricular	153

Índice de figuras

Figura 1. Detección de movimientos corporales y representación digitalizada. http://melinamasnatta.com.ar/2012/11/	2
Figura 2. Consola Xbox con sensor Kinect	3
Figura 3. Sensor Kinect para Windows	4
Figura 4. Elementos visibles en el sensor Kinect (izquierda), el sensor Kinect en la rehabilitación (derecha)	5
Figura 5. Sensor Kinect en la medicina	6
Figura 6. Sensor Kinect en la danza. http://artfulspark.org/category/05-real-time/	6
Figura 7. Tarjeta electrónica y software para enlazarlo con el sensor Kinect	7
Figura 8. Sensor Kinect en la educación	8
Figura 9. La lanza como extensión corporal	11
Figura 10. La técnica y la tecnología han cambiado la vida del hombre sobre la Tierra. http://puncocritico.com/2017/11/05/paris-en-el-siglo-xx-de-julio-verne-parte-i/	12
Figura 11. Diferentes tipos de computadoras, su evolución.	12
Figura 12. Consola con controles alámbricos (derecha), consola controlada por el cuerpo del usuario (derecha)	13
Figura 13. Espectro electromagnético, en http://www7.uc.cl/	15
Figura 14. Características de una onda electromagnética	15
Figura 15. Primer experimento de Hershel; A, B – el pequeño soporte, 1, 2, 3 – los termómetros sobre él, C, D – el prisma en la ventana, E – el espectro proyectado sobre la mesa, en el recuadro Hershel midiendo la luz infrarroja del Sol	17
Figura 16. Puede observarse el aumento en la temperatura para cada color, en este caso por debajo del rojo la temperatura fue mayor	18
Figura 17. Las termopilas de Nobili–Meloni: (a) Prototipo de termopila inventado por Nobili (1829), (b) Versión incompleta de la termopila Nobili-Meloni (1831). Museo Galileo–Institute y Museum of the History of Science, Piazza dei Giudici 1, 50122 Florencia, Italia	19
Figura 18. Bolómetro de Longley (a) Compuesto de dos conjuntos de tiras de platino delgadas (b), Un puente de Wheatstone, una batería, y un galvanómetro midiendo corriente eléctrica	20
Figura 19. El tubo convertidor de imagen 1P25 original, desarrollado por la RCA (a). Este dispositivo mide 115 x 38 mm en general y tiene 7 terminales. La operación es indicada por el dibujo esquemático (b)	21
Figura 20. Izquierda soldado con arma de visión infrarroja, derecha mira telescópica infrarroja	21
Figura 21. Celdas detectoras de Cashman: (a) Celda TI2S (1943) ; (b) Celda PbS (1945)	22
Figura 22. Historia del desarrollo de detectores y sistemas infrarrojos: 1ª Generación (Sistemas de escaneo), 2ª Generación (Sistemas de arranque – electrónicamente escaneados) y 3ª Generación (funcionalidad multicolor y otras funciones en el chip)	23
Figura 23. Escenografía en recinto cerrado. El triunfo del amor, de Marivaux (Círculo de Bellas artes 2002). (Fotógrafo Daniel Alonso. Archivo CDT).	26
Figura 24. Danza en Grecia (izquierda), danza clásica (derecha)	27
Figura 25. Grupo de danza moderna. https://ketebailo.wordpress.com/2015/03/17/la-danza-moderna-en-profundidad/	28
Figura 26. Isadora Duncan fotografía de Paul Berguer, Paris	29
Figura 27. Bailarín de danza contemporánea. http://ritmoybaile.com/98/	29
Figura 28. Menores recursos escénicos	32
Figura 29. Escenario interno (izquierda), escenario externo (derecha) https://www.peroni.com/lang_ES/scheda.php?id=52122	33
Figura 30. La danza contemporánea vista como un recurso de arte y cultura	34

Figura 31. Ambiente nocturno en la escena, la luz es la principal herramienta. https://www.peroni.com/ext_panel_immagine.php?imgid=94676	37
Figura 32. Ambientación escénica con la luz. http://educacionartistica124.blogspot.mx/2014/06/teatro.html	38
Figura 33. Escenografía con luz y sombras. http://www.lateclaene.com/alberto-elizalde-leal-ctbd	38
Figura 34. Iluminación trasera (izquierda). http://elsamateu.blogspot.mx/2011/08/ , luces robóticas en el escenario (derecha)	39
Figura 35. Retroproyección en las escenas teatrales, http://falunau.org/2016/03/australian-audience-touched-and-uplifted-by-shen-yuns-spiritual-journey/	40
Figura 36. Escenarios performáticos utilizan internet como herramienta principal, http://embodied.mx/procesos	40
Figura 37. El video mapping como recurso escenográfico, http://articles.triplewidemedia.com/theatre-projection-dance-amazing-monday-mapping-108/	41
Figura 38. Apparition de Klaus Obermier, http://www.exile.at/apparition/background.html	43
Figura 39. Puntos de unión y miembros detectados por el sensor Kinect	59
Figura 40. Campo de visualización del espacio en el sensor Kinect	60
Figura 41. Vista frontal del sensor Kinect sin carcasa	61
Figura 42. Proyector IR izquierda y cámara de infrarrojos derecha.	62
Figura 43. Representación gráfica de los puntos y sus distancias a la cámara de infrarrojos	63
Figura 44. Puntos luminosos generados por el proyector de IR del sensor Kinect captados con una cámara de visión infrarroja	63
Figura 45. Patrón de puntos originados por el proyector IR	64
Figura 46. Límites físicos y prácticos para la detección de cuerpos con el Kinect	65
Figura 47. Distribución de micrófonos en el sensor Kinect	66
Figura 48. Ubicación de la cámara VGA en el Kinect	67
Figura 49. Cámara VGA del Kinect www.chipworks.com	67
Figura 50. Motor en la base del Kinect para tilt (inclinación)	68
Figura 51. Kinect conectado a la PC	68
Figura 52. Periféricos que se conectan al PS1080 <<cerebro>> del Kinect	69
Figura 53. Las imágenes muestran la evolución desde el primer tipo de mouse hasta el actual	70
Figura 54. Put-That-There en acción	71
Figura 55. El Iconic system	72
Figura 56. El Dream Space, desarrollado a finales de los 90's	73
Figura 57. NUI, Interfaz Natural de Usuario	74
Figura 58. Consola Wii Remote de Nintendo	75
Figura 59. Sensor Kinect para Xbox 360 izquierda, sensor Kinect para Windows derecha	79
Figura 60. Sensor WAVIXtion de ASUS	80
Figura 61. Leap Motion	81
Figura 62. Sensor PrimeSense Carmine 1.08 de la compañía Apple	81
Figura 63. Sensor Kinect 2 de Microsoft	83
Figura 64. Adaptador USB y alimentador para Kinect 2	83
Figura 65. Sistema de Kinect, Arduino y Laptop	87
Figura 66. Sistema Very Nervous System de David Rokeby. http://www.medienkunstnetz.de/works/very-nervous-system/	89
Figura 67. Sistema interactivo multimedia de VVVV Group. https://www.vitte.jp/	90
Figura 68. Isadora creado por Mark Coniglio, manipulación de video digital en tiempo real. http://www.scottmartindesign.com/vitae/	91
Figura 69. Diversos programas que pueden utilizarse con Arduino	94
Figura 70. Imagen de inicio de Processing	96
Figura 71. Logo Open NI NITE	97

Figura 72. Interfaz de Processing (izquierda), Interfaz de Arduino (derecha)	99
Figura 73. Diversas versiones de la tarjeta Arduino: a) UNO, b) Leonardo, c) Ethernet, d) DUE,	100
Figura 74. Conexión USB Arduino	101
Figura 75. Relación humano- sensor-máquina y sistema electrónico	101
Figura 76. Vista lateral de una persona colocada frente al sensor Kinect y distancias de detección	104
Figura 77. Distribución de sectores sensibles frente al sensor Kinect	105
Figura 78. Serie de posiciones mostrando el sector y la acción que corresponde a cada una	108
Figura 79. Escenario propuesto	108
Figura 80. Medidas del escenario (maqueta)	109
Figura 81. Diversas vistas del escenario construido a) frontal, b) semi-frontal izquierda, c) semi-trasera izquierda, d) trasera, e) semi-trasera derecha y f) semi-frontal derecha	110
Figura 82. Librerías necesarias para activar el código.	111
Figura 83. Declaración de variables y vectores.	112
Figura 84. Declaración de variables extra y definición de sectores(cuadrantes) por profundidad.	113
Figura 85. Funciones void setup (configuración) y void draw (repetición constante del código)	114
Figura 86. Establecimiento del centro de masa y valores de profundidad en el espacio real.	115
Figura 87. Código en Arduino para la comunicación con Processing.	117
Figura 88. Circuito integrado L293D	118
Figura 89. Interruptor para inicio y final de carrera	119
Figura 90. Motorreductor	119
Figura 91. Sistema mecánico del telón	120
Figura 92. Circuito esquemático del sistema electrónico para el control del telón	120
Figura 93. Circuito esquemático del controlador de LED's RGB de potencia (3 Watts).	121
Figura 94. Circuito esquemático del control para LED's, bomba de humo y ventilador	122
Figura 95. Circuito esquemático del control de corriente alterna para el motor de la base giratoria	123
Figura 96. Circuito esquemático del control para LED's, bomba de humo y ventilador alimentados a 12 Volts	124
Figura 97. Circuito para el control electrónico del telón y vistas del circuito impreso	125
Figura 98. Circuito para el control de LED's RBG y vista inferior del circuito	126
Figura 99. Circuito para el control del ventilador, bomba de humo y retroproyección, el resistor indicado en la primera imagen es de 27 Ohms a 5 Watts, vista inferior del circuito	127
Figura 100. Circuito para el control de la base giratoria, vista de componentes, serigrafía superior y finalmente vista inferior	128
Figura 101. A la izquierda circuito esquemático del amplificador y a la derecha PCB y componentes	129
Figura 102. Sistema de audio completo	129
Figura 103. Diversas vistas de la maqueta creada para el sistema electrónico y Kinect	133

Índice de tablas

Tabla 1. Características en los principales sensores 3D	84
---	----

Resumen

En el presente trabajo se ha realizado el diseño de un sistema electrónico, que en conjunto con el sensor Kinect y la creación de un código es capaz de detectar la presencia de una persona dentro de un espacio y por medio de una serie de posiciones corporales puede activar diversos dispositivos electrónicos en un escenario sin más ayuda que el propio cuerpo humano.

El motivo por el cual se ha creado este sistema es para poder apoyar a personas que requieran de una instalación para presentaciones escénicas. La falta de foros para exhibiciones de danza o teatro minimiza la posibilidad de otorgar este tipo de eventos a toda la población, principalmente a los sectores de escasos recursos económicos. Así, la creación de un escenario móvil y automatizado puede iterar en diversos lugares llevando esparcimiento, cultura y educación a un mayor número de personas.

Para lograr consolidar un escenario que sirviera como prototipo se construyó una maqueta con escala 1:10, que se conforma de una estructura metálica donde se colocó un telón motorizado, un par de LED RGB que representan lámparas par 64 que cambian de color, una plataforma circular giratoria, un ventilador, una cámara de humo y dos LED blancos que sustituyen a un video proyector para la retroproyección, también se utilizaron un par de bocinas colocadas en ambos lados de la estructura metálica, funcionales completamente. Una computadora personal, una tarjeta electrónica Arduino UNO, un sensor Kinect y circuitos de potencia electrónicos fueron los elementos considerados para este trabajo, de la misma forma, los softwares que se utilizaron fueron Arduino y Processing con la librería SimpleOpenNI y los respectivos códigos que permiten que todo el sistema electrónico integrado al sensor Kinect funcione para cumplir las expectativas.

Este trabajo no solo aporta ventajas en escenarios artísticos, abre también la posibilidad de experimentar con otros sistemas interactivos, después de todo, es un diseño enfocado a la visualización de la información dentro de un espacio sensible.

Palabras clave: sistema electrónico, posiciones corporales, presentaciones escénicas, sensor Kinect, Arduino y Processing.

Abstract

In the present work the design of an electronic system has been carried out, which together with the Kinect sensor and the creation of a code is able to detect the presence of a person within a space and through a series of body positions can activate various electronic devices in a scenario without more help than the human body itself.

The reason why this system has been created is to be able to support people that require an installation for scenic presentations. The lack of forums for dance or theater exhibitions, minimizes the possibility of granting this type of events to the whole population, mainly to the sectors of scarce economic resources. Thus, the creation of a mobile and automated stage can iterate in different places bringing leisure, culture and education to a greater number of people.

In order to consolidate a stage that served as a prototype, a model with a scale of 1:10 was built, consisting of a metal structure where a motorized curtain was placed, a pair of RGB LEDs that represent color-changing par 64 lamps, a platform rotating circular, a fan, a smoke chamber and two white LEDs that replace a video projector for the rear projection, also used a pair of speakers placed on both sides of the metal structure, fully functional. A personal computer, an Arduino UNO electronic card, a Kinect sensor and electronic power circuits were the elements considered for this work, in the same way, the software that was used was Arduino and Processing with the SimpleOpenNI library and the respective codes that allow that the entire electronic system integrated into the Kinect sensor works to meet expectations.

This work not only brings advantages in artistic settings, it also opens the possibility of experimenting with other interactive systems, after all, it is a design focused on the visualization of information within a sensitive space.

Key words: electronic system, body positions, scenic presentations, Kinect sensor, Arduino and Processing.

Introducción

La danza y el teatro son formas de expresión, comunicación e instrumentos para poder encausar la cultura de generación en generación presente en cada región del mundo. Desde la antigüedad, este tipo de expresiones han utilizado la tecnología que tenían a su disposición para lograr la ambientación dentro de un espacio cerrado, introduciendo al espectador en una especie de ensueño. Los romanos por ejemplo poseían habilidades tecnológicas en hidráulica y mecánica para representar la caída de montañas o inundaciones dentro del escenario, los griegos hacían bajar a sus dioses del cielo, aunque generalmente se interesaban más por la acústica de los recintos.

Actualmente las artes escénicas emplean una enorme cantidad de sistemas tecnológicos como pantallas LED, proyecciones, utilería automatizada y luces robóticas que invariablemente favorecen las representaciones dentro de un escenario, la danza contemporánea como parte de las artes escénicas estaba “aislada” y no existía una integración con la tecnología. Sin embargo, la aparición de sistemas capaces de detectar los movimientos de los bailarines para digitalizarlos y procesarlos como datos dentro de una computadora fue abriendo la brecha para esta integración, ya que se visualizaron las múltiples posibilidades que se podían tener con su uso, no obstante, los altos precios por estas tecnologías y la dificultad para implementarlas sólo quedaron en los laboratorios frenando los intentos para continuar con ellas, en la figura 1 se observa a una persona con electrodos en su cuerpo y en la pantalla frente a él, su representación esquelética.

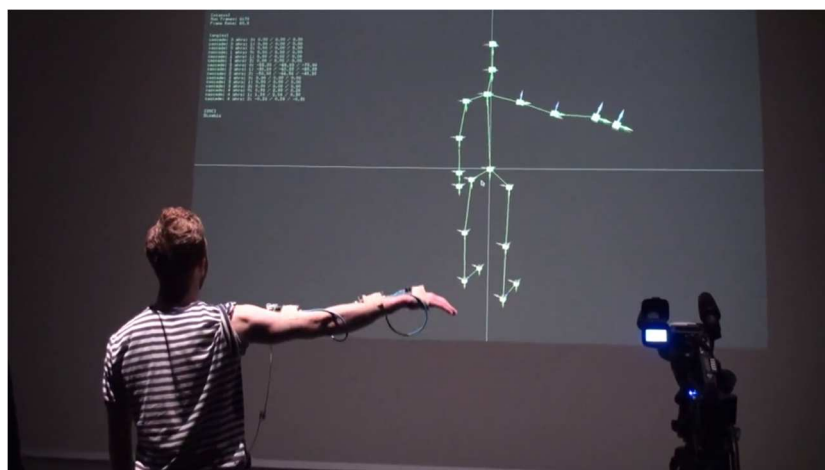


Figura 1. Detección de movimientos corporales y representación digitalizada. <http://melinamasnatta.com.ar/2012/11/>

Toda representación digital puede ser expresada por una fórmula matemática en nuestro caso por algoritmos, los objetos a utilizar se pueden agrupar para dar forma a representaciones más complejas, la representación y la modularidad permiten automatizar los trabajos, si la automatización es de bajo nivel hacemos uso de objetos creados ex profeso para facilitar y agilizar los procesos de creación, si la automatización es de alto nivel se involucra la semántica de la computadora, propiciando con ello que la computadora misma tome decisiones que motiven al usuario a modificar su comportamiento, es decir, se contempla la inteligencia artificial como principal promotor de la interactividad; el proyecto puede ser expresado a través de diferentes medios para darlos a conocer para lo cual se utiliza la variabilidad, al realizar la fusión entre la capa mediática y la capa cultural se genera una idea y una vuelta entre la tecnología y la vida humana sabiendo que las sociedades actuales presentan una marcada influencia en el uso de la tecnología lo que lleva a modificar el comportamiento de la vida social.

De forma reciente han ingresado al mercado electrónico, sistemas que reúnen características muy superiores a las ya existentes para la detección de movimiento corporal en el espacio, algunos de los cuales son relativamente baratos y fáciles de utilizar, considerando que se pueden instalar en áreas mayormente reservadas a la exhibición y representaciones corporales y no solamente a la investigación como en un laboratorio. Uno de estos sistemas y que por su versatilidad goza de mayor importancia es el sensor Kinect de la Compañía Microsoft, que no requiere de controles, electrodos o complejos sistemas de cómputo para ponerlo en operación y obtener de él sus mejores cualidades, obsérvese en la figura 2, el artefacto horizontal es el Kinect y el vertical la consola Xbox 360.



Figura 2. Consola Xbox con sensor Kinect

A partir de lo anterior surge la pregunta ¿Es posible diseñar, desarrollar y construir interfaces electrónicas para ser integradas a un sistema controlado por el cuerpo humano a través de un sensor Kinect con la finalidad de crear un ambiente interactivo dentro de un escenario? No es necesario decir que además cumpla con las características de ser económico y que pueda ser utilizado fácilmente por las personas que se dedican a la danza o teatro.

Así pues, el sensor Kinect es un controlador de juego creado por Alex Kipman, desarrollado por Microsoft para la consola Xbox 360, aunque existe también una versión para las computadoras personales que utilizan el Microsoft Windows como sistema operativo. El sensor Kinect cuenta con varios elementos que se conectan a la videoconsola o a la computadora personal y permite a los usuarios controlar diferentes acciones e interactuar con el medio sin tener un contacto físico o alámbrico como con un control de videojuegos tradicional, esto se logra mediante una interfaz natural de usuario NUI (Natural User Interface) que es la capacidad de interactuar con una máquina usando nada más que el cuerpo, la NUI reconoce los gestos, voz, imágenes y objetos estáticos dentro de un campo visual (Kean, Hall, & Perry, 2011), en la figura 3 se aprecia al sensor Kinect en su versión para Windows .



Figura 3. Sensor Kinect para Windows

El sensor Kinect es un sistema de video de seguimiento (tracking video) que se traduce como el proceso de localización de uno o varios objetos en movimiento que se encuentran en un espacio determinado y para lo cual se utiliza una cámara de video, un proyector de infrarrojos y una cámara de infrarrojos. El Kinect es una de las grandes aportaciones que la tecnología ha dado a la sociedad, la variedad de usos que actualmente tiene son por ejemplo, la interacción humano-máquina, la realidad aumentada, control de tráfico, vigilancia,

rehabilitación en enfermos, presentaciones empresariales, reconocimiento de objetos, digitalización de objetos en 3D, sistemas educativos y video juegos interactivos, robótica, reconocimiento avanzado del habla y de sonido o la comunicación con personas paraplégicas, en la figura 4 se puede observar al sensor Kinect y una de sus múltiples aplicaciones.

Por otra parte, el video de seguimiento puede consumir recursos del sistema de cómputo de forma excesiva debido a la cantidad de datos que se procesan en el vídeo, por lo que es necesario contar con una computadora robusta que posea un procesador de 32 bits (x86) o 64 bits (x64), de doble núcleo, 2.66 GHz de frecuencia, más de 2 Gb de memoria RAM, un bus USB 2.0 o 3.0, de preferencia una tarjeta de video dedicada AMD *Radeon Graphics* o Nvidia y Windows 7, 8, o 10, además de instalar los programas *open source* como son, OpenNI, Processing, Arduino (que se verán más adelante), nite y los *drivers* del Kinect.



Figura 4. Elementos visibles en el sensor Kinect (izquierda), el sensor Kinect en la rehabilitación (derecha)

Cabe agregar que la tecnología juega un papel importante en la socialización y que, por medio de manifestaciones científicas, artísticas, educativas, y de esparcimiento, las personas logran interactuar entre ellas obteniendo resultados positivos en el desarrollo de sus comunidades, entorno familiar o de trabajo, la figura 5 muestra al sensor Kinect como una herramienta de trabajo en el quirófano.



Figura 5. Sensor Kinect en la medicina

La presente investigación y de acuerdo a las aplicaciones que ofrece el sensor Kinect, pretende implementar un sistema capaz de interactuar con una o más personas, que a partir de sus movimientos corporales permita realizar diversas acciones, las cuales pueden ser interpretadas como el encendido de luces, control de secuencias de audio y video, accionamiento de motores que muevan a su vez diversos objetos como cortinas, plataformas, enciendan ventiladores, bombas de humo y en fin cualquier artefacto u objeto utilizado en escenarios, como ejemplo en la figura 6 se observan trazos en la pantalla realizados por los movimientos de las manos.

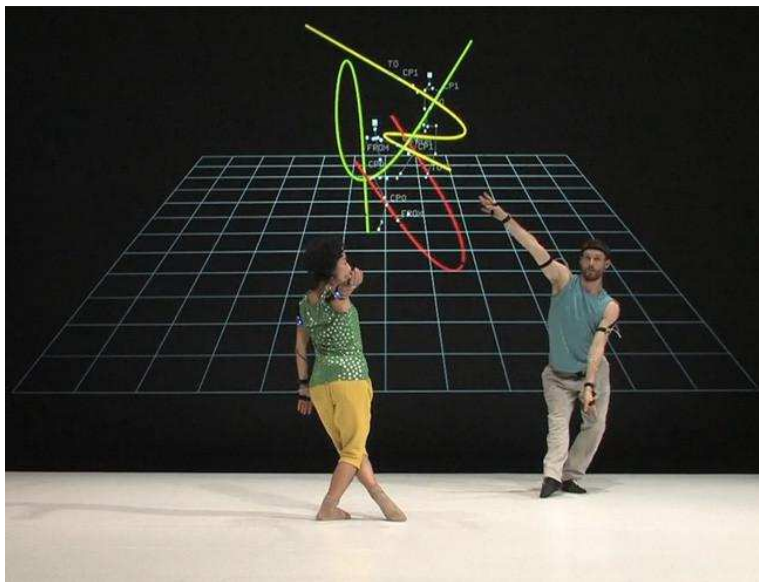


Figura 6. Sensor Kinect en la danza. <http://artfulspark.org/category/05-real-time/>

Como parte complementaria para la implementación del sistema de detección e interacción se requiere del conocimiento de la electrónica y la programación para crear el código y diseñar las tarjetas electrónicas que posibiliten la manipulación o control de objetos pertenecientes al escenario ya sea de forma alámbrica o inalámbrica, los movimientos del ejecutante podrán entonces ser considerados a partir del código escrito para activar cada uno de estos elementos, La figura 7 muestra *hardware* y *software* ligados al sensor Kinect.

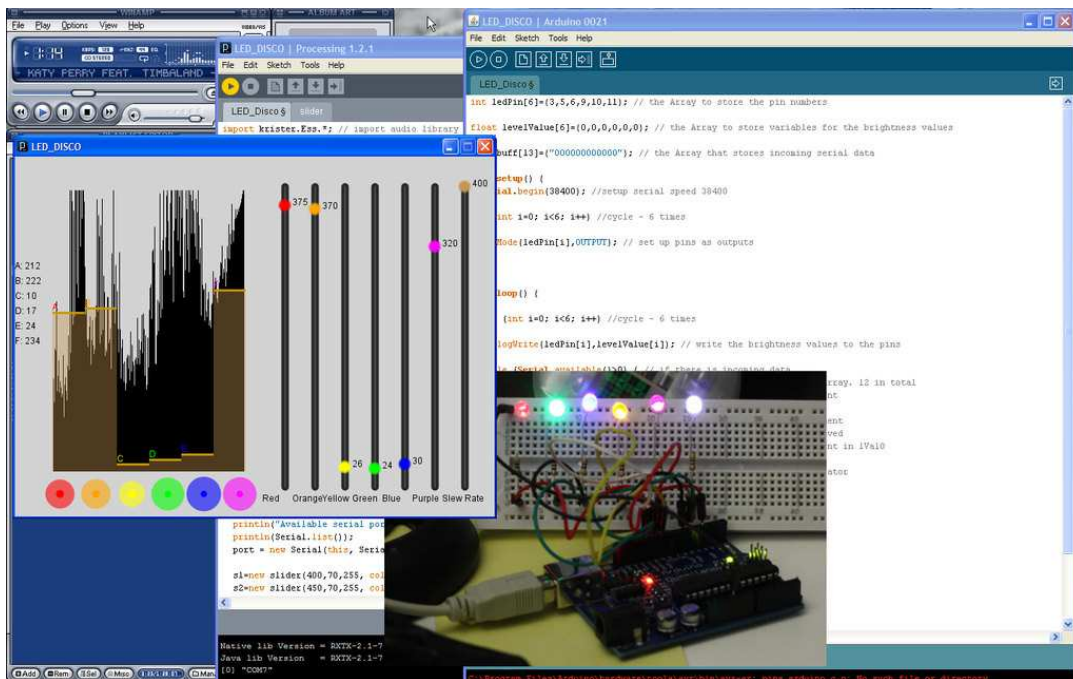


Figura 7. Tarjeta electrónica y software para enlazarlo con el sensor Kinect

La creación de sistemas complejos como lo son la detección de objetos en el espacio contempla una gama de posibilidades que pueden ser de gran utilidad en muchas áreas del conocimiento y desarrollo humano y aunque la investigación que se está realizando está destinada a proporcionar recursos tecnológicos a personas de danza para enriquecer su desempeño. Puede ser también dirigida para resolver problemas en múltiples áreas, la estimación de los costos para llevar a cabo el proyecto quedan minimizados comparados con los beneficios que puede traer consigo este tipo de tecnologías que hoy se encuentran a disposición de todos los consumidores y que abren las posibilidades para realizar diseños vanguardistas e innovadores que pueden ser aplicados para resolver las necesidades que los

seres humanos puedan tener en la actualidad o en un futuro cercano y lo más importante, que los productos generados sean asequibles para un mayor sector de la población, la figura 8 muestra algunas aplicaciones posibles con el sensor Kinect.

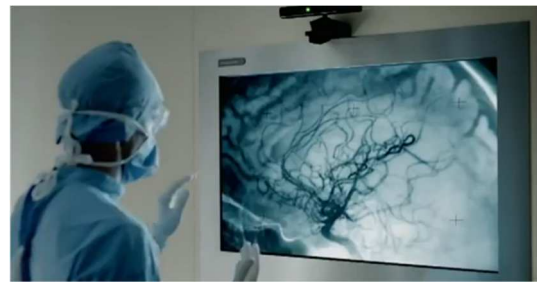


Figura 8. Sensor Kinect en la educación

En el presente proyecto de tesis se han contemplado una serie de capítulos y en cada uno de ellos se verán aspectos importantes que permitan llevar a buen puerto el objetivo planteado, así entonces, en el capítulo de antecedentes se verá cómo el hombre para satisfacer sus necesidades ha ido creando e implementando diversas herramientas que le permiten avanzar a grandes pasos en su carrera tecnológica, se verá el descubrimiento de la radiación infrarroja (IR) y los avances que hubo en ella en un corto lapso de tiempo, la radiación IR es parte fundamental para la detección de cuerpos y ésta está presente en el sensor Kinect. En el capítulo 2 se hablará de la danza en las artes escénicas, en el capítulo 3 sobre la tecnología en las artes escénicas y la forma en que se utiliza. Los sistemas interactivos son parte fundamental en toda instalación electrónica y en vista de que el sistema conceptualizado para este trabajo pretende mostrar la interacción entre el humano y la máquina se verá el termino interactividad con mayor detalle en el capítulo 4. Es importante conocer también al sensor Kinect, sus principales partes, sus antecesores y las competencias tecnológicas existentes, todo ello está contemplado en el capítulo 5. La solución de los problemas no se da si no existe un planteamiento de por medio, por lo tanto, en el capítulo 6 se contempla este detalle tan importante. Al igual que el planteamiento, la propuesta de diseño es de vital importancia para enfocar los trabajos pertinentes sobre el camino correcto, por lo cual, se hablará sobre ésta en el capítulo 7 y finalmente se realizará una evaluación del diseño en el capítulo 8.

Por lo anterior, se puede decir, que al concluir el presente trabajo, se tendrá la experiencia y capacidad sobre el diseño y desarrollo de interfaces electrónicas, así como el manejo del sistema de cómputo a utilizar, en general se tendrán los conocimientos suficientes para generar la instalación de un sistema que permita la detección de cuerpos humanos y que a su vez detone las reacciones de los elementos integrados al sistema de cómputo a partir de la programación realizada todo ello implementado en un prototipo que permita observar el comportamiento del sistema cada vez que el ejecutante de danza realice las posiciones correspondientes para cada caso.

Capítulo 1. Antecedentes

El ser humano como ser inteligente siempre ha buscado satisfacer sus necesidades de comunicación social y de sobrevivencia, lo que lo ha llevado a enfrentarse a situaciones donde su capacidad intelectual está de por medio, desde su aparición en la tierra y a partir de la experiencia ha aprendido a valerse de herramientas que le han sido útiles para hacer su vida más fácil, estas herramientas no son más que una extensión de su cuerpo, de sus órganos y que de forma natural sustituyen funciones que requerían de un gran esfuerzo en sus tareas diarias, el hombre entonces creó la técnica, como puede observarse en la figura 9.

Leroi-Gourhan interpreta la técnica en términos de un proceso de exteriorización que consiste en la fijación de gestos, prácticas y pensamientos a través y en la materia orgánica. De tal modo, la madera, el hueso y la piedra, una vez devenidos ‘mediaciones’ resultantes de diseño, aparecen como una interfaz mediante la cual la materia viva (el ser humano) entra en relación con el ambiente circundante (Parente, 2007).



Figura 9. La lanza como extensión corporal

El ser humano con el devenir de los años fue dominando diversas técnicas que le favorecían en su trabajo, creó herramientas más sofisticadas y máquinas que le ahorraban tiempo en sus trabajos, poco a poco, pero a paso firme fue creciendo la necesidad de desaparecer la manualidad de esas máquinas, por lo que hombres estudiosos, preocupados por las necesidades de la sociedad comenzaron a realizar investigaciones y a generar métodos que les permitieran cubrir estas necesidades. Entonces surgieron las ciencias que al unirse con la técnica crearon la tecnología y a partir de ésta la vida cambió considerablemente para bien y para mal de la sociedad.

Cuando la energía eléctrica se comenzó a utilizar de forma práctica a finales del siglo XIX los avances tecnológicos se sucedieron uno tras otro, la gente destinaba más tiempo a sus actividades y las sociedades se transformaron. Así, el transporte, la industria, las comunicaciones y la economía se vieron fortalecidos, favoreciendo las condiciones de vida de los seres humanos, obsérvese la figura 10.

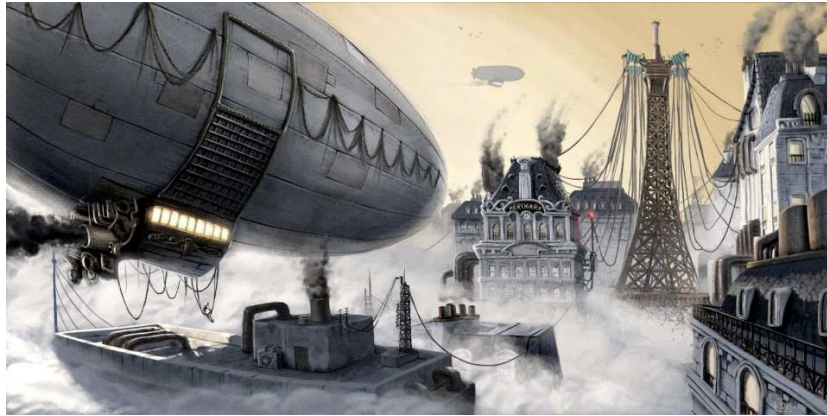


Figura 10. La técnica y la tecnología han cambiado la vida del hombre sobre la Tierra.
<http://puncocritico.com/2017/11/05/paris-en-el-siglo-xx-de-julio-verne-parte-i/>

Con la aparición de las computadoras en la década de los cuarenta las sociedades volvieron a modificarse, los procesos industriales se realizaban más rápidos y con mejor calidad, las comunicaciones se volvieron más eficientes y algunas industrias comenzaron a pensar en el entretenimiento de las personas, surgiendo entonces los video juegos de carácter muy rudimentario, pero con gran potencial. Así en las siguientes décadas las capacidades de las computadoras fueron creciendo lo mismo que en los video juegos llegando a generar grandes ganancias y trabajo para miles de personas, la figura 11 muestra parte de la evolución de las computadoras personales.



Figura 11. Diferentes tipos de computadoras, su evolución.

El auge de la industria de los video juegos ha ocasionado que investigadores sociales tomen cartas en el asunto e interdisciplinariamente utilicen metodologías de investigación que abarquen la economía, la antropología cultural, teoría de la comunicación, tecnologías de la educación e inteligencia artificial para ser aplicadas a la sociedad y juntos busquen cerrar la brecha digital con el objetivo de fortalecer la educación en las nuevas generaciones de ciudadanos.

Actualmente los video juegos se reproducen en consolas que conectadas a una pantalla y al Internet permiten a las personas interactuar con los personajes que responden a cada una de las acciones que el video jugador ejecute. Para llevar a cabo esta interacción es necesario en ocasiones, hacer uso de periféricos, que conectados a la consola y que de forma alámbrica o inalámbrica permiten introducir las ordenes accionando simplemente los botones del mando. Sin embargo, también existe la posibilidad de poder interactuar con la consola sin la necesidad de tocar botón alguno, bastando la sola presencia del jugador frente a un sensor que se encargue de detectarlo y comunicar a la consola cada uno de sus movimientos dentro de un determinado espacio, ese sensor es el Kinect creado por la compañía Microsoft para la consola XBOX 360, que permite que nuestras extensiones corporales lleguen a cualquier lugar si se utiliza además con la Internet, como se observa en la figura 12.



Figura 12. Consola con controles alámbricos (derecha), consola controlada por el cuerpo del usuario (derecha)

1.1 Las radiaciones y el espectro electromagnético

El presente trabajo se centra en el uso de tecnología de detección corporal a partir de radiaciones electromagnéticas que el mismo sensor Kinect envía y recibe, por lo tanto, es imprescindible hablar sobre este tema.

Actualmente en el mundo se observa un sinnúmero de adelantos que le permiten a las personas que viven en las grandes ciudades, disfrutar de mayor comodidad en lugares como el hogar, el auto, la oficina, la escuela y bueno prácticamente en cualquier lugar donde se encuentren. Sin embargo, se está muy consiente que para llegar a este tipo de adelantos tuvieron que pasar muchos años, además de inversiones que consumieron grandes sumas de dinero, conocimientos y tiempo de personas que entregadas a su pasión fueron capaces de legarnos lo que hoy se tiene a nuestra disposición y que llamamos tecnología.

Para iniciar este apartado se entrará en el apasionante mundo del espectro electromagnético, obsérvese la figura 13 que muestra aspectos de este espectro. No son muchas las personas que saben realmente el uso que el conocimiento del espectro electromagnético puede aportar, para ello como ejemplo se puede decir, que se tienen las comunicaciones que incluyen las ondas de radio, como la onda larga, media y corta, así como las ondas de muy alta frecuencia VHF y las de ultra alta frecuencia UHF muy usadas en las transmisiones televisivas, otro espacio del espectro involucra a las microondas, los rayos X, rayos gamma, rayos cósmicos y la que mejor se conoce, la luz visible, cuyos colores incluyen un cierto grado de energía para cada uno, gracias a esta radiación se pueden observar los objetos que nos rodean con sus diferentes formas y tonalidades, sin ella todo sería diferente. La luz blanca que se puede descomponer en las diferente longitudes de onda, es decir colores, cumple al igual que los demás tipos de ondas con las características de todas las ondas electromagnéticas de ser transversales, tener una frecuencia, una rapidez de propagación, una longitud de onda, una amplitud, un campo eléctrico y un campo magnético, como se observa en la figura 14; todas las ondas que componen el espectro electromagnético son aprovechadas por el hombre para satisfacer las necesidades que día a día presenta y que con ayuda de la tecnología logra dominar.

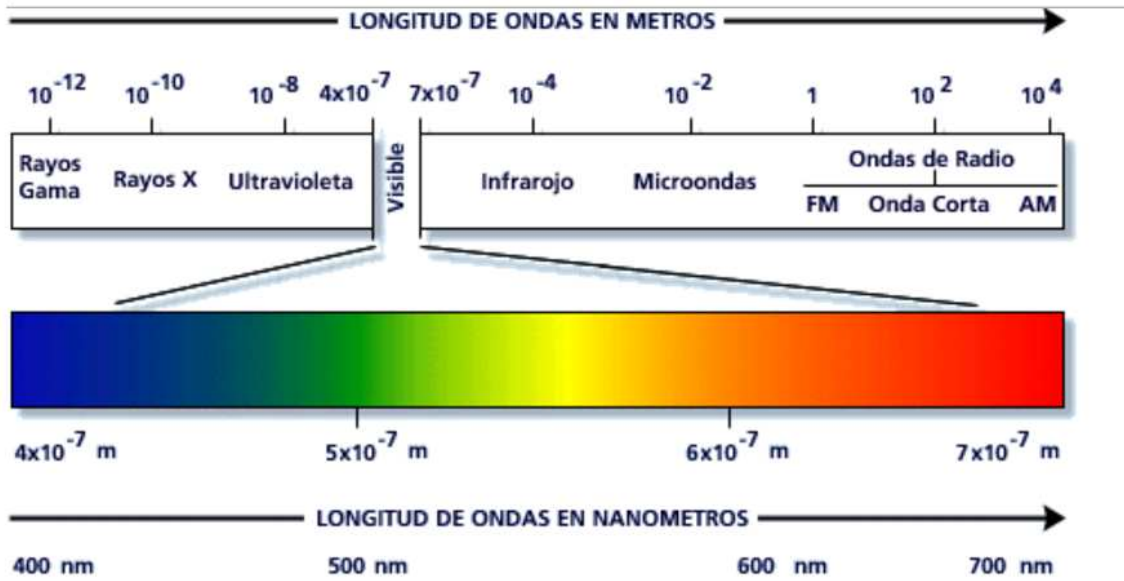


Figura 13. Espectro electromagnético, en <http://www7.uc.cl/>

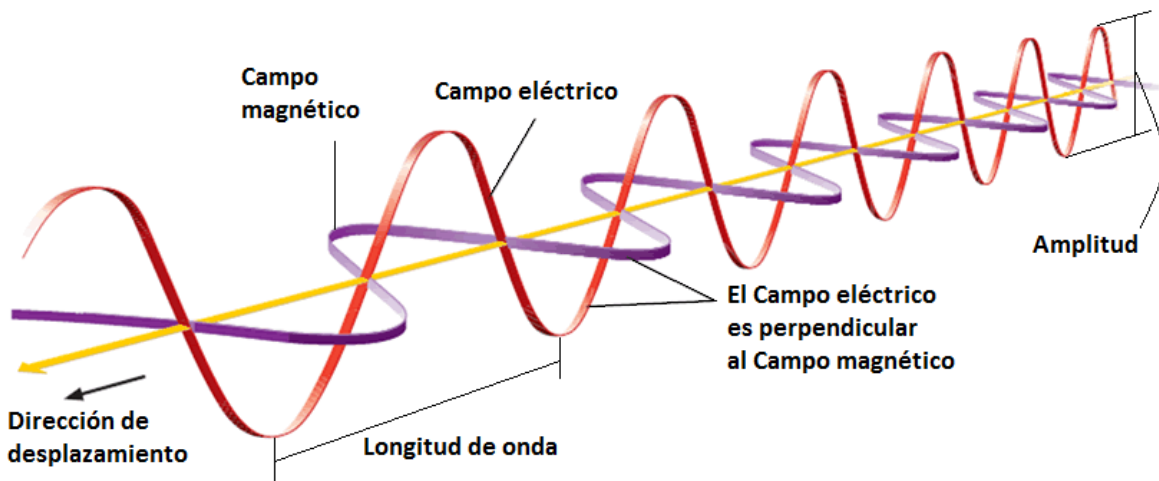


Figura 14. Características de una onda electromagnética

Pero no todo acaba aquí, a cada lado del espectro de luz visible existen dos tipos de radiaciones, la ultravioleta que se puede percibir porque con ella se puede broncear la piel y que dependiendo del grado de exposición puede ser benéfica o perjudicial para la salud y la infrarroja que se percibe en forma de calor y de la que se hablará a mayor detalle más adelante, por el momento solo se mencionará que estos dos tipos de luz no son visibles para el ser humano, no obstante, sus aplicaciones y usos se han extendido en todos los niveles de la tecnología y la ciencia.

En el espectro lumínico la luz infrarroja está comprendida entre los 750 y los 1200 nanómetros, a partir de ella podemos conocer la temperatura de un objeto, otro dato interesante es que ésta puede viajar a través del humo espeso, polvo o niebla, los filtros de infrarrojos, tienen como misión excluir la totalidad de la luz ultravioleta, así como de la luz visible, permitiendo sólo el paso de la radiación infrarroja. Esta característica es muy usada en fotografía artística y científica, en satélites de clima y en el estudio de animales de sangre fría y caliente, la policía ha utilizado esta radiación para encontrar criminales en la oscuridad y en protección civil para rescatar a personas dentro del humo denso, en el hogar se puede encontrar en los mandos a distancia y su detección se puede realizar por medio de una cámara digital de video o fotografía, la energía infrarroja puede revelar objetos ubicados en el universo que no podemos ver a simple vista con los telescopios tradicionales, por ejemplo cuando se observa hacia la constelación de Orión solo es posible ver la luz visible, pero el telescopio Spitzer de la NASA fue capaz de detectar alrededor de 2,300 discos de formación planetaria mediante la detección de la luz infrarroja de su polvo caliente, cada disco tiene el potencial de formar planetas y su propio sistema solar.

Pero bien, como se mencionó se verá más a detalle lo que la radiación infrarroja envuelve.

1.2 Historia del infrarrojo

La radiación infrarroja (IR) hasta hace apenas 217 años era desconocida y fue Frederick William Herschel quien a partir de sus experimentos con un termómetro y un prisma reportó por primera vez la existencia de este tipo de radiación el 11 de febrero de 1800.

William Herschel estudió el espectro de luz solar con un prisma, para ello midió la temperatura de cada color. Construyó un detector que consistía en un líquido dentro de un termómetro de vidrio con una bombilla especialmente ennegrecida para absorber la radiación. Herschel había creado un monocromador que usaba un termómetro como detector, de modo que pudiera medir la distribución de energía en la luz del sol y encontró que la temperatura más alta estaba más allá del rojo, que ahora llamamos infrarrojo ('por debajo del rojo', del latín 'infra' – bajo-). En abril de 1800 él lo reportó a la Real Sociedad como calor oscuro, obsérvense las figuras 15 y 16 donde se aprecia el experimento de Herschel.

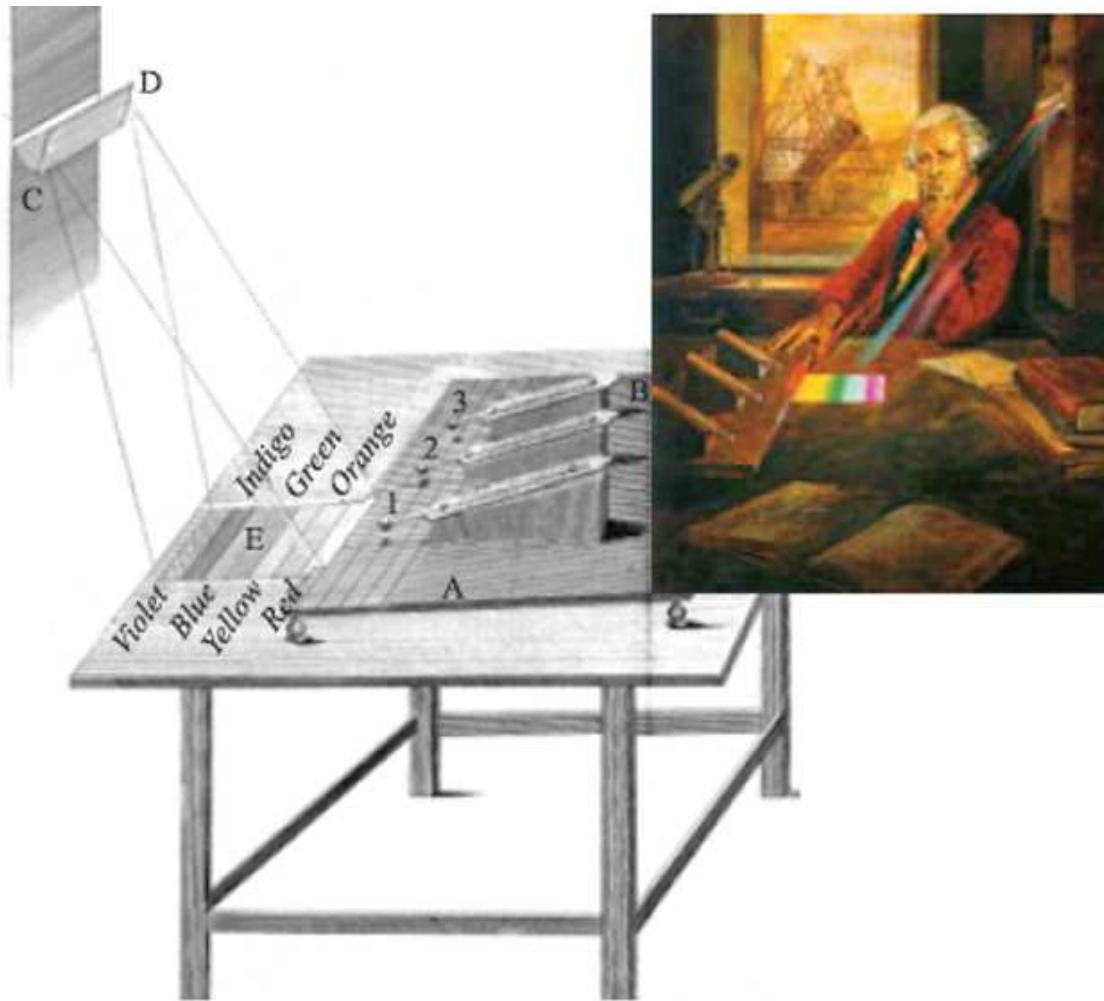


Figura 15. Primer experimento de Hershel; A, B – el pequeño soporte, 1, 2, 3 – los termómetros sobre él, C, D – el prisma en la ventana, E – el espectro proyectado sobre la mesa, en el recuadro Hershel midiendo la luz infrarroja del Sol

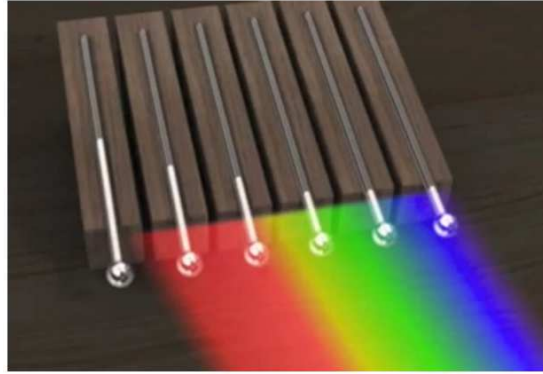


Figura 16. Puede observarse el aumento en la temperatura para cada color, en este caso por debajo del rojo la temperatura fue mayor

Los rayos encontrados por debajo del rojo eran reflejados, refractados, absorbidos y transmitidos al igual que la luz visible.

1.2.1 Perspectiva histórica del infrarrojo

Los treinta años siguientes al descubrimiento de Herschel, muy poco se avanzó más allá de establecer que la radiación infrarroja obedecía las leyes más simples de la óptica. Sin embargo, hacia la segunda década del siglo XIX, Thomas Johann Seebeck comenzó a examinar el comportamiento de la unión de materiales conductores de la electricidad realizando grandes hallazgos. En ese tiempo, la mayoría de los físicos pensaban que el calor radiante y la luz eran fenómenos diferentes, y el descubrimiento de Seebeck contribuyó indirectamente a una reactivación del debate sobre la naturaleza del calor. En 1829 L. Nobili hizo el primer termopar y mejoró el termómetro eléctrico basado en el efecto termoeléctrico descubierto por Seebeck en 1826. Cuatro años más tarde, M. Melloni presentó la idea de conectar varios termopares, generando, por lo tanto, una tensión de salida superior y medible. Era por lo menos 40 veces más sensible que el mejor termómetro disponible y podía detectar el calor de una persona a una distancia de 30 pies (9 metros). El voltaje de salida de este tipo de termopila aumentaba linealmente con el número de termopares conectados. Un ejemplo del prototipo de termopila inventado por Nobili se muestra en la Figura 17 (a). Se compone de doce grandes elementos de bismuto y antimonio. Los elementos fueron colocados en

posición vertical en un anillo de latón asegurado a un soporte ajustable, y eran seleccionados por un disco de madera con una abertura central de 15 mm. La versión incompleta de la termopila de Nobili-Melloni inicialmente equipada con los tubos en forma de cono de latón para recoger el calor radiante se muestra en la figura 17 (b). Este instrumento fue mucho más sensible que los termómetros utilizados anteriormente y se convirtió en el detector de la radiación infrarroja más utilizado en el siguiente medio siglo.



Figura 17. Las termopilas de Nobili-Meloni: (a) Prototipo de termopila inventado por Nobili (1829), (b) Versión incompleta de la termopila Nobili-Meloni (1831). Museo Galileo-Institute y Museum of the History of Science, Piazza dei Giudici 1, 50122 Florencia, Italia

El tercer miembro del trío, el bolómetro de Langley aparecido en 1880. Samuel Pierpont Langley (1834-1906) utilizó dos cintas delgadas de lámina de platino conectadas de tal manera como para formar dos brazos de un puente de Wheatstone (véase la figura 18). Este instrumento le permitió estudiar la radiación solar cercana a su región infrarroja y para medir la intensidad de la radiación solar en varias longitudes de onda. La sensibilidad del bolómetro fue mucho mayor que la de las termopilas contemporáneas que fueron poco mejoradas desde que Melloni las usó. Langley continuó desarrollando su bolómetro en los siguientes 20 años (400 veces más sensible que sus primeros esfuerzos). Su último bolómetro podría detectar el calor de una vaca a una distancia de un cuarto de milla (402 metros). (History of infrared detectors, 2012)

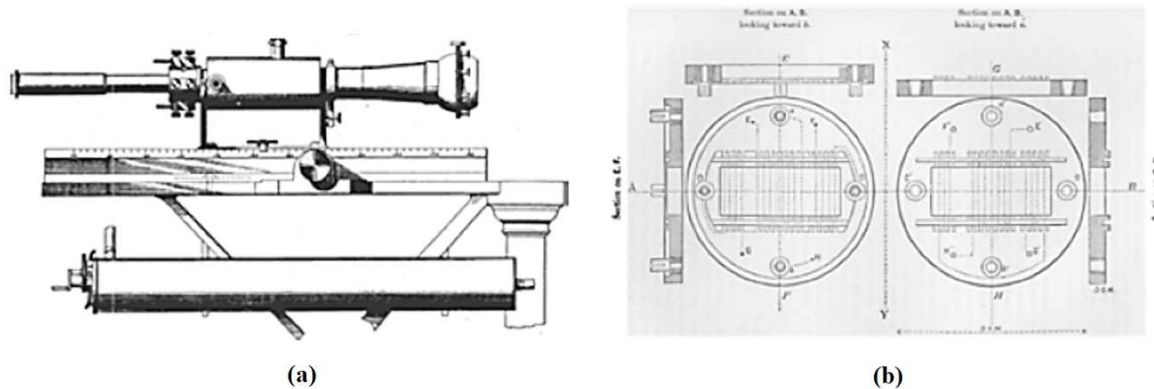


Figura 18. Bolómetro de Longley (a) Compuesto de dos conjuntos de tiras de platino delgadas (b), Un puente de Wheatstone, una batería, y un galvanómetro midiendo corriente eléctrica

El período entre las Guerras Mundiales I y II se caracteriza por el desarrollo de detectores de fotones y convertidores de imagen y por la aparición de espectroscopia infrarroja. El convertidor de imagen, desarrollado en la víspera de la Segunda Guerra Mundial, fue de tremendo interés a los militares, ya que permitió al hombre ver en la oscuridad.

El primer fotoconductor infrarrojo fue desarrollado por Theodore W. Case en 1917. Apoyado por el Ejército de los EE.UU. entre 1917 y 1918, Case adaptó estos detectores relativamente poco fiables para utilizarlos como sensores en un dispositivo de señalización de infrarrojos. El prototipo de sistema de señalización, que consistía de un reflector con un diámetro de 60 pulgadas como la fuente de radiación y un detector de sulfuro de talio en el foco de un espejo paraboloide de 24 pulgadas de diámetro, envió mensajes a 18 millas a través de lo que fue descrito como “Atmósfera ahumada” en 1917.

Probablemente el desarrollo de infrarrojo más significativo en los Estados Unidos durante la década de 1930 fue el tubo de imagen infrarrojo de la Radio Corporation of America (RCA). Durante la Segunda Guerra Mundial, con el establecimiento del Comité de Investigación de la Defensa Nacional, el desarrollo de este tubo se aceleró. En 1942, el tubo estuvo en producción como el convertidor de imágenes RCA 1P25 (ver. Figura 19). Este fue uno de los tubos utilizados durante la Segunda Guerra Mundial como parte de la “snooperscope” y “Sniperscope,” que fueron utilizados para la observación nocturna con fuentes infrarrojas de iluminación.

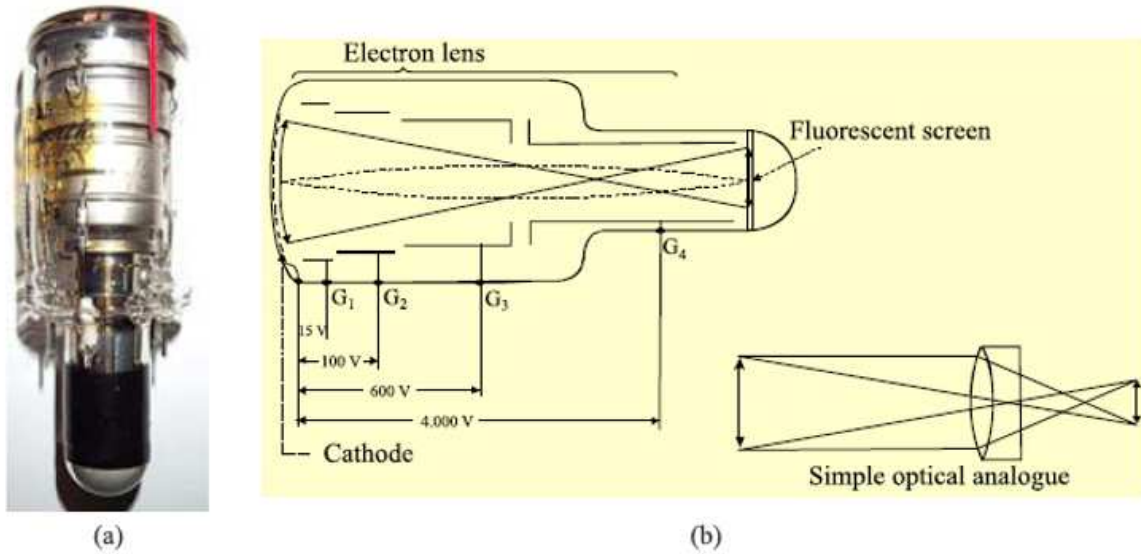


Figura 19. El tubo convertidor de imagen 1P25 original, desarrollado por la RCA (a). Este dispositivo mide 115 x 38 mm en general y tiene 7 terminales. La operación es indicada por el dibujo esquemático (b)

Los fotoconductores de sulfuro de plomo fueron llevados a la fase de fabricación en Alemania alrededor de 1943. El detector de sulfuro de plomo fue el primer detector de infrarrojos empleado en una variedad de aplicaciones durante la guerra, (obsérvense las imágenes en la figura 20). El más notable fue el Kiel IV, un sistema de infrarrojos en vuelo que tenía una excelente autonomía y que fue producido por Carl Zeiss en Jena bajo la dirección de Werner K. Weihe.

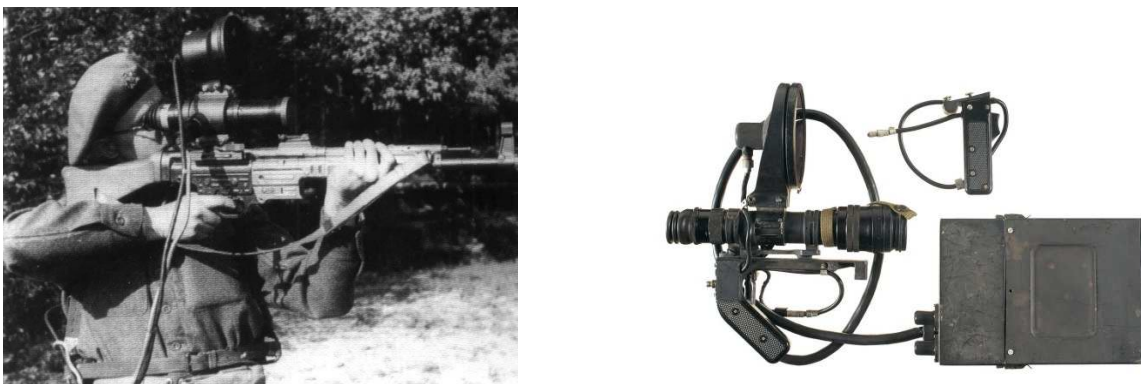


Figura 20. Izquierda soldado con arma de visión infrarroja, derecha mira telescópica infrarroja

En 1941, Robert J. Cashman mejoró la tecnología de detectores de sulfuro de talio. Los primeros detectores celulares fabricados por Cashman se muestran en la figura 21.

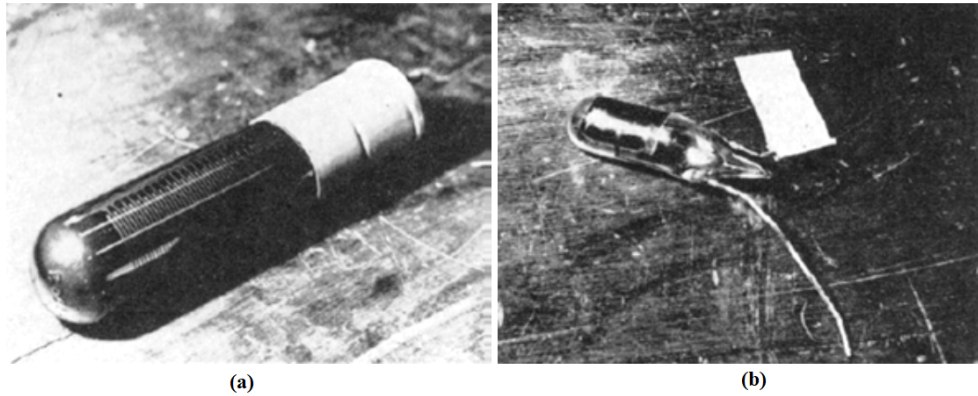


Figura 21. Celdas detectoras de Cashman: (a) Celda TI2S (1943) ; (b) Celda PbS (1945)

Como en muchos de los casos, los grandes inventos aparecen cuando en los conflictos bélicos se invierten enormes sumas de dinero, la tecnología infrarroja, no es la excepción y es a partir de estos acontecimientos mundiales que lo que hoy se utiliza para la diversión, las comunicaciones, activación de aparatos a distancia, visión nocturna en cámaras, binoculares y telescopios tuvo su verdadero desarrollo.

1.2.2 Clasificación de los detectores infrarrojos

Observando la historia del desarrollo de la tecnología de los detectores de IR después de la Segunda Guerra Mundial, muchos materiales han sido investigados. Un sencillo teorema, después de Norton, puede ser declarado: “Todos los fenómenos físicos en el intervalo de aproximadamente 0,1-1 eV (electrón Volt) serán propuestos para detectores de infrarrojos “. Entre estos efectos están: la energía termoeléctrica (termopares), el cambio en la conductividad eléctrica (bolómetros), la expansión del gas (célula Golay), piroelectricidad (detectores piroeléctricos), fotones de arrastre, efecto Josephson (uniones Josephson, SQUIDs), emisión interna (barreras Schottky PtSi), la absorción fundamental (fotodetectores

intrínsecos), absorción de impurezas extrínsecas (fotodetectores extrínsecos), sólidos de baja dimensionalidad [superentramado (SL), pozo cuántico (QW) y de puntos cuánticos (QD) detectores], diferente tipo de transiciones de fase.

La figura 22 da fechas aproximadas de desarrollos significativos de los materiales mencionados. Los años durante la Segunda Guerra Mundial vieron los orígenes de la moderna tecnología de los detectores IR. El reciente éxito en la aplicación de tecnología de infrarrojos para problemas de percepción remota ha sido posible gracias al desarrollo exitoso del alto rendimiento de detectores de infrarrojos en las últimas seis décadas.

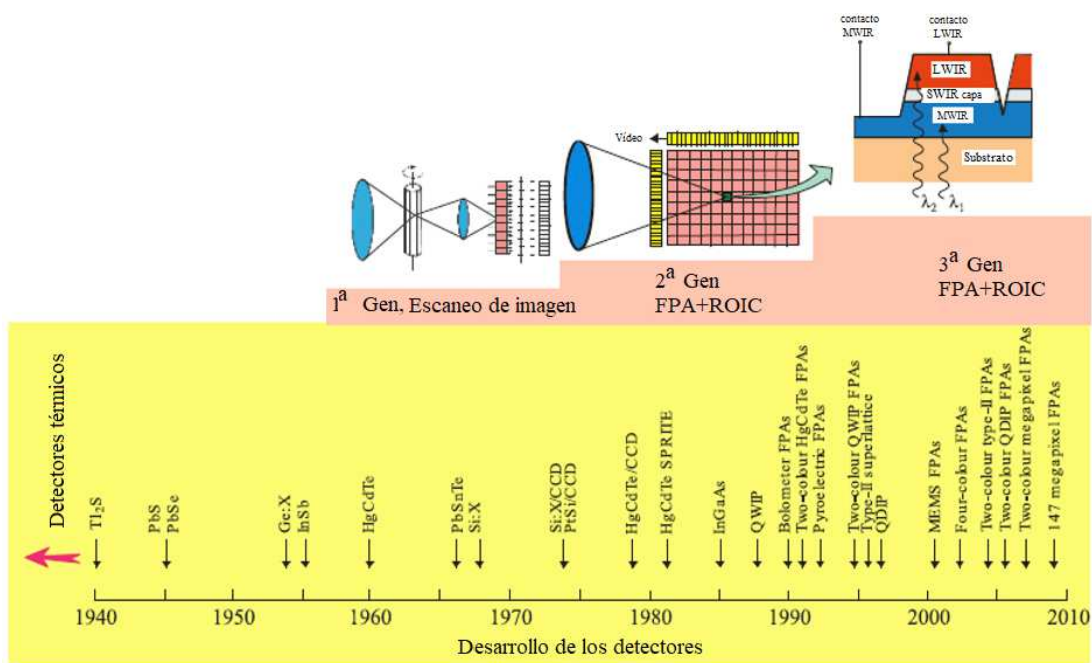


Figura 22. Historia del desarrollo de detectores y sistemas infrarrojos: 1ª Generación (Sistemas de escaneo), 2ª Generación (Sistemas de arranque – electrónicamente escaneados) y 3ª Generación (funcionalidad multicolor y otras funciones en el chip)

La fototecnología infrarroja combinada con la ciencia de materiales semiconductores, el desarrollo de la tecnología litográfica para los circuitos integrados, y el impulso de la preparación militar de la Guerra Fría han impulsado extraordinarios avances en las capacidades infrarrojas en un corto período de tiempo durante el siglo pasado. (History of infrared detectors, 2012)

La mayor parte de los detectores de cuerpo humano, si no es que todos, utilizan la tecnología infrarroja para lograr la detección de superficies, no sólo planas, sino de cualquier tipo, como lo hace el conocido radar, que a través de ondas sonoras permite describir superficies y objetos sobre ella, de igual forma los sensores actuales de infrarrojo ofrecen la posibilidad de detectar superficies como el cuerpo humano y presentarlas gráficamente en diferentes tonos de grises, según la profundidad de cada parte del cuerpo y sobre ellos superponer líneas que formen un esqueleto, estas líneas o barras representan las extremidades y el tronco humanos.

El conocimiento sobre esta tecnología nos ofrece una visión de las alternativas que se pueden tener para la milicia, la medicina, sistemas de seguridad, entretenimiento, vigilancia y las artes, observando a esta última como alternativa de estudio en esta tesis.

Capítulo 2. La danza en las artes escénicas

El trabajo que desarrolla un artista sobre el escenario es efímero y vivo, es una comunicación constante donde la obra es el mensaje y el público es el receptor, este tipo de comunicación se ha dado desde siempre, es la forma en la que el ser humano expresa su sentir, su forma de vivir, sus penares y sus victorias, tanto en la danza, el teatro o la música y es capaz de hacer vibrar los corazones y las mentes de los espectadores, si así lo desea.

2.1 ¿Qué son las artes escénicas?

Las artes escénicas hacen referencia a las expresiones artísticas donde el ejecutante es parte de la obra, son en sí representaciones donde se manifiestan la danza, la música, la actuación, que llevan al espectador a diversas épocas, situaciones, estados de ánimo y escenarios que permiten caracterizar la atmosfera del género en armonía con la estética del lugar y el ambiente que se vive, como puede observarse en la figura 23.



Figura 23. Escenografía en recinto cerrado. *El triunfo del amor*, de Marivaux (Círculo de Bellas artes 2002). (Fotógrafo Daniel Alonso. Archivo CDT).

Las artes escénicas, dígase teatro y danza siempre han sido bien recibidas por el público que tiene las posibilidades para acudir a apreciarlas, y desde que el hombre puso en marcha sus habilidades histriónicas ha buscado la forma de sorprender y maravillar a los espectadores.

La danza es uno de los recursos que han sido ampliamente explotados, debido principalmente a la variedad de estilos que se tienen alrededor del mundo; desde la época de los griegos y los romanos el hombre se ha expresado bailando, pero fue hasta el renacimiento cuando la danza tomó fuerza al igual que todas las artes, sin embargo, los suntuosos actos sólo se presentaban para la aristocracia. Fue el francés Pierre Beauchamp quien dirigió la primera escuela de danza, la llamada *Académie Royale de la danse* y las cinco posiciones básicas de los pies y las posiciones de los brazos en el ballet en el año 1661, durante el reinado de Luis XIV. En la figura 24 se aprecian a bailarinas griegas y de danza clásica. (Historia del ballet, 2006)



Figura 24. Danza en Grecia (izquierda), danza clásica (derecha)

A pesar de que la danza clásica se sigue exhibiendo en recintos reconocidos a nivel mundial, las danzas moderna y contemporánea son las que mayor repunte han tenido, la moderna es una forma de expresión corporal que nace de la transposición por el bailarín, mediante una formulación personal, de un hecho, una idea, una sensación o un sentimiento, se convierte en una forma de ser para el hombre que quiere hablar con su cuerpo bailando descalzo. Esta danza surge como reacción a la rigidez de espalda del ballet clásico, el vestuario no era el tradicional Tutú sino se utilizan túnicas muy sueltas de influencia griega y romana, las

zapatillas de punta fueron reemplazadas por zapatillas más flexibles o a veces no se usaban zapatos y en la cabeza llevaban adornos de flores, era un estilo muy natural.

El bailarín en la danza moderna tiene la necesidad de encontrar en sí mismo los principios de la técnica que al igual que en la danza clásica, esté sujeta a determinadas reglas, aunque las normas difieran, tanto en el aspecto técnico como en el origen de lo que motiva al movimiento, véase figura 25; la fundadora de la danza moderna fue Isadora Duncan (1877-1927), cuyo verdadero nombre era Dora Angela Duncan, quien también se destacó en este estilo (La danza de Isadora Duncan (1877- 1927), 2007) , una fotografía de Duncan puede observarse en la figura 26.



Figura 25. Grupo de danza moderna. <https://ketebailo.wordpress.com/2015/03/17/la-danza-moderna-en-profundidad/>



Figura 26. Isadora Duncan fotografía de Paul Berguer, Paris

La danza contemporánea en cambio es un estilo donde se expresan los sentimientos, se busca la libertad del movimiento, pero también de tema como en el estilo moderno, es decir, no hay rigor en el tema específico que se representa. La improvisación se acompaña de experimentos visuales-musicales, de música electrónica, video, electroacústica; es la tecnologización del escenario, obsérvese la figura 27 donde se hace uso de un proyector de video para retro proyectar la silueta de una mano.



Figura 27. Bailarín de danza contemporánea. <http://ritmoybaile.com/98/>

En pocas palabras la danza contemporánea es la evolución de la danza moderna, que integra recursos tecnológicos y busca desarrollarse en otros escenarios con la participación de los espectadores. La técnica de la danza contemporánea es la fusión de la destreza física, un estilo a través de formas determinadas y propuestas de movimientos personales para obtener mayor expresividad y transmitir la emoción interna del bailarín. La suma de todos estos elementos da como resultado intensidad en la interpretación escénica.

2.2 Danza y lúdica

De acuerdo a la definición del Diccionario de lengua española, la palabra lúdico proviene del latín *ludus* que es juego, lúdico es un adjetivo que nos indica que algo pertenece o es relativo al juego.

En palabras de Mónica Monroy, artista formadora en danza en la Dirección de Infancia y Juventud del Ministerio de Cultura y Coordinadora del área pedagógica-académica de Los Danzantes Industria Cultural de Bogotá Colombia, “el juego ha sido valorado pedagógicamente en las primeras etapas del aprendizaje, pero menospreciado desde procesos intelectuales superiores; en nuestro contexto se considera como pérdida de tiempo y es poco comprendido en el desarrollo social y cultural de los sujetos. Si se profundiza la comprensión sobre lo lúdico, puede observarse que el juego trasciende la infancia y se expresa en la cultura en forma de rituales, competencias atléticas, espectáculos, manifestaciones folclóricas y expresiones de arte”. (Monroy, 2003)

A la facultad para imaginarse cosas inexistentes y al proceso mediante el cual se reproducen con imágenes los objetos del entorno se le llama fantasía que junto con la imaginación tienen un papel muy importante dentro de las representaciones escénicas.

Se puede decir, que el bailarín juega en el escenario, fantasea e imagina mundos que sólo él puede ver y trata de comunicarlo a los espectadores a través de sus movimiento y posiciones corporales, tanto el juego como la creatividad deben estar desprovistos de toda preocupación funcional para que realmente el ser humano se introduzca en esos espacios de trance, de goce libertario, en el que solo se puede entrar sin reglas ni espacios prefijados.

Quien sube a la escena asumiendo el rol de artista, tiene la responsabilidad de actuar como tal. El artista es aquel que domina un lenguaje simbólico particular, con el cual desea comunicarse.

La enseñanza de la danza en los colegios de educación primaria está siendo abordada desde el sentido lúdico y los niños y niñas participan enormemente en el desarrollo de actividades artísticas, ya sea para exhibir sus trabajos dentro del colegio o fuera de él.

La tecnología ha ayudado al desarrollo y al gusto por la danza, por ejemplo, el sensor Kinect junto con la consola Xbox 360 incluyen software como el *Dance Central* y el *Dance Central 2* que visto como un videojuego guían al usuario en cada uno de los pasos o rutinas propuestas. Primeramente, el usuario elige un avatar (entidad virtual que representa al usuario en una aplicación o sitio web), el sistema muestra los movimientos a ejecutar, el usuario los realiza y el sistema le entrega el resultado de su desempeño.

Existen otros sistemas electrónicos que conectados al televisor permiten ver instrucciones desplegadas en la pantalla y seguirlas en tiempo real, son llamados tapetes de baile, con los cuales aparte de hacer ejercicio de cierta forma también se aprende a bailar.

2.3 Problemática en la danza contemporánea en México

En la actualidad la danza contemporánea presenta graves problemas para su desarrollo, sobre todo en México y en países centro y sudamericanos, debido principalmente al rezago tecnológico, y a otros factores de tipo político y social.

Por otro lado, las escuelas de arte están generando egresados que al no encontrar empleo en las áreas de su especialidad se convierten en subempleados, que se dedican a trabajar en escuelas, como promotores, gestores culturales o en centro de rehabilitación (Palapa, 2010).

Los estudiantes y muchos de los profesionales de las artes escénicas viven de las becas que el estado otorga. Sin embargo, sólo son unos cuantos las que las reciben, las condiciones laborales de los profesionales de las artes no son las más adecuadas, por el contrario, la falta de recursos financieros y las malas condiciones, ocasionan que muchos de los buenos artistas

emigren a países donde las condiciones son mejores, o simplemente el arte escénico es bien recibido.

La mayor parte de los bailarines comentan que nacieron para bailar y es lo que los motiva y los hace sentirse vivos, y en cada presentación dan lo mejor de ellos porque liberan su verdadero ser, como se observa en la figura 28.



Figura 28. Menores recursos escénicos

Otra de las crisis que enfrenta la danza contemporánea, es la falta de público y de infraestructura, y muchas veces los coreógrafos tienen que lidiar con la burocracia para conseguir espacios donde presentarse. La cantidad de teatros o espacios escénicos en México es de 655, según el Sistema de Información Cultural (SIC) de la Secretaría de Cultura. Considerando que en 2017 existen 123.5 millones de habitantes en México según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), se obtiene un total de 128,549 habitantes para un solo recinto cultural de este tipo.

Creadores de danza en México saben que no existe una política cultural gubernamental que apoye a las artes escénicas con recursos suficientes o que invierta en infraestructura cultural; la deficiente formación de público es otra de las causas que han marcado el desarrollo de la danza profesional en el país, obligando a los creadores a realizar trabajos administrativos y de gestión cultural.

En la Encuesta Nacional de Hábitos, Prácticas y Consumos Culturales realizada por el Consejo Nacional para la Cultura y las Artes a treinta y dos mil personas, el 66% contestó

que no asiste a espectáculos de danza, las razones fueron: 28% porque no les interesa, 16% no tiene tiempo y 12% no conoce de estas actividades.

El desinterés de las instituciones gubernamentales por crear espacios se debe en gran medida a la falta de interés por parte del público, ya que éste muchas veces prefiere el fútbol o un concierto de rock que ir a apreciar la danza a un teatro.

El público que acude a los teatros es muy reducido e incluso se considera a este tipo de arte elitista, sin embargo, no lo es, y lo que se necesita es que las artes escénicas lleguen a todo tipo de público.

El presente trabajo, es una alternativa para que los artistas escénicos puedan presentar sus obras en prácticamente cualquier espacio, ya que otorga recursos tecnológicos que pueden proporcionar grandes ventajas en escenarios donde se requieren elementos que automaticen los diferentes sistemas que los conforman, sin la necesidad de realizar grandes inversiones o contratar a personal que los controle, en la figura 29 se observan dos tipos de escenarios que requieren pocos recursos para funcionar.



Figura 29. Escenario interno (izquierda), escenario externo (derecha)
https://www.peroni.com/lang_ES/scheda.php?id=52122

Es más fácil desplazar a un grupo de bailarines y un escenario a un lugar donde haga falta, que desplazar a una cantidad de público de escasos recursos o con otros intereses económicos a un recinto.

Un escenario o varios escenarios móviles distribuidos en varios puntos del país pueden dar la oportunidad tanto a artistas de la danza contemporánea y demás tipos de danza y teatro, a un mayor público de disfrutar del arte y de las artes escénicas (ver figura 30).

Si la danza clásica ha sido implementada en diversas escuelas de las grandes ciudades, la danza contemporánea vista como actividad física, como arte y cultura puede ser implementada en las escuelas públicas también.



Figura 30. La danza contemporánea vista como un recurso de arte y cultura
<http://www.lahabana.com/content/demo-nrazy-with-danza-contemporanea-de-cuba/>

Capítulo 3. La tecnología en las artes escénicas

La iluminación como parte de la tecnología surge como arte escénico a comienzos del siglo XVII cuando aparece el teatro techado. Hasta entonces las representaciones se hacían con luz de día y al aire libre. Con el progreso vertiginoso de la tecnología escénica en el siglo XX, la iluminación ya no sólo cumple el papel de iluminar al actor o actriz y de hacer visible la escenografía o la acción. En el siglo XXI se ha transformado en un instrumento de precisión y movilidad infinitas, capaz de crear una atmósfera, de reconstruir cualquier lugar o momento temporal, de participar en la acción y/o de potenciar la psicología de un personaje, entre muchas otras funciones expresivas, como signo autónomo. La luz, de una fluidez y flexibilidad inigualables, puede dar la tonalidad a una escena, determinar en qué forma y momento se debe percibir un acontecimiento determinado y qué grado de realidad hay que concederle. La iluminación en la puesta en escena puede controlar el ritmo del espectáculo, los cambios del argumento, subrayar un elemento de utilería, un gesto de los intérpretes, indicar la transición entre diversos momentos o atmósferas. Resulta primordial destacar la importancia de los avances tecnológicos relacionados con la electricidad como fuente de luz artificial, pilar del teatro y del espectáculo escénico en general. En las artes escénicas se manifiestan diversos medios de expresión como la palabra, la acción y el universo sonoro y visual, que sitúan al actor y al espectador en un determinado ambiente y época; se han creado técnicas que permiten controlar la iluminación del escenario para facilitar la visibilidad. De esta forma la provisión de luz permite al espectador observar claramente la escena, la dimensionalidad, que a partir de los efectos lumínicos favorecen las sensaciones que facilitan la definición del espacio, los volúmenes, las formas y las texturas, la selectividad al igual que la visibilidad permiten conducir al espectador a donde interesa, lo anterior se basa en el factor psicológico que hace que el ser humano se sienta más atraído por el punto más luminoso en su campo visual. No se trata de encender y apagar luces arbitrariamente, sino de jugar con distintas intensidades, colores y direcciones para cumplir este objetivo, y por último una parte muy importante, la creación de atmósferas que muchos profesionales encuentran como la faceta más fascinante del trabajo con la luz ya que se consigue transmitir una sensación al público, para ello se actúa en dos niveles, el primer nivel superficial que sirve para cubrir una situación como cuando se crea un ambiente nocturno o de atardecer o simplemente cuando se imita la luz que entra por una ventana (García, s. f).

El segundo nivel el profundo se utiliza para comunicar el clima emotivo de lo que se vive en el escenario, para lograrlo se utilizan tres métodos, uno de ellos es jugar con la claridad y la oscuridad, relacionadas con la tranquilidad y el misterio, como puede observarse en la figura 31, otro es el juego de colores cálidos y fríos que generan sensaciones de serenidad y alegría o de aprensión y tristeza, ver figura 32 y por último el control de la luz y la sombra, así, sombras naturales y suaves transmiten tranquilidad, las imágenes muy contrastadas comunican inquietudes y angustia véase figura 33.



Figura 31. Ambiente nocturno en la escena, la luz es la principal herramienta.
https://www.peroni.com/ext_panel_immagine.php?imgid=94676



Figura 32. Ambientación escénica con la luz. <http://educacionartistica124.blogspot.mx/2014/06/teatro.html>



Figura 33. Escenografía con luz y sombras. <http://www.lateclaene.com/alberto-elizalde-leal-ctbd>

En resumen, la luz en las artes escénicas juega un papel muy importante y por lo tanto es un elemento a explotar, aunque para lograrlo es preciso siempre experimentar con ella en el espacio asignado para el escenario.

Por otro lado, los sistemas mecánicos han ayudado a la obtención de elementos que permiten sincronizar las acciones de los actores con el estado del escenario, los motores o actuadores facilitan la obtención de estos movimientos o acciones, tanto en el escenario (telones, proscenio rotativo) como en los elementos lumínicos (luces robóticas), obsérvese la figura 34.



Figura 34. Iluminación trasera (izquierda). <http://elsamateu.blogspot.mx/2011/08/>, luces robóticas en el escenario (derecha)

La tecnología electrónica es otra de las áreas que participa activamente en las artes escénicas generando posibilidades extraordinarias, y aparece nuevamente el objeto como extensión del cuerpo y la pantalla como extensión del espacio ya que gracias a ella se pueden simular espacios virtuales, véase la figura 35.



Figura 35. Retroproyección en las escenas teatrales, <http://falunau.org/2016/03/australian-audience-touched-and-uplifted-by-shen-yuns-spiritual-journey/>

Incluso el internet está incluido en las artes escénicas utilizado principalmente para enlazar comunicaciones donde el audio y el video se manifiestan a través de las ejecuciones “en tiempo real” de ejecutantes ubicados en diferentes países (Hernández, 2012), ver la figura 36.



Figura 36. Escenarios performáticos utilizan internet como herramienta principal, <http://embodied.mx/procesos>

El *video mapping* ver figura 37, es otro medio tecnológico que está muy relacionado con los intereses de las personas inmersas en las artes escénicas, debido principalmente a que casi cualquier espacio puede ser transformado a través de la programación de algoritmos computacionales para centrar al espectador en escenarios irreales o lúdicos.



Figura 37. El video mapping como recurso escenográfico, <http://articles.triplewidemedia.com/theatre-projection-dance-amazing-monday-mapping-108/>

Según la Revista Colombiana de las Artes Escénicas (Narvárez Díaz, 2009), en el tema “Relaciones cuerpo tecnología en la escena teatral” escrita por Álvaro Narvárez Díaz, se menciona: *“El arte y la ciencia conforman diversas maneras de construir los cuerpos, hasta encontrarnos hoy con mutaciones infinitas, con dispositivos y apéndices antes insospechados, con cuerpos multiplicados virtualmente, cuerpos mutados, alterados en su formas, en aleaciones plásticas y metálicas, cuerpos hechos de formas ya no necesariamente bellos sino emocionalmente seductores. Que superen la realidad, con una fragmentación de los ideales y cánones antes establecidos, expandiendo el sentido de belleza y sobre todo teatralizando la vida, haciendo de cada cuerpo un espacio particularizado, armado de múltiples ideales”*.

De lo anterior podemos comprender claramente que la tecnología aplicada a las artes escénicas se ha introducido grandemente en todas las áreas que la conforman, situando al espectador en un lugar privilegiado ante esos mundos lúdicos que permiten al personaje jugar con la realidad.

Pepe Zapata socio y consultor de TekneCultura dice: “*Sin duda, la danza contemporánea es el terreno donde mayor número de promiscuidades se producen con la tecnología debido a la universalidad del lenguaje artístico, el movimiento y bailarines han encontrado en la tecnología enormes posibilidades de explorar nuevas formas de expresión y plasticidad a partir de la interacción con los cuerpos*”. (Transformación de las artes escénicas en la era digital, 2016)

Zapata hace referencia a trabajos como el de Mária Júdova en su proyecto *body(input)* donde experimenta con la biointeracción entre cuerpo y tecnología, ayudándose de sensores lumínicos que responden a las funciones biológicas de la bailarina. Otro sería el de la compañía Adrien M y Claire B que experimenta con la poética de cuerpos en movimiento, utilizando técnicas cercanas y el circo contemporáneo o el hip hop, a través de su interacción con entornos virtuales mediante una aplicación de tecnología denominada eMotion, y han producido espectáculos memorables como *Le mouvement de láir* y *Pixel*, con la colaboración de coreógrafos como Yan Raballand y Mourad Merzouki.

Dice también que uno de los pioneros en este terreno, Thierry de Mey, creó la performance *Light Music* para explorar la interrelación del movimiento de los cuerpos con la creación de sonido. Por otro lado, la pieza *With Oui*, de billie Secular y Ladonna Matchett, propone un juego narrativo sobre la comunicación a partir de un objeto ubicado en el centro de la escena que contiene un sensor de movimiento (Wiimote) que permite manipular el audio.

Menciona que uno de los creadores más prolíficos es Hiroaki Umeda y su compañía S2o, con espectáculos como *Adapting for distortion* u *Holistic Strata*, en los que recrea entornos virtuales y ritmos sonoros. También la compañía Chunky Move, habitual del festival IDN (*Imatge, Dansa i Nous mitjans*-Imagen Danza y Nuevos medios), ha experimentado con *Glow* las proyecciones que reaccionan al movimiento del intérprete y se convierten en una extensión más de su cuerpo.

Habla sobre Klaus Obermaier, que junto con Ars Electronica Futurelab, propone en *Apparition* una performance de danza estereoscópica generada en tiempo real véase figura 38. También la proyección de *mapping* en 3D forma parte de algunos espectáculos de la compañía Anarchy Dance Theatre, como *Seventh Sense*, interaccionando con los bailarines en función del movimiento realizado y de la superficie donde se proyecta. Quixotic Fusion quien creó la pieza de danza, circo y *videomapping* para TED titulada *Dancing with light*. Y Tom O'Donnell, junto con MIDASpace, desarrolló la performance *The Midas Project* para representar la cambiante relación entre tecnología y ser humano. Wayne McGregor y *Random Dance* incluso han desarrollado el software digital interactivo <<*Becoming*>> como herramienta de creación coreográfica. De la misma manera, el colectivo prince_mio ha ideado el <<*Path-finder*>>, un lenguaje visual que recrea coreografías relacionadas con las danzas urbanas.



Figura 38. *Apparition* de Klaus Obermaier, <http://www.exile.at/apparition/background.html>

Por otra parte, se puede decir que el mismo escenario se puede convertir en un enorme robot que vincule los movimientos de los actores con reacciones del mismo escenario para coordinar acciones que lo hagan mucho más activo, dejando la estaticidad de lado y provocando efectos cada vez más espectaculares que lleven al observador y al mismo actor, bailarín o persona sobre el escenario a sentir realmente la escena que se esté representando.

Los sensores son parte del entramado electrónico que se necesita para conseguir la magia que se puede vivir, cuando como espectador se aprecie una obra que pueda cobrar vida, es decir, sería como ver el cine con actores en vivo y efectos escénicos que realmente nos dejen impresionados.

Según Lev Manovich en su libro *El lenguaje de los nuevos medios de comunicación* (2005), donde establece algunas nociones que se sostienen popularmente sobre la diferencia entre nuevos y viejos medios.

1. Los nuevos medios son medios analógicos convertidos a una representación digital. A diferencia de los medios analógicos, que son continuos, los medios codificados digitalmente son discretos.
2. Todos los soportes digitales (los textos, las imágenes fijas, la información del tiempo en vídeo o audio, las formas y los espacios tridimensionales) comparten el mismo código digital, lo cual permite que distintos soportes se representen por medio de una sola máquina, la computadora, que actúa como un dispositivo de representación multimedia.
3. Los nuevos medios permiten el acceso aleatorio. A diferencia de la película o de la cinta de vídeo, que guarda los datos de manera secuencial, los mecanismos de almacenamiento informático permiten acceder a cualquier elemento a la misma velocidad.
4. La digitalización comporta inevitablemente una pérdida de información. A diferencia de la representación analógica, una representación digitalmente codificada contiene una cantidad fija de información.
5. A diferencia de los viejos medios, en los que cada copia sucesiva sufría de calidad, los medios codificados digitalmente se pueden copiar de manera ilimitada sin degradación.
6. Los nuevos medios son interactivos. A diferencia de los viejos medios, donde el orden de representación viene fijado, ahora el usuario puede interactuar con el objeto mediático. En ese proceso la interacción puede elegir qué elementos se muestran o qué rutas seguir, generando así una obra única. En este sentido el usuario se vuelve coautor de la obra.

De esta manera se puede decir que el sistema idealizado para este trabajo es un nuevo medio, inmerso en la digitalización de los datos que entregados por las posiciones corporales del usuario se convierten en órdenes para activar elementos escénicos, es decir, es un sistema conversor de analógico a digital y de digital a analógico.

Capítulo 4. ¿Qué entendemos por interactividad?

Por la estrecha relación que existe entre el ser humano y la computadora el presente trabajo obliga a hablar sobre lo que es la interactividad, sobre todo, en los llamados sistemas interactivos, porque esta, es la principal fuente que mantiene la comunicación constante entre un emisor y el receptor, para a su vez obtener una respuesta que facilite esa interacción.

El ejecutante de danza en un escenario frente al sensor Kinect está obligado a colocarse en ciertas posiciones marcadas con el propósito de cumplir con los requerimientos que el sistema tiene programados. Cuando el Kinect detecta estas posiciones las interpreta llevando a su vez datos hasta la computadora donde el código generado reacciona comparando sus instrucciones con las ordenes que están llegando si se cumple envía a su vez datos hacia los diferentes periféricos conectados a la computadora, por ejemplo enciende el video proyector, activa el audio, enciende luces, ventiladores o cámaras de humo, así como la plataforma giratoria, accionamiento del telón y en fin la acción que corresponda a la posición ejecutada y entonces el ejecutante esta interactuando con el sistema y el sistema con los periféricos. Además, se podría hacer que el público interactúe con la obra misma si los periféricos accionados los afectan a ellos, como puede ser caída de rocío, aromas, generación de calor o frío o incluso el movimiento de sus asientos, todo estaría interactuando enriqueciendo la obra sobremanera.

Así para complementar el presente trabajo se hará referencia al trabajo realizado por el compositor, investigador y artista de los nuevos medios Raúl Lacabanne (¿Qué entendemos por interactividad?, 2010), quien intenta exponer una genealogía sobre el término interactividad basado en computadora y otros términos asociados como interacción e interactivo.

4.1 El concepto de interactividad

El concepto de **interactividad** data de poco tiempo y tiene estrecha relación con la evolución que han tenido la informática y las nuevas tecnologías de la información y la comunicación en los últimos treinta y cinco años. La palabra **interactividad** se vincula con el sustantivo **interacción** y por supuesto también con el adjetivo **interactivo**. Algunos autores los utilizan indistintamente.

De los tres, el término **interacción** es el más antiguo, el más aplicado y el más estudiado. La interacción designa ese espacio de relación dialógica que existe entre o en medio de dos personas u objetos, por lo tanto, implica también al concepto de reciprocidad. Las ciencias sociales abordan este concepto desde el punto de vista de la relación entre individuos.

El término interactivo ha sido utilizado para adjetivar el término interacción y es una palabra con más antigüedad que interactividad. El término interactivo surgió por primera vez en forma documentada en 1832, en un artículo publicado en el *Saturday Even* en el cual se aludía a la “inter-acción entre lector y el escritor”, según manifiesta María Rosario Sádaba Chalezquer (2000). Luego el término interactivo que utilizado por diversas disciplinas científicas tales como la física, la genética e incluso las ciencias sociales.

La RAE (Real Academia Española) entiende el término **interactividad** como “cualidad de interactivo”. Por lo tanto, Rost (2006) arriesga que “el adjetivo interactivo ha oficiado de puente para crear una palabra paralela a interacción como es la de interactividad”. Como ya dijimos, su origen está vinculado con la creación de la informática y la telemática. Desde estos campos, la interactividad es vista como la capacidad de las computadoras para responder a los requerimientos de los usuarios.

4.2 Tres perspectivas para el concepto de interactividad según Jensen (1998)

El danés Jens Jensen (1998) rastrea los antecedentes en el estudio de la interactividad y puntualiza tres formas de entender el concepto identificando a cada una de ellas con un campo académico específico. Entiende a la interactividad como una extensión del concepto interacción y utiliza a ambos de forma indistinta. Habla entonces de:

- **El concepto sociológico.** El modelo básico que ha seguido la sociología resulta de estudiar las relaciones que se producen entre dos o más personas quienes, en una situación dada, adaptan mutuamente su comportamiento y acciones el uno al otro.

- **El concepto de las ciencias de la comunicación.** Si bien existen diversos enfoques, Jensen considera que la tendencia dominante es entender el término desde una amplia concepción que incluye los procesos que toman lugar entre los receptores, por un lado, y los mensajes de los medios por otro. Es decir, que refieren a la interactividad –o interacción– como las acciones de una audiencia o receptores en relación a los contenidos.
- **El concepto informático.** La informática considera básicamente la relación de los individuos con computadora, lo que se denomina *Human-Computer-Interaction* (HCI). El esquema de Jensen es útil para identificar las perspectivas primarias de análisis, pero plantea dudas significativas en función de la identificación de límites claros y diferenciados entre las diversas disciplinas (sociología y ciencias de la comunicación) y entre contenidos y dispositivos (¿el usuario está realmente interactuando con los contenidos o con la computadora?).

4.3 Genealogía del término interactividad

Una primera definición oficial surgió en Francia en 1981, aunque no de interactividad sino del adjetivo interactivo. Fue adoptada por todos los servicios públicos del Estado Francés y publicada por la Agencia para la Informática. Según esta definición, el adjetivo interactivo “califica al *hardware*, *software* o las condiciones de explotación que permiten acciones recíprocas en modo conversacional, con usuarios, o en tiempo real con aparatos”.

Una segunda definición fue la de Alain Lelu y Jean-Claude Marcovici, quienes en 1983 distinguieron dos tipos de interactividad: una que habilita la “posibilidad de comunicación entre personas a distancia e instantáneamente por medio del Hada electricidad”, y la otra que “permite la elección del usuario entre un abanico de posibilidades predefinidas (contenidos) por el diseñador de un programa informático”.

También en 1983, Rudy Bretz publicó *Media for interactive communication* en donde define lo siguiente: “La comunicación interactiva es la situación en la cual cada uno de dos (o más)

comunicantes responden al otro”. Luego señala que en un sistema interactivo se deben dar las siguientes condiciones:

1. Los mensajes deben fluir hacia y desde individuos específicos o pequeños grupos de gente.
2. La respuesta debe ser inmediata, o incluso instantánea.
3. Un sistema interactivo debe tener al menos dos canales con dirección opuesta o un canal simple que sea reversible.
4. Los sistemas interactivos son generalmente sistemas cerrados.
5. El contenido de la comunicación interactiva tiende a ser informal y no planificada (espontánea).

El autor diferencia tres tipos de situaciones comunicacionales:

1. Los sistemas de comunicación de una vía (*one-way communication*), que caracteriza a los medios masivos de comunicación tradicionales.
2. Los sistemas de comunicación casi interactivos o reactivos (*quasi interactive o responsive communication*). La interacción consiste en un emisor A que envía un mensaje y un receptor B que responde a ese mensaje. El teletexto sería un sistema casi interactivo (el primer canal en incorporar el teletexto fue la BBC en 1972).
3. Los sistemas de comunicación completamente interactivos (*fully interactive communication*). El intercambio comunicativo tiene aquí tres etapas: 1) un emisor A envía un mensaje a un receptor B, 2) B responde ese mensaje basado en lo que A dijo, y 3) A responde o reacciona a este último mensaje de B. Para elaborar sus ideas, Bretz toma como modelo comunicacional el interpersonal, el diálogo cara a cara.

En 1984 Ronald Rice, en su publicación *The new media*, define a los nuevos medios como esas tecnologías de la comunicación que permiten o facilitan la interactividad entre los usuarios o entre los usuarios y la información. A diferencia de Bretz, dice acentúa constantemente las capacidades selectivas de contenidos y no profundiza sobre las posibilidades comunicativas entre usuarios.

Con un enfoque emparentado a Rice, Everett Rogers define a la interactividad, en su libro *Communication technology. The new media in society* de 1986, como la “capacidad de los nuevos sistemas de comunicación (usualmente basados en computadoras) de responder a los usuarios, casi como un individuo participando de una conversación”. Señala que los nuevos medios se diferencian por sus mayores posibilidades interactivas, por su desmasificación y por su capacidad de enviar y recibir mensajes en forma sincrónica, en función de la conveniencia de cada individuo. Sin embargo, el aporte más importante de Rogers es su concepción de la interactividad como un continuo, donde los medios tienen distintos grados de interactividad según las posibilidades selectivas que permitan.

Rogers considera que incluso los medios masivos como los diarios, la radio y la televisión tienen un cierto grado de interactividad, aunque es bajo respecto a otros medios. Así mismo, señala que el nivel de interactividad no depende sólo de la tecnología de comunicación, sino también de los modos de utilización de dicha tecnología.

En 1988, Rogers, Rice y Frederick Williams escriben *Research methods and the new media*, en donde redefinen interactividad: “La interactividad es el grado de control y de intercambio de roles que, en un proceso de comunicación, pueden tener los participantes en su discurso común.” Cuando dicen “discurso común” hacen referencia a mensajes relacionados entre sí. Con “intercambio de roles” sugieren la capacidad de modificar su condición de emisores a receptores y viceversa. El “grado de control”, implica las posibilidades de elección del contenido, ritmo y secuencia de lectura por parte del usuario, como así también la búsqueda de elecciones alternativas, la posibilidad de introducir contenidos propios y modificar el sistema.

En 1998, el danés Jens Jensen escribe un artículo en la décimo tercera conferencia Nórdica de Investigación en comunicación de masas. Considera que el concepto de interactividad es una extensión del de interacción (que implica intercambio, influencia mutua). Pero propone reservar el concepto de interacción a su sentido original sociológico, es decir acciones de dos o más individuos mutuamente interdependientes (excluyendo la comunicación mediatizada); y utilizar el de interactividad para referir al uso del medio y la comunicación mediatizada.

Entonces define: “la interactividad es una medida de la capacidad potencial del medio para dejar al usuario ejercer una influencia en el contenido y/o en la forma de la comunicación mediatizada”. Jensen identifica cuatro dimensiones de la interactividad:

1. Interactividad de transmisión (*transmissional interactivity*). Consiste en que el usuario elige de un flujo de información en un medio unidireccional. Ejemplo: el teletexto o los sistemas multicanales.
2. Interactividad de consulta (*consultational interactivity*). El usuario pregunta y el sistema responde en un medio bidireccional. Ej.: CD-ROM, Web, videos a pedido.
3. Interactividad de conversación (*conversational interactivity*). El usuario produce y envía su propia información. Ej.: correo electrónico, sistemas de conferencia, grupos de noticias.
4. Interactividad de registro (*registrational interactivity*). El medio registra información del usuario y por lo tanto también adapta y/o responde a las necesidades y acciones del usuario. Ej.: agentes autómatas, interfaces inteligentes.

Estas cuatro modalidades se diferencian entonces por la dirección que tiene el flujo de información en un intercambio interactivo. Uno de los investigadores más nombrados en los estudios de la interacción es el israelí Sheizaf Rafaeli quien en 1988 reflexiona: “Algunos de los términos de primer orden que intentan capturar la esencia de la interactividad son: la bidireccionalidad, la respuesta rápida, ancho de banda, control de usuario, cantidad de actividad de usuario, relación usuario/actividad del medio, retroalimentación, transparencia, presencia social e inteligencia artificial”. Luego define la interactividad como “una expresión del grado que, en una serie dada de intercambios de comunicación, cualquier mensaje se relaciona directamente a partir del grado de intercambios previos a los que están referidos, teniendo en cuenta incluso transmisiones anteriores”.

4.4 Niveles de comunicación interactiva

Rafaeli continúa: “La definición de interactividad reconoce tres niveles pertinentes: comunicación de doble vía (no interactiva), comunicación reactiva (quasi-interactiva) y

comunicación interactiva total. La comunicación de doble vía se presenta en cuanto tengamos mensajes que fluyen bilateralmente. Los escenarios reactivos requieren, además, que los últimos mensajes se refieran a (o mantengan una coherencia con) los anteriores. La interactividad total (receptividad) difiere de la reactiva en la incorporación de referencia al contenido, naturaleza, forma, o sólo la presencia de referencia anterior”. En 1997, junto a Sudweeks simplifica su definición: “La interactividad es la forma en la que los mensajes de una secuencia se relacionan entre ellos, y especialmente la forma en la que los mensajes posteriores influyen en los mensajes anteriores”.

4.5 Otras líneas de investigación

En 2000, los investigadores Sally McMillan y Edward Downes escribieron un artículo titulado “*Defining Interactivity: A Qualitative Identification of Key Dimensions*”. En el mismo describen los resultados de una serie de entrevistas a diez expertos en el área de la comunicación interactiva mediada por computadoras, e intentan establecer con las mismas una definición conceptual de la interactividad basada en seis dimensiones significantes: dirección de la comunicación, flexibilidad temporal, sentido de lugar, nivel de control, receptividad, y propósito percibido de la comunicación. A continuación, detallamos las principales observaciones que señalan los investigadores.

Impacto: Revolución

1. Referido a los individuos, organizaciones y sociedad en general.
2. ¿Es algo revolucionario o sólo una adaptación de antiguos modelos de comunicación?
3. Los expertos ven a la interactividad a veces como algo antiguo, a veces como algo nuevo, otras como algo tomado de otras disciplinas o también como algo que hacen hombres y ordenadores. Mientras no podemos hablar de un claro consenso sobre la naturaleza revolucionaria de los medios interactivos, sí podemos afirmar que términos tales como emisor y receptor responden a un modelo de comunicación tradicional.

Impacto: Consecuencias

1. Esta nueva forma de comunicación tiene y tendrá consecuencias a largo plazo. Sin embargo, resulta imposible determinarlas de antemano.
2. La interactividad puede representar un peligro potencial para instituciones y legitimadores de las mismas ya que propicia la participación colaborativa de los individuos. Se expone continuamente a juego el campo de poder dada su naturaleza potencialmente revolucionaria.

Impacto: Incertidumbre

1. Los expertos en la materia continúan en desacuerdo en conceptos clave como la importancia del tiempo real en la comunicación interactiva, la cantidad de esfuerzo requerida para que ésta se dé, e incluso si los seres humanos son parte integral de la misma.
2. De todas maneras, la tecnología de la comunicación mediadas por ordenadores todavía está en plena evolución.
3. Esto sugiere que la interactividad resulta entonces un concepto multifacético, que mantiene siempre en vista dos elementos clave: mensajes y participantes.
4. Persona > control > mensaje?

Mensaje: Naturaleza y dirección

1. Existe una marcada preocupación por parte de los expertos acerca de las limitaciones inherentes a la interactividad basada en ordenadores.
2. La mayoría de los expertos describen la interactividad como una comunicación de doble vía dada su naturaleza recursiva (Rafaeli & Sudweeks, 1997), pero también existen posiciones que defienden la comunicación de una vía (websites estáticos).
3. La comunicación interactiva requiere que los roles de emisor y receptor sean intercambiables (Rice, 1994; Rogers, 1995).

Mensaje: Tiempo

1. ¿Tiempo real o Tiempo diferido?
2. Al parecer el diferencial de tiempo de respuesta de un sistema puede ser más o menos tolerado de acuerdo a los diferentes tipos de comunicación interactiva que se lo someta.
3. La importancia del tiempo parece estar más relacionado a los niveles de flexibilidad en función de una situación dada que a la inmediatez de la respuesta.
4. Un punto a destacar: los participantes de entornos interactivos basados en ordenadores tienden a requerir un cierto grado de control sobre el tiempo de envío y recepción de los mensajes.

Mensaje: Lugar

1. En general, los especialistas en el campo vinculan la sensación de “lugar físico” con la experiencia de “lugar virtual”.
2. La comunicación interactiva mediada por ordenador puede trascender la geografía para crear una suerte de “lugar virtual”.
3. Una forma avanzada de ciberactividad es aquella que se da en algunas experiencias de Realidad Virtual de inmersión total. Otras formas pueden ser los e-mails, *listservs*, *bulletin board systems*.
4. En resumen, mientras más interactiva resulte nuestra experiencia en un entorno de comunicación mediado por ordenador, tendremos mayores probabilidades de estar presentes en un lugar virtual.

Participante: Control

1. En los medios interactivos existe una tendencia generalizada a crear sistemas que transfieren el control del medio al receptor o participante.
2. Sin embargo, esto todavía es utópico ya que el autor configura la profundidad de nivel de los parámetros de respuesta del receptor.

3. Entonces, si bien el emisor mantiene el control sobre el mensaje, el receptor tiene el control de: 1) indicar al emisor que el mensaje fue recibido, 2) atender el mensaje y 3) pretender que nunca fue enviado. Por lo tanto, resulta que el receptor tiene el control sobre el bucle de retroalimentación, rasgo más característico de los medios de masas que de la comunicación interpersonal.

Participante: Receptividad

1. La noción de receptividad está relacionada con la de esfuerzo. Si en un medio interactivo se le da el control al receptor, entonces la salida depende de la acción o respuesta del receptor a las opciones ofrecidas por dicho medio.
2. La receptividad es un elemento clave de la definición de interactividad propuesto por Rafaeli & Sudweeks (1997).
3. La comunicación receptiva suele requerir mayor esfuerzo y/o actividad que la recepción pasiva del mensaje.

Participante: Objetivos recibidos

1. Si bien podemos hablar del objetivo de comunicación real planteado por el creador del mensaje, es de mayor interés para este campo de estudios atender a los objetivos percibidos por los receptores o participantes.
2. Investigadores relacionados a las relaciones públicas reconocen que hace tiempo que el objetivo primario de un acto comunicacional puede orientarse a la persuasión y/o a la información, puntos extremos de un campo también continuo.
3. Los participantes prefieren los intercambios de información significativa, aunque tienden a aceptar los mensajes basados en objetivos persuasivos en entornos de comunicación interactiva, pero las *formas de respuesta* pueden ser más consistentes con sus propias percepciones que con el objetivo original del creador del mensaje.

4.6 Definición conceptual parcial de interactividad

Del precedente artículo, los investigadores concluyen que el campo de la comunicación interactiva está todavía en su infancia: la interactividad no es un concepto simple. La interactividad es una construcción multidimensional y cada una de estas dimensiones parece pertenecer a una idea de *continuum* más que a una idea discreta. Desde el punto de dicho estudio, se proponen seis dimensiones (tres basadas en el mensaje y tres basadas en el participante) que prometen ayudarnos a entender y circunscribir el concepto de interactividad. Por lo tanto, se sugiere que la interactividad tiende a incrementar a medida que:

- La comunicación de dos vías permite comunicar activamente a todos los participantes.
- El factor temporal en la comunicación se flexibiliza en correspondencia a las demandas temporales de los participantes.
- El entorno de comunicación crea una sensación de lugar.
- Los participantes perciben que tienen mayor control del entorno de comunicación.
- Los participantes encuentran una comunicación responsiva.
- Los individuos perciben que el objetivo de la comunicación está más orientado al intercambio de información significativa que a un intento de persuasión.

Como se ha visto en el apartado anterior el concepto de interactividad juega un papel muy importante en los nuevos sistemas informáticos en los cuales el humano tiene una intensa actividad dentro de la comunicación que se genera con la computadora donde la respuesta puede ser prácticamente en tiempo real o presentar retraso en la respuesta a medida que la distancia entre emisor y receptor aumenta.

Para situarse en la investigación concerniente al trabajo que se está desarrollando, se puede decir que, el ser humano interactúa frente a un sensor el cual captura su posición en el espacio y el movimiento de su cuerpo. Esta información es enviada a la computadora donde es procesada para que el código de programación elaborado pueda dirigir cada una de las

acciones que se estén ejecutando en el espacio destinado y regresar el mensaje poniendo en funcionamiento diversos elementos que ayuden al humano a cumplir con sus objetivos dentro del espacio donde se mueve.

Capítulo 5. El sensor Kinect, partes principales, antecesores y competencias tecnológicas

El sensor Kinect posee elementos de suma importancia para la detección de movimiento y audio. Aunado a ellos se pueden encontrar una cámara VGA y un motor que puede utilizarse para realizar ajustes del Kinect y determinar la posición de un usuario, se verán cada una de las partes que lo conforman. Pero primero debe quedar claro la detección del esqueleto humano.

Para la detección del cuerpo humano se deben tener en cuenta varias características del sistema que se va a utilizar.

El sensor Kinect es capaz de detectar el esqueleto humano cuando se está parado o sentado, dependiendo del tipo de programa que se utilice para esto, se podrá lograr eficientemente o se presentaran problemas en la identificación de las extremidades.

Cuando se está parado el SimpleOpenNI y el Kinect identifican a través de señal infrarroja quince partes del cuerpo fundamentales para la detección, conocidos como puntos de unión que forman los respectivos miembros.

Los puntos de unión que se muestran en la figura 39 son: mano derecha, mano izquierda, cabeza, codo derecho, codo izquierdo, hombro derecho, cuello, hombro izquierdo, torso, cadera derecha, cadera izquierda, rodilla derecha, rodilla izquierda, pie derecho y pie izquierdo.

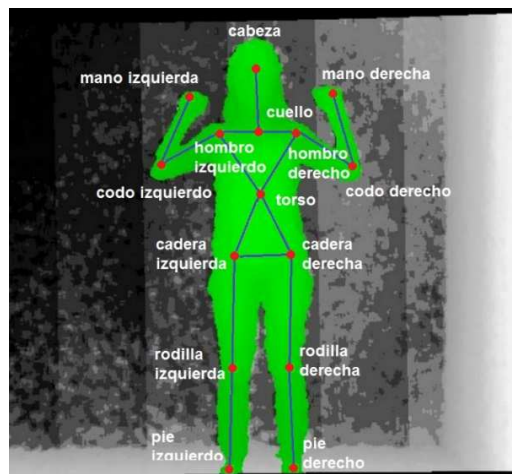


Figura 39. Puntos de unión y miembros detectados por el sensor Kinect

Cuando se está sentado el SimpleOpenNI y el Kinect presentan problemas en la detección, sin embargo, se pueden tener ocho puntos de unión: mano derecha, mano izquierda, cabeza, codo derecho, codo izquierdo, hombro derecho, cuello, hombro izquierdo y torso (3D vision with Kinect, Processing, Arduino, and Makerbot, 2012)

Existen otros programas que facilitan la detección en esta postura como lo es el SDK Kinect (*Software Development Kit*) para Windows, no obstante, la detección del esqueleto de pie es lo que interesa en este trabajo.

Al obtener datos del esqueleto, se debe tener en mente que existen limitaciones en los movimientos de los puntos de unión donde los datos se pueden perder, por lo que los movimientos que se realicen deben ser limpios es decir sin superposiciones de miembros.

Preferentemente se deben mantener los brazos al lado del cuerpo cuando se inicia la detección. El campo de visión también debe quedar perfectamente delimitado, ya que, si se llegan a extender por arriba de la cabeza las manos pueden dejar de ser detectadas, obsérvese la figura 40.

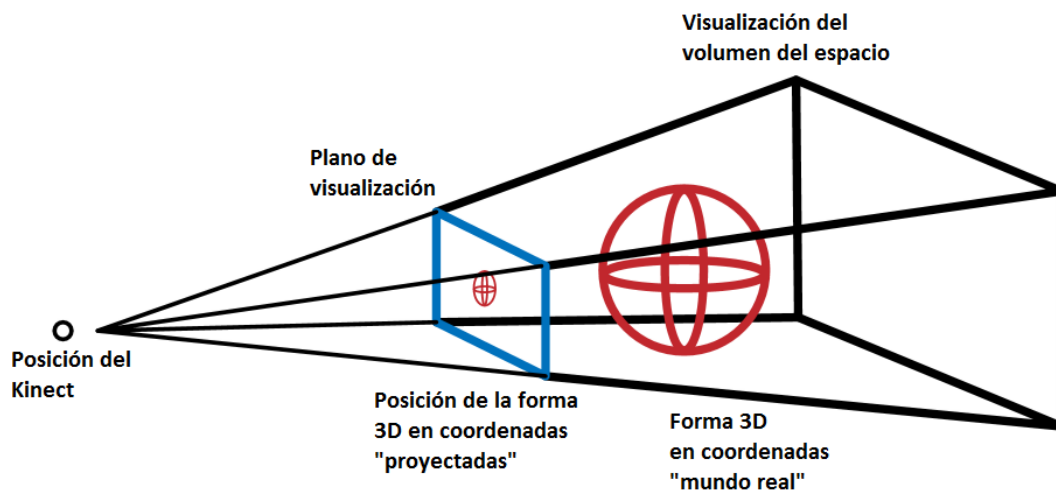


Figura 40. Campo de visualización del espacio en el sensor Kinect

Por pruebas realizadas se sabe que cuando el usuario se encuentra frente al sensor este se comporta de forma más estable, otro punto a considerar es el de la velocidad de los

movimientos que el usuario realice con cada uno de sus miembros, ya que el sistema responde a fotogramas por segundo y para movimientos muy rápidos este puede no detectarlos. Si el usuario se coloca de lado al sensor Kinect pueden presentarse errores en la detección, esto ocurre porque los miembros no siempre están en la posición correcta.

De lo anterior se deberá considerar el diseño de un código robusto que evite al máximo los errores, por lo que la confiabilidad debe ser la prioridad en todo momento, de lo contrario el usuario sentirá que la aplicación deja de responder, que es difícil de usar y terminará frustrado.

5.1 Partes principales del sensor Kinect

5.1.1 El infrarrojo del sensor Kinect (proyector y cámara)

Como se muestra en la figura 41, el sensor Kinect posee un proyector de infrarrojos (IR) que genera una matriz o malla de puntos para cubrir un área, los puntos chocan con la superficie delante del sensor Kinect y rebotan siendo captados por la cámara de infrarrojos, ambos pueden observarse en la figura 42. Cada uno de los puntos presentan diferentes tiempos de acuerdo a la distancia de la superficie donde rebotaron, siempre y cuando la superficie no sea completamente plana, así, mediante el *firmware*, que no es más que un programa en lenguaje máquina almacenado en una memoria y que permite controlar los diversos circuitos electrónicos del Kinect, se realiza el cálculo del tiempo que le llevo a cada uno de estos puntos ser detectados (figura 43) y se construye una imagen de profundidad, muy parecido a como se realiza la digitalización por ultrasonido (Hacking the Kinect, 2012), figuras 44 y 45.



Figura 41. Vista frontal del sensor Kinect sin carcasa

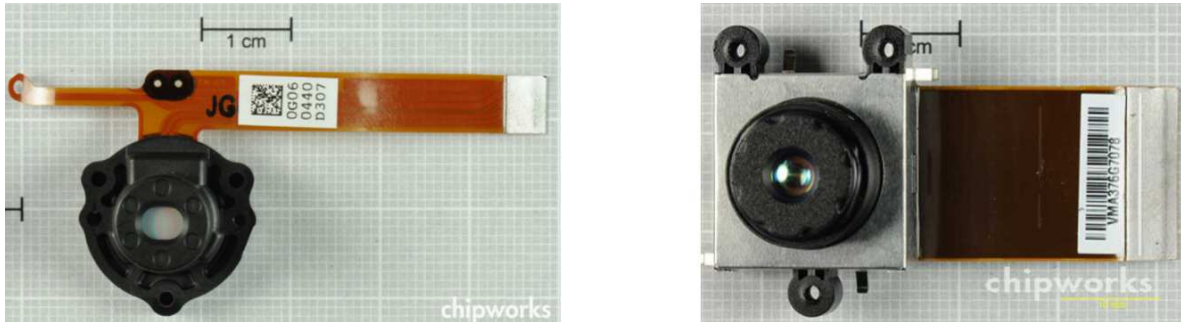


Figura 42. Proyector IR izquierda y cámara de infrarrojos derecha.

- El láser encargado de generar los puntos trabaja en la frecuencia del infrarrojo cercano con una longitud de onda de 830 nm.
- Está constituido por un sistema de difracción que subdivide el rayo en múltiples instancias, proyectando un patrón de puntos pseudo-aleatorio.
- El láser es no modulado, es decir, no produce pulsos en su salida manteniéndose a un nivel constante, es un dispositivo láser de Clase 1 que proporciona un enfoque a una distancia útil sin generar condiciones peligrosas para el usuario.
- La potencia medida a la salida del Kinect es $<25 \mu\text{W}$, este posee un estabilizador de temperatura que mantiene al láser en una temperatura constante a fin no alterar la onda de salida.
- En cuanto a la cámara de infrarrojos o sensor IR, se sabe poco, aunque expertos mencionan que se trata de un sensor CMOS monocromo de $\frac{1}{2}$ " MT9M0012STM, de la marca Micron y posee las características siguientes:
 - Tamaño de píxel: $5.2 \mu\text{m}$
 - Formato de vídeo 5:4 con resolución SXGA 1280x1024 (1.3 Megapíxeles).
 - Rango de temperaturas de trabajo: 0°C a 70°C .
 - Posee un filtro de paso de IR, se sitúa en el rango de captación del espectro electromagnético del infrarrojo cercano (entre 780 nm y 2500 nm, debido a

que mide 830nm). Esta característica hace que sea imposible medir temperaturas, debido a que el rango óptimo utilizado por cámaras termográficas está entre los 3000 nm y 14000 nm.

- El campo de visión en horizontal de la cámara es de 57° y el rango máximo de distancia desde la cámara para la captación de profundidad va de 0.8 m hasta 4 m. (obsérvese figura 46), considerándose un óptimo de 1.2 m a 3.5 m. En este proyecto se ha trabajado con un rango de 2 m a 5 m en pruebas sin tener ningún problema (Catuhe, 2012).

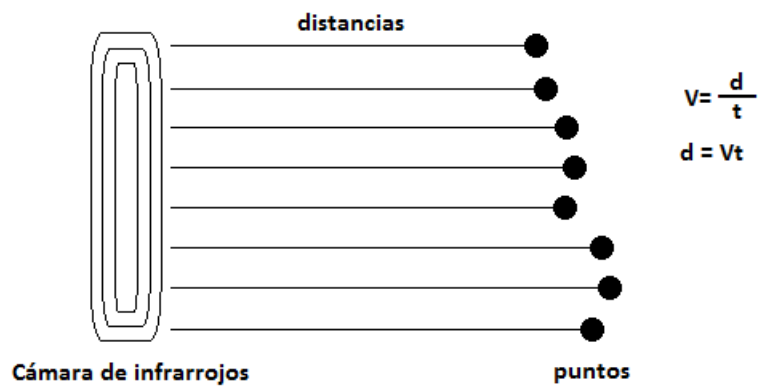


Figura 43. Representación gráfica de los puntos y sus distancias a la cámara de infrarrojos



Figura 44. Puntos luminosos generados por el proyector de IR del sensor Kinect captados con una cámara de visión infrarroja

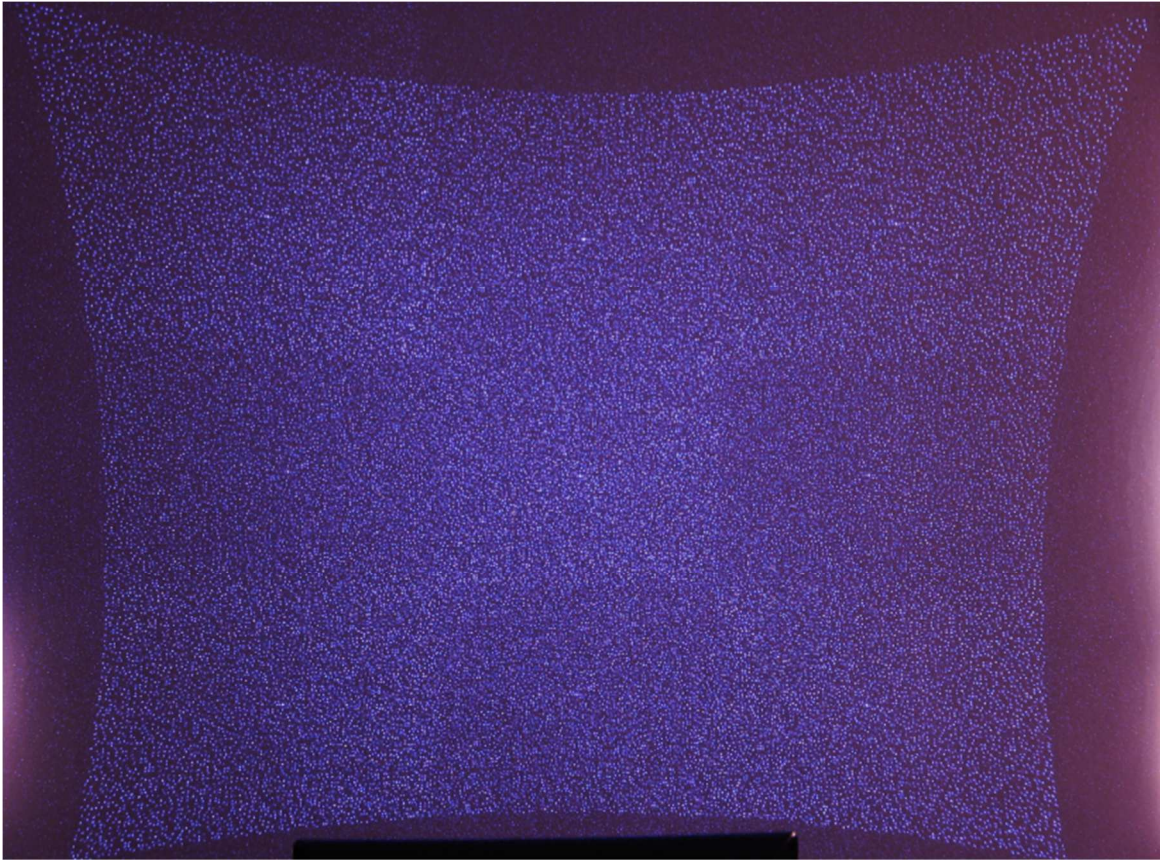


Figura 45. Patrón de puntos originados por el proyector IR

La cámara de infrarrojos captura 30 cuadros por segundo y la codificación de los píxeles se realiza con 11 bits lo que da 2048 niveles de profundidad que se traducen en 2048 niveles de grises, cuando el objeto se encuentra cerca del Kinect se observa blanco y conforme se va alejando se torna gris hasta llegar al negro.

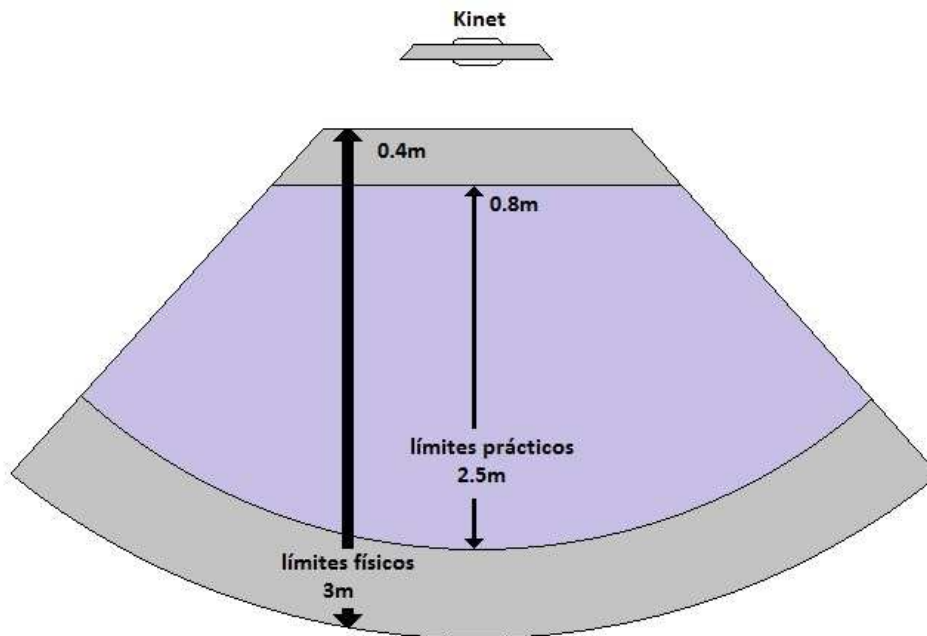


Figura 46. Límites físicos y prácticos para la detección de cuerpos con el Kinect

5.1.2 El sistema de captura de audio

El Kinect cuenta con cuatro micrófonos ubicados a lo largo del dispositivo, cada canal puede procesar 16 bits y tiene un rango de muestreo de 16 KHz, el hecho de que el sensor sea tan largo se debe a que los micrófonos están colocados de forma estratégica para ayudar a cancelar el eco que aumenta la entrada de voz, además permite el reconocimiento de voz múltiple, los cuatro micrófonos están colocados abajo, uno a la izquierda y tres a la derecha.

El sistema de micrófonos es capaz de reconocer voces hasta de unos 5 metros de distancia e ignorar los sonidos ambientales u otras voces.

El arreglo de micrófonos (ver figura 47) recoge de la mejor forma posible las voces a distancia que llegan con cierta cantidad de ruido, por lo tanto, una unidad de procesamiento especial se encarga de filtrar o cancelar ese ruido, mientras un software utiliza la cámara VGA y calcula la procedencia del sonido creando una burbuja de sonido alrededor del usuario, de esta forma aísla el ruido cercano a la persona que está hablando al sensor.

El sistema de sonido del Kinect siempre está funcionando esperando las órdenes que el usuario le dé para ejecutarlas.



Figura 47. Distribución de micrófonos en el sensor Kinect

5.1.3 Cámara VGA

Como ocurría con el sensor IR, se ha conocido a través de la ingeniería inversa la identidad de la cámara VGA del Kinect (ver figuras 48 y 49), esta pertenece a la familia Micron MT9M112, es un sensor de imagen CMOS *System-on-Chip* que posee las siguientes características:

- Tamaño de píxel: $2.8 \mu\text{m} \times 2.8 \mu\text{m}$.
- 1.3 Megapíxeles.
- Resolución: 1280 x 1024
- Filtro de color Bayer.
- 15 fps a máxima resolución, 30 fps a 640 x 480
- Rango de temperaturas de trabajo: -30°C a 70°C
- Soporta VGA, QVGA, CIF y QCIF



Figura 48. Ubicación de la cámara VGA en el Kinect

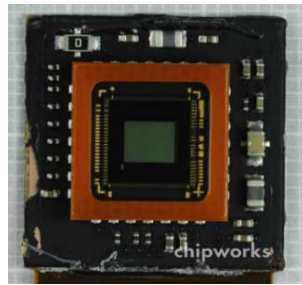


Figura 49. Cámara VGA del Kinect www.chipworks.com

La cámara VGA nos sirve para poder determinar la posición de lo que está viendo el proyector de infrarrojos y hacer capturas de escenas donde apreciamos el esqueleto.

5.1.4 El motor del Kinect

El sensor Kinect posee un motor en su base (figura 50) que le permite moverse hacia arriba y hacia abajo para calibrar un espacio en concreto y poder abarcar cómodamente el cuerpo de los usuarios el Kinect generalmente se coloca a una altura entre 0.5 m y 1 m del nivel del piso, posee un acelerómetro que indica la inclinación que presenta en cada instante. El motor es capaz de mover la unidad principal del Kinect aproximadamente $\pm 27^\circ$. (Giorio & Fascinari, 2013)



Figura 50. Motor en la base del Kinect para tilt (inclinación)

Por último, para realizar la conexión entre el Kinect y la computadora se hace uso de un puerto USB 2.0, lo cual limita la cantidad de información que se puede procesar por segundo, que teóricamente podría estar en 60MB/s sin embargo suele acercarse más a los 35MB/s esto hace que no se pueda transmitir toda la información de las imágenes a plena resolución y con una tasa de 30fps.

El USB puede alimentar las cámaras, pero al poseer un motor de inclinación no es suficiente esa energía y es necesario utilizar una conexión a la red eléctrica como se observa en la figura 51.

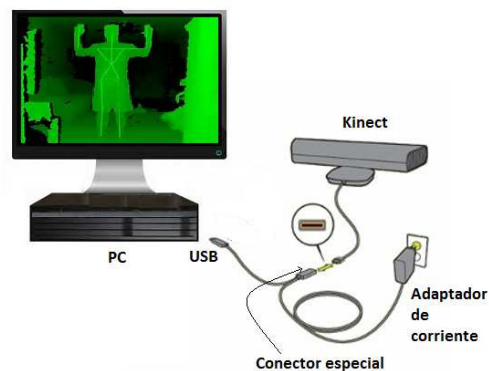


Figura 51. Kinect conectado a la PC

Dentro del Kinect se encuentran dos placas con circuitos integrados que se encargan de controlar el sistema y procesar la información recogida por los sensores (ver figura 52). Entre estos destaca el PS1080 SoC, el auténtico <<cerebro>> del Kinect que se encarga

de procesar la información de profundidad, ejecutando los algoritmos necesarios dentro del propio chip, así como de los de la imagen RGB y microfónica. Cuenta con una interfaz USB 2.0 que es la que transmite la información procesada. El procesamiento de la profundidad se hace pues, dentro del Kinect y no depende de a qué esté conectado. La información no se procesa en la computadora, está sólo la lee.

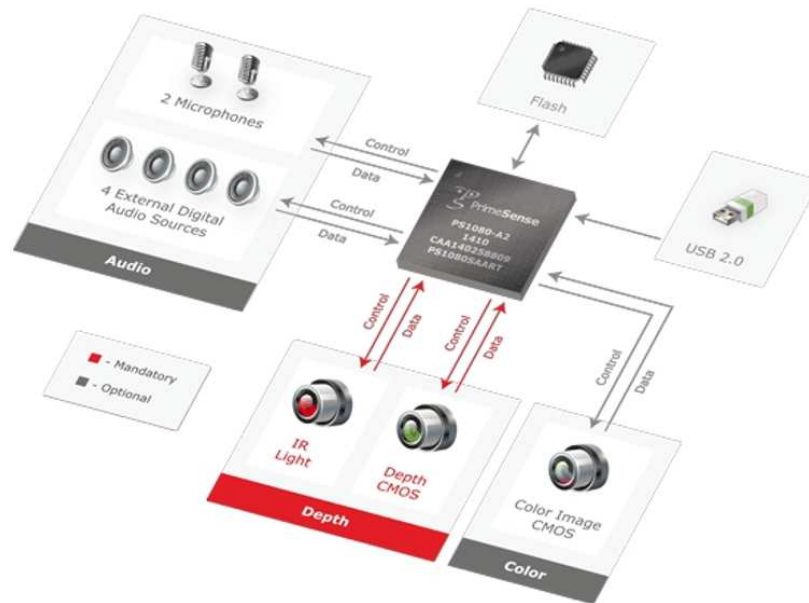


Figura 52. Periféricos que se conectan al PS1080 <<cerebro >> del Kinect

Las diversas investigaciones y experimentos del hombre dentro del campo tecnológico siempre han sido bien recibidas y con mayor razón cuando se logra un producto que satisfaga las necesidades de los usuarios o permita adelantos considerables dentro de la vida de las sociedades.

Uno de los sueños del hombre ha sido el poder mover objetos a distancia con el simple hecho de pensarlo, de indicarlo a través de gesticulaciones, palabras o por movimientos corporales y antes de la aparición del sensor Kinect se tiene una larga lista de intentos realizados en laboratorios de empresas tecnológicas o de laboratorios en universidades, a continuación, se verán algunos de ellos que llevaron a la actual situación del video de seguimiento.

5.2 Antecedentes del sensor Kinect

5.2.1 El mouse

Para hablar de la historia del Kinect, primero se hablará de un dispositivo que hizo y sigue haciendo historia, conocido como el *Long Nose* (nariz larga o punta de lanza) de la innovación, el mouse, llamado así por Bill Buxton, cuyo primer prototipo fue construido por Douglas Engelbart y Bill English en el *Stanford Research Institute*, en 1963 que incluso le dieron el nombre de murino (ratón). Bill English desarrolló el concepto adicional con Jack Hawley agregándole la bola al famoso mouse, después Steve Jobs y Bill Gates trabajaron para que sus plataformas o sistemas operativos contemplaran el uso del mouse apareciendo así, la primera Macintosh en 1984 funcionando con el mouse y después el Windows 1.0 en 1985, pero no fue sino hasta 1995 cuando el mouse se hizo omnipresente en cualquier sistema de cómputo permaneciendo así por más de treinta años (Webb & Ashley, 2012), observar las imágenes de la figura 53.

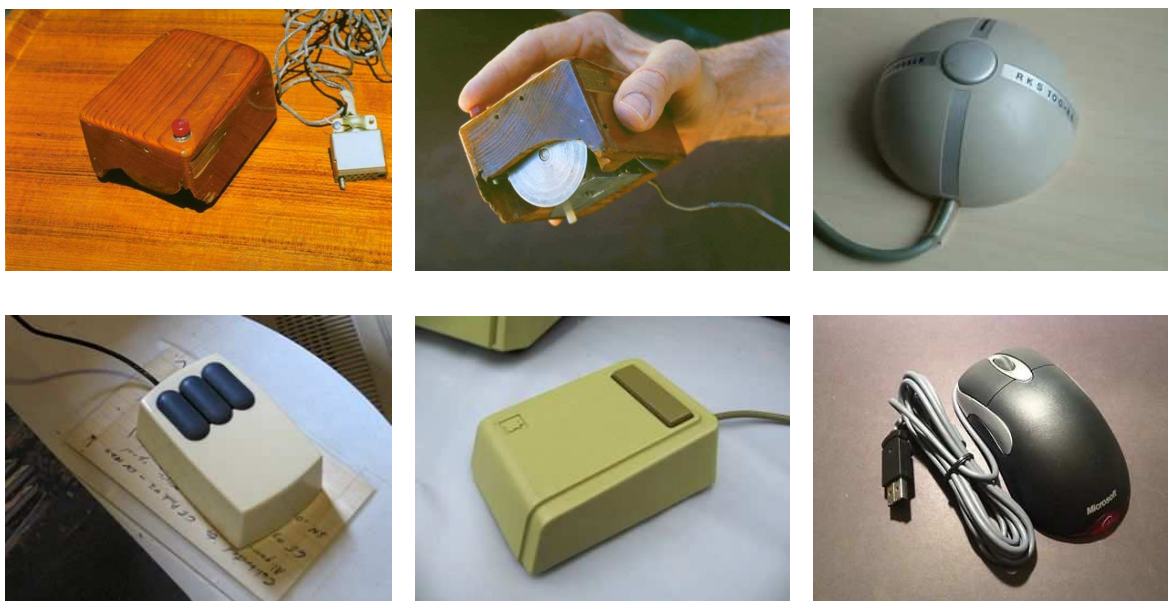


Figura 53. Las imágenes muestran la evolución desde el primer tipo de mouse hasta el actual

5.2.2 El Put-That-There

Un elemento similar al mouse y también considerado como punta de lanza es el Kinect, que tuvo sus inicios a finales de los 70's alrededor de la mitad de la trayectoria del desarrollo del mouse, Chris Schmandt del MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) *Architecture Machine Group* inició una investigación del proyecto llamado *Put-That-There*, basado en una idea de Richard Bolt, el cual combinaba reconocimiento de voz y gesto como vectores de entrada de una interfaz gráfica (Webb & Ashley, 2012). Para la instalación de *Put-That-There* se utilizaba una sala de dieciséis por once pies (4.87 x 3.35 m) con una pantalla de proyección contra una pared, el usuario se sentaba en una silla de plástico aproximadamente a dos metros y medio frente a la pantalla y tenía un cubo magnético oculto en una muñeca, así como un micrófono montado en la cabeza para la entrada espacial de audio. Con estas entradas y el análisis lógico rudimentario del habla de pronombres como “poner” y “ahí”, el usuario podía crear y mover formas básicas en torno a la pantalla. Bolt en 1980 sugirió y describió a su proyecto “*Put- That- There: como La Voz y el Gesto en la Interfaz Gráfica*” que eventualmente podía ser mejorado y el micrófono en la cabeza podía ser remplazado por uno de tipo direccional (obsérvense las imágenes de la figura 54).



Figura 54. Put-That-There en acción

5.2.3 El Iconic System

En otro proyecto de investigación del *Media Labs* del MIT que comenzó en 1993 donde participaron David Koonz, Kristin Thorrison y Carlton Sparrel, - otra vez dirigidos por Bolt - trabajaron en el llamado *Iconic System* que redefinió el concepto *Put-That-There* para trabajar con voz y gesto así también como una tercera modalidad de entrada: el seguimiento de los ojos. También, en vez de proyectar sobre una entrada de dos dimensiones la interfaz gráfica generó un espacio tridimensional y en lugar de cubos magnéticos como los usados en el *Put- That- There*, el *Iconic System* incluyó guantes especiales para facilitar el seguimiento (Webb & Ashley, 2012), (ver imágenes de la figura 55).



Figura 55. El Iconic system

5.2.4 El Dream Space

Hacia finales de los 90's, Mark Lucente desarrollo una interface de usuario avanzada para IBM Research llamada *DreamSpace*, la cual corrió en una variedad de plataformas incluyendo Windows NT. Incluso implementó la sintaxis del *Put- That-There* proyecto de Chris Schmandt de 1979. Pero a diferencia de cualquiera de sus antecesores *DreamSpace* no utilizo reconocimiento gestual. En su lugar utilizó un sistema de visión (Webb & Ashley, 2012). Por otra parte, Lucente imaginó al *DreamSpace* no solo para escenarios especializados sino también como una alternativa viable a las entradas del mouse y el teclado estándar para la informática. Lucente ayudó a popularizar el reconocimiento de voz y gestos haciendo demostraciones con *DreamSpace* en ferias entre 1997 y 1999 (obsérvese la figura 56).

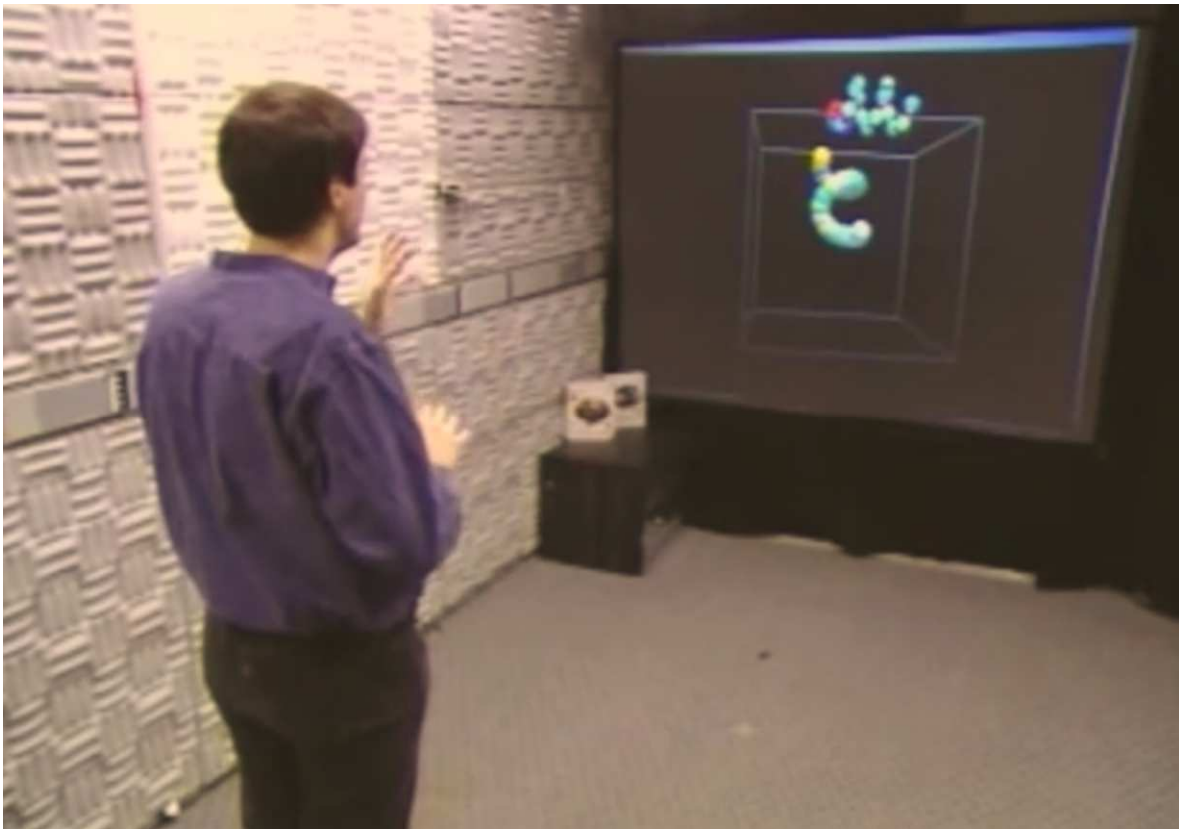


Figura 56. El Dream Space, desarrollado a finales de los 90's

5.2.5 La Interface Natural de Usuario NUI

Para el año 1999 John Underkoffler quien había trabajado en técnicas de holografía en el *Media Labs* del MIT en coautoría con Mark Lucente fue invitado para trabajar en un nuevo proyecto de Stephen Spielberg llamado *“The Minority Report”*. Underkoffler eventualmente llegó a ser el consejero en ciencia y tecnología en la película y con Alex McDowell el diseñador de producción, armaron la interfaz de usuario que Tom Cruise uso en la película (2012). Algunos de los conceptos de diseño en *“The Minority Report”* UI (interface de usuario) eventualmente fueron finalizados en otro proyecto trabajado por Underkoffler llamado *G-Speak* (véase figura 57).

En la película de Spielberg realizada en el 2002 lo más interesante fue la propuesta de Underkoffler al utilizar una interface natural de usuario NUI, así Microsoft comenzó a trabajar en su innovadora plataforma multitáctil en 2003, primero comenzó mostrándolo en 2007 y finalmente lo liberó en 2008, por lo que cada tecnología NUI que llegó al mercado, estuvo acompañada por comparaciones con *“The Minority Report”*.



Figura 57. NUI, Interfaz Natural de Usuario

En el mundo de los videojuegos, Nintendo supero a todas las compañías en la conferencia de 2005 del *Tokyo Game Show* con la presentación de la consola Wii (figura 58), la cual estaba acompañada por un nuevo dispositivo de juego llamado el *Wii Remote*. Como los cubos magnéticos del proyecto original *Put- That- There*, el *Wii Remote* podía detectar movimiento a lo largo de los tres ejes. Adicionalmente, el control remoto contenía un emisor infrarrojo que era detectado cuando se dirigía hacia el receptor. Como se alimentaba con baterías era completamente inalámbrico eliminando de esta forma los cables que la mayoría de las plataformas poseían.



Figura 58. Consola Wii Remote de Nintendo

Después de haber sido liberada la consola Wii en 2006, Peter Moore, en ese entonces jefe de *Microsoft Xbox division*, exigió iniciar el trabajo para desbancar al Wii. Fue también en esta época que Alex Kipman, jefe de la *Entertainment Expo*. Tuvo la idea de crear en Microsoft dos equipos los cuales compitieron entre sí para llegar a la deseada destrucción del Wii. Uno de ellos trabajando con la tecnología *PrimeSense* y el otro trabajando con la tecnología desarrollada por una compañía llamada 3DV. Aunque el objetivo inicial era dar a conocer algo en *Media and Business Summit E3 2007* (Medios de Comunicación y Cumbre de Negocios), ningún equipo parecía tener nada suficientemente pulido y a tiempo para la exposición. Las cosas fueron más allá de lo planeado, cuando Peter Moore anunció que dejaba Microsoft para ir a trabajar para *Electronic Arts*. Está claro que, en el verano de 2007, el trabajo secreto que se hacía dentro del equipo de Xbox estaba ganando impulso

internamente en Microsoft. Todas las conferencias que Bill Gates dio ese año fueron dirigidas a responder la pregunta acerca de la plataforma Microsoft y si el *multitouch* sería la actualización principal, Gates habló acerca de la visión de reconocimiento como el paso más allá del *multitouch*.

Gates reveló también que Microsoft ya estaba pensando en la nueva tecnología que se estaba desarrollando en el equipo Xbox como algo más que un simple dispositivo de juego. Se pensaba ya también, como un dispositivo para la oficina (Webb & Ashley, 2012).

Tras la salida de Moore, Don Matrick tomó las riendas, guiando al equipo de Xbox. En 2008, revivió el proyecto secreto de vídeo reconocimiento en torno a la tecnología de *PrimeSense*. Mientras la tecnología de 3DV aparentemente nunca lo hizo en la recta final del Kinect, Microsoft compró la compañía por \$ 35 millones de dólares en 2009.

Esto se hizo al parecer con el fin de defenderse de posibles disputas de patentes alrededor del Kinect. Alex Kipman, gerente de Microsoft desde el año 2001, fue nombrado gerente general de la incubadora y el encargado de crear el nuevo dispositivo del proyecto natal para incluir el reconocimiento de profundidad, seguimiento de movimiento, reconocimiento facial y reconocimiento de voz.

5.3 Competencias tecnológicas del sensor Kinect

Como en todo trabajo, la competencia es muy importante para lograr grandes avances, ya que en estos casos gana más el que llegue primero a la meta y cuyo producto cumpla con las características que el usuario necesita, y no sólo eso, sino que debe sobrepasar esa expectativa del comprador para que éste en su comparación con otros productos pueda elegirlo como el que mejor se ajusta a lo que desea.

Cuando se estaba gestando al Kinect como proyecto, a su vez otras compañías estaban haciendo lo propio y cada uno guardaba celosamente su información y en cada feria o exposiciones tecnológicas se daban a conocer sus productos, no obstante, sobre los adelantos del Kinect poco se hablaba y los competidores hacían lo mismo. La gestación duró varios

años y entonces cada fabricante comenzó a dar más información de lo que se avecinaba, principalmente en el campo de los video juegos y el 4 de noviembre de 2010 Kinect fue lanzado en Estados Unidos y México y el 10 de noviembre de ese mismo año en Europa, para el 18 de noviembre en Australia, Nueva Zelanda y Singapur, finalmente en Japón el 20 de noviembre.

Microsoft Research invirtió veinte años de desarrollo en la tecnología de Kinect de acuerdo con las palabras de Robert J. Bach. Este proyecto fue anunciado por primera vez el 1 de junio de 2009 en la *Electronic Entertainment Expo 2009* (E3 2009) como “Project Natal”.

Kinect para Xbox 360, o simplemente Kinect, permite a los usuarios controlar e interactuar con la consola sin necesidad de tener contacto físico como se hace con un controlador de videojuegos tradicional. Lo hace mediante una interfaz natural de usuario que reconoce gestos, comandos de voz, y objetos e imágenes. El dispositivo tiene como objetivo primordial aumentar el uso de la consola de videojuegos Xbox 360, más allá de la base de jugadores que posee en la actualidad. En sí, Kinect compite con los sistemas Wiimote con Wii MotionPlus y *PlayStation Move*, que también controlan el movimiento en las consolas Wii y *PlayStation 3*, respectivamente.

El nombre en clave «Proyecto Natal» responde a la tradición de Microsoft de utilizar ciudades como nombres en clave. Alex Kipman, director de Microsoft, quien incubó el proyecto, decidió ponerle el nombre de la ciudad brasileña Natal como un homenaje a su país de origen y porque la palabra natal significa «de o en relación al nacimiento», lo que refleja la opinión de Microsoft en el proyecto como «el nacimiento de la próxima generación de entretenimiento en el hogar». Poco antes de la E3 2010 varios *weblogs* (páginas web personales, de estructura cronológica actualizadas regularmente y que tratan un tema en específico) tropezaron con un anuncio que supuestamente se filtró en el sitio italiano de Microsoft y que sugirió el título “Kinect” que se confirmó más tarde junto con los detalles de una nueva Xbox 360 más delgada.

El sensor de Kinect es una barra horizontal de aproximadamente 23 cm (9 pulgadas) conectada a una pequeña base circular con un eje de articulación de rótula, y está diseñado para ser colocado longitudinalmente por encima o por debajo de la pantalla de vídeo.

El dispositivo cuenta con una cámara RGB, un sensor de profundidad, un micrófono de múltiples matrices y un procesador personalizado que ejecuta el software patentado, que proporciona captura de movimiento de todo el cuerpo en 3D, reconocimiento facial y capacidades de reconocimiento de voz. El micrófono de matrices del sensor de Kinect permite a la Xbox 360 llevar a cabo la localización de la fuente acústica y la supresión del ruido ambiente, permitiendo participar en el chat de Xbox Live sin utilizar auriculares.

El sensor contiene un mecanismo de inclinación motorizado y en caso de usar un Xbox 360 sin la consola, tiene que ser conectado a una toma de corriente, ya que la corriente que puede proveerle el cable USB es insuficiente; para el caso del modelo de Xbox 360 S esto no es necesario ya que esta consola cuenta con una toma especialmente diseñada para conectar el Kinect y esto permite proporcionar la corriente necesaria que requiere el dispositivo para funcionar correctamente.

El sensor de profundidad es un proyector de infrarrojos combinado con un sensor CMOS monocromo que permite al Kinect ver el espacio detectado en 3D en cualquier condición de luz ambiental. El rango de detección de profundidad del sensor es ajustable gracias al software de Kinect capaz de calibrar automáticamente el sensor, basado en el espacio y en el ambiente físico de la sala del jugador.

Se confirmó que el *hardware* de Kinect y la tecnología 3D fabricados por la compañía israelí de desarrollo *PrimeSense Ltd.* Se basaron en un diseño de referencia.

El 13 de junio de 2010, pocos meses antes de su lanzamiento, Microsoft reveló antes de su muestra en la *Electronic Entertainment Expo 2010* que el nombre oficial del dispositivo sería Kinect.

Precio de Kinect para consola XBOX 360 US\$150, precio de Kinect para Windows US\$250 (ver imágenes en la figura 59).



Figura 59. Sensor Kinect para Xbox 360 izquierda, sensor Kinect para Windows derecha

5.3.1 WAVI Xtion

En enero de 2012 el presidente ejecutivo (CEO) de Microsoft Steve Ballmer anuncio en la *Consumer Electronics Show* (CES) que el 1 de febrero de ese año saldría a la venta el Kinect para Windows, es decir, estaría también en las PCs, pero ASUS se le había adelantado y con la ayuda de *PrimeSense* reveló su prometido Asus WAVI Xtion durante el CES2011 (ver figura 60). Una solución de la misma compañía que ofreció la tecnología de detección 3D en Kinect, el WAVI Xtion consta de dos cajas Asus WAVI y un sensor llamado Xtion para equipar a una PC y ofrecer la misma experiencia de Kinect.

Las cajas conectan a la PC y un Televisor de forma inalámbrica a través de una banda de 5GHz con alcance de 25 metros, y estas reciben las señales que captura el sensor en tiempo real. De esta manera, se evita la adquisición de una consola (Xbox 360 + Kinect) y el convertir la PC en un controlador gestual (libre de controles) para el entretenimiento en sala.

WAVI Xtion salió a la venta comercialmente durante el primer trimestre de 2011 con una completa selección de aplicaciones y juegos a un precio de US\$200.

OpenNI fue la responsable de liberar el *framework* que proporciona la interfaz para los sensores NI de audio y video, o también conocido como el *driver open source* oficial de Kinect.



Figura 60. Sensor WAVIXtion de ASUS

5.3.2 Leap Motion

Este dispositivo presumía registrar movimientos con una sensibilidad de una centésima de milímetro, lo que significa 200 veces más precisión que cualquier otro dispositivo en el mercado. La maravilla adicional es que a corta distancia tiene capacidad para detectar actividad de cada dedo de manera independiente, así como otros objetos pequeños, incluido un lápiz o hasta palillos chinos. El sensor está encapsulado en una presentación incluso más pequeña que Kinect (ver figura 61), el único inconveniente es que apenas tiene un alcance de 1.2 metros, limitando su uso a las manos, en lugar del cuerpo completo.

Haciendo comparaciones, Kinect tiene la ventaja de detectar aspectos faciales y las cuatro extremidades, además de tener certificación de Microsoft. Entre tanto, Leap Motion apostaba por instalar una nueva vertiente en los dispositivos con sensor de movimiento, más enfocado en un sector específico de la población; además, para ganar la atención de los desarrolladores, ofreció un set de accesibles herramientas que ayudarían a diseñar experiencias. Su precio era de \$70 USD, estuvo disponible hasta finales de 2012, o inicios de 2013 pero sólo para PC, con miras a lanzarse en consolas de videojuego.



Figura 61. Leap Motion

5.3.3 PrimeSense Carmine

A finales del año 2013 Apple confirmó la compra de la compañía *PrimeSense* quien creó la tecnología para hacer realidad el Kinect.

En breve la compañía Apple desarrollo su primer sensor similar al Kinect, el *PrimeSense Carmine 1.08* (véase figura 62) que permitía detectar objetos en un rango de 0.8 a 3.2 metros de distancia, contenía una cámara VGA, un proyector de infrarrojos y una cámara de infrarrojos con sólo dos micrófonos podía trabajar con las librerías de OpenNI y SDK 2.2, Su precio fue de aproximadamente US\$235.



Figura 62. Sensor PrimeSense Carmine 1.08 de la compañía Apple

5.3.4 Sensor Kinect 2

Las diferencias que hay entre el sensor Kinect 2 (figura 63) con respecto a los Kinect para XBOX y Windows son muchas, así como las posibilidades de desarrollo para llevar a cabo. Se destacarán las diferencias más notables.

- Mayor campo de visión. 70° en horizontal (antes 57°) y 60 en vertical (antes 43°).

Esto permite poder detectar a más personas dentro de un mismo campo de visión. Hasta 6 jugadores pueden ser detectados simultáneamente.

No tiene motor de inclinación como su antecesor.

- Mayor resolución. 1920 x 1080 Full HD (antes 640 x 480).

Permite detectar con más precisión todo el entorno.

Capacidad de diferenciar la orientación del cuerpo incluyendo sus manos y pudiendo diferenciar sus dedos.

El *face tracking* tiene mucho más detalle y permite captar los gestos de la cara.

- Mejora el rango de profundidad del sensor.

El rango de actuación pasa a ser de 0,5 a 4,5 metros.

- USB 3.0

Al aumentar la velocidad de la comunicación con la computadora los datos fluyen más rápido y esto disminuye la latencia del sensor. Pasa de 90ms a 60ms.

- Mejora de la captación de sonidos.

Esta versión de Kinect viene dotada de una gran mejora en cuanto al reconocimiento de voz y la captación de sonidos. Se ha mejorado la eliminación del ruido ambiente y esto permite captar con más detalle las instrucciones vocales.

- Captación de movimiento a oscuras.

Kinect 2 es capaz de reconocer y captar los movimientos, aunque la sala este a oscuras.

- Kinect 2 permite calcular/analizar la fuerza de nuestros músculos y medir el ritmo cardíaco.

Como podemos ver que las capacidades del nuevo Kinect superan por mucho las del Kinect anterior y las de sus competidores. Sin embargo, para el propósito que se persigue el primer Kinect cumple los requerimientos, cabe mencionar que los driver para el Kinect 2 todavía están a prueba y no existe mucha información en la red, además el alimentador de corriente y adaptador de USB (figura 64) vienen por separado teniendo un costo similar al mismo sensor, probablemente más adelante la liberación de los drivers por parte de Microsoft haga que se mude por completo a este dispositivo, su precio es de aproximadamente US\$199 más el respectivo adaptador para trabajar en la computadora.



Figura 63. Sensor Kinect 2 de Microsoft

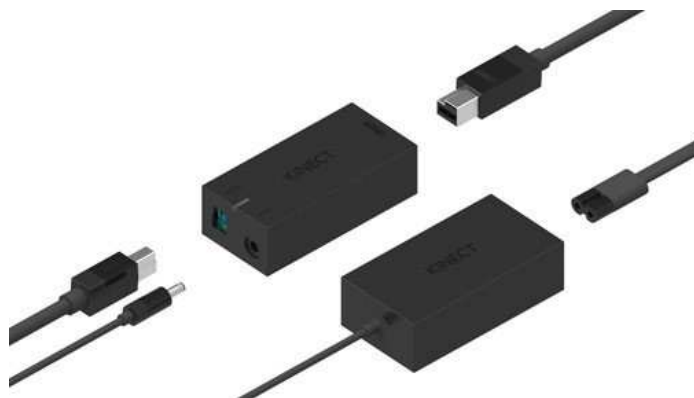


Figura 64. Adaptador USB y alimentador para Kinect 2

5.4 Tabla comparativa de los principales sensores 3D

Fabricante	Modelo	Distancia de detección	Partes del sensor	SDK	Precio
Microsoft	<i>Kinect para XBOX 360</i>	<i>0.8 a 4 m</i>	<i>Cámara VGA Proyector IR Cámara IR 4 micrófonos 1 motor</i>	<i>SDK para Kinect OpenNI</i>	<i>US\$150</i>
	<i>Kinect para Windows</i>	<i>0.4 a 4m</i>			<i>US\$250</i>
	<i>Kinect para XBOX ONE</i>	<i>0.5 a 4.5 m</i>	<i>Cámara RGB HD de 1900x1080p Proyector IR Cámara IR 4 micrófonos</i>	<i>SDK para Kinect V2.0</i>	<i>US\$150 + Adaptador US\$70</i>
ASUS	<i>Xtion</i>	<i>0.8 a 3.5 m</i>	<i>Proyector IR Cámara IR</i>	<i>OpenNI SDK</i>	<i>US\$110</i>
ASUS PrimeSense		<i>0.8 a 3.5 m 0.8 a 3.5 m</i>	<i>Proyector IR Cámara IR Cámara VGA Proyector IR Cámara IR 2 micrófonos</i>	<i>OpenNI SDK</i>	<i>US\$150</i>
	<i>Xtion Pro Xtion Pro Live</i>				<i>US\$250</i>
	<i>Carmine 1.08</i>		<i>Cámara VGA Proyector IR Cámara IR 2 micrófonos</i>		<i>US\$200</i>
PrimeSense	<i>Carmine 1.09</i>	<i>0.35 a 1.4 m</i>	<i>Cámara VGA Proyector IR Cámara IR 2 micrófonos</i>		<i>US\$200</i>

Tabla 1. Características en los principales sensores 3D

Capítulo 6. Planteamiento del problema

6.1 Movimiento, iluminación, audio e imagen

A medida que los avances tecnológicos van presentándose, también la necesidad de aplicarlos va cobrando fuerza, en especial podemos observar que las artes escénicas generalmente utilizan elementos audiovisuales, así como iluminación con lámparas robóticas y efectos escénicos con movimiento que sorprenden al espectador en cada una de las representaciones artísticas.

Para apoyar de forma eficiente al artista es necesario conocer cada uno de los movimientos que este realizará durante todo su trabajo en el escenario, cuándo entra la música, o cuándo encender las luces, generar viento, calor, movimiento de plataformas, proyectar una imagen frontal o trasera, desplazar el telón en fin las diversas acciones a seguir que implican estar muy atento para cumplir con el objetivo.

Bien para resolver este tipo de inconvenientes y auxiliar al artista escénico donde no existe personal para apoyar la realización de una obra, es importante el uso de la tecnología y para colaborar eficientemente se ha pensado utilizar el sensor Kinect como elemento principal que recibirá las órdenes del actor para accionar el funcionamiento de luces, así como también, mecanismos que permitan dar movimiento a diversos elementos como plataformas giratorias, ventiladores o turbinas generadoras de viento, cámaras de humo o niebla, desplazamiento de telones, retroproyección o proyección frontal y reproducción de audio. El sensor Kinect se encuentra conectado a una computadora personal (sistema de control) y en la PC están instalados los programas Processing y Arduino, el Processing al recibir las ordenes ejecuta las respectivas acciones enviando al Arduino (el cual se explicará en el apartado 7.4) las señales que le indican qué elementos de la electrónica de potencia se energizarán para activar los aparatos electrónicos dentro del escenario, contemplados para cada uno de los efectos buscados.



Figura 65. Sistema de Kinect, Arduino y Laptop

6.2 Software y hardware

La conexión del sensor Kinect con la computadora personal (PC) se realiza por medio de alguno de los puertos USB (Universal Serial Bus) el número de sensores Kinect que se pueden conectar a la PC depende de la cantidad de puertos USB que posea la misma. En la PC se tendrán almacenados y funcionando los programas Arduino, Processing y la librería SimpleOpenNI, además de los drivers para que la computadora reconozca plenamente las funciones del Kinect.

6.3 Alternativas y posibles soluciones

El Kinect no es el omnipresente en la tecnología de detección, existen varias opciones que pueden ser usadas, sin embargo, los recursos que ofrecen y de los que el usuario puede valerse son menores, agregando un costo mayor si se desea implementarlos.

6.3.1 Codificadora MIDI

Una de las posibles alternativas sería, colocar en el cuerpo del ejecutante transmisores inalámbricos accionados por *reed switches* (detectores magnéticos) los cuales a su vez pueden ser manipulados por imanes colocados en las manos, los transmisores mandan una señal al elemento receptor que también generará un pulso que se introducirá a una tarjeta codificadora MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*). Esta tarjeta convierte los pulsos ON-OFF a señales que los entornos de desarrollo gráfico para música y multimedia como *Max/MSP and Jitter*, *Pure Data* o *SuperCollider*, pueden fácilmente interpretar a través de diseños de algoritmos computacionales para activar elementos electrónicos, audio y video utilizados ampliamente en las artes escénicas.

Para el sistema descrito en el párrafo anterior es necesario invertir varios días para su desarrollo además que se requiere colocar en el cuerpo los sensores, cables y transmisores, agregando por si fuera poco la respectiva fuente de alimentación, lo que puede dificultar los movimientos complejos del ejecutante.

6.3.2 El Very Nervous System

Otro elemento que da la posibilidad de la detección corporal sin cables es el *Very Nervous System* creado por David Rokeby, en este sistema, un equipo observa los gestos físicos de los cuerpos humanos a través de la cámara de vídeo, ver figura 66. A estos gestos físicos se les traduce en una música improvisada, directamente relacionada con las cualidades de los propios movimientos en tiempo real. Creando así, una relación directa muy íntima e intensa entre el cuerpo, el sonido, el espacio y la tecnología (Rokeby, s. f.).

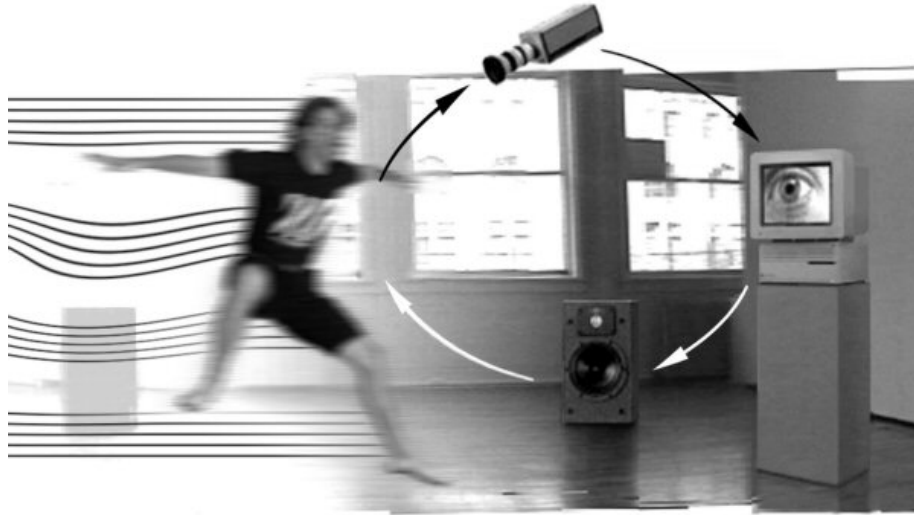


Figura 66. Sistema *Very Nervous System* de David Rokeby. <http://www.medienkunstnetz.de/works/very-nervous-system/>

El *Very Nervous System* es especialmente aplicado a la detección de movimientos corporales para crear sonidos y/o música, para ello se requieren video cámaras, procesadores de imagen, computadoras, sintetizadores y sistemas de sonido, lo que lo hace relativamente caro debido principalmente al uso de equipo extra para su implementación, este sistema puede ser habilitado para conectar interfaces electrónicas que puedan mover objetos o encender luces. El *Very Nervous System* puede trabajar conjuntamente con entornos de desarrollo gráfico como *Max/MSP and Jitter, Pure Data*, si se está interesado en lograr mayor impacto en el escenario.

6.3.3 El VVVV

V4 es una herramienta de propósito general con un enfoque especial sobre tiempo real de síntesis de vídeo y grandes entornos de medios de programación con interfaces físicas, en tiempo real de gráficos en movimiento, audio y video, véase figura 67. VVVV utiliza un flujo de datos y un enfoque de programación de interfaces visuales para una rápida creación de prototipos y desarrollo. Las aplicaciones escritas en VVVV comúnmente se llaman parches que se pueden ejecutar mientras se escriben, está escrito en *Borland Delphi*, es un programa gratuito para uso no comercial y se puede descargar desde su página, se puede interactuar

simultáneamente con multitud de usuarios a pesar de su versatilidad, solamente corre en sistemas Microsoft Windows.

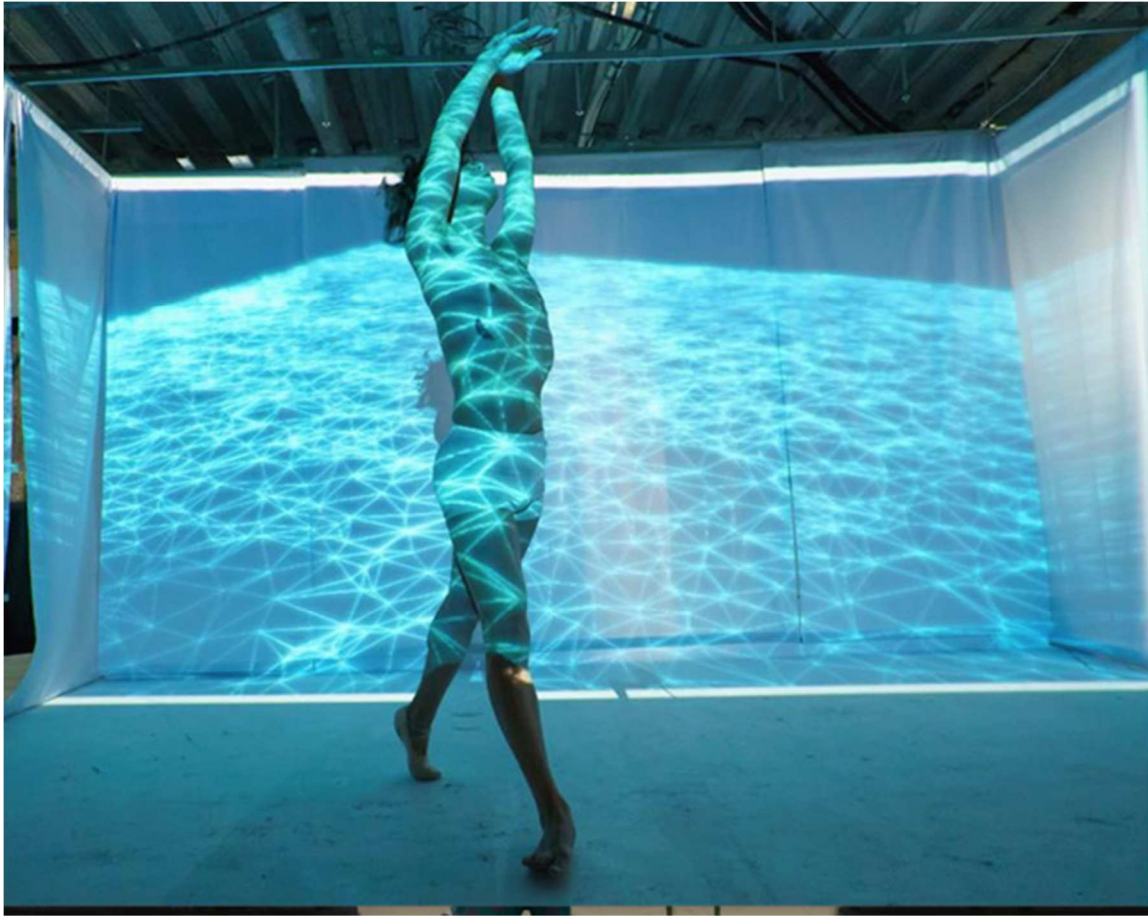


Figura 67. Sistema interactivo multimedia de VVVV Group. <https://www.vitte.jp/>

Fue desarrollado por VVVV Group y es usado por los ejecutantes de danza para producir audio y video, aunque adentrándose más en él es seguro que puedan conectarse interfaces electrónicas para poder controlar otros elementos que favorezcan la escena, para descargas <https://vVVV.org/downloads> (group, s. f.).

6.3.4 Isadora

Es un ambiente de programación gráfico que proporciona control interactivo sobre medios digitales, con énfasis especial en la manipulación en tiempo real de vídeo digital, ver figura 68, tiene una versión para Microsoft Windows y otra para Mac.



*Figura 68. Isadora creado por Mark Coniglio, manipulación de video digital en tiempo real.
<http://www.scottmartindesign.com/vitae/>*

Isadora permite diseñar, programar e incorporar elementos audiovisuales para la producción de instalaciones interactivas y espectáculos escénicos (Troikatronix).

Capítulo 7. Propuesta de diseño

Para el presente trabajo y después de haber experimentado con una considerable cantidad de ejemplos sobre el sensor Kinect, la primera propuesta que se presentó fue trabajar bajo la plataforma Windows, debido a la facilidad y a la familiarización que se tiene con este ambiente, como se sabe existen las plataformas Linux y Mac que brindan las mismas opciones que Windows (St. Jean, 2013).

En la mayor parte del desarrollo de este proyecto se hizo uso del Microsoft Windows 7 Pro de 32 bits, no obstante, se cambió a Windows 10 de 64 bits debido a la adquisición de una computadora portátil ya que este sistema venía incorporado al equipo, en un principio se pensó que el nuevo sistema operativo causaría problemas de incompatibilidad con el software que se estaba utilizando. Sin embargo, no fue así y las pruebas resultaron exitosas.

7.1 Investigación sobre la plataforma Windows con software propietario de Microsoft

Al inicio de este proyecto se contaba con Windows 7 en la computadora y por la investigación realizada se tomó la decisión de hacer uso del programa Microsoft Visual Studio 2010, necesario para realizar el código que se tenía en mente (2012). Sin embargo, era necesario contar con otros programas que permitieran tener un funcionamiento completo para el sistema con el Kinect. Estos programas eran el *Developer Toolkit Browser v1.6.0 (Kinect for Windows)*, el Microsoft DirectX 9.0 SDK y el .NET Framework 4.0; con todos los programas anteriores instalados en la computadora se probaron algunos ejemplos para ver el funcionamiento del Kinect, hasta este punto todo estaba bien, no obstante era obligado trabajar con la tarjeta de desarrollo Arduino para cumplir con los objetivos propuestos en este proyecto, algunos ejemplos más, ayudarían a comprender cómo se podía configurar el sistema para lograrlo, pero a pesar de las múltiples búsquedas realizadas no se encontró algo que en realidad pudiera dar una orientación concreta, se sabía también que el Visual C++ era el tipo de programación que facilitaría los desarrollos que se tenían en mente, por lo que se comenzó a trabajar en el diseño de un código que permitiera la comunicación con el Kinect y se enlazaría con Arduino permitiendo controlar dos brazos articulados con servomotores que imitaran los movimientos de los brazos del usuario al colocarse frente al sensor. Se menciona que se logró el objetivo, pero para ello se tuvo que hacer uso de todos los recursos

que se tenían sobre la generación de código, aunado a lo anterior y a la dificultad para programar en C++ se llegó a la conclusión que, con este tipo de programas, el proyecto que se estaba plasmando tomaría mucho más tiempo en ser desarrollado, por lo que se optó por realizar un cambio en los planes, así, se obtuvo lo que a continuación se describe.

7.2 Investigación sobre la plataforma Windows con software Open Source.

La idea de tener un sistema que fuera de fácil diseño e implementación condujo a una investigación exhaustiva en libros y medios electrónicos, encontrando como posibles programas para trabajar con el sensor Kinect a los programas Grasshopper, Unity 3D, DepthJS, OpenFrameWorks, Pure Data, Python, Visual C++, Processing y Scratch. Al revisar cada uno de ellos se pudo constatar que algunos requerían de un pago para obtener la licencia de activación, en otros no era posible trabajar con el Kinect y unos eran complejos de usar, finalmente uno de ellos fue el que mejores alternativas ofreció para el proyecto de tesis, su nombre, Processing que cumplió con los requerimientos para ser utilizado, es gratis, medianamente complicado, trabaja muy bien con Arduino y a través de una aplicación llamada SimpleOpenNI permite enlazarlo con el Kinect.

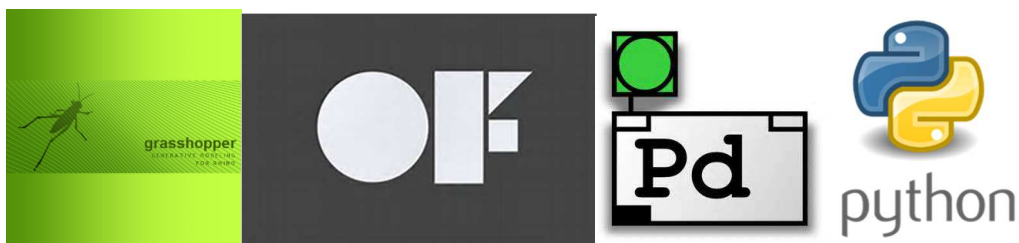


Figura 69. Diversos programas que pueden utilizarse con Arduino

Se menciona, que de los programas anteriormente mencionados existen algunos que pueden trabajar con el Kinect, pero limitadamente.

7.3 Processing plataforma para Windows

Como se señaló la versión de Windows 7 fue reemplazada por la versión de Windows 10 sistema operativo elegido para trabajar con el sensor Kinect, en seguida se describe a Processing que es una plataforma de programación muy utilizada por estudiantes y artistas, dada su versatilidad y potencial.

Processing fue desarrollado por los artistas Casey Reas y Ben Fry en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) pensando desde luego en los artistas, inspirado en *Design By Numbers* (DBN) de John Maeda, Processing es *software* libre para las plataformas donde Java está disponible como son Windows, Linux, MacOS, etc. Este software se diseñó para el desarrollo del arte gráfico, animaciones y aplicaciones gráficas de cualquier estilo y complejidad, se puede programar en tres formas: la básica (sin funciones, código directo), la procedural/estructurada (se hace uso de funciones programación C) y la orientada a objetos (hace uso de las clases de Java), las aplicaciones de Processing se pueden diseñar para ser ejecutadas en internet, desarrollar aplicaciones para dispositivos móviles y lo más importante en este trabajo, la conexión con dispositivos y prototipos electrónicos como Arduino (que se verá en el apartado 7.4).

Processing posee una opción llamada *Import Library* que permite utilizar infinidad de bibliotecas para diferentes aplicaciones, añadir imágenes, fuentes u otra información multimedia a un directorio especial, la sintaxis para elaborar programas en Processing es relativamente sencilla debido principalmente a que fue desarrollada para personas que no están obligadas a conocer a fondo la generación de código, lo complicado de la electrónica y la forma en que se lleva a cabo el almacenamiento de datos en los circuitos integrados.

El *software* Processing fue pensado para artistas, diseñadores y programadores que se expresan con lenguaje digital, y es ampliamente utilizado en creaciones artísticas e

instalaciones multimediales, así los recursos que se ofrecen con este tipo de programas permiten resolver infinidad de problemas más fácilmente.



Figura 70. Imagen de inicio de Processing

Para este proyecto la descarga de Processing se realizó en la siguiente dirección electrónica <https://processing.org/> eligiendo la versión 1.5.1 por ser la más estable para trabajar con la biblioteca importada y el sensor Kinect.

La biblioteca que se importó es la SimpleOpenNI, OpenNI (*Open Natural Interaction*) es una organización enfocada en el desarrollo de tecnologías para la interacción natural con dispositivos electrónicos, su principal cliente es *PrimeSense* compañía israelí responsable del desarrollo del sensor Kinect y dispositivos similares junto con la firma Asus.

El ambiente de trabajo para desarrollo (*framework*) de OpenNI, provee una infraestructura basada en APIs (Interfaz de Programación de Aplicaciones) de código abierto para acceder a los dispositivos de interacción natural, sobre él se instala el sensor que accede específicamente a los servicios del Kinect. Adicionalmente OpenNI desarrolla el software de computadora que conecta componentes de software o aplicaciones para que puedan intercambiar datos entre éstas (*middleware* NITE) que permite funciones avanzadas como seguimiento del esqueleto en tiempo real y reconocimiento de gestos entre otras, sin embargo, este software no es de código abierto, por lo que no fue considerado para este trabajo.

Como dato se menciona que un *middleware* es un *software* que conecta dos programas para que puedan intercambiar datos entre sí. Es utilizado a menudo para soportar aplicaciones distribuidas. Lo cual incluye servidores web, servidores de aplicaciones, sistemas de gestión de contenido y herramientas similares. *Middleware* es especialmente esencial para tecnologías como XML, SOAP, servicios web y arquitectura orientada a servicios.

Middleware es una incorporación relativamente reciente en la computación. Obtuvo popularidad en los 80 como una solución al problema de cómo conectar nuevas aplicaciones con viejos sistemas. De todas maneras, el término ha sido usado desde 1968. También facilitaba el procesamiento distribuido: conexión de múltiples aplicaciones para crear una aplicación más grande, generalmente sobre una red.



Figura 71. Logo Open NI NITE

El SimpleOpenNI, necesario para la comunicación con el Kinect se descargó de la siguiente dirección <https://code.google.com/archive/p/simple-openni/wikis/Installation.wiki> eligiendo la versión de *Processing* adecuada, también se descargaron los controladores para el Kinect.

La empresa ZigFu desarrolló un paquete que contiene todo lo necesario para comenzar a trabajar con el Kinect, es decir, el SimpleOpenNI y los controladores o drivers. Este paquete se comenzó a usar dada su facilidad de instalación, la descarga del mismo se hizo de la siguiente dirección <http://zigfu.com/en/downloads/browserplugin/> hay una versión para Windows y otra para MacOS, la gran ventaja es que es completamente gratis y la desventaja es que no hay versión para Linux.

En la versión para Windows 10 que se está empleando actualmente, el software para los requerimientos de funcionamiento se obtuvo de:

- Processing versión 1.5.1 para Windows 10 de 64 bits
<https://processing.org/download/?processing>
- OpenNI SDK 2.2.0.33 Beta (x64) para Windows
<http://openni.ru/openni-sdk/>
- Kinect SDK V 1.7
<https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=36996>
- SimpleOpenNI 1.96
<https://code.google.com/archive/p/simple-openni/wikis/Installation.wiki>

7.4 Arduino plataforma para Windows

Arduino es una pequeña computadora que se puede programar para procesar entradas y salidas entre el dispositivo y los componentes externos a los que se conecta. Es lo que se conoce como una plataforma física o de computación incorporada, lo que significa que es un sistema interactivo que puede interactuar con su entorno a través del uso de *hardware* y *software*. El Arduino puede utilizarse para desarrollar objetos interactivos independientes o puede conectarse a una computadora, una red o incluso a Internet para recuperar y enviar datos desde y hacia el Arduino y luego actuar sobre esos datos. En otras palabras, puede enviar un conjunto de datos recibidos de algunos sensores a un sitio web. Puede conectarse a LEDs, pantallas de puntos, botones, interruptores, motores, sensores de temperatura, sensores de presión, sensores de distancia, receptores GPS, módulos Ethernet o prácticamente cualquier cosa que genere datos o pueda ser monitoreado. Si se da un recorrido alrededor de Internet se encontrará una cantidad enorme de proyectos en los que un Arduino se ha utilizado para leer datos o controlar una increíble variedad de dispositivos.

Arduino es completamente compatible con *Processing*, de hecho, las interfaces de cada uno son muy parecidas, así como la forma de generar el código, verificarlo y ejecutarlo.

Para dar una idea de sus aplicaciones se menciona que el equipo de la NASA construyó una puerta de enlace utilizando un Arduino Mega, XBee, y el módulo de Iridium. El Arduino Mega se utilizó para gestionar las comunicaciones entre la red inalámbrica XBee local y el

largo alcance de enlace ascendente por satélite Iridium. Fue elegido como parte de una iniciativa de la NASA para utilizar componentes *off-the-shelf* (en electrónica componentes de venta libre, no diseñados por la NASA) comerciales siempre que sea posible, y emplear herramientas de prototipado rápido para explorar nuevas ideas de manera eficiente.

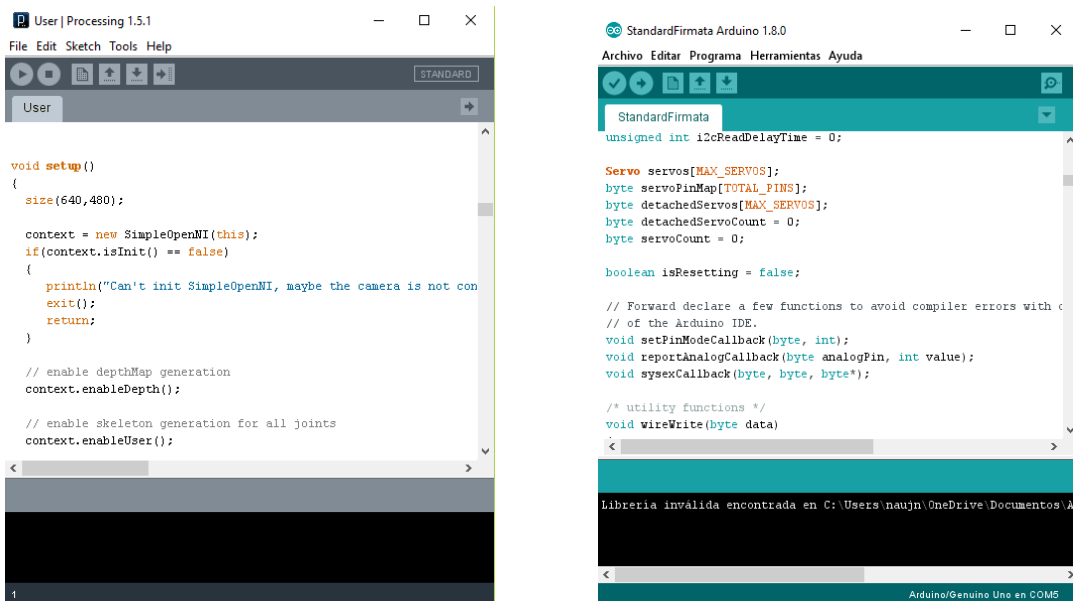
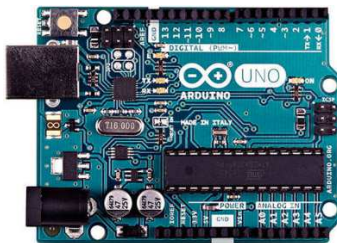


Figura 72. Interfaz de Processing (izquierda), Interfaz de Arduino (derecha)

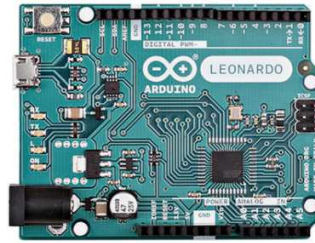
El programa Arduino usa el Arduino IDE (*Integrated Development Enviroment*), que es una pieza de software libre en la cual se escribe el código en el idioma que Arduino comprende. El IDE permite que se escriba un programa de computadora, el cual es una serie de instrucciones que se ejecutan paso a paso cuando son cargadas al Arduino. De esta forma el Arduino interactúa con el mundo externo y recibe órdenes también.

El *hardware* y el *software* de Arduino son *open hardware* y *open source*, lo que significa que el código, esquemáticos y diseño, pueden ser tomados gratuitamente por cualquier persona. Como los diseños son *open source*, algunas tarjetas clonadas son 100% compatibles con Arduino lo mismo sucede con las *shields* (tarjetas electrónicas ensamblables con Arduino) que resuelven una infinidad de proyectos incluso con diversas versiones de Arduino como lo

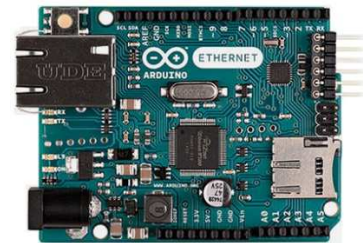
es Arduino UNO, Arduino Leonardo, Arduino Ethernet, Arduino DUE, Arduino Mega, Arduino Nano, Arduino Mini.



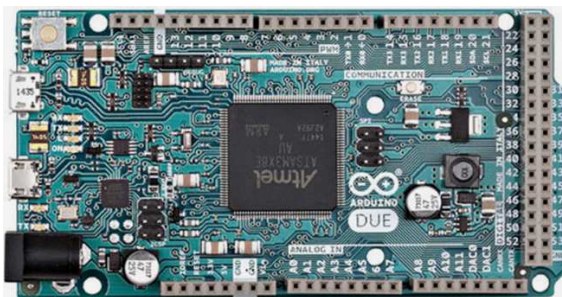
a)



b)



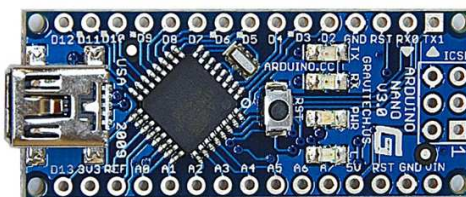
c)



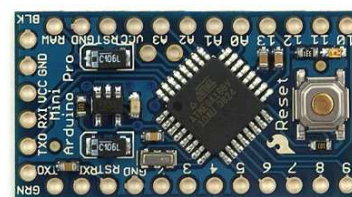
d)



e)



f)



g)

Figura 73. Diversas versiones de la tarjeta Arduino: a) UNO, b) Leonardo, c) Ethernet, d) DUE, e) MEGA, f) NANO y g) Mini Pro

A los programas o código escrito en Arduino se les llama *sketches* (bosquejos), estos se hacen en la computadora y se descargan a la tarjeta por medio de un cable USB que posee conectores tipo A y B respectivamente.

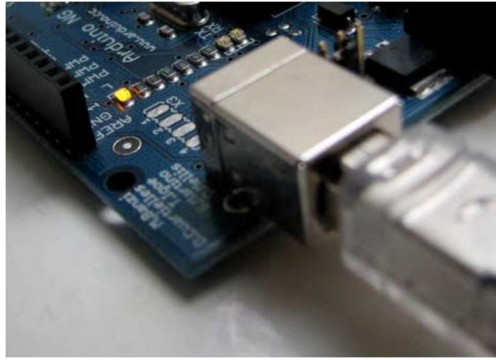


Figura 74. Conexión USB Arduino

Por la versatilidad que ofrecen Processing y Arduino fueron los dos programas *open source* que se eligieron para el desarrollo de los sistemas que permitirían recibir datos desde el sensor Kinect y ser procesados en la computadora mediante el software Processing que a su vez se comunicaría con el software Arduino y finalmente este ejecutaría con la ayuda de los sistemas electrónicos los movimientos de motores y encendido de luces en el escenario.

A continuación, en la figura 75 se muestra un esquema del funcionamiento del sistema electrónico integrado al sensor Kinect.



Figura 75. Relación humano- sensor-máquina y sistema electrónico

7.5 Tipos de detección en el sensor Kinect

El OpenNI tiene la capacidad para trabajar en tres tipos de detección una es a partir de los datos que la imagen de profundidad nos puede ofrecer, en esta se miden las distancias que hay entre el sensor Kinect y el objeto en cuestión, solo se miden las distancias a cada punto de la superficie detectada; otra es a través de la nube de puntos, que nos habla sobre la posibilidad de tener puntos en el espacio en tres dimensiones, es decir, un dato para el eje x, otro para el eje y, y otro para el eje z. Con esto crece la posibilidad de detección en diversas posiciones generadas a través de código para objetos imaginarios en ese espacio de detección, por ejemplo, puede dibujar un cubo a un metro de distancia del sensor (eje z), a un metro de altura (eje y) y un metro de la orilla (eje x) y estar colocado a metro y medio, si se acerca a un metro, o sea, sobre el cubo, se puede indicar al Kinect que active, por ejemplo, una melodía. La tercera forma de detección es a través del seguimiento del esqueleto, de la cual se hablará con más detalle, debido a que el presente trabajo está basado en ella.

7.6 Detección del esqueleto con el sensor Kinect

OpenNI tiene la capacidad de procesar la imagen de profundidad con el fin de detectar y rastrear a las personas. En lugar de tener que recorrer los puntos de profundidad para comprobar su posición, se puede simplemente acceder a la posición de cada parte del cuerpo de cada usuario que OpenNI rastrea. Una vez que OpenNI ha detectado un usuario, indicará la posición de cada una de las "articulaciones" visibles: cabeza, cuello, hombros, codos, manos, torso, caderas, rodillas y pies. (No todo en esta lista es una articulación en el sentido anatómico, OpenNI utiliza el término conjunto para referirse a todos los puntos del cuerpo de un usuario que la biblioteca es capaz de rastrear, sean o no articulaciones reales).

Para la creación de aplicaciones interactivas que el usuario puede controlar con sus cuerpos, la detección del esqueleto es exactamente la información que se necesita.

Basar las interacciones en los gestos de las manos y las poses generales del cuerpo, se pueden rastrear los movimientos del cuerpo con el tiempo y compararlos, y medir las distancias entre las partes del cuerpo.

Las técnicas que utilizan los datos del esqueleto forman bloques de construcción más poderosos para crear interfaces de usuario con el Kinect. OpenNI puede hacer que no se requiera el proceso completo de calibración, analiza la imagen en profundidad y detecta objetos y personas dentro de ella. OpenNI genera los datos del esqueleto procesando la imagen de profundidad capturada por el Kinect, también puede extraer otra información de la imagen de profundidad además de las ubicaciones de las articulaciones del usuario, puede averiguar qué píxeles en la imagen de profundidad representan a las personas y cuáles representan el fondo de la escena. Esta información está disponible tan pronto como OpenNI detecta que una persona ha entrado en la escena.

El algoritmo de OpenNI detecta que una persona está presente y mantiene la información continuamente mientras se mueve. Así que se puede distinguir a los usuarios individuales entre sí, así como el fondo. OpenNI proporciona esta información acerca de qué píxeles pertenecen a los usuarios en forma de un "mapa", una matriz de números correspondientes a cada píxel en la imagen de profundidad.

El valor del mapa para cada píxel será 0 si el píxel es parte del fondo. Si el píxel forma parte de un usuario, el valor del mapa será el ID (identificador) del usuario: uno, dos, tres, etc. Existe una técnica llamada eliminación de fondo.

La eliminación de fondo es el proceso de separar elementos de primer plano, como personas, del fondo de la imagen que no cambia. Funciona igual que el proceso de pantalla verde en una película de efectos especiales.

Para realizar la detección de las posiciones en el espacio sensible se generaron varios dibujos que representan al esqueleto y se seleccionaron las más representativas, que sirvieran unas para activar y otras para desactivar acciones del escenario a escala.

El sistema electrónico interactivo creado, tiene el funcionamiento que a continuación se describe.

7.7 Detección de las posiciones del esqueleto en el espacio sensible

Cuando el ejecutante se coloca frente al sensor Kinect, véase figura 76, el software realizado en Processing es activado y dependiendo de la posición que se seleccione en el espacio de

detección desplegará un mensaje indicando la zona y en su caso la acción que corresponda, mientras en la pantalla de la computadora se observará una silueta en azul que contiene al esqueleto. Ahora bien, la distancia entre el sensor Kinect y la primera región sensible es de 2m y la última región sensible tiene su límite a 4.1 m., la altura a la cual se colocará el sensor es a 1.35 m.

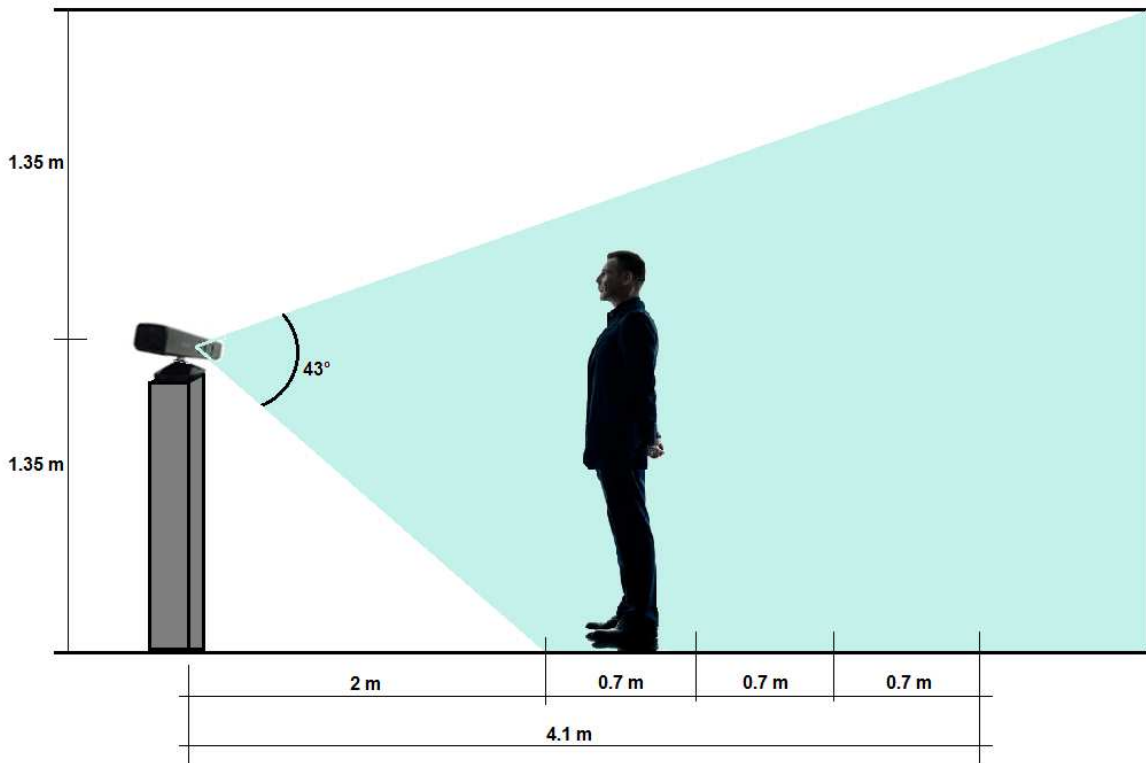


Figura 76. Vista lateral de una persona colocada frente al sensor Kinect y distancias de detección

Existen tres regiones sensibles, denominadas por las letras A, B y C, para la primera región existen dos sectores A1 y A2, para la segunda región hay tres sectores B1, B2 y B3, para la tercera región, existen cuatro sectores C1, C2, C3, y C4. Ver figura 77.

En cada uno de los sectores se pueden realizar “n” posiciones diferentes por lo tanto se puede asegurar que la combinación entre los nueve sectores puede ofrecer un repertorio de posiciones muy grande y por ende la posibilidad de utilizar “m” elementos en el escenario.

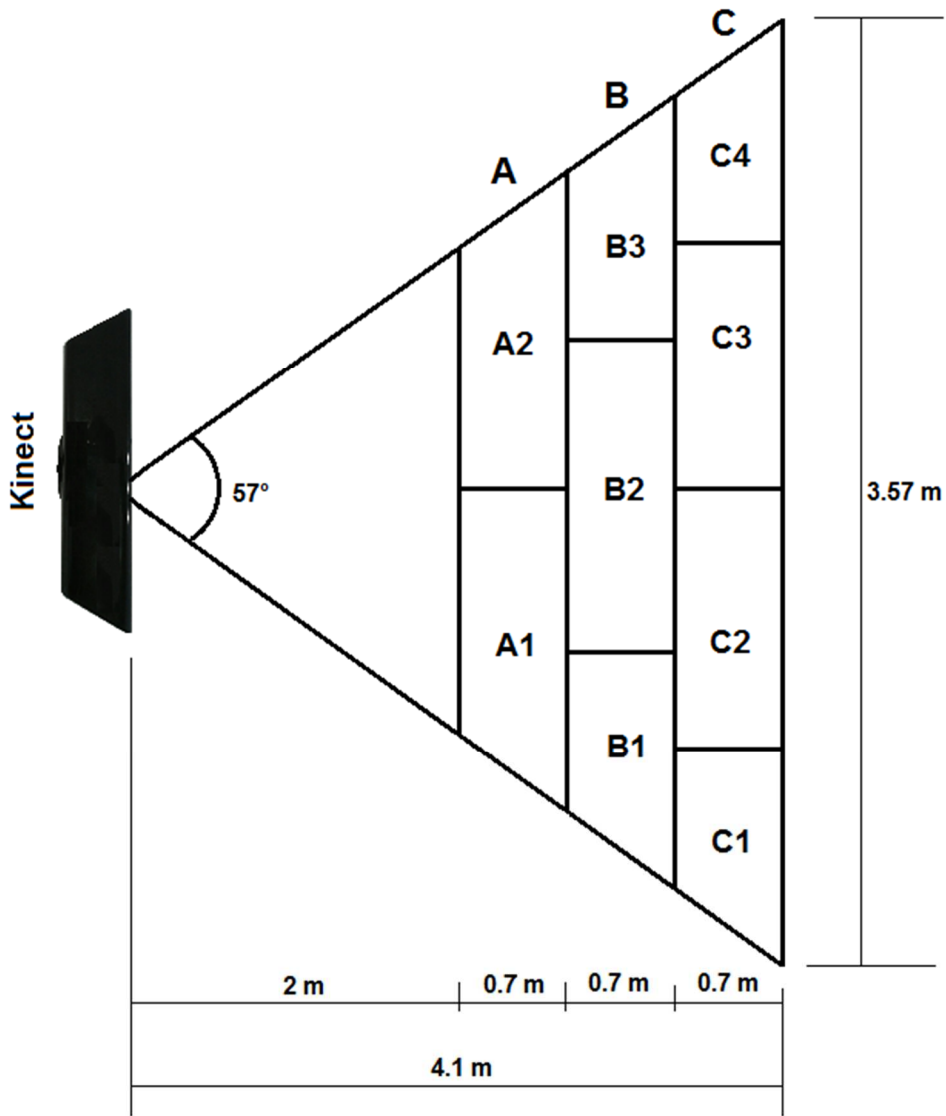
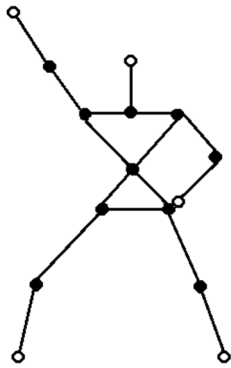


Figura 77. Distribución de sectores sensibles frente al sensor Kinect

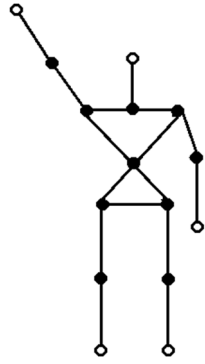
La selección de las posiciones para cada zona sensible se realizó no sin antes considerar las dimensiones para cada una de ellas, por ejemplo, si se encuentra el ejecutante en la región A, no debe levantar los brazos más allá de la cabeza, no obstante, sí los puede extender. En las demás zonas no existe problema alguno si se levantan los brazos, ya que son perfectamente detectados.

En la figura 78 se muestran las posiciones del esqueleto para el accionamiento de los diversos elementos en el escenario, considerando la zona de detección.



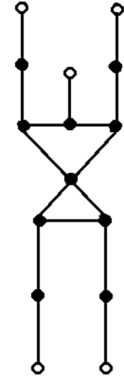
C1

Activar luz



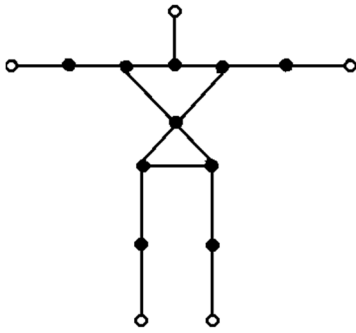
C2

Desactivar luz



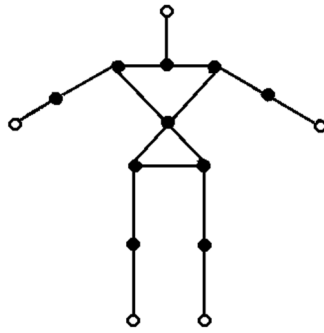
C1

Encender luz blanca



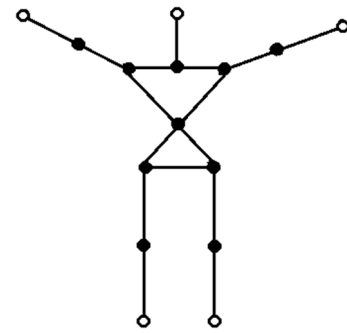
C2

Encender luz roja



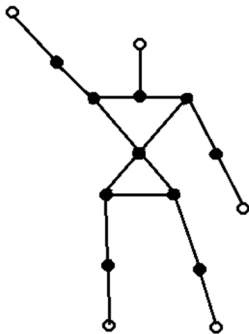
C3

Encender luz verde



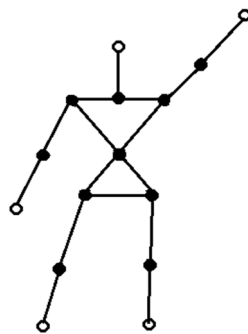
C4

Encender luz azul



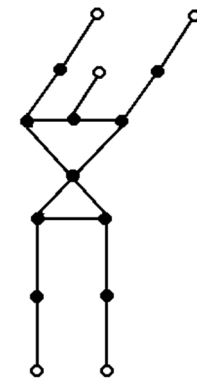
B1

Activar bomba



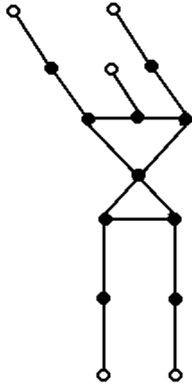
B2

Desactiva bomba



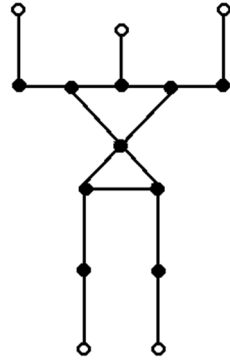
B1

Abrir telón



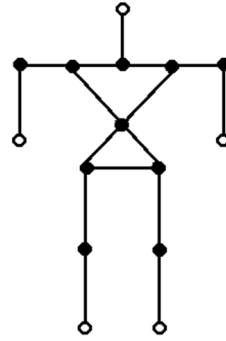
B3

Cerrar telón



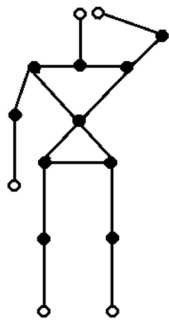
B2

Activar base



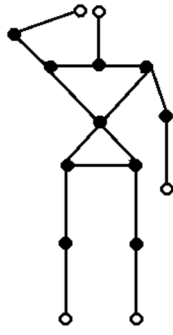
B2

Desactivar base



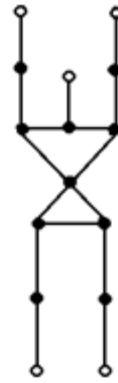
A2

Activar ventilador



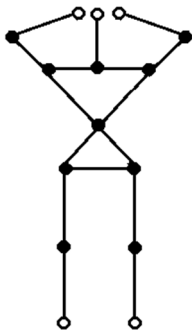
A1

Desactivar ventilador



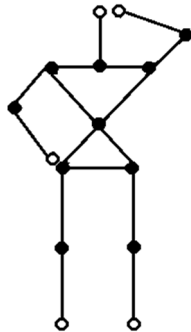
B1

Activar luz trasera



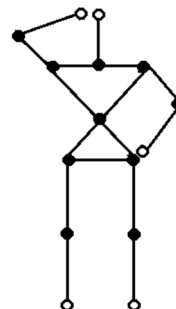
C3

Desactivar luz trasera



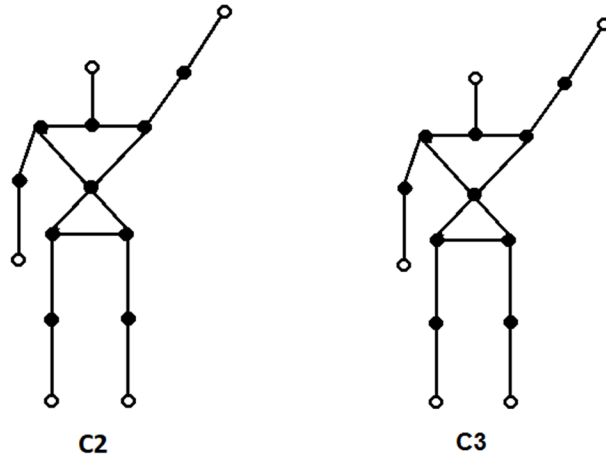
A1

Activar track 1



A2

Desactivar música



Activa track 2

Activa track 3

Figura 78. Serie de posiciones mostrando el sector y la acción que corresponde a cada una

7.8 Diseño del escenario a escala.

La realización de un escenario a escala puede mostrar las características principales que otorga el sistema que se ha desarrollado, figura 79. El hecho de hacer uso de un escenario de este tipo no es una limitante para poder observar que con los movimientos corporales de un usuario se puede activar el dispositivo que deseemos, siempre y cuando se invierta lo suficiente para su construcción o adquisición.

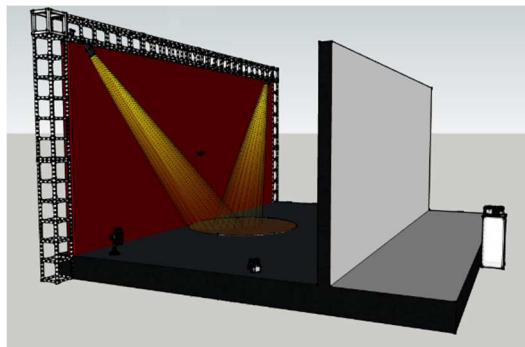


Figura 79. Escenario propuesto

La decisión para usar una maqueta se debe principalmente al costo que implica construir una plataforma mecánica giratoria y adquirir elementos como telones, lámparas par 64, proyectores, cámaras de humo, ventiladores equipo de sonido, mecanismos de desplazamiento de gran envergadura, para tenerlo en una sola presentación; de hecho el escenario se puede escalar al tamaño que se desee, lo que contribuye a disminuir los costos de las estructuras metálicas, la plataforma giratoria, los telones.

Es un escenario al cual se le pueden agregar los elementos que puedan ser necesarios en la representación artística y agregar en el código los cambios pertinentes si es que se van a activar o simplemente si se usaran como parte de la escenografía sin tener ningún vínculo con el código. Además, como se ha mencionado, el sistema es para que el ejecutante se auxilie en sus presentaciones al no contar con el personal para cada una de las acciones escenográficas a realizar, se considera que el ejecutante puede conseguir o poseer diversos elementos que le ayuden en su ejecución.

La maqueta tiene un área de $8,000 \text{ cm}^2$, es decir, $100 \text{ cm} \times 80 \text{ cm}$, con una altura de 5 cm . en la plataforma existe una pared que sirve de pantalla a 60 cm de profundidad con un área de $100 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} = 4,000 \text{ cm}^2$ y los restantes $100 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ es un área destinada para colocar un proyector que se encargue de la retroproyección con imágenes que sitúen al ejecutante en diversos ambientes naturales o artificiales, observar figura 80. Se ha considerado también una estructura metálica que sirva como soporte para la colocación de las lámparas, bocinas, telón y el propio Kinect, el diámetro de la plataforma giratoria es de 30 cm , lo que da una superficie con un área de $2,826 \text{ cm}^2$ cuadrados.

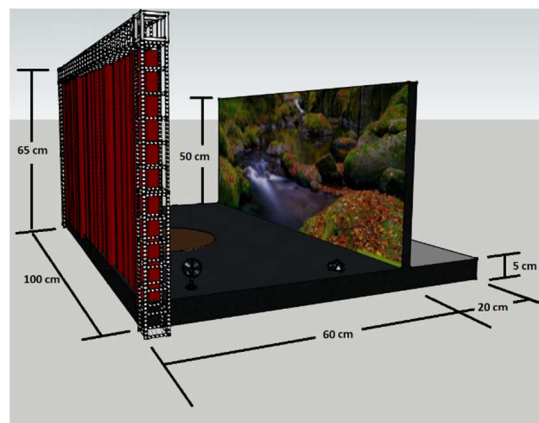


Figura 80. Medidas del escenario (maqueta)

La escala elegida es la de 1:10, para que sea perfectamente apreciable el funcionamiento de cada uno de los elementos dentro de la maqueta, mientras que el área seleccionada para ejecutar las posiciones corporales que el sistema detectará, tiene que ser la real.

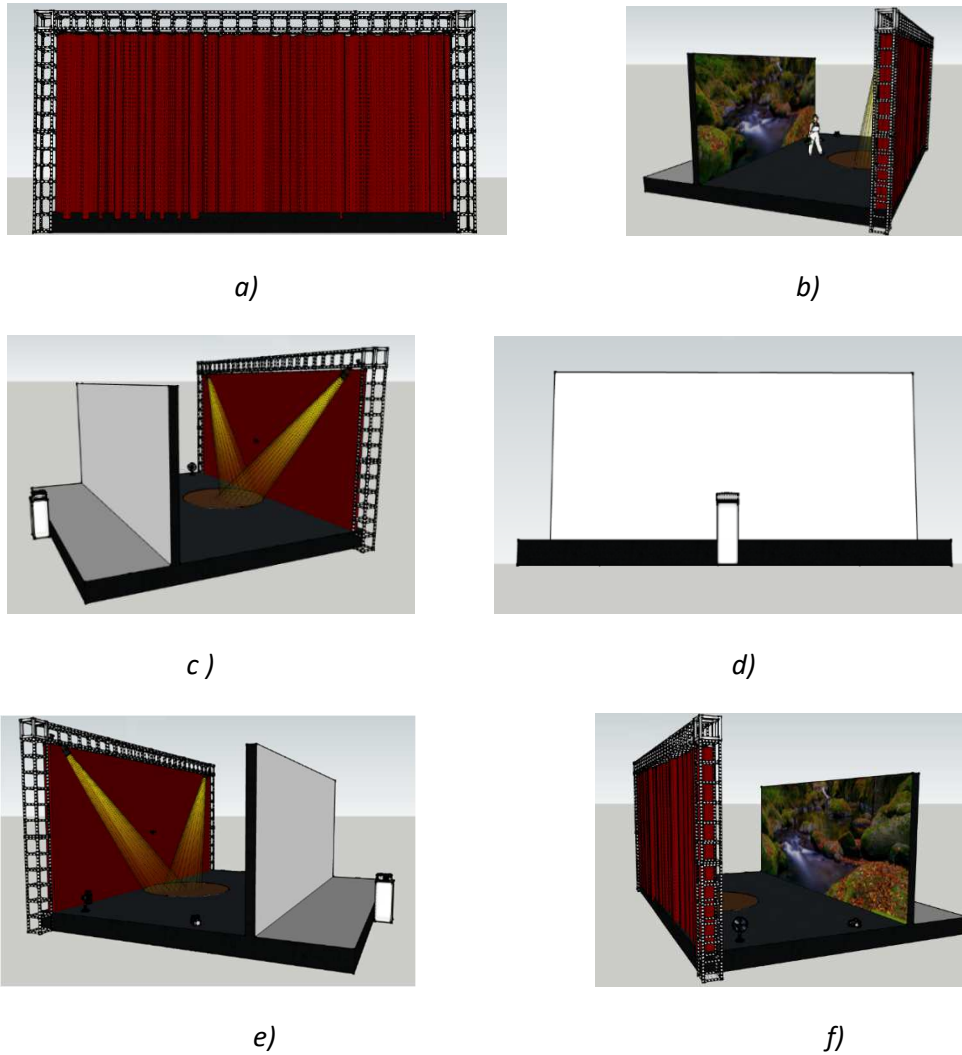
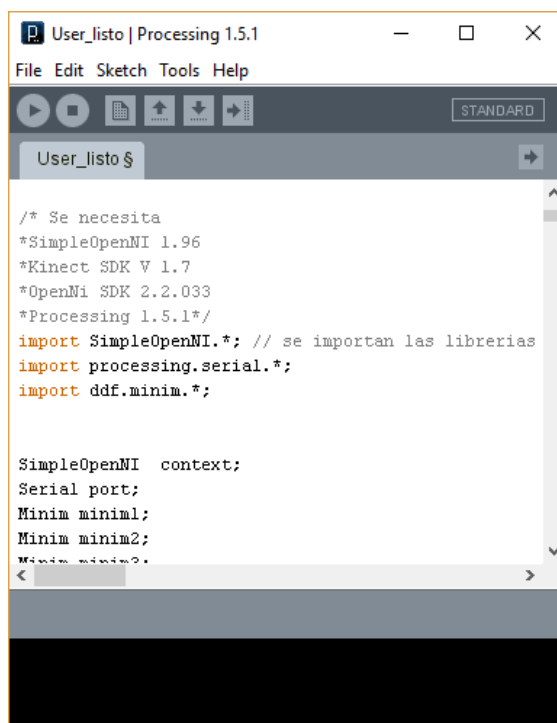


Figura 81. Diversas vistas del escenario construido a) frontal, b) semi-frontal izquierda, c) semi-trasera izquierda, d) trasera, e) semi-trasera derecha y f) semi-frontal derecha

7.9 Diseño del programa en Processing

La generación del código en *Processing*, a pesar de ser más sencilla que en otros lenguajes, demanda cierta destreza en el pensamiento lógico, la mayor parte de las personas sabe que realizar una programación, cualquiera que sea el tema a desarrollar, requiere de una planeación y que cada una de las acciones a realizar se deben ejecutar una tras otra. Es decir, secuencialmente; en ocasiones se puede interrumpir alguna tarea para realizar algo que demanda una atención urgente, ésta se realiza y posteriormente se regresa y se continua con la secuencia que se llevaba, regularmente la secuencia no se ve interrumpida por lo tanto la programación tiende a ejecutarse sin mayor problema.

La explicación del código se expone enseguida: las primeras líneas mencionan los programas que se requieren para tener el código activo y estas son, *Processing 1.5.1*, *OpenNI SDK 2.2.033*, *Kinect SDK V 1.7*, probablemente se puedan utilizar versiones más recientes, aunque se recomienda utilizar las indicadas para evitar errores en la ejecución. Véase figura 82.



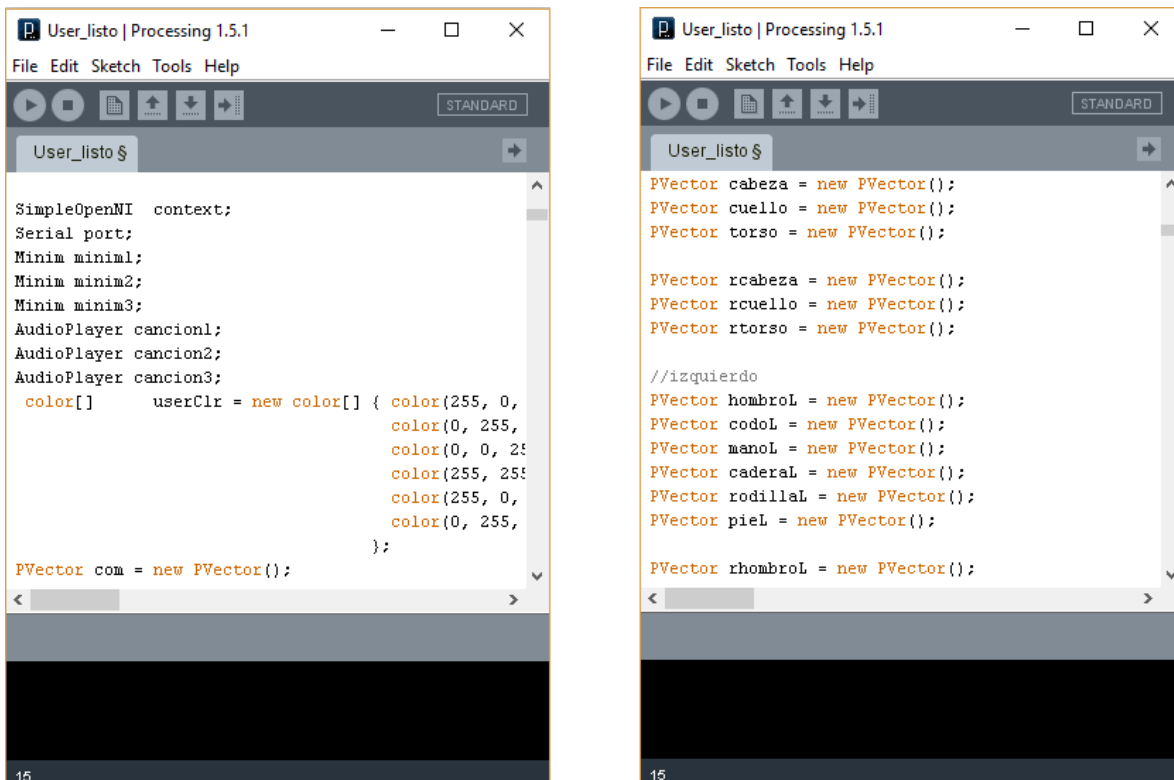
```
User_listo | Processing 1.5.1
File Edit Sketch Tools Help
STANDARD
User_listo $
/* Se necesita
*SimpleOpenNI 1.96
*Kinect SDK V 1.7
*OpenNI SDK 2.2.033
*Processing 1.5.1*/
import SimpleOpenNI.*; // se importan las librerias
import processing.serial.*;
import ddf.minim.*;

SimpleOpenNI context;
Serial port;
Minim minim1;
Minim minim2;
Minim minim3;
```

Figura 82. Librerías necesarias para activar el código.

Después se importa la librería *SimpleOpenNI* que es el núcleo que hace que funcione el *OpenNI*, esta librería, debe descargarse ya que no está incluida en Processing, se importa la librería *Serial* de Processing para poder establecer la comunicación con este protocolo y la librería de audio *Minim*, los cuales si están incluidos en Processing. Ver figura 83.

En seguida se crea un objeto para poder usar todo el cuerpo, los *joint* y en general todas las funciones de la librería *Simple OpenNI*. Se abre un puerto serial y se crean las variables como *Minim*, *AudioPlayer* que involucran los audios a cargar, el color para cada usuario dentro del área de detección del Kinect y los vectores, los cuales tienen nombres diferentes, todos los vectores se componen de tres variables en “x” en “y” y en “z” y para evitar usar tres variables se crea un vector, en este caso la coordenada “z” no se utiliza solamente “x” y “y”, las variables son nombradas con respecto a la parte del cuerpo con las que se relacionan, existe otra variable denominada “r” que hace referencia a las medidas que se presentan en la pantalla la cual tiene una dimensión en pixeles de 640x480.



```
SimpleOpenNI context;
Serial port;
Minim minim1;
Minim minim2;
Minim minim3;
AudioPlayer cancion1;
AudioPlayer cancion2;
AudioPlayer cancion3;
color[] userClr = new color[] { color(255, 0, 255),
                                color(0, 255, 0),
                                color(0, 0, 255),
                                color(255, 255, 0),
                                color(255, 0, 255),
                                color(0, 255, 255) };
PVector com = new PVector();

PVector cabeza = new PVector();
PVector cuello = new PVector();
PVector torso = new PVector();

PVector rcabeza = new PVector();
PVector rcuello = new PVector();
PVector rtorso = new PVector();

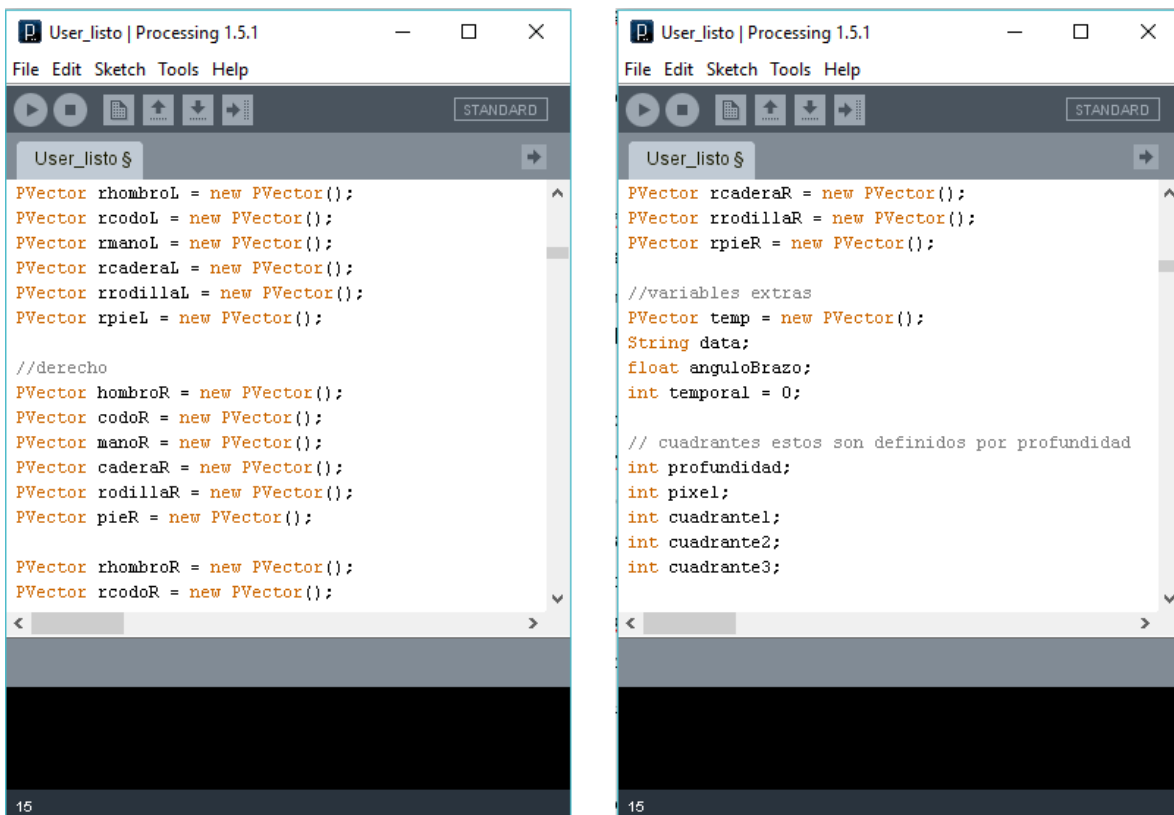
//izquierdo
PVector hombroL = new PVector();
PVector codoL = new PVector();
PVector manoL = new PVector();
PVector caderaL = new PVector();
PVector rodillaL = new PVector();
PVector pieL = new PVector();

PVector rhombroL = new PVector();
```

Figura 83. Declaración de variables y vectores.

Se presentan también las variables de cada uno de los *joint*, que se observan como hombro R, mano L, donde “R” y “L” hacen referencia a derecha (*Right*) e izquierda (*Left*), se consideran también algunas variables extra por si es necesario hacer cambios de *String*, cambios de vector, ángulos, variables para los sectores (cuadrantes), profundidad y pixel. Véase figura 84.

Dentro de la zona de configuración de Processing (*void setup*), se inicializan todas las variables, se inicializa el objeto que se creó anteriormente con el *SimpleOpenNI*, si no está conectada la cámara del Kinect, se envía un mensaje advirtiéndolo, se inician las variables con *context* y *user* activando con esto la profundidad y la detección del usuario, el color, las variables para la música, las variables para la comunicación serial y la selección del puerto en que se va a conectar.



```
PVector rhombroL = new PVector();
PVector rcodoL = new PVector();
PVector rmanoL = new PVector();
PVector rcaderaL = new PVector();
PVector rrodillaL = new PVector();
PVector rpieL = new PVector();

//derecho
PVector hombroR = new PVector();
PVector codoR = new PVector();
PVector manoR = new PVector();
PVector caderaR = new PVector();
PVector rodillaR = new PVector();
PVector pieR = new PVector();

PVector rhombroR = new PVector();
PVector rcodoR = new PVector();

PVector rcaderaR = new PVector();
PVector rrodillaR = new PVector();
PVector rpieR = new PVector();

//variables extras
PVector temp = new PVector();
String data;
float anguloBrazo;
int temporal = 0;

// cuadrantes estos son definidos por profundidad
int profundidad;
int pixel;
int cuadrante1;
int cuadrante2;
int cuadrante3;
```

Figura 84. Declaración de variables extra y definición de sectores(cuadrantes) por profundidad.

En la parte del *void draw*, sección que se repite constantemente, y refiriéndose al *context update*, se realiza una actualización cada vez que el usuario cambia de posición o de sector 30 veces por segundo para ir dibujando en pantalla cómo se mueve éste, también se muestra un arreglo para la detección de varios usuarios cada uno de los cuales presentan diferente color, el número de usuarios dentro de la región sensible es de cuatro por cada Kinect que se utilice; después de lo anterior se presenta una parte del código sumamente importante aquí se indica un *user list* para el número de usuarios y la *joint position skeleton*, en este caso se usa una constante “cabeza” con un número a la cual se le asigna una variable con números grandes pero para hacerlos más visuales se ajustan a la definición de la pantalla que como ya se mencionó es de 680x480 pixeles, la instrucción que se encarga de realizar lo anterior es *convert Real World To Projective* se coloca el vector real y cómo se va a proyectar en la pantalla, esto se realiza con cada una de las partes del cuerpo, cabeza, cuello, hombros, torso, manos, y se dibuja el esqueleto de la persona, la instrucción es *drawSkeleton* y el número de usuario. Ver figura 85.

The image shows two side-by-side screenshots of the Processing IDE window titled 'User_listo | Processing 1.5.1'. The left screenshot displays the `void setup()` function, and the right screenshot displays the `void draw()` function. Both windows show a menu bar (File, Edit, Sketch, Tools, Help) and a toolbar with standard icons. The code is written in a dark-themed editor with syntax highlighting.

```

void setup() {
  size(640, 480);

  context = new SimpleOpenNI(this);
  if (context.isInit() == false) {
    println("No puede iniciar SimpleOpenNI, puede ser que no tiene Kinect conectado");
    exit();
    return;
  }

  // Habilita generacion de mapa de profundidad
  context.enableDepth();

  // Habilita la generacion del esqueleto para todas las Kinect
  context.enableUser();
}

void draw() {
  // Actualiza la camara
  context.update();

  // dibuja la imagen de profundidad
  //image(context.depthImage(),0,0);
  image(context.userImage(), 0, 0);

  // Dibuja el esqueleto si está disponible
  int[] userList = context.getUsers();
  for (int i = 0; i < userList.length; i++) {
    if (context.isTrackingSkeleton(userList[i])) {
      stroke(userClr[ (userList[i] - 1) % userClr.length]);
      /*
       * Se pasan los vectores los valores de los joints
       * y se convierten a valores reales.
       */
    }
  }
}

```

Figura 85. Funciones *void setup* (configuración) y *void draw* (repetición constante del código)

En las instrucciones siguientes, véase figura 86. Se dibuja el centro de masa del usuario que en este caso es solo como referencia. Más adelante se estipulan los sectores los cuales están definidos por la profundidad para la cual se hace uso de un arreglo de valores de profundidad relacionados con un mapeo de profundidad de esos valores, para obtener la profundidad se utilizan las variables “x” y “y” del vector en cuestión y se multiplican por 640 para obtener la variable pixel que una vez vinculada con el arreglo *depthValues* proporciona la profundidad. Como se dijo al inicio de este párrafo una vez conocida la profundidad se estipulan los sectores para las regiones A, B y C, que no son más que las distancias a las cuales se puede colocar el usuario para que sea perfectamente detectado en las zonas sensibles que son observables en el diagrama anteriormente visto.

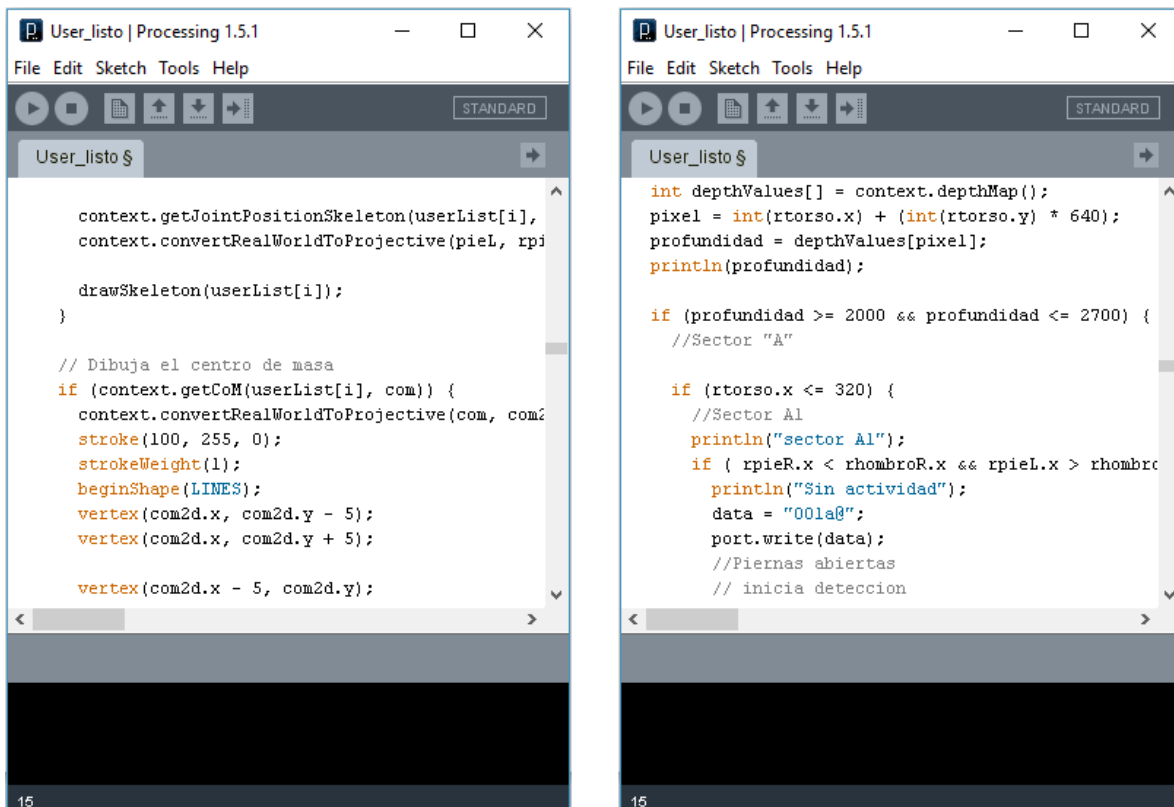


Figura 86. Establecimiento del centro de masa y valores de profundidad en el espacio real.

Cabe aclarar que la profundidad se maneja de acuerdo al color del pixel en la escala de grises, si es blanco se encuentra más cerca del Kinect y si se presenta más oscuro más alejado del

mismo. Para determinar qué tan a la derecha o a la izquierda se encuentre el usuario del Kinect se utiliza el valor nx del torso que es de 640 haciendo referencia al valor máximo.

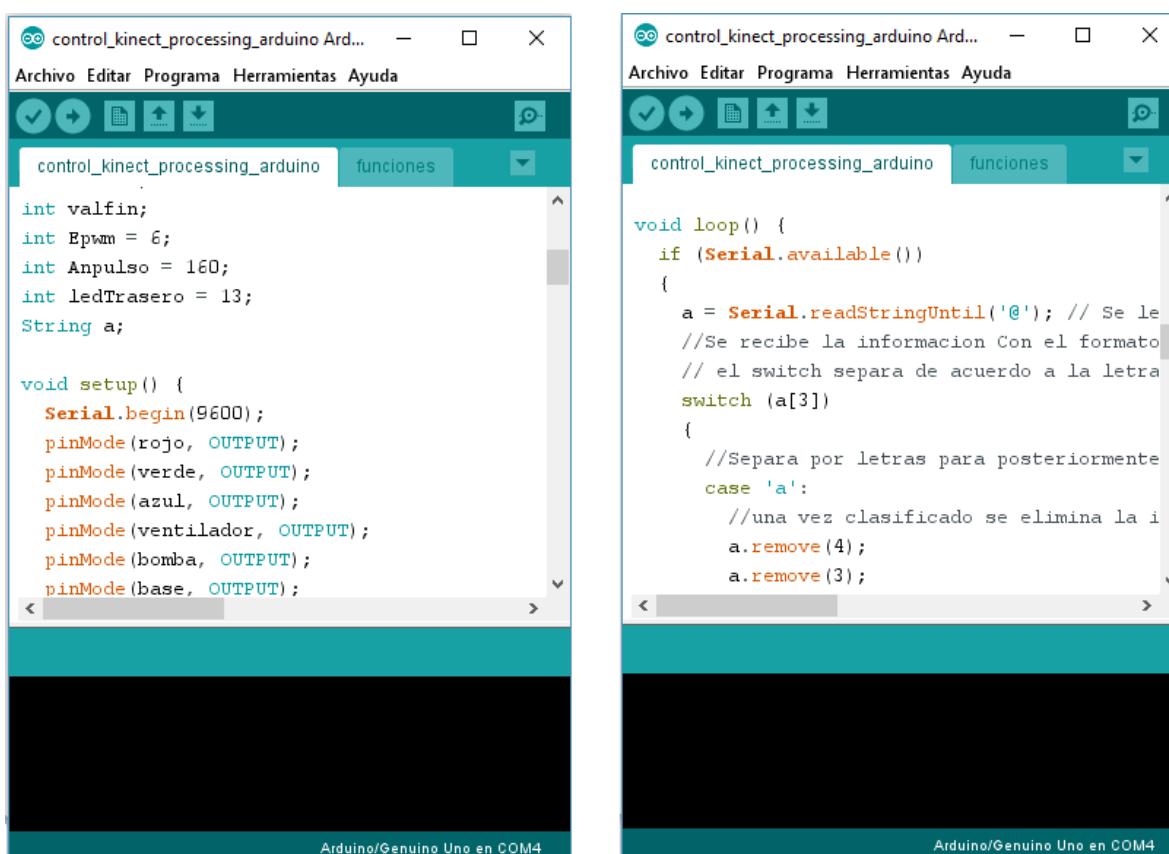
El envío de datos desde Processing a Arduino se realiza de la siguiente forma para ello se utiliza una variable *String*, se envían cinco caracteres, tres son números, otro es una letra y el quinto es una arroba, esta arroba se usa para detener la transmisión de información del puerto serial en Arduino mientras que los otros caracteres se pueden usar como información, así, una posición puede realizar diferentes acciones lo cual se va programando en Arduino, la letra se puede utilizar como filtro para utilizar a su vez una instrucción *switch_case* en Arduino también para su buen funcionamiento, lo anterior se guarda en la variable *data* luego se escribe la función *port.write (data)*, donde *data* es la variable que se envía, esta variable sólo se envía en esa posición y se reemplaza cada vez que se va utilizando una posición diferente.

El código que se escribió se muestra en la sección de anexos, para iniciar con su escritura fue necesario revisar códigos en los cuales se hablaba sobre la detección del cuerpo humano utilizando Processing y un pequeño ejemplo de Max Rheiner sirvió como pauta para escribir el código que resuelve la detección y envío de datos hacia Arduino.

El código realizado, ofrece la posibilidad de poder ejecutar múltiples acciones y se pueden agregar más funciones si la necesidad de detección lo requiere, o sea, si se desea colocar en el escenario una cantidad mayor de elementos que respondan a diversas posiciones del cuerpo humano es posible. La activación de la música, así como la desactivación de ella y el cambio de *track*, se controlan desde *Processing* ningún dato es enviado a Arduino para tal efecto (*ver anexo*).

7.10 Diseño del programa en Arduino

El código para el programa en Arduino, es más sencillo; está estructurado primeramente con las asignación de las variables a utilizar, ver figura 87. La configuración de cada uno de los pines como entrada o salida y el respectivo código que se repite constantemente en el *void loop()*, formado por las sentencias *switch()_case*, más adelante fuera del *void loop* se encuentran las funciones que identifican las acciones a realizar cuando Processing envíe a Arduino la orden para que los circuitos de electrónica de potencia se pongan en funcionamiento (*ver anexo*).



```
int valfin;
int Epwm = 6;
int Anpulso = 160;
int ledTrasero = 13;
String a;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(rojo, OUTPUT);
  pinMode(verde, OUTPUT);
  pinMode(azul, OUTPUT);
  pinMode(ventilador, OUTPUT);
  pinMode(bomba, OUTPUT);
  pinMode(base, OUTPUT);
}
```

```
void loop() {
  if (Serial.available())
  {
    a = Serial.readStringUntil('@'); // Se le
    //Se recibe la informacion Con el formato
    // el switch separa de acuerdo a la letra
    switch (a[3])
    {
      //Separa por letras para posteriormente
      case 'a':
        //una vez clasificado se elimina la i
        a.remove(4);
        a.remove(3);
    }
  }
}
```

Figura 87. Código en Arduino para la comunicación con Processing.

7.11 Diseño de las interfaces de potencia periféricas a la tarjeta Arduino

Para poder activar cada uno de los elementos del escenario, dígame lámparas, base giratoria, telón, ventilador, bomba de humo y luz trasera, es necesario que Arduino reciba las instrucciones que le llegan desde Processing y active el o los elementos indicados para la posición del cuerpo humano que correspondan.

Cuando Arduino recibe la orden, activa la salida ligada al elemento en cuestión, este pulso se introduce a un circuito electrónico, el cual proporcionará las condiciones ideales en corriente y voltaje, para que el elemento funcione correctamente, en seguida se describirán los circuitos electrónicos utilizados para cada elemento dentro del escenario.

7.11.1 Accionamiento de telón

El circuito electrónico utilizado para abrir y cerrar el telón está constituido por un puente H, el circuito integrado que lo incluye es el L293D. Ver figura 88.

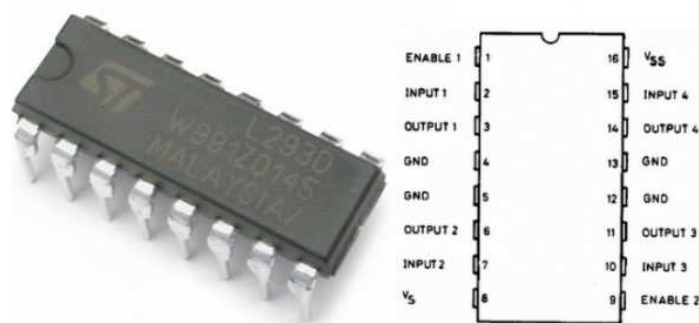


Figura 88. Circuito integrado L293D

El L293D permite el control del sentido de giro de un motor de corriente directa desde Arduino, existen dos sensores importantes llamados sensores de final e inicio de carrera que no son más que interruptores de palanca, Véase figura 89. Son importantes porque, por ejemplo, el sensor de inicio de carrera debe estar siempre cerrado para poder mandar la orden

para que se abra el telón, por lo tanto, cuando el sistema es iniciado, se verifica que este sensor este en la posición inicial, es decir, activado bajo, de no ser así, el telón se cierra automáticamente, por otra parte, el sensor de final de carrera permite saber si el telón quedo totalmente abierto, para después poder dar la orden para que se cierre el telón.



Figura 89. Interruptor para inicio y final de carrera

El motor debe tener la fuerza suficiente para poder mover el mecanismo del telón y poder controlar su velocidad y sentido de giro, el motor utilizado para este fin es un motorreductor, o sea, un motor de corriente directa unido a un sistema de engranajes que le permite mover cargas grandes y reducir la velocidad de giro. Ver figura 90.



Figura 90. Motorreductor

El mecanismo del telón está compuesto por cuatro poleas y una cuerda los cuales van unidos a la polea principal colocada en el motorreductor, como se muestra en la figura 91.

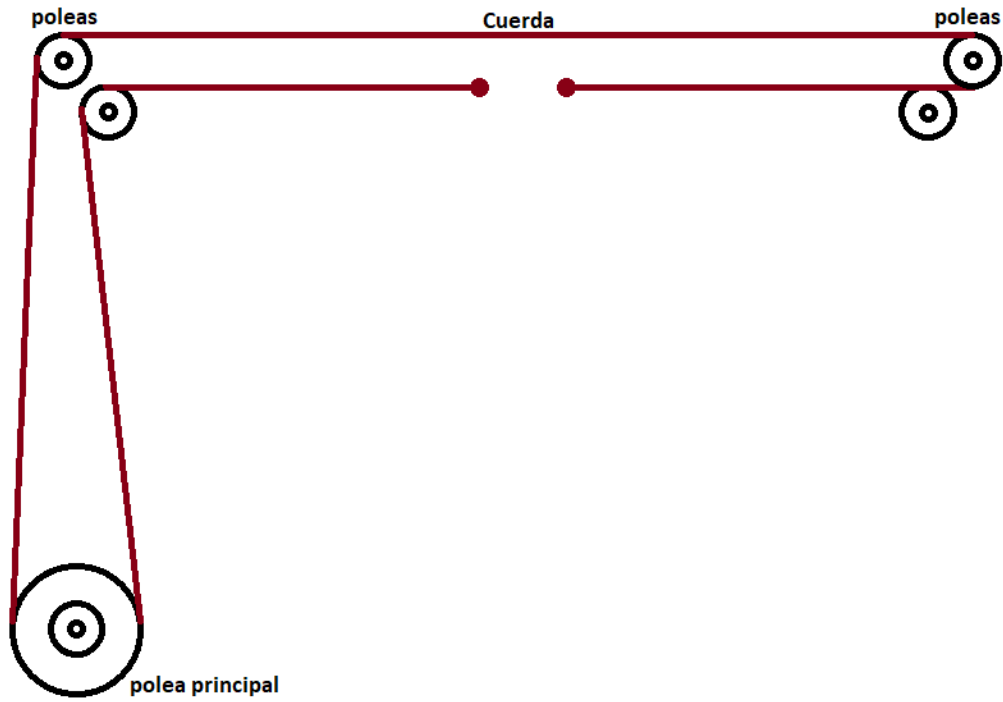


Figura 91. Sistema mecánico del telón

el circuito esquemático para el sistema de control electrónico es el de la figura 92 que a continuación se observa.

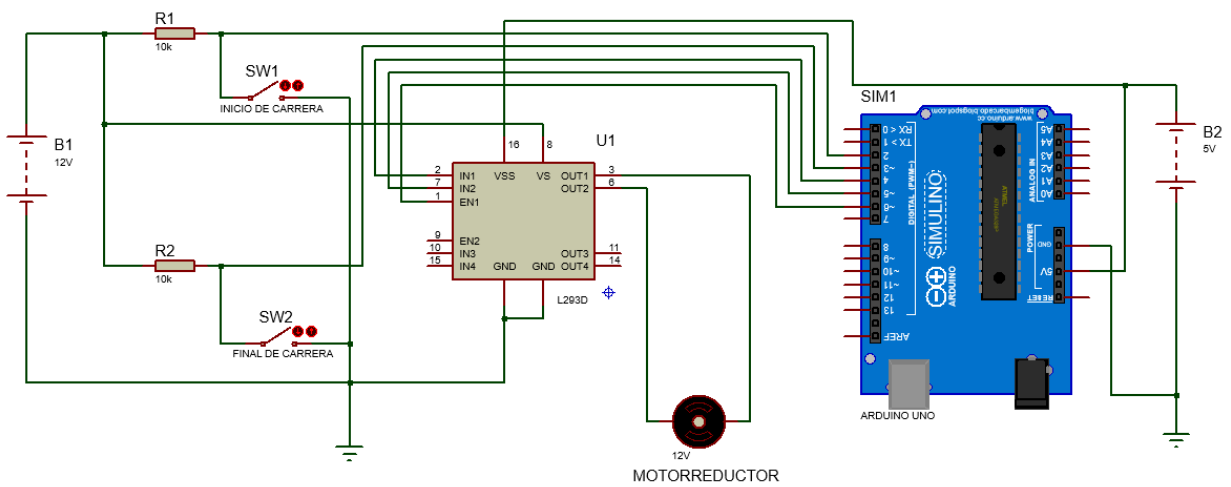


Figura 92. Circuito esquemático del sistema electrónico para el control del telón

7.11.2 Accionamiento de los LED de potencia RGB

En todo escenario deben existir lámparas, que tengan la posibilidad de cambiar el color de la luz, el circuito creado permite encender uno o más LED RGB (diodo emisor de luz roja, verde y azul).

Cuando se realiza la posición de encendido de luces, estas se encienden en blanco, es decir, todos los colores encendidos, a medida que se realicen las posiciones correspondientes, se puede cambiar a luz roja, verde, azul o algún color previamente contemplado, también existe una posición para apagar las luces.

El circuito esquemático que permite visualizar las conexiones entre los diferentes componentes electrónicos es el de la figura 93, se menciona que todos los circuitos esquemáticos fueron realizados en Proteus 8:

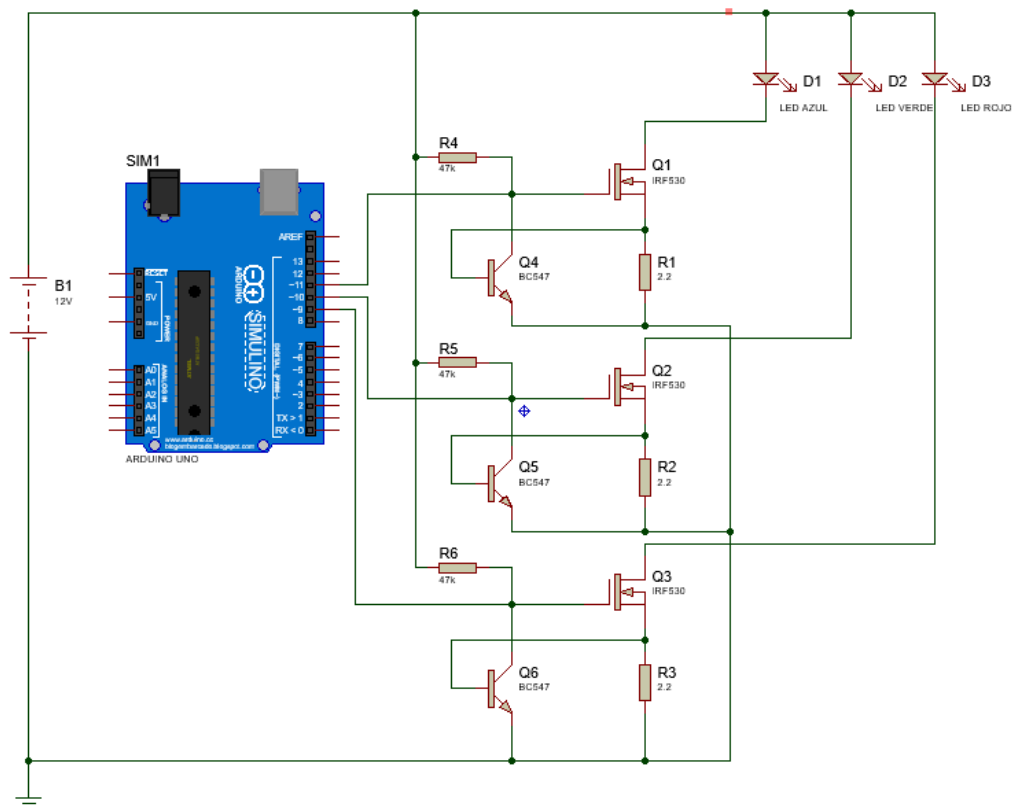


Figura 93. Circuito esquemático del controlador de LED's RGB de potencia (3 Watts).

7.11.3 Accionamiento del ventilador

Para encender el ventilador se dispone del siguiente circuito esquemático de la figura 94, en él están incluidos los dispositivos electrónicos que también accionan la bomba de humo y la retroproyección simulada, el elemento seleccionado para poder activar y desactivar es el IRF530 Mosfet de potencia que se comporta como un interruptor, controlado desde el Arduino.

El resistor que se observa se utiliza para controlar la cantidad de corriente que llega a los LED de potencia que sirven como simulación de retroproyección.

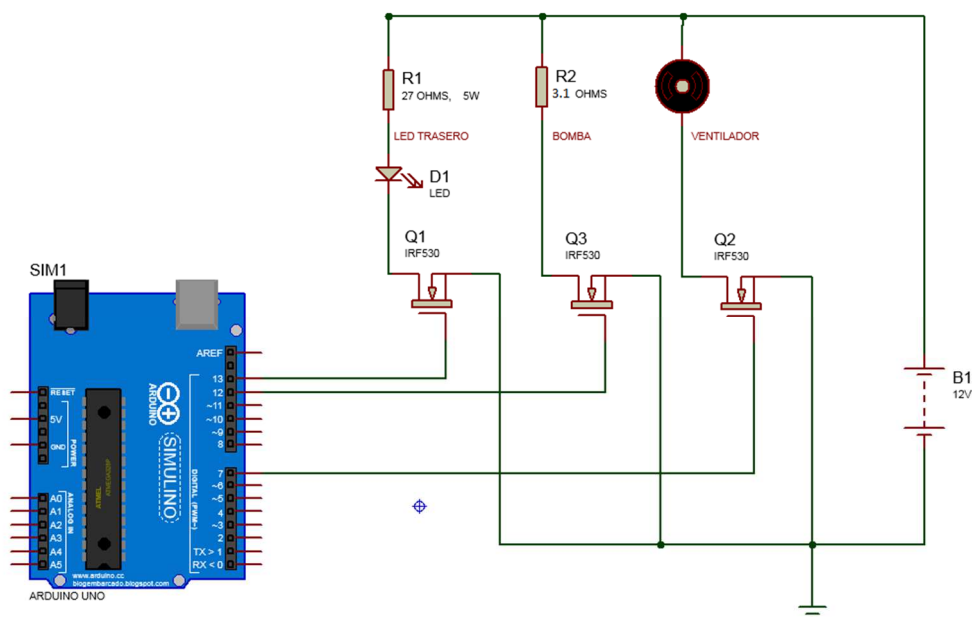


Figura 94. Circuito esquemático del control para LED's, bomba de humo y ventilador

7.11.4 Accionamiento de la bomba de humo

La bomba de humo es un caso especial, debido a que se necesita tener un control preciso de la corriente eléctrica que circula por el resistor de 3.1 Ohms, observado en la figura 94, que en realidad es un alambre de nicromel (aleación de níquel 80% y cromo 20%) de calibre 22 con propiedades adecuadas para altas temperaturas, que se encarga de quemar una mezcla de glicerina, alcohol etílico y agua destilada para provocar el humo, la corriente para 5 volts es

de aproximadamente 1.6 Amperes por lo cual se debe colocar un regulador de voltaje que entregue de forma precisa los 5 Volts y también debe soportar la corriente indicada anteriormente, esto se hace porque el voltaje de alimentación es de 12 Volts.

Otra forma de resolver este punto es aumentar la resistencia colocando un alambre de mayor calibre como el # 26, con lo anterior no se requiere regulador si se alimenta a 12 volts, ya que la resistencia con 1 metro de alambre se encuentra en los 10 Ohms, lo que arroja una corriente de 1.2 Amperes.

7.11.5 Accionamiento de la base giratoria

La base giratoria, se compone de un motorreductor, pero este es alimentado por 120 Volts de corriente alterna, como puede observarse en la figura 95, por lo tanto para evitar problemas al microcontrolador y a la computadora se seleccionó el ópticoacoplador MOC3011 que internamente tiene un LED y un óptotriac el cual alimenta al *gate* del TRIAC de potencia MAC218A6 que recibe la alimentación de alterna y controla el encendido del motorreductor.

Para evitar picos de voltaje que puedan encender accidentalmente al motor se contempla una red *snubber* formada por un resistor y un capacitor en paralelo con el TRIAC, como protección contra ese problema en vista de que la carga es del tipo inductiva.

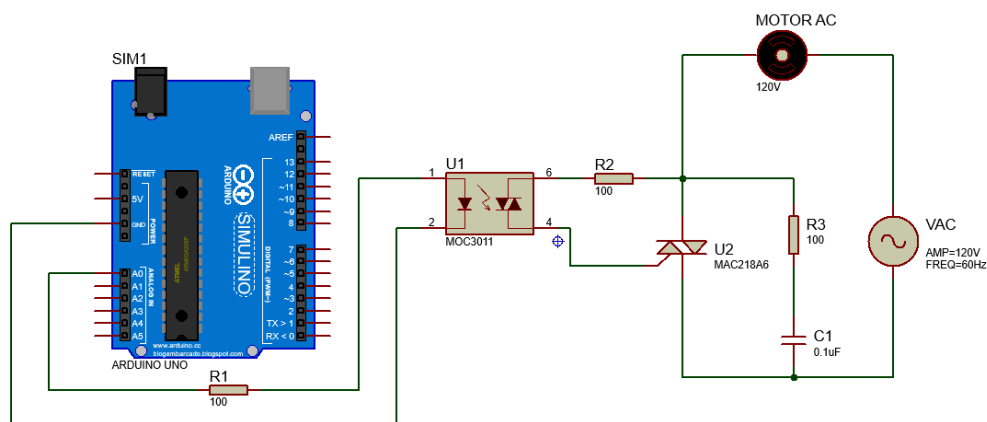


Figura 95. Circuito esquemático del control de corriente alterna para el motor de la base giratoria

7.11.6 Accionamiento de la retroproyección simulada

La retroproyección se logra por el encendido de dos LED de potencia colocados en la parte trasera de la pantalla y a la mitad de ésta. El circuito consta de un resistor de 27 Ohms a 5 Watts y están colocados en serie, el encendido se realiza desde Arduino cuando se alimenta la terminal gate del mosfet de potencia IRF530.

Obsérvese el diagrama esquemático de la figura 96 que muestra la colocación de cada uno de los componentes y la interconexión de sus componentes electrónicos.

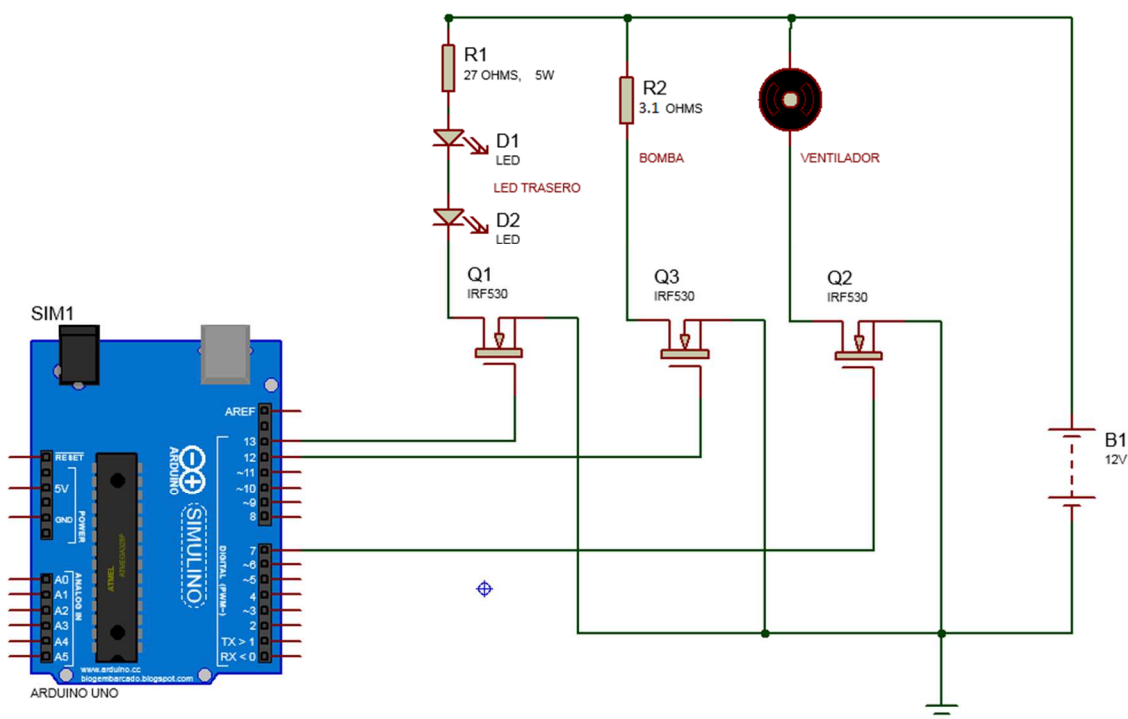


Figura 96. Circuito esquemático del control para LED's, bomba de humo y ventilador alimentados a 12 Volts

7.11.7 Accionamiento de las pistas de audio

La activación de las pistas de audio se realiza desde la detección de la posición correspondiente del esqueleto, no se necesita ningún circuito, en realidad la posición de activación da la orden al Kinect, quien envía la información directamente a Processing, en

este último se colocó una librería llamada Minim que permite controlar audio, en el caso relativo a este trabajo, se puede activar, desactivar y cambiar de *track*.

En la maqueta se colocan dos pequeñas bocinas en la estructura metálica que simulan bafles, la activación del audio sirve para ambientar la escena, estas bocinas van colocadas mediante un cable *mini_plug* a *mini_plug* en la salida de audio estéreo de la computadora.

7.12 Construcción de los módulos del sistema electrónico

7.12.1 Módulo electrónico para el telón

En la figura 97, se pueden observar tres placas fenólicas de este módulo a la izquierda se muestra el circuito completo con conectores molex paso 100 (color hueso) para la conexión con los interruptores de final e inicio de carrera y el motor, el conector de mayor tamaño parte superior del circuito es para las conexiones con Arduino, un conector jack para plug invertido para la alimentación de 12 volts a la izquierda y el circuito L393D colocado en la parte central. Las otras dos vistas son: en el centro la placa en proceso de fabricación y a la derecha la placa ya corroída y lista para el montaje de los componentes electrónicos.

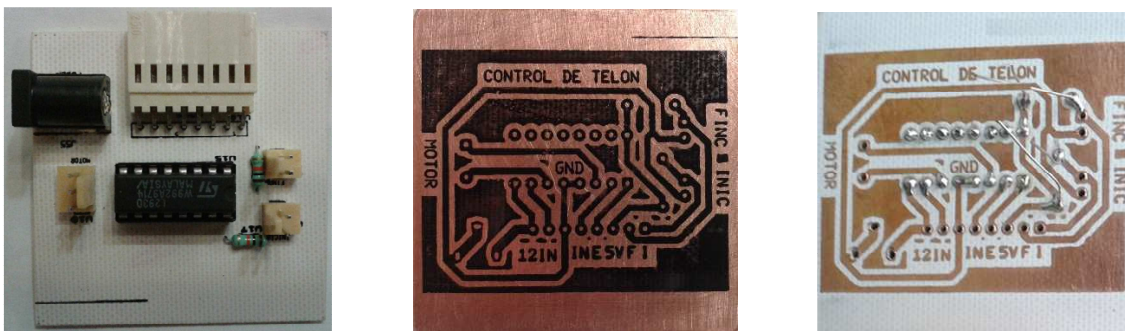


Figura 97. Circuito para el control electrónico del telón y vistas del circuito impreso

7.12.2 Módulo electrónico para los LED's de potencia RGB

En la figura 98 se aprecian dos vistas de este módulo, vista superior e inferior respectivamente, los conectores moles paso 100 machos, son para las conexiones de los LED's RGB de potencia, la alimentación de 12 volts de corriente directa y la respectiva conexión con los pines de Arduino, pueden observarse los tres transistores de potencia IRF530, cada uno de ellos para el control de cada color, este arreglo permite disminuir el calentamiento de los transistores debido al paso de corriente hacia los LED's por lo que no es necesario utilizar disipadores de calor.

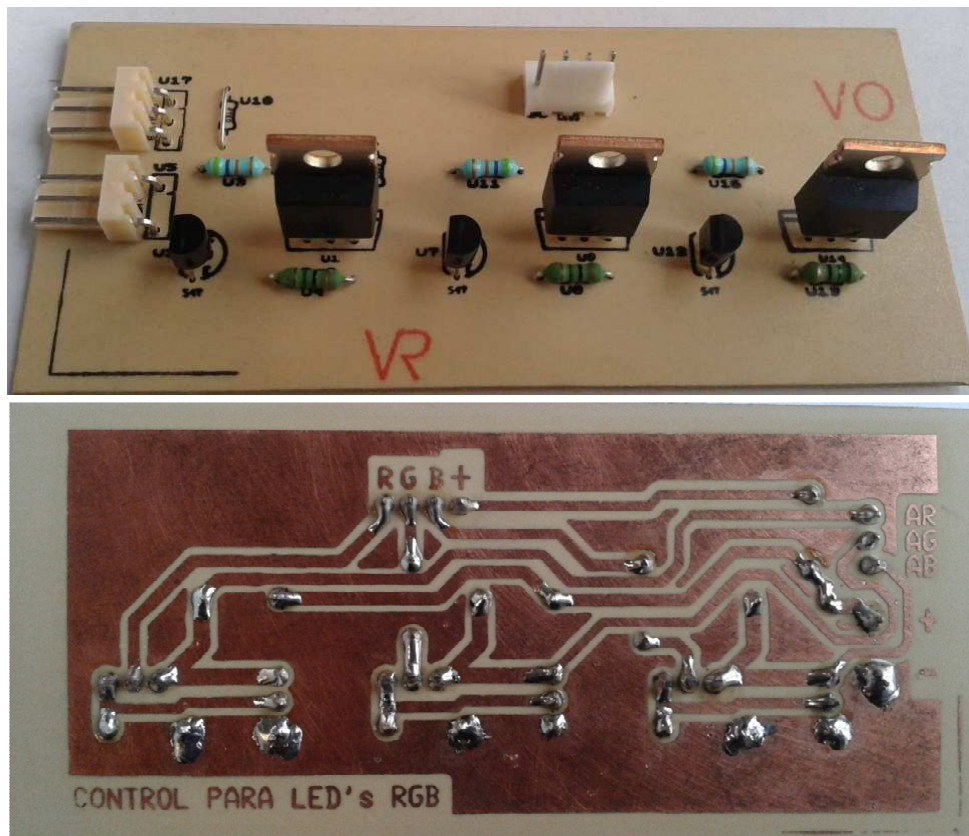


Figura 98. Circuito para el control de LED's RGB y vista inferior del circuito

7.12.3 Módulo electrónico para el ventilador, bomba de humo y retroproyección

En la figura 99, se presenta el módulo correspondiente para el control de potencia de la bomba de humo, ventilador y retroproyección, también se utiliza el Mosfet de potencia IRF530 debido a su versatilidad, se observan los conectores molex paso 100 correspondientes para las conexiones con Arduino y cada uno de los elementos a controlar ya mencionados, se aprecia en la parte inferior del circuito del lado izquierdo un Jack para plug invertido que se utiliza para la alimentación de 12 volts de corriente directa, en la figura del lado derecho se observa la parte inferior del circuito, lado de cobre.

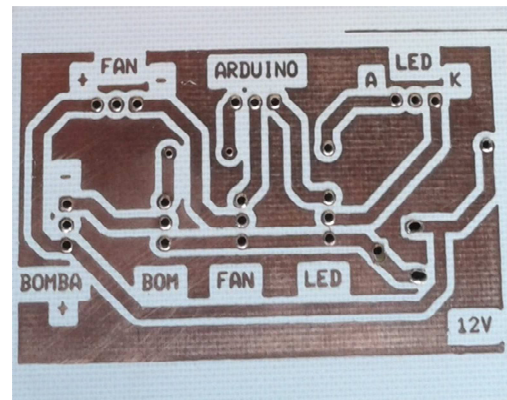
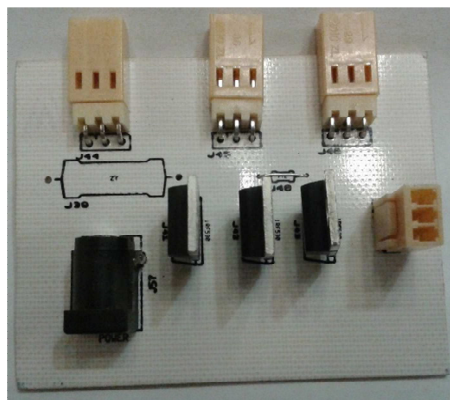


Figura 99. Circuito para el control del ventilador, bomba de humo y retroproyección, el resistor indicado en la primera imagen es de 27 Ohms a 5 Watts, vista inferior del circuito

7.12.4 Módulo electrónico para la base giratoria

Éste módulo observado en la figura 100, muestra los pocos componentes necesarios para realizar el control del motor de corriente alterna (ca). Se puede apreciar un pequeño circuito integrado en color hueso de seis pines, éste es el optoacoplador con salida Triac, que permite realizar la conexión óptica entre Arduino y el Triac de potencia evitando con ello cualquier daño a la etapa de control digital. El Triac es un tiristor y su nombre deriva de Triodo de corriente alterna, se le conoce como dispositivo bidireccional debido a que permite la conmutación de los dos semiciclos presentes en la corriente alterna.

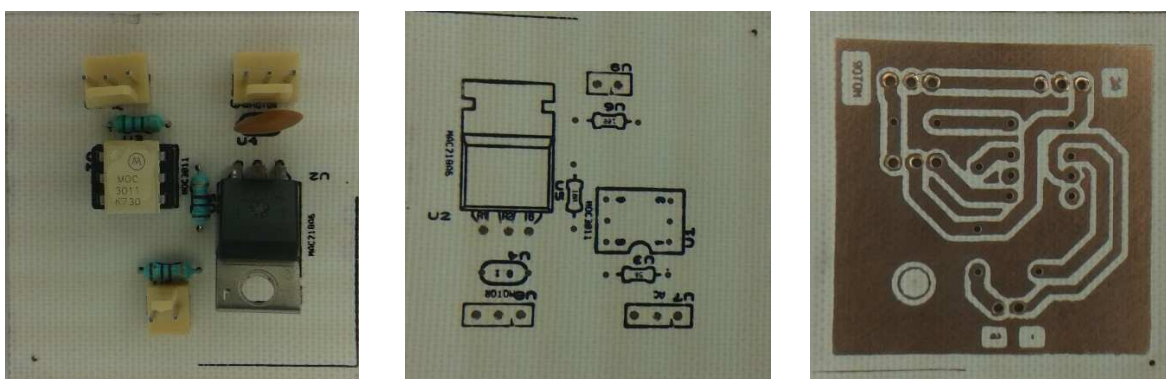


Figura 100. Circuito para el control de la base giratoria, vista de componentes, serigrafía superior y finalmente vista inferior

7.12.5 Sistema de audio

Para el sistema de audio, se utilizan dos pequeñas bocinas colocadas en la parte vertical de la estructura metálica, ambas se conectan a un pequeño amplificador de audio estéreo que hace uso del circuito integrado PAM8403 que es alimentado por 5 volts de corriente directa a través de un regulador de voltaje LM7805.

Los pequeños bafles que contienen las bocinas fueron diseñados en el programa SolidWorks e impresos en una impresora 3D RepRap Prusa i3 autoreplicable.

La potencia del pequeño amplificador es de 3+3 Watts lo que da un total de 6 Watts, que es ya un sonido considerable y completamente aceptable para el presente trabajo.

A continuación, se muestran las imágenes de los elementos mencionados, ver figuras 101 y 102.

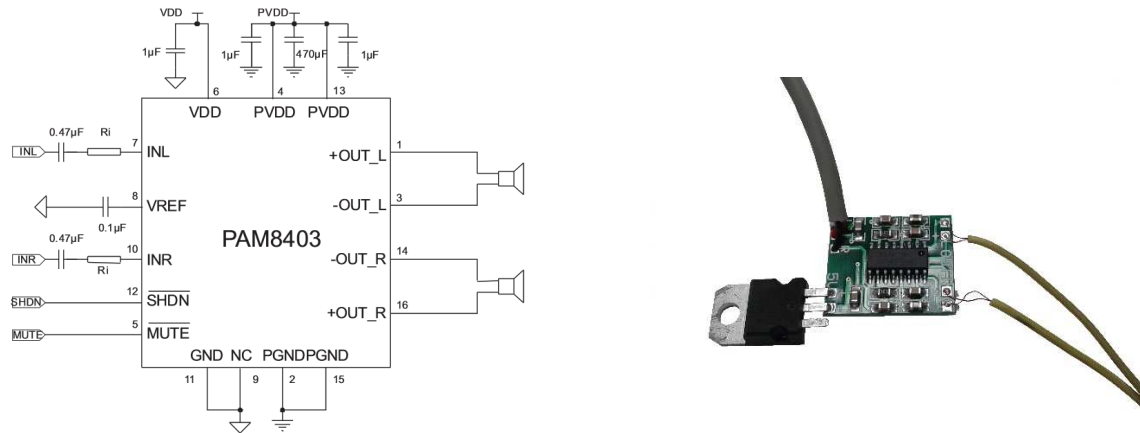


Figura 101. A la izquierda circuito esquemático del amplificador y a la derecha PCB y componentes

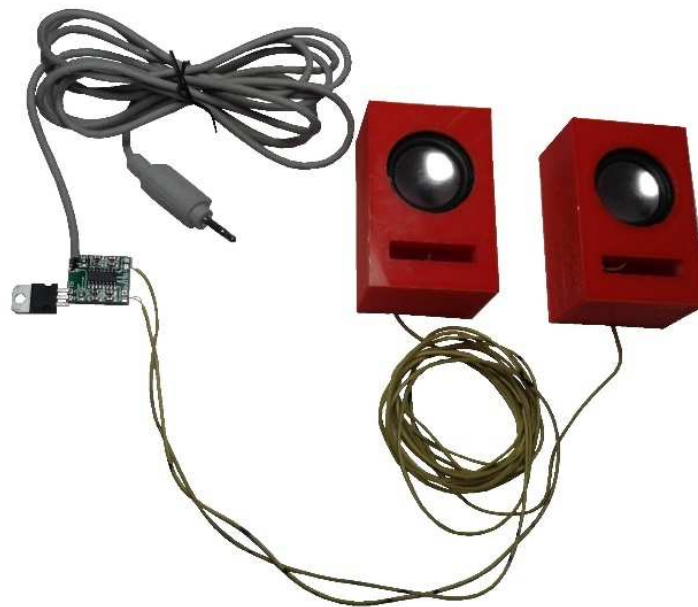


Figura 102. Sistema de audio completo

Capítulo 8. Evaluación del diseño

8.1 Pruebas y correcciones de los módulos electrónicos conectados a Arduino e imágenes reales de la maqueta.

En general, prácticamente todos los circuitos funcionaron de forma satisfactoria, a excepción del circuito para el control de la base giratoria, en este circuito se realizaron varios cambios, tanto en el circuito electrónico como en el motor que se estaba usando. Como primera opción se eligió un motor a pasos, el cual según el fabricante tenía 1.8° por paso, es decir, 200 pasos en una vuelta completa y alimentado con 12 V de corriente directa. A velocidades moderadas el funcionamiento era muy bueno, no obstante, cuando la velocidad fue disminuida y se le colocó la base giratoria, este perdió fuerza y no lograba vencer la inercia provocando saltos de forma irregular. Se desechó la idea de implementar el mecanismo con ese motor.

Otra opción para resolver el problema que se estaba presentando, era utilizar un servomotor de rotación continua, la característica principal en este tipo de motores es que a partir del ancho de pulso que se seleccione puede rotar en sentido horario o anti horario, además se puede variar su velocidad y para calibrar la posición de punto muerto (parado) que es a 90° posee un potenciómetro. En un inicio funcionó estupendamente, pero a medida que pasaba el tiempo sufría desajustes lo que nuevamente motivo a realizar su cambio.

Finalmente, después de una concienzuda búsqueda, se adquirió un motorreductor de corriente alterna, que además de ser económico es silencioso y posee un torque excelente. Se realizó el diseño del circuito para su encendido el cual funcionó bien al principio, pero también después de un tiempo de funcionamiento no apagaba el funcionamiento del motor, se realizaron pruebas cambiando componentes, sin lograr beneficios. Lo anterior llevo a investigar las causas de este mal funcionamiento del circuito, arrojando diversas causas, una de ellas era que el dispositivo electrónico de estado sólido llamado TRIAC se estaba disparando erróneamente y por ende el apagado no se llevaba a cabo, aunado a lo anterior el motor es un elemento inductivo por lo que era necesario considerar en el diseño del circuito elementos de protección para evitar los transitorios presentes en la alimentación doméstica y disparar el TRIAC en el cuadrante correcto y desde luego apagarlo de forma eficiente. Se realizó el diseño del nuevo circuito, el cual satisfizo completamente las condiciones para un correcto funcionamiento del sistema electrónico encargado de esta etapa.

En el sistema mecánico del telón se tuvieron que ajustar las posiciones de los interruptores encargados de indicar el inicio y el final de carrera, para que el telón se abriera y cerrara adecuadamente y evitar así que una vez iniciada la detección del cuerpo humano, no se activara o tuviera mal funcionamiento.

En la figura 103 se muestra la maqueta del escenario que se construyó para este trabajo que incluye, la estructura metálica donde se coloca el telón, el espacio para la base giratoria, la pantalla trasera y las pequeñas lámparas en la parte superior de la estructura, dentro de esta estructura se ubican las poleas, la cuerda, los interruptores para el inicio y final de carrera y el motor que mueve el telón.

La maqueta con todos los elementos colocados tiene un peso de aproximadamente 5 kg y es posible a futuro la colocación de otras estructuras que permitan colocar más lámparas, tanto en los costados de las mismas como en la parte superior, pudiendo con ellos iluminar un mayor espacio dentro del escenario, el sensor Kinect puede colocarse sobre las columnas de la estructura, a los costados del escenario o al centro de éste, finalmente es un dispositivo de poco volumen que no representa un obstáculo visual para el espectador.

El material utilizado para la construcción de la maqueta fue MDF de 6 mm de espesor, el corte de las piezas fue hecho con láser y cada pieza pegada con resistol 850, para tapizar toda la superficie superior se utilizó contac negro de 33 cm de ancho (vinil con adhesivo), la estructura metálica fue construida con alambre galvanizado calibre 16 y cada punto se soldó con cautín de lápiz de 40 watts.

El cableado para las conexiones se consideró de acuerdo a la cantidad de corriente que circularía por ellos, por lo que existen diversos calibres, una sola fuente de alimentación de corriente directa fue utilizada para abastecer de energía a todo el sistema, salvo una derivación de corriente alterna para la alimentación de la base giratoria, además la fuente de alimentación tiene protección contra corto circuito evitando con ello un posible daño al propio sistema o al usuario.

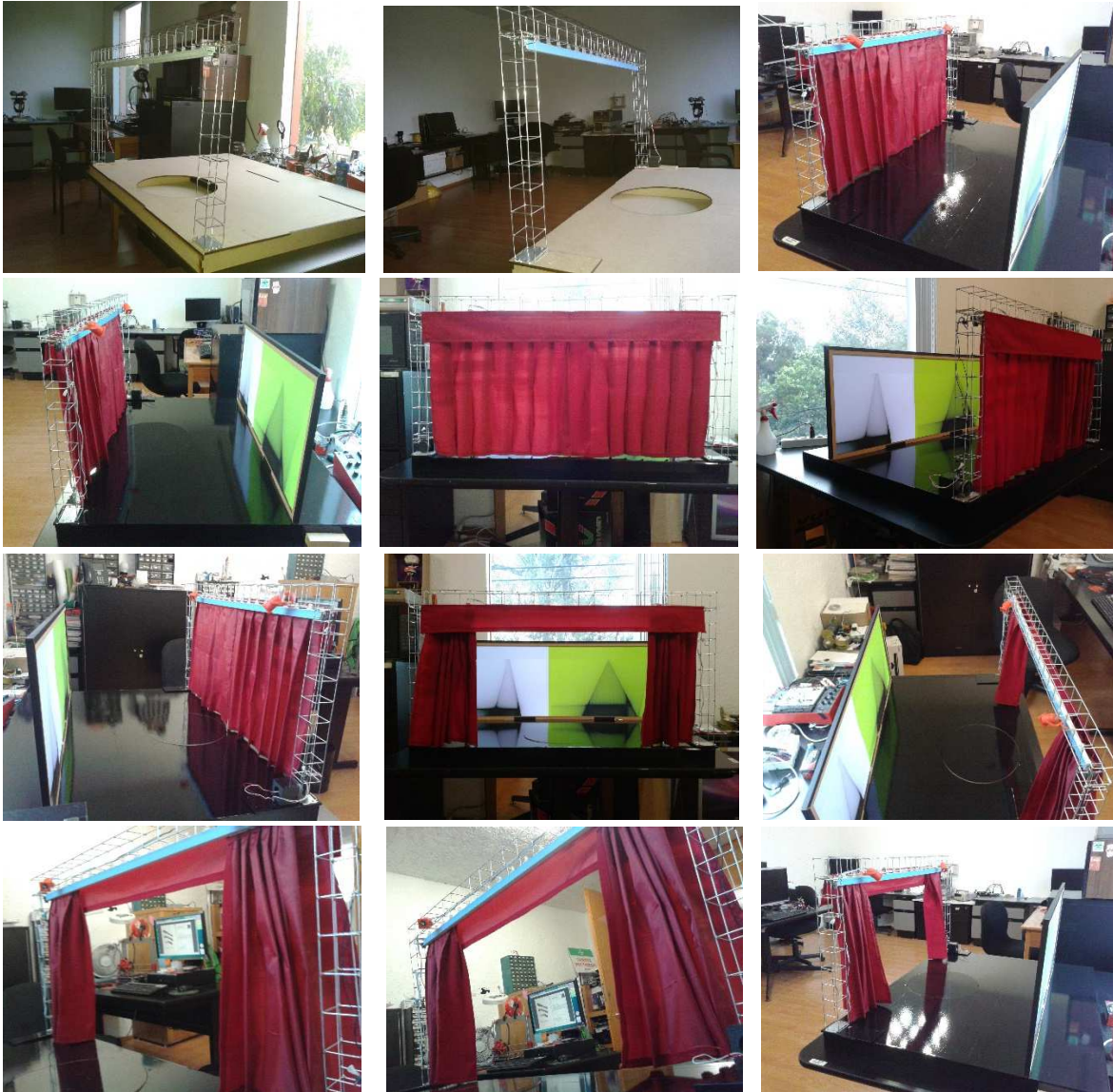


Figura 103. Diversas vistas de la maqueta creada para el sistema electrónico y Kinect

8.2 Pruebas finales entre usuario y el sistema para la detección del cuerpo humano

Una vez que se concluyó la construcción de la maqueta, habiendo colocado todos los elementos a ser activados, se realizaron las pruebas finales.

Para ello se ajustaron las distancias de detección y se marcaron cada uno de los sectores en las regiones correspondientes sobre el piso, y se estimaron las alturas de detección para cada posición, considerando los brazos extendidos hacia los lados y levantados.

Se observó que la ropa oscura no favorece de forma adecuada la detección, por lo cual, se debe considerar ropa de tonos claros para evitar esta falla, no utilizar chamarras o ropa demasiado holgada, preferentemente cuando se quiera usar el sistema debe ser en lugares iluminados artificialmente, dado que la luz solar contiene todo tipo de radiaciones y la infrarroja que es con la que trabaja el sensor Kinect se ve afectada debido a errores en la detección de cuerpos si se expone al aire libre y en presencia de luz natural.

Los objetos colocados entre el sensor Kinect y el cuerpo humano, también deben evitarse, a menos que estos sean de un volumen reducido como lo son percheros, postes, cables, en fin, objetos que no interfieran u obstaculicen la llegada de los puntos de luz infrarroja desde el proyector de infrarrojo al cuerpo humano y desde éste a la cámara de infrarrojos que posee el sensor Kinect.

Se realizaron todas las pruebas necesarias y finalmente se aceptó el funcionamiento, no sin antes considerar todo lo anterior, se menciona que, por ser una radiación infrarroja, el sensor puede trabajar perfectamente en la oscuridad, es decir, en ausencia de luz visible.

Conclusiones

En esta tesis se diseñaron, desarrollaron y construyeron interfaces electrónicas que fueron integradas a un sistema controlado por el cuerpo humano a través del sensor Kinect con la finalidad de crear un ambiente interactivo dentro de las artes escénicas. Lo anterior se logró por medio de la detección del cuerpo humano y por el método de seguimiento del esqueleto (*skeleton tracking*) a través de la librería SimpleOpenNI.

El reconocimiento de voz, que es otra poderosa forma de dar instrucciones al sensor Kinect, no fue considerada en este trabajo debido a que la librería SimpleOpenNI no contemplaba tal soporte para el lenguaje español.

El diseño de las interfaces electrónicas que se utilizaron y que fueron colocadas en la maqueta para el funcionamiento del telón, base giratoria, luces, ventilador, cámara de humo y retroproyección, pueden ser utilizadas en escenarios de mayores dimensiones, siempre y cuando los dispositivos electrónicos de potencia se reemplacen por otros de mayor capacidad, considerando también el nuevo calibre de cables, disipadores de calor, fusibles de mayor amperaje y conectores industriales, para evitar daños y un mal funcionamiento al sistema que se creó.

Todas las interfaces se probaron ampliamente y se obtuvo un funcionamiento óptimo de cada una de ellas. Es importante indicar que la interfaz para la activación de la base giratoria fue la que mayores problemas presentó. Como primera opción se seleccionó un motor a pasos, al controlar la velocidad de ese motor se encontró que a bajas velocidades perdía fuerza lo que impedía un buen funcionamiento a una baja velocidad, por lo que se decidió cambiar el motor a pasos por un servomotor de rotación continua. El funcionamiento de ese motor, a pesar de entregar un torque eficiente no fue aceptado porque perdía la calibración después de un tiempo de operación. Finalmente se optó por un motorreductor de corriente alterna, silencioso y con una fuerza mayor a la de los motores que se estaban reemplazando, el principal problema consistió en el diseño del circuito de control debido a que se podía encender, pero no se apagaba cuando se le enviaba la orden. La solución fue diseñar otro circuito electrónico considerando las recomendaciones que el fabricante del dispositivo ofrecía, agregándole un circuito de protección llamado red snubber para evitar posibles disparos erróneos debidos a fluctuaciones en la red eléctrica. El circuito para el control de la base giratoria funcionó sin mayores problemas después de esa modificación.

Otro ajuste que se realizó fue el correspondiente a la sección del telón y con respecto al accionamiento de los sensores de inicio y final de carreras, esta sección fue de suma importancia, ya que, si no cerraba bien el telón no se podría activar el cierre y apertura de este a través de las posiciones corporales, habiendo realizado este ajuste y revisado el funcionamiento, se dio por aceptado.

Una vez comprendido el funcionamiento del sensor Kinect se determinó el uso de los programas Processing, Arduino y SimpleOpenNI por ser los que cumplieron con los requerimientos para la generación del código y la detección del esqueleto humano. Así, se inició la selección de varias posiciones corporales comunes en bailarines de danza contemporánea. Las posiciones corporales permitieron accionar diferentes elementos en el escenario y desactivarlos también.

Los códigos diseñados en Processing y Arduino facilitaron la detección de las posiciones corporales y aumentaron la eficiencia del flujo de datos, evitando al máximo los errores que el usuario del sistema pudiera cometer. De esta forma, la maqueta como prototipo de un escenario, ofreció la visualización en tiempo real, del funcionamiento de los elementos considerados para cada posición corporal.

La determinación del espacio sensible para que el usuario del sistema fuera detectado en cada uno de los sectores, se realizó en un espacio con las dimensiones reales. Por lo tanto, cada posición real, activó un elemento dentro del escenario a escala. Lo anterior fue una forma de que el usuario supiera qué sucedía mientras se movía y adoptaba las posiciones correspondientes a cada elemento a activar, brindándole así, la visualización de sus acciones dentro del escenario a escala cuando se encontraba frente al sensor Kinect.

El sistema que se creó es versátil y fácil de utilizar, basta con encender la computadora, el Kinect y ejecutar el programa diseñado en Processing, el usuario se debe colocar frente al sensor Kinect dentro del espacio sensible que se determinó y ejecutar las posiciones seleccionadas en cada uno de los sectores de cada región. Mientras no se realicen las posiciones clave para el accionamiento de los elementos dentro del escenario el usuario puede realizar otras acciones dentro y fuera del espacio sensible, es decir, puede moverse libremente sin que por ello se ejecuten más acciones dentro del escenario.

Los inconvenientes que se encontraron para una excelente detección del sensor Kinect están los siguientes: El espacio escénico debe estar libre de luz natural. La distancia de detección a pesar de cubrir un área aceptable para una persona, no lo es, si interviene un mayor número de personas. El vestuario deberá ser preferentemente de colores claros y ceñido al cuerpo, los tonos oscuros de ropa, no reflejan adecuadamente la luz que llega a la cámara de infrarrojos causando problemas en la detección del cuerpo. No debe haber objetos entre el usuario y el sensor Kinect, si es inevitable, estos deben ser de muy poco volumen. Por último, es completamente necesario que las posiciones se realicen adecuadamente, de no ser así, las acciones dentro del escenario que se quieran realizar no se llevarán a cabo.

Este trabajo no solo es aplicable a la detección de una persona o personas dentro de un escenario, puede ser aplicado en múltiples espacios, como el hogar, la escuela, la oficina, un hospital, centros de trabajo, donde las detecciones de las posiciones corporales permitan activar dispositivos que interactúen o simplemente resuelvan alguna necesidad. Las posibilidades de aplicación que se tienen con sensores como el Kinect son enormes, la detección de movimientos oculares, la ejecución de órdenes por medio de palabras (audio), la detección de los dedos, movimientos faciales, los métodos para la detección del cuerpo humano y la activación de objetos por nube de puntos o por escala de grises (profundidad), brindan infinidad de oportunidades de diseño y desarrollo de sistemas “inteligentes”, capaces de cambiar nuestra manera de vivir.

En base a la investigación realizada se considera que el sistema desarrollado para la detección del cuerpo humano y en especial para efectos escénicos, puede ser atractiva para artistas que basan sus obras en aplicaciones tecnológicas, sobre todo si resuelve gran parte de la problemática a la que se enfrenta cuando necesita utilizar un escenario aplicando sus propios medios y recursos. Llevar los nuevos medios a espacios poco explorados abre la posibilidad de crecimiento y de que una mayor parte de la sociedad sea beneficiada con ellos.

La mayor parte de los trabajos realizados con el sensor Kinect para las artes escénicas, están orientados a medios como el video y la música, los trabajos para el accionamiento de elementos escénicos comandados por el cuerpo del propio bailarín o actor, en general no están registrados en la Internet o en libros o se sabe poco de ellos, por tal razón un escenario “inteligente” como el diseñado para este trabajo representa una herramienta importante para

el desarrollo de las artes escénicas, en especial, para profesionales que desean experimentar y explorar puestas en escena con estos medios tecnológicos.

Queda abierta la posibilidad de agregar al sistema un número mayor de elementos que puedan resolver otras necesidades dentro del escenario, el código puede ir creciendo sin que por ello resulte más complejo, las estructuras diseñadas permiten ese crecimiento tanto en Processing como en Arduino.

Para concluir cabe mencionar que el objetivo propuesto se cumplió satisfactoriamente, solo se espera que las personas dedicadas a las artes escénicas mantengan vivo este trabajo, y que los expertos, el arte, la tecnología y la técnica sigan llevando esparcimiento, cultura, educación y desarrollo a las civilizaciones que han sabido explotar sus beneficios. Todos sabemos que a medida que el tiempo transcurre la tecnología va evolucionando y el ser humano debe ir adaptándose a estos cambios. Las artes escénicas a pesar de ser muy conservadoras se han visto obligadas a transformar los pocos escenarios existentes en espacios visualmente atractivos y llenos de magia electrónica, capaces de hacer sentir al espectador parte de la escena y al ejecutante parte de un mundo nuevo.

Bibliografía

- Borenstein, G. (2012). *Making things see*. Sebastopol, California, Canada: O'Reilly.
- Catuhe, D. (2012). *Programming with the Kinect for Windows*. Washington, United States of America: Microsoft Press.
- García, D. (s. f). *Scribd*. Obtenido de La iluminación en las artes escénicas: <https://es.scribd.com/doc/138459828/III-la-Iluminacion-en-Las-Artes-Escenicas-Las-Tecnicas-de-Iluminacion-y-Los-Espacios-Escenicos>
- Giorio, C., & Fascinari, M. (2013). *Kinect in motion*. Birmingham, United Kindom: Packt Publishing.
- group, v. (s. f.). *Troikatronix*. Obtenido de Isadora - The creativity server: <https://vvvv.org>
- Hernández, M. (2012). *liveness: prótesis, gesto y metáfora*. Obtenido de Artes performáticas y tecnología: <http://minerva.org.mx/liveness/>
- Kean, S., Hall, J. C., & Perry, P. (2011). *Meet the Kinect*. New York, United States of America: Apress.
- Kramer, J., Burrus, N., Echtler, F., Herrera, D., & Parker, M. (2012). *Hacking the Kinect*. New York, United States of America: Apress.
- Lacabanne, R. (2010). *www.academia.edu*. Obtenido de https://www.academia.edu/475633/_Qué_entendemos_por_interactividad
- Manovich, L. (2005). *El lenguaje de los nuevos medios de comunicación*. (Ò. Fontrodona, Trad.) Barcelona, España: Paidós Ibéroamerica, S. A.,.
- Miles, R. (2012). *Start here!* Sebastopol, California, United States of America: O'Railly.
- Monroy, M. (2003). La danza como juego, el juego como danza. *Educación y Educadores*(6), 159-167.
- Narváez Díaz, Á. (enero-diciembre de 2009). Relaciones cuerpo tecnología en la escena teatral. (U. d. Caldas, Ed.) *Revista colombiana de las artes escénicas*, 3, 103.
- Palapa, F. (jueves de diciembre de 2010). La danza, en constante crisis por falta de recursos, público e infraestructura. *La Jornada*, pág. 4.
- Parente, D. (2007). Técnica y naturaleza en Leroi-Gourhan: Límites de la naturalización de lo artificial. *Ludus Vitalis*, XV(28), 157-178.
- Rogalsky, A. (2012). History of infrared detectors. *OPTO-ELECTRONICS*, 20(3). doi:DOI: 10.2478/s11772-012-0037-7
- Rokeby, D. (s. f.). *Very Nervous System*. Obtenido de Works: <http://www.davidrokeby.com/vns.html>
- St. Jean, J. (2013). *Kinect hacks*. Sebastopol, California, United States of America: O'Reilly.
- Troikatronix. (s.f.). *troikatronix.com*. Obtenido de <https://troikatronix.com>
- Webb, J., & Ashley, J. (2012). *Beginning Kinect Programming with the Microsoft Kinect SDK*. United State of America: Apress.
- www.danzaballet.com*. (8 de junio de 2006). Obtenido de <https://www.danzaballet.com/historia-del-ballet/>

www.danzaballet.com. (25 de mayo de 2007). Obtenido de <https://www.danzaballet.com/la-danza-de-isadora-duncan-1877-1927/>

Zapata, P. (2016). Transformación de las artes escénicas en la era digital. *Anuario ac/e de cultura digital* , 56-58.

Anexos

Programa Processing

```
/**
 * Se necesitan los siguientes programas para plataforma Windows 10 de 64 bits
 *SimpleOpenNI 1.96
 *Kinect SDK V 1.7
 *OpenNi SDK 2.2.033
 *Processing 1.5.1*/
/**

import SimpleOpenNI.*; // se importa las librerias SimpleOpenNI es para la detección del kinect
import processing.serial.*;
import ddf.minim.*;

SimpleOpenNI context;
Serial port;
Minim minim1;
Minim minim2;
Minim minim3;
AudioPlayer cancion1;
AudioPlayer cancion2;
AudioPlayer cancion3;
color[] userClr = new color[] { color(255, 0, 0),
                                color(0, 255, 0),
                                color(0, 0, 255),
                                color(255, 255, 0),
                                color(255, 0, 255),
                                color(0, 255, 255)
                                };

PVector com = new PVector();
PVector com2d = new PVector();

// Vectores para guardar cada una de las posiciones de cuerpo
// los nombres se dieron de acuerdo a lo siguiente

//nombre de la parte del cuerpo y el lado L= left R=right r=reales

//se utilizan dos vectores para almacenar los reales y los que envia el kinect
//sin lado
PVector cabeza = new PVector();
PVector cuello = new PVector();
PVector torso = new PVector();

PVector rcabeza = new PVector();
PVector rcuello = new PVector();
PVector rtorso = new PVector();

//izquierdo
```

```

PVector hombroL = new PVector();
PVector codoL = new PVector();
PVector manoL = new PVector();
PVector caderaL = new PVector();
PVector rodillaL = new PVector();
PVector pieL = new PVector();

PVector rhombroL = new PVector();
PVector rcodoL = new PVector();
PVector rmanoL = new PVector();
PVector rcaderaL = new PVector();
PVector rrodillaL = new PVector();
PVector rpieL = new PVector();

//derecho
PVector hombroR = new PVector();
PVector codoR = new PVector();
PVector manoR = new PVector();
PVector caderaR = new PVector();
PVector rodillaR = new PVector();
PVector pieR = new PVector();

PVector rhombroR = new PVector();
PVector rcodoR = new PVector();
PVector rmanoR = new PVector();
PVector rcaderaR = new PVector();
PVector rrodillaR = new PVector();
PVector rpieR = new PVector();

//variables extras
PVector temp = new PVector();
String data;
float anguloBrazo;
int temporal = 0;

// cuadrantes estos son definidos por profundidad
int profundidad;
int pixel;
int cuadrante1;
int cuadrante2;
int cuadrante3;

void setup() {
  size(640, 480);

  context = new SimpleOpenNI(this);
  if (context.isInit() == false) {

```

```

println("No puede iniciar SimpleOpenNI, puede ser que la cámara no esté conectada!");
exit();
return;
}

// habilita la generación del depthMap (mapa de profundidad)
context.enableDepth();

// habilitar generación de esqueleto para todas las articulaciones

context.enableUser();

background(200, 0, 0);
minim1 = new Minim(this);
minim2= new Minim(this);
minim3 = new Minim(this);
cancion1 = minim1.loadFile("Kalimba.mp3");
cancion2 = minim2.loadFile("Samba.mp3");
cancion3 = minim3.loadFile("moment.mp3");

stroke(0, 0, 255);
strokeWeight(3);
smooth();
println(Serial.list());
String portName = Serial.list()[0];

port = new Serial(this, portName, 9600);
port.buffer(4);
}

void draw() {
// update the cam
context.update();

// draw depthImageMap
//image(context.depthImage(),0,0);
image(context.userImage(), 0, 0);

// dibuja el esqueleto si está disponible
int[] userList = context.getUsers();
for (int i = 0; i < userList.length; i++) {
if (context.isTrackingSkeleton(userList[i])) {
stroke(userClr[ (userList[i] - 1) % userClr.length ] );

/*
Se pasan los vectores los valores de los Joint a los vectores y se convierten a valores reales
*/

//sin lado
context.getJointPositionSkeleton(userList[i], SimpleOpenNI.SKEL_HEAD , cabeza);
context.convertRealWorldToProjective(cabeza, rcabeza);
}
}
}

```

```

context.getJointPositionSkeleton(userList[i], SimpleOpenNI.SKEL_NECK , cuello);
context.convertRealWorldToProjective(cuello, rcuello);

context.getJointPositionSkeleton(userList[i], SimpleOpenNI.SKEL_TORSO , torso);
context.convertRealWorldToProjective(torso, rtorso);

//Derecho
context.getJointPositionSkeleton(userList[i], SimpleOpenNI.SKEL_RIGHT_HAND, manoR);
context.convertRealWorldToProjective(manoR, rmanoR);

context.getJointPositionSkeleton(userList[i], SimpleOpenNI.SKEL_RIGHT_ELBOW , codoR);
context.convertRealWorldToProjective(codoR, rcodoR);

context.getJointPositionSkeleton(userList[i], SimpleOpenNI.SKEL_RIGHT_SHOULDER ,
hombroR);

context.convertRealWorldToProjective(hombroR, rhombroR);

context.getJointPositionSkeleton(userList[i], SimpleOpenNI.SKEL_RIGHT_HIP , caderaR);
context.convertRealWorldToProjective(caderaR, rcaderaR);

context.getJointPositionSkeleton(userList[i], SimpleOpenNI.SKEL_RIGHT_KNEE , rodillaR);
context.convertRealWorldToProjective(rodillaR, rrodillaR);

context.getJointPositionSkeleton(userList[i], SimpleOpenNI.SKEL_RIGHT_FOOT , pieR);
context.convertRealWorldToProjective(pieR, rpieR);

//izquierda
context.getJointPositionSkeleton(userList[i], SimpleOpenNI.SKEL_LEFT_HAND , manoL);
context.convertRealWorldToProjective(manoL, rmanoL);

context.getJointPositionSkeleton(userList[i], SimpleOpenNI.SKEL_LEFT_ELBOW , codoL);
context.convertRealWorldToProjective(codoL, rcodoL);

context.getJointPositionSkeleton(userList[i], SimpleOpenNI.SKEL_LEFT_SHOULDER ,
hombroL);
context.convertRealWorldToProjective(hombroL, rhombroL);

context.getJointPositionSkeleton(userList[i], SimpleOpenNI.SKEL_LEFT_HIP , caderaL);
context.convertRealWorldToProjective(caderaL, rcaderaL);

context.getJointPositionSkeleton(userList[i], SimpleOpenNI.SKEL_LEFT_KNEE , rodillaL);
context.convertRealWorldToProjective(rodillaL, rrodillaL);

context.getJointPositionSkeleton(userList[i], SimpleOpenNI.SKEL_LEFT_FOOT , pieL);
context.convertRealWorldToProjective(pieL, rpieL);

```

```

    drawSkeleton(userList[i]);
}

// dibuja el centro de masa
if (context.getCoM(userList[i], com)) {
    context.convertRealWorldToProjective(com, com2d);
    stroke(100, 255, 0);
    strokeWeight(1);
    beginShape(LINES);
    vertex(com2d.x, com2d.y - 5);
    vertex(com2d.x, com2d.y + 5);

    vertex(com2d.x - 5, com2d.y);
    vertex(com2d.x + 5, com2d.y);
    endShape();

    fill(0, 255, 100);
    text(Integer.toString(userList[i]), com2d.x, com2d.y);
}
}
int depthValues[] = context.depthMap();
pixel = int(rtorso.x) + (int(rtorso.y) * 640);
profundidad = depthValues[pixel];
println(profundidad);

if (profundidad >= 2000 && profundidad <= 3000) {
    //Sector "A"

    if (rtorso.x <= 320) {
        //Sector A1
        println("sector A1");
        if ( rpieR.x < rhombroR.x && rpieL.x > rhombroL.x && rmanoR.y >= rcaderaR.y &&
            rmanoL.y >= rcaderaL.y ) {
            println("Piernas Abiertas");
            data = "001a@";
            port.write(data);
            //Piernas abiertas
            // inicia detección
        }
        if ((rmanoR.y <= rcabeza.y) && (rcodoR.x > rmanoR.x) && ( rmanoL.y <= rcaderaL.y &&
            rmanoL.y >= rtorso.y) ) {
            //tocar cabeza y cintura
            //activar track
            println("tocar cabeza mano R cintura L");
            cancion2.play();
        }
    }
}

```

Programa Arduino

```
/*  
El siguiente programa en Arduino permite realizar el control de diversos elementos tales como, abrir  
y cerrar un telón, poner en funcionamiento una plataforma giratoria y detenerla, encender luces,  
apagarlas y cambiar el color emitido, encender un ventilador, una bomba de humo y un led y también  
apagarlos, todo lo anterior mediante posiciones del cuerpo humano que el sensor Kinect recibe, las  
traduce a datos que son enviados a Processing y este a su vez después de una comparación y cálculos  
realizados, envía al Arduino las órdenes para activar el elemento al que corresponda la posición  
realizada.  
*/
```

```
*****/
```

```
//declaración de variables
```

```
int angel;  
int rojo = 9;  
int verde = 10;  
int azul = 11;  
int ventilador = 7;  
int bomba = 8;  
int base = 12;  
int telon;  
int ini = 2;  
int fin = 3;  
int abre = 4;  
int cierra = 5;  
int valini;  
int valfin;  
int Epwm = 6;  
int Anpulso = 160;  
int ledTrasero = 13;  
String a;
```

```
//configuración de entradas y salidas e inicio de la comunicación serial
```

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  pinMode(rojo, OUTPUT);  
  pinMode(verde, OUTPUT);  
  pinMode(azul, OUTPUT);  
  pinMode(ventilador, OUTPUT);  
  pinMode(bomba, OUTPUT);  
  pinMode(base, OUTPUT);  
  pinMode(ini, INPUT);  
}
```



```

pinMode(fin, INPUT);
pinMode(abre, OUTPUT);
pinMode(cierra, OUTPUT);
pinMode(ledTrasero, OUTPUT);
valini = digitalRead(ini);           //lee sensor de inicio de carrera, y guarda el valor en valini
if (valini == 0) {                   //Si sensor de inicio de carrera activa cero, apaga motor
    digitalWrite (cierra, LOW);
    digitalWrite (abre, LOW);
}
else if (valini == 1) {              //Si sensor de inicio de carrera activa uno
    analogWrite(Epwm, Anpulso);      //Fija la velocidad del motor y cierra telón
    digitalWrite (cierra, HIGH);     //hasta que sensor de inicio de carrera active cero
    digitalWrite (abre, LOW);
}
}

void loop() {
if (Serial.available())
{
    a = Serial.readStringUntil('@'); // Se lee la información con este método y se detienen al
                                     //encontrar una arroba "@"
                                     //Se recibe la información Con el formato "000x@"
// el switch separa de acuerdo a la letra que lea en la tercera posición los arreglos inician en 0
switch (a[3])
{
//Separa por letras para posteriormente eliminar la información extra
case 'a':
    //una vez clasificado se elimina la información no necesaria como la arroba y la letra de
//referencia
    a.remove(4);
    a.remove(3);
    angel = a.toInt();
    angel = angel * 1.2;
    tone(12, angel);
    // Se activa el tono de acuerdo al valor del ángulo que se envió desde processing
    //el tono puede ir de 31 a 65535
    break;

case 'b':
    a.remove(4);
    a.remove(3);
    angel = a.toInt();

```

```
analogWrite(9, angel);
//Se escribe como se varia la intensidad del led de acuerdo a la información enviada por
//Processing, el brillo varia en un rango de 0 a 255 valores posibles.
break;
case 'c':
//para detener todos los procesos apagar el led y detener el tono
a.remove(4);
a.remove(3);
{
case 'd':
  luz_rojo();
  break;
case 'e':
  luz_verde();
  break;
case 'f':
  luz_azul();
  break;
case 'g':
  luz_blanco();
  break;
case 'h':
  enciende_luces();
  break;
case 'i':
  apaga_luces();
  break;
case 'j':
  enciende_ventilador();
  break;
case 'k':
  apaga_ventilador();
  break;
case 'l':
  luz_Encrasera();
  break;
case 'm':
  luz_Apatrasera();
  break;
case 'n':
  enciende_bomba();
  break;
```

```
case 'o':
  apaga_bomba();
  break;
case 'p':
  enciende_base();
  break;
case 'q':
  apaga_base();
  break;
case 'r':
  abre_telon();
  break;
case 's':
  cierra_telon();
  break;

}
//noTone(12);
//analogWrite(9,0); //comprobar esta función y ver si se apaga

break;
}
}
}
```

Síntesis curricular

Juan Galindo Muñiz

Graduado como ingeniero mecánico-electricista (área electrónica) en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Ciudad Universitaria, lugar donde fue profesor de asignatura impartiendo la clase de Laboratorio de Acústica y Óptica de 2001 a 2013 y la clase de Laboratorio de Principios de Termodinámica y Electromagnetismo durante 2014. Recibió una medalla y reconocimiento por diez años de docencia otorgada por la Facultad de Ingeniería, paralelamente desde 1998 ha trabajado en el Centro Multimedia del Centro Nacional de las Artes, hoy perteneciente a la Secretaría de Cultura, primero ocupando el puesto de encargado del Taller de Robótica y después como Jefe de Departamento de Investigación (Interfaces Electrónicas y Robótica) desde 2001, su participación dentro de los programas que rigen al Centro Multimedia ha sido constante desde entonces, así como de los eventos y proyectos artísticos que se han llevado a cabo dentro de la institución a la que pertenece, forma parte del Servicio Profesional de Carrera, por lo que ha recibido cursos de capacitación de tipo gerencial en forma anual, fue miembro del Colectivo Espacial Mexicano participando en la construcción del nano satélite ULISES I y miembro actual del MediaLab del Centro Multimedia, ha impartido cursos de electrónica, programación de microcontroladores, diseño de sensores electrónicos y diseño mecánico, así como brindado apoyo y asesorías a artistas y estudiantes en proyectos de asignatura y de trabajos de tesis de diversas escuelas y universidades, ha colaborado con algunos Centros Estatales de la Artes, Centro Cultural España, Centro Cultural Border, Dirección General de Televisión Educativa y la UNESCO, impartiendo cursos para jóvenes y niños dentro del mismo concepto tecnológico. En el Centro Mexicano para la Música y las Artes Sonoras (CMMAS) de Morelia Michoacán Participó en el Diplomado Creación Sonora con Nuevas Tecnologías en el Módulo de Herramientas tecnológicas. Así mismo, ha trabajado con artistas en múltiples proyectos institucionales, y de forma privada; actualmente es maestrante en el Posgrado de Diseño y Visualización de la Información en la Universidad Nacional Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.