

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA INMERSIVA

DIEGO ALEJANDRO PELÁEZ BERNAL

Director

Ing. Byron Alfonso Pérez Gutiérrez, M.Sc.

Profesor Asistente

Centro de Realidad Virtual

Programa de Ingeniería en Mecatrónica

Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

BOGOTÁ, D.C.

2013

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA INMERSIVA

DIEGO ALEJANDRO PELÁEZ BERNAL

Código: 1800845

**Trabajo de grado como auxiliar de investigación presentado para
optar al título de
Ingeniero en Mecatrónica**

Director

Ing. Byron Alfonso Pérez Gutiérrez, M.Sc.

Profesor Asistente

Centro de Realidad Virtual

Programa de Ingeniería en Mecatrónica

Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

BOGOTÁ, D.C.

2013

NOTA DE ACEPTACIÓN

El informe final de auxiliar de investigación del proyecto titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA INMERSIVA”, registrado en la vicerrectoría de Investigaciones con el código Proyecto PIC ING 826, elaborado y presentado por el estudiantes Diego Alejandro Peláez Bernal, como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Mecatrónica, fue socializado en la Facultad de Ingeniería.

Ing. Byron Alfonso Pérez Gutiérrez M.Sc.

Director

Bogotá D. C. 01 de Marzo de 2013

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del consejo

Firma del profesor asistente

Firma del lector

Bogotá D. C. 01 DE MARZO DE 2013

– DEDICATORIA –

“Incluso un camino sinuoso y difícil, nos puede conducir a la meta si no lo abandonamos hasta el final.” Paulo Coelho

- A Dios, por ser el autor de mi historia, permitiéndome construir esta optimista realidad.
- A mi madre y abuela, Rosa Ana Bernal y Noemi Suarez, por ser la inspiración permanente y fuente de fortaleza para avanzar cada día.
- A mis amigos Jorge Ramirez y Felipe Rodriguez, por ser mis acompañantes en este proceso de crecimiento personal y profesional.

Diego Alejandro Peláez Bernal

– AGRADECIMIENTOS –

El autor expresa sus agradecimientos a:

- La Universidad Militar Nueva Granada por el aporte brindado a los programas de investigación.
- Al Comité de la Facultad de Ingeniería Mecatrónica por crear las líneas de investigación.
- El Ingeniero Byron Alfonso Pérez tutor del proyecto, por el apoyo y acompañamiento en el proceso de desarrollo del proyecto.
- Aquellas personas que ayudaron directa e indirectamente con la realización del proyecto.

Índice general

| | |
|---|-----------|
| Introducción | 12 |
| 1. NÚCLEO TEMÁTICO DE LA INVESTIGACIÓN | 14 |
| 1.1. Planteamiento del problema | 14 |
| 1.2. Línea de investigación | 15 |
| 1.3. Objetivos | 15 |
| 1.3.1. Objetivo General | 15 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos | 16 |
| 1.4. Justificación | 16 |
| 1.5. Alcance del proyecto | 16 |
| 1.6. Metodología | 18 |
| 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA | 19 |
| 2.1. Marco Conceptual | 19 |
| 2.1.1. Antecedentes | 19 |
| 2.1.2. Estado del Arte | 22 |
| 2.1.3. Ubicación | 25 |
| 2.1.4. Fundamentos Teóricos | 25 |
| 2.1.4.1. Realidad virtual | 26 |
| 2.1.4.2. Características y ventajas de un sistema de realidad virtual | 26 |
| 2.1.4.3. Tipos de realidad virtual | 27 |
| 2.1.4.4. Dispositivos hápticos de visualización virtual | 28 |
| 2.1.4.5. Visión Humana | 29 |
| 2.2. Marco Referencial | 34 |
| 2.2.1. Tecnología Háptica | 34 |
| 2.2.2. Teoría Óptica (Convergencia) | 35 |
| 2.2.3. Tipos de tejido óseo | 37 |
| 2.2.3.1. Tejido Óseo Compacto | 37 |
| 2.2.3.2. Tejido Óseo Esponjoso | 37 |
| 2.2.4. Visión Esteroscópica | 38 |
| 2.2.5. Modelado geométrico del objeto 3D | 38 |
| 2.2.5.1. Software de tratamiento de datos de entrada | 38 |
| 2.2.5.2. Software de simulación física | 38 |

| | |
|---|-----------|
| <i>ÍNDICE GENERAL</i> | 8 |
| 2.2.5.3. Software de simulación sensorial | 39 |
| 2.2.5.4. Factores en el modelado geométrico | 39 |
| 2.2.6. Aplicaciones | 39 |
| 3. INGENIERÍA DEL PROYECTO | 41 |
| 3.1. Análisis | 41 |
| 3.1.1. Procesos inductivos | 42 |
| 3.1.2. Análisis de la información y definición de las variables del sistema. | 45 |
| 3.1.2.1. Monitor - Sistema de visualización | 46 |
| 3.1.3. Flujo de información | 49 |
| 4. DISEÑO Y DESARROLLO | 51 |
| 4.1. Arquitectura general del sistema | 51 |
| 4.1.1. Diseño Mecánico | 53 |
| 4.1.2. Software para el simulador de realidad virtual | 75 |
| 4.2. Comparación de Características de MUID 2.0 con sistemas previos de inmersión | 78 |
| 5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL | 80 |
| 5.1. Pruebas | 81 |
| 6. CONCLUSIONES | 85 |
| 7. SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES | 87 |
| 8. ANEXOS | 89 |
| Bibliografía | 93 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| 1.1. Diagrama físico del proyecto | 17 |
| 2.1. Prototipo actual del PDrive, basado en proyectores, para el alcance de un ambiente virtual | 20 |
| 2.2. Sistema de realidad aumentada PARIS | 21 |
| 2.3. SenseGraphics | 21 |
| 2.4. Características de los simuladores virtuales EVL | 22 |
| 2.5. Procedimiento de Cirugía Robótica por medio de Telepresencia | 23 |
| 2.6. Proyecto Glass de Google [FOTO BLOOMBERG] | 25 |
| 2.7. Partes de un Sistema de Realidad Virtual Inmersivo | 28 |
| 2.8. Gafas Anáglifo | 29 |
| 2.9. Gafas de Obturación | 29 |
| 2.10. Secciones del ojo.[8] | 30 |
| 2.11. Células fotosensibles. | 30 |
| 2.12. Distribuciones de conos y bastones en la retina.[30] | 31 |
| 2.13. Sensibilidad del ojo en luz diurna y en visión nocturna. | 31 |
| 2.14. a) Distorsión cromática b) Sensibilidad del ojo a la longitud de onda[4] | 32 |
| 2.15. Córtex visual.[29] | 33 |
| 2.16. Imitación artificial del ojo.[16] | 33 |
| 2.17. Dispositivo háptico Novint Falcon[27] | 34 |
| 2.18. Conflicto de convergencia[9] | 36 |
| 2.19. Distribución del tejido óseo | 37 |
| 3.1. Componentes iniciales para el diseño e implementación | 43 |
| 3.2. Diagrama del sistema mecánico | 43 |
| 3.3. Diagrama de caja negra del sistema de realidad virtual inmersivo (mesa inmersiva). | 44 |
| 3.4. Diagrama de bloques del sistema de inmersión. | 44 |
| 3.5. Diagrama de procesos | 46 |
| 3.6. TV Full HD Samsung SyncMaster 2233 | 46 |
| 3.7. Diagrama de caja blanca del sistema propuesto. | 50 |
| 4.1. Fases y Revisiones del simulador háptico | 52 |

| | |
|--|----|
| 4.2. Proyección del plano virtual | 54 |
| 4.3. Espejo posicionado horizontalmente al usuario | 55 |
| 4.4. Monitor posicionado horizontalmente sobre el usuario. | 55 |
| 4.5. Análisis final de una mesa inmersiva | 56 |
| 4.6. Perspectiva del usuario | 57 |
| 4.7. Soporte lateral de acrílico | 58 |
| 4.8. a) Importación de Pieza en la interface COSMOS b) Enmallado de la Pieza | 58 |
| 4.9. a) Tensión de Von Mises b) Desplazamiento | 59 |
| 4.10. a) Teoría de fallo b) Desplazamiento total | 59 |
| 4.11. Modelo en CAD de una mesa inmersiva | 60 |
| 4.12. Ubicación del marco del monitor | 61 |
| 4.13. a) Montaje final de la mesa de inmersión V1.0 b) Vista lateral de la mesa de inmersión | 61 |
| 4.14. Vista en el espejo parcialmente reflectivo de la implementación | 62 |
| 4.15. Estructura del código para perfilera | 63 |
| 4.16. a) Patrón Sistema 5 b) Esfuerzo de tracción Sistema 5 | 64 |
| 4.17. Diagrama de Flexión | 65 |
| 4.18. Diagrama de Esfuerzo de Flexión | 66 |
| 4.19. Datos técnicos y dimensiones del perfil 20x20 | 67 |
| 4.20. Elemento de unión Escuadra 20x20x20 – IPM-VW-05-20x20x20-GDZN | 67 |
| 4.21. Elemento de unión angular | 68 |
| 4.22. Modelado del proceso de diseño | 69 |
| 4.23. Proceso de Diseño y Realidad Virtual | 70 |
| 4.24. Ensamble final de diseño del prototipo de inmersión | 71 |
| 4.25. Peso final del ensamble | 71 |
| 4.26. Ajuste angular y lineal para la proyección del monitor | 72 |
| 4.27. Base del Monitor | 73 |
| 4.28. Elemento de Unión | 73 |
| 4.29. Elemento Angular | 74 |
| 4.30. Elemento Plano | 74 |
| 4.31. Estructura mecánica | 75 |
| 4.32. Mesa inmersiva MUID 2.0 - Estado final | 75 |
| 4.33. Representación del algoritmo God-Object | 76 |
| 4.34. Representación del Algoritmo Ruspini | 77 |
| 4.35. Elejir Renderizado Háptico en H3DAPI | 77 |
| 5.1. Fotografía de la mesa de inmersión MUID 2.0 con los dispositivos de visión háptica. | 80 |
| 5.2. a) Volumen de trabajo del Falcon b) Novint Falcon en su estado físico | 81 |
| 5.3. Estructura Electro-Mecánica de un dispositivo paralelo. | 82 |
| 5.4. Características de identificación háptica | 82 |
| 5.5. Interfaz Virtual H3D sin ninguna interacción. | 83 |
| 5.6. a)Interfaz virtual generando Feedback b) POV desde el usuario. | 84 |

| | |
|--|----|
| <i>ÍNDICE DE FIGURAS</i> | 11 |
| 6.1. Visualización final sobre la estructura mecánica. | 86 |
| 7.1. Espacio de trabajo del Phantom Omni Vista Lateral | 88 |

Índice de cuadros

| | |
|---|----|
| 2.1. Aplicaciones de Realidad Virtual Inmersiva | 39 |
| 3.1. Sistema para las técnicas de simulación inmersivo | 42 |
| 3.2. Elementos principales del sistema | 45 |
| 3.3. Selección general de los componentes del sistema. | 49 |
| 4.1. Resumen de características entre la MUID 2.0 y sistemas previos. | 79 |

Introducción

En el siguiente trabajo se muestra la aplicación de la realidad virtual como herramienta de la ingeniería para desarrollar un proyecto que, en un principio se planteó como una forma de apoyar al personal médico en el entrenamiento usando texturas hápticas, pero que a su vez se ha considerado como un mecanismo de entretenimiento abierto a todo tipo de público.

El proyecto consiste en el desarrollo de un simulador de texturas hápticas capaz de interactuar con un usuario, el cual haciendo uso de diferentes elementos de hardware, pueda obtener un alto grado de realismo a la hora de verse inmerso dentro de un sistema virtual.

Se planteó el desarrollo de éste trabajo, ya que se encontró que la alta gama tecnológica existente actualmente, permite dar un apoyo a grandes rasgos a la comunidad médica en el ámbito de la capacitación de personal médico con o sin experiencia; logrando que éstos puedan afianzar sus conocimientos dentro de la práctica. Lo que se busca es evitar costos y tiempo dentro de la planeación y estructuración de un entrenamiento normal cualquiera que sea o en caso extremo pasando a la vida real junto a un paciente.

Para lo anterior se hizo utilización de la rama o línea de investigación de Biomecatrónica, dada por el grupo Da Vinci de la Universidad Militar Nueva Granada, para diseñar y desarrollar un prototipo con su estructura de simulación con texturas hápticas que abarca conceptos de áreas como la mecánica, la programación y la realidad virtual.

El presente documento se desarrolla en cuatro capítulos, siendo el primero que plantea el núcleo de la investigación, constituido por el planteamiento del problema, la línea de investigación usada, la justificación, los objetivos, el alcance del proyecto y la metodología en el trabajo.

En el segundo capítulo se encuentra todo lo concerniente al marco teórico, es decir, los antecedentes, teorías y conceptos utilizados.

En el tercer capítulo se plantea el análisis y la definición de las variables, en otras palabras, la ingeniería del proyecto.

Finalmente como último capítulo, esta lo que respecta al diseño y desarrollo del proyecto.

Capítulo 1

NÚCLEO TEMÁTICO DE LA INVESTIGACIÓN

El capítulo planteado a continuación presenta los procesos necesarios para el desarrollo de la investigación. Es el caso del planteamiento del problema, la metodología usada, objetivos, etc.

1.1. Planteamiento del problema

El sistema buscará interactuar con formas realistas e inmersión virtual adaptable a sensaciones táctiles, que permita diversas situaciones típicas y/o comunes dentro de las prácticas del área de reumatología y traumatología. Además de lo anterior, se buscará acoplar el prototipo no solo a médicos sino a cualquier otro tipo de usuario que pueda tener acceso a éste, como una forma de entretenimiento y/o experiencia.

Para el prototipo háptico de texturas se seleccionó el Novint Falcon “*estructura paralela*”, el cual está a disposición de la Universidad Militar, y consiste en ser un dispositivo háptico USB destinado a sustituir el ratón en los juegos de vídeo y otras aplicaciones, a medida que el usuario mueve el puño en tres dimensiones (derecha-izquierda y adelante-atrás, como un ratón, sino también de arriba hacia abajo, a diferencia de un ratón), el software de Falcon comprueba que el agarre se mueve y crea fuerzas que un usuario puede sentir, mediante el envío de corrientes a los motores en el dispositivo. Los sensores del Falcon pueden realizar un seguimiento de la posición del selector, y los motores se actualizan 1000 veces por segundo (1 kHz), dando una sensación realista del tacto.

Será necesario en primera medida realizar el diseño de una mesa de visualización inmersa adecuada a la necesidad de fabricación, para posteriormente realizar su debida simulación de esfuerzos por medio del método de elementos finitos en estado estático, para ello se usará el software Solid Edge ST para realizar el

prototipo esquemático de la mesa de inmersiva y usar ANSYS Workbench en la parte del análisis de esfuerzos y del material usado.

Finalmente se instalará un espejo parcialmente reflectivo totalmente horizontal, arriba del sistema háptico con el propósito de que en conjunto con un monitor 3D suministrarán la imagen para poder observar la aplicación del software.

Al unir la parte mecánica con el entorno virtual, se verá la efectividad del prototipo propuesto, sus alcances, cambios y mejoras necesaria del proyecto, para que se pueda llevar acabo tanto en el campo medico, como en la parte comercial.

1.2. Línea de investigación

Biomecatrónica:

Esta línea está orientada a brindar apoyo tecnológico al área Hospitalaria desarrollando equipos médicos de monitoreo, rehabilitación (diseño y construcción de prótesis mecatrónicas), instrumentación para elementos de sensórica y modelación e identificación de sistemas fisiológicos.

Diseñar e implementar simuladores modulares y sistemas de realidad virtual para aplicaciones industriales, académicas y/o hospitalarias en las áreas de:

- Prótesis mecatrónicas (tecnología háptica).
- Elementos finitos (esfuerzo, deformación de estructuras).

Resultados:

En la aplicación de la línea de investigación dentro del proyecto, se buscó implementar el diseño de una estructura mecánica, haciendo uso de software CAD y de Elementos finitos para modelar la estructura.

En cuanto a las texturas hápticas, se dispuso del manejo usando el IDE (Entorno de desarrollo integrado) H3DAPI, con esto el ambiente del sistema de realidad virtual y los diferentes elementos estará realizando acciones coherentes con los sucesos efectuados desde el sistema háptico Novint Falcon, para hacer más realista la simulación.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Diseñar e implementar una estructura mecánica para integrar un monitor 3D y un sistema háptico en un simulador de entrenamiento inmersivo.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar y simular la estructura mecánica de la mesa inmersiva.
- Implementar la estructura e integrar el sistema háptico y el monitor 3D en la estructura.
- Implementar un prototipo de software que permita al usuario interactuar con diferentes texturas hápticas para ser visualizadas en la mesa de inmersión.

1.4. Justificación

Este proyecto surge con la finalidad de profundizar y aplicar conceptos de realidad virtual orientados a la simulación e inmersión, ya que hoy en día se tiene variedad de técnicas en estos dos componentes, y se están empleando en sistemas de entretenimiento y el entrenamiento médico y militar. Estos simuladores permiten al usuario aumentar la experimentación con estos sistemas inmersivos y aumentar sus habilidades sin poner en riesgo la vida humana y aun costo menor comparado con las técnicas de entrenamiento tradicionales.

También es importante observar que la realidad virtual, es un área de gran aplicación y de gran demanda en el campo laboral. Ya que en la actualidad la mayoría de las empresas están en proceso de modernización aplicando este tipo de sistemas.

Haciendo un análisis a los procesos necesarios en los que los médicos pueden adquirir experiencia en los distintos campos de desempeño a los cuales son designados, se obtuvo como resultado el hecho de que en varias ocasiones se requiere de un complejo proceso de planeación, grandes costos y lo más relevante, el tiempo que demanda el desarrollo de un entrenamiento apropiado. Por lo tanto, haciendo uso de los grandes recursos tecnológicos existentes actualmente, se propuso realizar un sistema capaz de recrear todo lo nombrado anteriormente.

Para llevar a cabo el planteamiento realizado, se optó como propuesta de desarrollo, un sistema de realidad virtual que simule un entorno que abarque la misma complejidad del medio en el que se lleva a cabo un entrenamiento real. Además se agregó, como parte del realismo deseado, herramientas que interactúen con varios de los sentidos del usuario, es decir, elementos hápticos de realimentación al sistema.

En conclusión se postuló el diseño y desarrollo de un sistema háptico de texturas, apto para la simulación de un entrenamiento médico con miras a una mejor simulación y retroalimentación.

1.5. Alcance del proyecto

Dentro de este proyecto, se plantea principalmente desarrollar el diseño, simulación e implementación de un sistema de inmersión. También se hará el aplicativo

de software usando la librería H3D-API con el cual se probará la estructura física de la mesa inmersiva.

Una vez diseñado el modelo esquemático de la mesa inmersiva se realizará la simulación de esfuerzo y deformación en ANSYS para satisfacer las necesidades del diseño y lograr que soporte el peso del monitor LCD que se instalara al momento de su construcción.

Por otra parte, para el software realizado en H3D-API, se plantea el aplicativo de una batería (Instrumento de percusión) con la finalidad de que junto con el Novint Falcon y un sistema de audio se logre la interacción del usuario y el sistema de inmersión para que dé la sensación del tacto de estar tocando instrumento de percusión y además se desea anexar un pequeño demo con texturas existentes en la cotidianidad junto con un modelado de dos tipos de huesos.

Este proyecto está limitado en primera instancia dentro de la Universidad Militar Nueva Granada, específicamente para el Centro de Realidad Virtual.

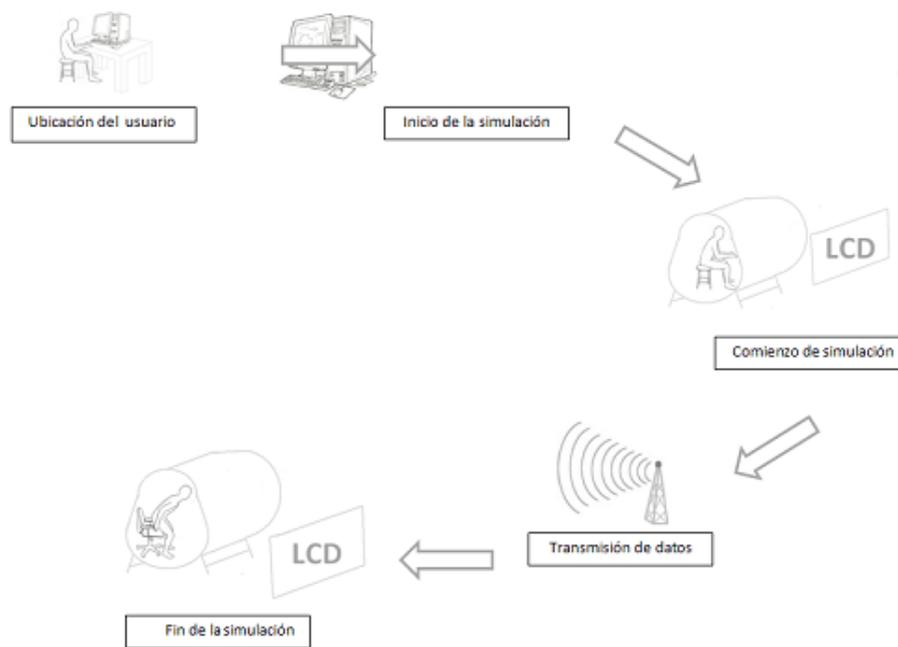


Figura 1.1: Diagrama físico del proyecto

En la parte inicial del proceso, se encuentra el entorno físico en donde los usuarios se ubicarán. Luego esta todo lo relacionado con la simulación, es decir, lo concerniente a la manipulación del sistema háptico, la cual se relaciona con el sistema a través de procesos electro-mecánicos, los cuales son analizados y exportados al computador.

Finalmente se encuentra la sección de interacción en la cual el computador proyecta una visualización para que el usuario pueda observar el transcurso de la simulación y así poderse relacionar de forma más real con el prototipo y así mismo la retroalimentación que recibe del software y ordenar al sistema háptico.

1.6. Metodología

Para el inicio del proyecto se implementará la metodología empírico-analítica ya que se buscara aprender de la experiencia tanto del guía de la investigación, como de los errores que se vayan encontrando en el camino de la construcción y desarrollo final.

El tipo de estudio a manejar será el explicativo ya que se buscará averiguar las causas que permiten un buen entrenamiento haciendo uso de texturas hápticas para representar materiales con características de tejido humano, con el fin de aplicarlas en el sistema de simulación a realizar. El método empleado fue el analítico ya que nos permite manipular las variables del entorno y experimentar con ellas en un ambiente virtual.

En el momento de obtener información de ayuda para el desarrollo del proyecto, se hizo a través de herramientas como libros, Internet y documentos científicos. Sin embargo no todas las fuentes contaban con datos relevantes que realmente aportaran fundamentos de apoyo para el desarrollo del proyecto. Por lo tanto se realizó una selección precisa y exhaustiva para desechar las referencias que, aunque tuvieran similitud con la temática a tratar, no eran apropiadas para el progreso del trabajo.

Ya en cuanto a la elaboración física del proyecto, se propone diseñar un prototipo de seguimiento de posición y orientación de un sistema de simulación en 3D, considerando que el manipulador háptico va a rotar sobre un soporte fijo y que el usuario debe poder manipularla, teniendo libertad en la visión de área de contacto con la figura (Shape) a simular. Los movimientos del manipulador se van a capturar utilizando un sistema de seguimiento de posición y orientación. El sistema se debe diseñar teniendo en cuenta que no deben existir retardos que afecten el realismo del sistema.

Los datos del seguimiento de posición y orientación alimentan un ambiente virtual donde controlan las imágenes que se proyectan al usuario y la dirección del cursos en el ambiente virtual.

Capítulo 2

REVISIÓN DE LA LITERATURA

En este capítulo se mostrarán otros proyectos realizados, similares al propuesto en éste trabajo. Además se incluirán conceptos de electrónica, mecánica y de realidad virtual usados en el desarrollo del prototipo.

2.1. Marco Conceptual

2.1.1. Antecedentes

Los antecedentes se delimitan desde el año 2000 hasta el año 2012.

- Simulador de entrenamiento de Cirugía abierta usando tecnologías de realidad aumentada y háptica: Elaborado por Cristian J. Luciano Ph.D. en el año 2010 es la investigación y el desarrollo de una nueva tecnología háptica basado en sistema de realidad aumentada que es capaz de simular de forma realista los procedimientos quirúrgicos abiertos. [20]

Este nuevo simulador puede ayudar a los alumnos a desarrollar tanto las habilidades táctiles y psicomotoras necesarias para realizar una ventriculostomía, teniendo como objetivo final proporcionar un instrumento educativo e interactivo para los médicos residentes permitiendo alcanzar una alta competencia antes de trabajar en un paciente real sin necesidad de tener algún tipo de restricción de seguridad o de tiempo.

- Sistema de realidad virtual inmersivo simplificado: Desarrollado en el 2008 por el grupo de investigación en Multimedia de la Universidad Militar Nueva Granada fue el diseño y construcción de un prototipo de bajo costo de un sistema inmersión virtual de dos pantallas siendo tres prototipos, uno de mesa y dos de tamaño real, sobre los cuales se realizaron diferentes pruebas con animaciones creadas en un software de modelado y animación 3D.[7]

- PDRIVE: Elaborado por Gerwin de Haan, Eric J. Griffith y Frits H. Post de la Universidad de tecnología de Holanda en el año 2007, El PDrive está diseñado para ser fácil de instalar y configurar para satisfacer las necesidades del usuario, con una variedad de proyectores, método de seguimiento (tracking), dispositivos de interacción, y los métodos de separación estéreo; son unas de las bondades que se puede utilizar en el sistema.[17]

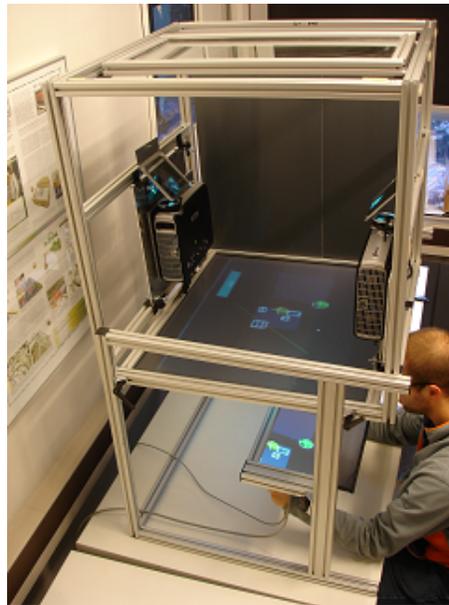


Figura 2.1: Prototipo actual del PDrive, basado en proyectores, para el alcance de un ambiente virtual

- PARIS: Es un sistema de realidad aumentada de proyección que utiliza dos espejos para doblar la óptica y una pantalla translúcida negra de proyección trasera iluminada por un proyector DLP Christie Mirage 2000 estéreo (Figura 2.2).

El usuario mira a través del espejo semi-plateado que refleja la imagen proyectada en la pantalla horizontal situada por encima de la cabeza del usuario. La pantalla se coloca fuera del campo de vista del usuario, de manera que sólo la imagen reflejada es visible por el usuario que mira en la proyección del plano virtual.

Esto es importante porque desde el espejo es transparente, el brillo de la imagen proyectada en la pantalla es mayor que el brillo de la imagen reflejada en el espejo. De lo contrario, la pantalla fácilmente distraería al usuario.[15]



Figura 2.2: Sistema de realidad aumentada PARIS

- SenseGraphics 3D-MIW: SenseGraphics es un display ideal portátil con la característica de mostrar realidad aumentada es decir es las imágenes son auto-estereoscópicas según se vayan mostrando en la pantalla (Figura 2.3). Utiliza el Sharp Actius portátil RD3D para mostrar imágenes en 3D sin necesidad de usar gafas estereo. Es relativamente barato y muy compacto.[24]



Figura 2.3: SenseGraphics

2.1.2. Estado del Arte

La simulación de texturas por medio de la retroalimentación de sistemas hápticos parte por la necesidad de lograr experimentación y rendimiento y es la combinación de juegos con figuras con diferentes parámetros y formas. Con el desarrollo de los computadores y de todas las tecnologías pertenecientes al campo de la realidad virtual, el ser humano ha logrado un creciente desarrollo que sin duda le ha significado grandes ventajas respecto a lo que era su estilo de vida antes de su aparición.

Desde la década de 1970 en la Universidad de Illinois en Chicago se creó en el año de 1973 el Laboratorio de Visualización Electrónica (EVL) siendo este un laboratorio de investigación interdisciplinar especializado en el diseño y desarrollo de alta resolución de visualización científica y realidad virtual.[13]

En 1992, en Palo Alto CA el Ing. Philippe Green de S.R.I. (Stanford Research Institute) realizó investigaciones en manipulación remota, desarrolló prototipos de sensores y efectores maestro-esclavo para realizarla. Lo motivó la idea de que un grupo de cirujanos en diferentes especialidades, pudieran atender, desde un lugar seguro, emergencias en los campos de batalla. Lamentablemente no es posible su uso durante la guerra, debido a la gran interferencia de señales[3].

En 1992 el grupo de investigación del EVL en la Universidad de Illinois liderados por la investigadora venezolana Carolina Cruz-Neira realizó el primer desarrollo de los conocidos CAVE (Center Automatic Virtual Environment) el cual constaba de 4 proyectores en un cuarto, y logrando también de una nueva experiencia audio-visual siendo este patentado como marca registrada de EVL.

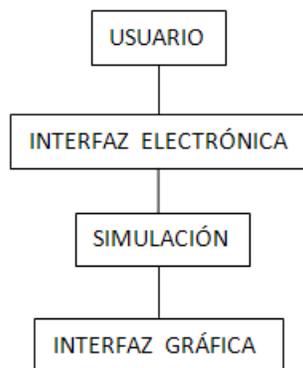


Figura 2.4: Características de los simuladores virtuales EVL

Thomas A. DeFanti fue el pionero en la investigación en gráficos de computadora en el año de 1994 haciendo uso del CAVE y agregando un alta visualización de la

neurociencia computacional el cual presento en la Conferencia de Aplicaciones de Realidad Virtual de la British Computer Society.

En 1995 se formó la empresa Intuitive Surgical Inc, la cual adquirió los derechos de la investigación del Dr. Green e inició los trabajos de adaptación para su uso clínico fuera de campos de interferencia. Dos años después, el Dr. Jack Himpens intervino los primeros 5 pacientes con casos de cirugía laparoscópica por telepresencia a corta distancia, dentro del mismo quirófano en el hospital St. Blasius, en Bélgica[3].

En 1998 la Universidad de Illinois de Chicago, llevó a cabo un desarrollo acerca del sistema y la investigación de implantes craneales, financiando el proyecto PARIS (Personal Augmented Reality Immersive System) el cual es un sistema de realidad aumentada de proyección que utiliza dos espejos para doblar la óptica y una pantalla translúcida negra de proyección trasera iluminada por un proyector DLP Christie Mirage 2000 estéreo[15].

El usuario mira a través del espejo semi-plateado que refleja la imagen proyectada en la pantalla horizontal situada por encima de la cabeza del usuario. La pantalla se coloca fuera del campo de vista del usuario, de manera que sólo la imagen reflejada es visible por el usuario que mira en la proyección del plano virtual. Esto es importante porque desde el espejo es transparente, el brillo de la imagen proyectada en la pantalla es mayor que el brillo de la imagen reflejada en el espejo. De lo contrario, la pantalla fácilmente distraería al usuario.

Una segunda generación del sistema, ahora llamado D'VINCI. Éste utiliza versiones del robot ESOPO, pero más evolucionadas, que obedecen comandos de voz del cirujano. Se integró al sistema, el software de intercomunicación HERMES que además de controlar el sistema robótico, maneja el equipo de quirófano, dando como resultado un "quirófano inteligente". Posteriormente se diseñó el robot ZEUS, con el cual en 1998, los cirujanos Antonio García Ruiz y Tomaso Falcone, realizaron plastías tubarias en 10 pacientes en Cleveland, Ohio[3].



Figura 2.5: Procedimiento de Cirugía Robótica por medio de Telepresencia

En 2005 Cristian Luciano, Greg Dawe y Jason Leigh de la Universidad de Illinois (UIC) realizaron la “InmersivaTouch” la cual está compuesta por dos monitores LCD de 30” con la posibilidad de instalar un sistema de orientación (tracking) para el usuario y la visualización estereofónica de imágenes 3D logrando posicionamiento y orientación en el entorno virtual.

En 2006 la facultad de odontología de la Universidad de Illinois de Chicago, desarrolla el simulador de entrenamiento periodontal siendo este visualizado en la “InmersivaTouch”, con la finalidad de que tanto sus profesores y estudiantes de odontología se entrenaran con las sensaciones hápticas dadas por una boca 3D virtual para lograr un diagnóstico y tratamiento en las enfermedades periodontales[10].

En 2010 la Universidad de Limerick, realizó el sistema de gestión de aprendizaje (LMS) el cual junto con un sistema de inmersión logran el objetivo de hacer un centro de entrenamiento para el aprendizaje del personal con respecto a la aplicación de punciones lumbares, ya que esta técnica de adquirir el líquido cefalorraquídeo de la médula espinal es invasiva para un paciente[21].

El 1 de junio de 2012 Por primera vez en Colombia, un único cirujano realizó una colecistectomía laparoscópica que, tradicionalmente, es practicada por un equipo de tres personas. Esto gracias a la llegada al país de Endoassist, un sistema robótico anterior al Da Vinci que le permite al médico dirigir los movimientos de la cámara con la cabeza, mientras con sus manos controla dos brazos mecánicos que sostienen los instrumentos quirúrgicos[14].

El 29 de diciembre de 2012 Google lo llama Proyecto Glass y son unas gafas de realidad aumentada que permiten interactuar con el entorno en una experiencia muy inmersiva. Integran un microcomputador y un display en una de las lentes que se activa al enfocar la vista hacia arriba y a la derecha. Cuentan con un comando táctil en una de las patas laterales para controlar algunos contenidos[6].



Figura 2.6: Proyecto Glass de Google [FOTO BLOOMBERG]

La aplicación directa de la ingeniería de sistemas abre amplias alternativas para la medicina dada la diversidad y potencialidad del equipamiento, en cuanto a la capacidad de almacenamiento masivo y posibilidad de interconexión. Uno de los campos del conocimiento donde se han aprovechado las ventajas de la realidad virtual ha sido en la medicina, ventajas que se han traducido en mejoras terapéuticas, mayor certeza al realizar un diagnóstico, comodidades para el paciente entre muchas otras. Las mas notable aplicaciones se producen sin duda en las especialidades de cirugía, imagenología médica y neurología.

2.1.3. Ubicación

El proyecto es para la Universidad Militar Nueva Granada. Para el grupo de investigación Davinci, específicamente en la línea de investigación de realidad virtual, se propone entrar al área de simulación de texturas con el diseño de un prototipo de simulación háptico, teniendo un monitor 3D, el sistema de háptico, la estructura mecánica y el usuario.

2.1.4. Fundamentos Teóricos

En este proyecto el área de Realidad Virtual es importante ya que nos permite la experiencia virtual de lo real y obtener una extensión de los sentidos humanos. La realidad virtual es un entorno artificial creado por los ordenadores, en los que la gente puede sumergirse y sentir que el mundo en el cual están inmersos, realmente existe. Las personas pueden experimentar ambientes complejos, inexistentes en la vida real o que normalmente no están a disposición del público a causa de factores como el costo o la seguridad.

Para entrar en un mundo virtual, el visitante debe utilizar dispositivos especiales de interfaz que transmiten la visión, los sonidos y sensaciones del mundo artificial. Estos dispositivos también tendrán que transmitir información acerca de lo que el usuario está haciendo, como retroalimentación para la computadora, la cual es la que controla el entorno virtual.

Los simuladores consisten de cabinas equipadas con instrumentos reales. Para éste proyecto en particular, el instrumento real será el manipulador Novint Falcon el cual brinda la realidad apropiada para que sea mas interactivo el sistema de inmersión. Ya que este dispositivo cuanto con 3 sentidos de orientación los cuales son los mismos que un mouse pero agregando el sentido vertical de arriba y abajo así lograra la retroalimentación respectiva y de igual manera se podrá adaptar sin dificultad el Phantom el cual es un dispositivo háptico mas moderno y con la diferencia de que es su cinemática antropomórfica y con 6 DOF (grados de libertad).

2.1.4.1. Realidad virtual

Es conocida como un ambiente virtual, donde el ambiente no es real. Existen muchos conceptos sobre realidad virtual. En el documento de Michael Louka "An Introduction to Virtual Reality (1997)", se encuentra que:

- *"Realidad virtual: Es un sistema de computación usado para crear un mundo artificial donde el usuario tiene la impresión de estar en ese mundo y la habilidad de navegar y manipular objetos en él".*

Manetta C. y R. Blade (1995).

- *"La realidad virtual te permite explorar un mundo generado por computadoras a través de tu presencia en él".*

Hodder y Stoughton(s/a).

Una definición bastante completa de este término se halla en el texto What Is Virtual Reality de Jerry Isdale (1998) en el cual, se cita la definición dada por Aukstakalnis (1992): *"La realidad virtual es un camino que tienen los humanos para visualizar, manipular e interactuar con computadoras y con información extremadamente compleja"*.

Además de lo anterior, la realidad virtual también se puede definir como la simulación tridimensional interactiva por computadora en la que el usuario se integra en un ambiente artificial y lo percibe como real basado en estímulos a sus órganos sensoriales[19].

2.1.4.2. Características y ventajas de un sistema de realidad virtual

Según las definiciones anteriores podríamos identificar a un sistema virtual como aquel que cumple las siguientes características[19]:

- Simulación: Capacidad de replicar aspectos suficientes de un objeto o ambiente de forma que pueda convencer al usuario de su casi realidad.

- Interacción : Debe permitir el control del sistema creado.
- Percepción : Permite la interacción con los sentidos del usuario (vista, oído y tacto). Según la complejidad del sistema, los elementos externos utilizados para producir estas sensaciones, pueden ser simples como un mouse de ordenador o un casco (HMD), mas los sensores de posición en una cabina virtual.

La Realidad Virtual tiene las siguientes ventajas[22]:

- Se ofrece al usuario una visión del mundo virtual en primera persona, donde puede observar los objetos y acercarse a ellos.
- Las características que posee, permite la familiarización con el entorno virtual.
- El usuario puede navegar por el espacio e interactuar con los objetos.
- Se puede incluir animación, iluminación y otros efectos que aumenten su realismo, pudiendo ser copiados y compartidos con otros usuarios.
- El mercado de la Realidad Virtual presenta un potencial de crecimiento único e ilimitado.

2.1.4.3. Tipos de realidad virtual

Los sistemas de realidad virtual pueden ser de dos tipos, inmersivos y no inmersivos[2].

- *Sistema Inmersivo*

Los métodos inmersivos de realidad virtual con frecuencia se sujetan a un ambiente tridimensional creado por computadora el cual se manipula a través de cascos, guantes u otros dispositivos que capturan la posición y rotación de diferentes partes del cuerpo humano.

- *Sistema no inmersivo*

La Realidad Virtual no inmersiva es aquella donde el monitor de la computadora es la ventana hacia el mundo virtual y la interacción es por medio del micrófono, teclado, mouse o joystick.

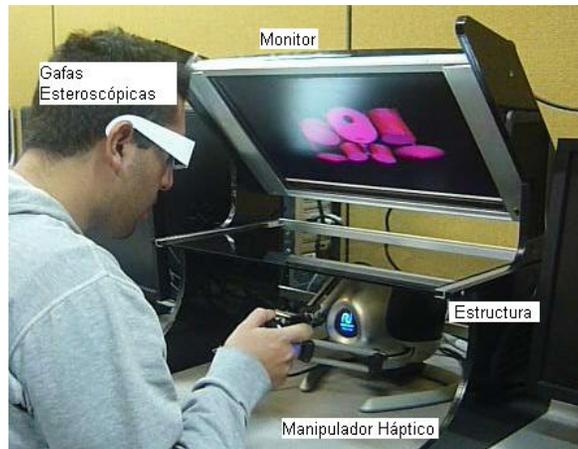


Figura 2.7: Partes de un Sistema de Realidad Virtual Inmersivo

2.1.4.4. Dispositivos hápticos de visualización virtual

- *Gafas Anáglifo*

Las gafas anáglifo se utilizan para visualizar imágenes multiplexadas en longitud de onda, llamadas comúnmente anáglifos. En una superficie plana se muestra una imagen a partir de la combinación de dos imágenes desplazadas, creadas únicamente con dos colores complementarios, ya sean rojo-azul, rojo-verde o bien ámbar-azul. Estas dos imágenes equivaldrían al par estéreo. La percepción de profundidad en el sistema visual humano de imágenes en superficies planas requiere la ayuda de experiencias previas o de objetos externos, como pueden ser las gafas anáglifo, gafas LCS (Liquid Crystal Shutters – Obturadores de Cristal Líquido) y otros sistemas más modernos, que no afectan al cansancio visual[28].

Tienen un filtro de diferente color para cada ojo. La misión de estos filtros es hacer llegar a cada ojo únicamente la imagen que le corresponde. Así se consigue “filtrar” las imágenes y conseguir el efecto deseado y necesario para que el cerebro pueda interpretar tridimensionalidad ya que tendremos una imagen diferente en cada ojo. (Recordemos que el principio fundamental de la estereoscopia es que la sensación de volumen parte de que cada ojo vea una imagen diferente para así lograr crear dimensionalidad de profundidad)[29].



Figura 2.8: Gafas Anáglifo

- *Gafas de Obturación (shutter glasses)*

Las gafas de obturación se pueden observar en la figura 2.7. Consisten en gafas con cristal líquido que electrónicamente oscurecen cada ojo y están coordinadas con el barrido de la imagen del monitor. Al ser la velocidad de obturación a unos 60 cuadros por segundo, el oscurecimiento no se percibe. De este modo se presenta consecutivamente la imagen izquierda y derecha, y las gafas permiten la visión respectiva obteniendo una apropiada perspectiva de profundidad.



Figura 2.9: Gafas de Obturación

2.1.4.5. Visión Humana

La visión es el sentido más importante que tiene el ser humano. Así, mientras, para el oído se tiene alrededor de treinta mil terminaciones nerviosas, en la vista hay más de dos millones. La radiación exterior recibida por el ojo debe ser transformada en señales que sean procesadas por el cerebro. El ojo es el elemento transductor mientras que el cerebro es el que procesa dicha información.

El ojo tiene una forma (Figura 2.8), aproximadamente, esférica de unos 2.5 cm de diámetro. El ojo está formado por una óptica y una zona sensorial. La

óptica está constituida por la córnea, el iris o pupila y el cristalino. La cornea es un material transparente y funciona como lente fija. La pupila regula la cantidad de luz que entra en el interior y el cristalino hace las veces de lente variable, permitiendo el enfoque dependiendo de la distancia de los objetos. Los músculos que sujetan al cristalino provocan su deformación, cuya consecuencia es el enfoque del campo visual. La misión de la óptica del ojo es conducir la radiación electromagnética, del espectro visible, hacia la retina.[8][26]

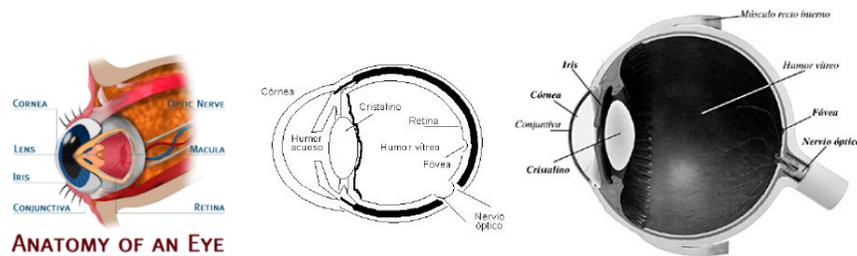


Figura 2.10: Secciones del ojo.[8]

La retina se encuentra en la parte posterior del glóbulo ocular y es donde se ubican las células fotosensibles (Figura 2.9): los conos y los bastones.

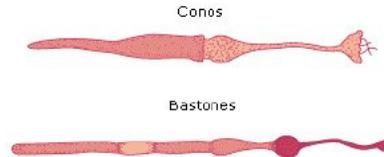


Figura 2.11: Células fotosensibles.

En la retina se puede distinguir dos partes: la fovea y la mácula. La fovea es la parte central de la retina, de menor tamaño y donde se encuentran los conos. Es en esta zona donde se tiene mayor sensibilidad a la longitud de la onda electromagnética, con un ángulo visual de dos grados. La apertura corresponde, aproximadamente, con el ancho del pulgar extendido el brazo. La fovea es tan pequeña que es necesario mover el ojo para enfocar dos puntos tan próximos como los del signo de puntuación (:). Esta información visual transmitida al cerebro se llama visión fovea. La mácula es de mayor extensión, la agudeza visual es menor y está definida por los bastones. Esta zona se encarga de la visión periférica.[2, 8]

La percepción del color de una imagen la realizan los conos. Son unos seis millones y cada cono tiene conexión a varias neuronas. Basándose en la información aportada por los conos, el cerebro construye la sensación de color. Por el contrario, los bastones son más de 100 millones y son capaces de detectar la

intensidad lumínica (Figura 2.10). Varios bastones están asociados a una única neurona.[31, 1]

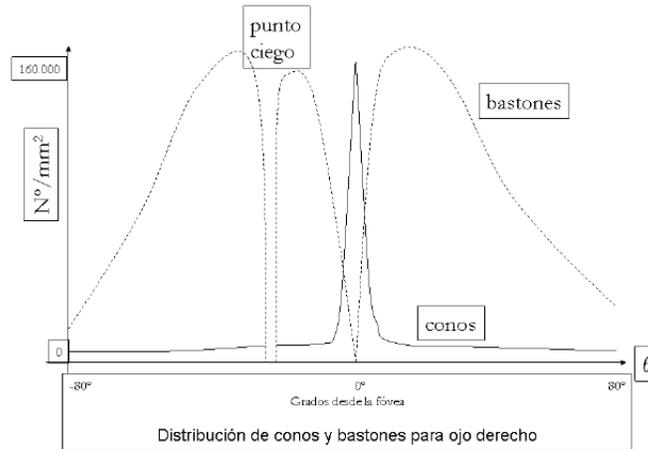


Figura 2.12: Distribuciones de conos y bastones en la retina.[30]

Mientras la visión fóvea tiene mayor agudeza, más resolución y percibe los colores, la visión periférica le da al cerebro más información espacial que la fóvea y destaca los contrastes. De este hecho se destaca que en la oscuridad, la visión periférica es más adecuada que intentando centrar la visión sobre el objeto.[25]

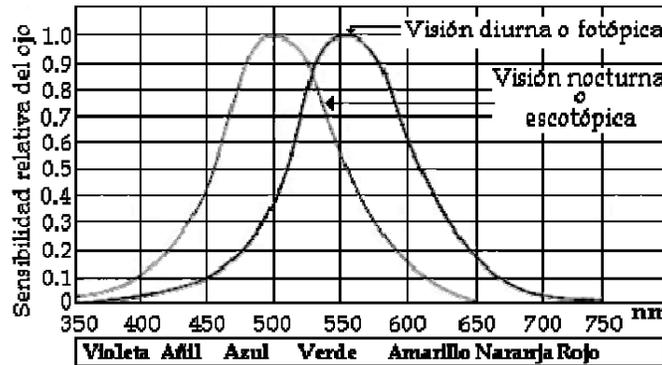


Figura 2.13: Sensibilidad del ojo en luz diurna y en visión nocturna.

La sensibilidad a la intensidad en el ser humano (Figura 2.11) es alta siempre que los elementos que se comparen sean pocos. Cuando el número de intensidades involucradas simultáneamente es superior a unos 24 tonos se pierde la mayor parte de esta sensibilidad. Esto explica que, en la mayoría de los casos prácticos, sea suficiente el uso de 32 ó 64 niveles de intensidad para representar una imagen.

El color es una característica del sistema de percepción humana y está relacionado con las sensaciones recibidas por el ojo en el espectro visible. El color es la respuesta del sistema visual humano ante las variaciones de las longitudes de onda del espectro electromagnético visible. Estudios fisiológicos han revelado que existen tres tipos de conos, denominados tipos S, M y L. Los S son más sensibles a las ondas cortas (azules - 450nm), los M a las medias (verde - 540 nm) y los L a las de longitudes largas (rojo - 650 nm). Este hecho ha dado base a la teoría del triestímulo, de manera que el color se puede representar en una base de tres componentes fundamentales: rojo-verdeazul (RGB - Red, Green, Blue).[1]

La sensibilidad de cada cono no es exactamente igual a cada parte del espectro fijado. Concretamente, los conos azules son los menos sensibles, mientras que los conos verdes son los más sensibles. Otra consideración a tener en cuenta es la refracción de los rayos luminosos que penetran en la retina. No todos afectan por igual. La luz de alta frecuencia (azul) focaliza en un punto anterior a la retina, mientras que las bajas frecuencias (rojos) lo hacen en puntos posteriores. Esto tiene como consecuencia que los detalles rojos o azules no puedan distinguirse netamente en una escena. Justo lo contrario de lo que ocurre con los verdes, cuyo punto de convergencia o focalización se sitúa exactamente en la retina, lo que induce a una mayor resolución del ojo para estas tonalidades (Figura 2.12 a).

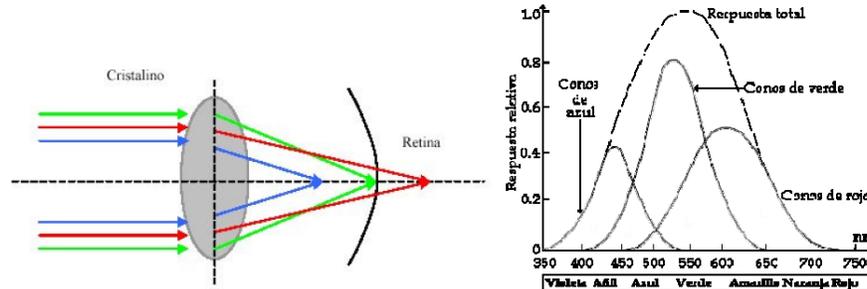


Figura 2.14: a) Distorsión cromática b) Sensibilidad del ojo a la longitud de onda[4]

Una vez que la señal luminosa ha sido transformada en pulsos eléctricos por los conos y bastones (Figura 2.12 b), éstos son transportados al cerebro por los nervios ópticos. Los pulsos son llevados al lóbulo occipital, donde se encuentra el córtex visual (Figura 2.13). Es una zona de 24 cm^2 con $1,5 \times 10^8$ neuronas. Al hemisferio derecho llega la información del ojo izquierdo y viceversa. En el cerebro se realiza una labor de extracción de las características de la imagen. Para ello existen zonas especializadas que responden mejor a un tipo de característica que a otras.[4]

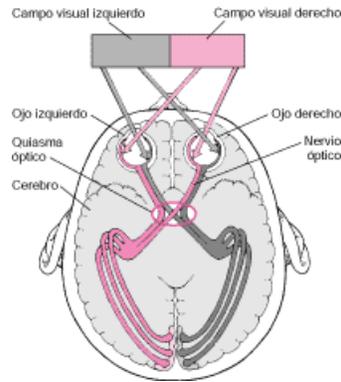


Figura 2.15: Córtex visual.[29]

El hombre ha imitado muchas veces, en la construcción de sus artefactos, a la Naturaleza. En este caso también se cumple. Las cámaras de vídeo con sus ópticas hacen las veces del globo ocular (Figura 2.14), mientras el computador realizará las tareas de procesamiento, emulando el comportamiento del cerebro. Cuando se establecieron en la década de los 50, los objetivos de la Inteligencia Artificial, se suponía que con la llegada del siglo XXI habría máquinas que serían capaces de describir, con información de alto nivel, las escenas capturadas. Con el paso del tiempo se vio que aquel anhelo se iba desvaneciendo. Hoy en día, todavía no hay una teoría de la visión. No se conoce los mecanismos que el cerebro utiliza para obtener la información de la percepción. El cerebro es capaz, de manera inconsciente, de determinar la distancia a los objetos, de reconocerlos en diferentes posiciones, aunque se encuentren rotados y con información parcialmente oculta. En definitiva, el cerebro presenta una sofisticación en la percepción que ni ahora ni en mucho tiempo habrá posibilidad de implementar artificialmente.[4]

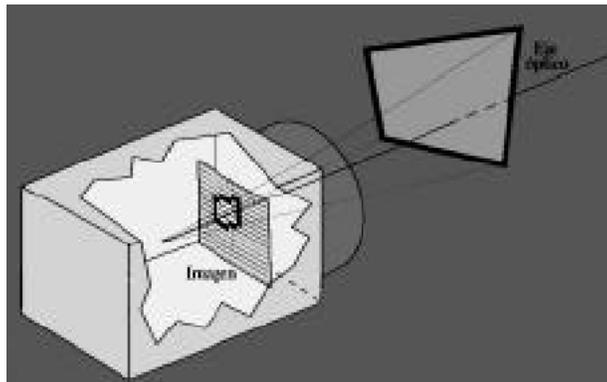


Figura 2.16: Imitación artificial del ojo.[16]

2.2. Marco Referencial

2.2.1. Tecnología Háptica

La tecnología háptica se refiere al conjunto de interfaces tecnológicas que interactúan con el ser humano mediante el sentido del tacto. Se trata de una tecnología emergente desde los '90 que está evolucionando en algunos campos de aplicación. Y simula los estímulos hacia el interfase, para que el operador los sienta y pueda simular las sensaciones táctiles, a través de una interfaz, el dispositivo háptico que se implementara es el Novint Falcon siendo un sistema háptico de bajo coste que le permite experimentar acciones virtuales en determinadas aplicaciones[23].

El control Novint Falcon puede ser usado en tres dimensiones, siendo capaz de transmitirle la sensación de retroalimentación de fuerza. Desde la empuñadura del dispositivo Falcon se pueden realizar movimientos de derecha- izquierda, delante-atrás, y arriba- abajo. Moviendo el cursor se interactúa con el objeto virtual, el escenario creado, diferentes personajes y aplicaciones en general. Los usuarios pueden realizar sus propias aplicaciones ó adaptar este dispositivo a través de su SDK de programación el cual es descargable de forma gratuita[27, 5].

El Falcon permite sentir la textura, forma, peso, dimensión y dinámica, lo que hace percibir las aplicaciones de manera más realista. Permite desarrollar habilidades físicas reales y memoria muscular, añadiendo una nueva dimensión a los juegos y a las aplicaciones habituales.



Figura 2.17: Dispositivo háptico Novint Falcon[27]

Teleoperadores y simuladores

Los teleoperadores son operadores que controlan herramientas de forma remota, y es necesario en estos casos que las fuerzas de contacto resistentes retornen

hacia el teleoperador. A esto se le denomina "teleoperación háptica". El primer operador háptico desarrollado se construyó en los años 50 en Argonne National Laboratory EE. UU. por el Doctor Raymond Goertz permitiendo operar remotamente sobre sustancias radiactivas. Desde estas experiencias el empleo de una "fuerza de retorno" se ha ido empleando ampliamente en muchos tipos de teleoperación tal y como la exploración de las profundidades marinas. Cuando estos dispositivos se emplean con un usuario mediante simulación guiada por ordenador, es importante proporcionar la fuerza de retorno que podría sentirse en las operaciones reales[23].

Juegos

Algunos dispositivos desarrollados para juegos tienen estas características. Es de destacar sobre todo en algunos joysticks y controladores de juego proporcionan un retorno háptico. La forma más sencilla en los juegos es lo que se denomina "tabletas vibradoras" ("rumble packs") con los que el usuario siente como hay irregularidades del terreno cuando se está jugando un vídeo juego[23].

2.2.2. Teoría Óptica (Convergencia)

Los dispositivos basados en realidad virtual con proyección posterior, como por ejemplo el CAVE, crean un entorno virtual con proyección de imágenes estereoscópicas en pantallas ubicadas entre los usuarios y los proyectores. Estas pantallas sufren de obstrucción de la imagen por parte del usuario o de cualquier dispositivo de interacción situada entre los ojos del usuario y las pantallas. Cuando un objeto virtual se encuentra cerca del usuario, el usuario puede colocar su mano "detrás" del objeto virtual. Sin embargo, la mano siempre se verá "delante" del objeto virtual, porque la imagen del objeto virtual se proyecta sobre la pantalla. Esta paradoja visual confunde al cerebro y se rompe la ilusión estereoscópica.

Por ende las arquitecturas de realidad aumentada son más adecuadas para las aplicaciones basadas en tacto porque, en lugar de proyectar las imágenes en las pantallas físicas, utilizan espejos parcialmente reflectivos para crear planos de proyección virtual que se coloca en el espacio de trabajo del dispositivo háptico. Las manos del usuario, que se encuentra detrás del espejo, se integran con el espacio virtual y proporcionar un medio natural de la interacción. El usuario puede ver sus manos sin oclusión de los objetos virtuales[8].

Otro de los problemas regularmente de los dispositivos de realidad virtual en la visualización de imágenes estereó se conoce como el "alojamiento" o conflicto de convergencia (Figura 2.16). El alojamiento es la tensión muscular necesaria para cambiar la longitud focal del lente del ojo para enfocar a una profundidad determinada. La convergencia es la tensión muscular para rotar los ojos para que estos puedan ubicarse en el punto focal.

En el mundo real, al mirar objetos distantes del ángulo de convergencia entre ambos ojos se aproxima a cero y el alojamiento es mínimo (la compresión de los músculos en la córnea están relajados). Al observar los objetos cercanos, se

incrementa el ángulo de convergencia y el alojamiento se acerca a su máximo. El cerebro coordina la convergencia y el alojamiento.[9]

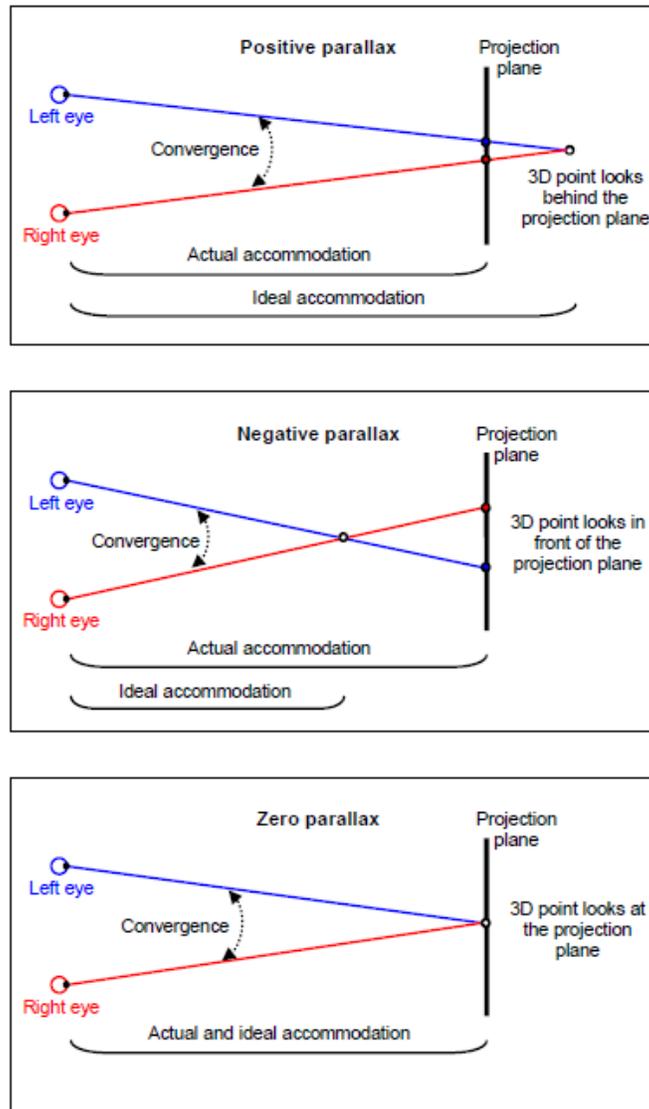


Figura 2.18: Conflicto de convergencia[9]

Sin embargo, cuando se mira imágenes en estéreo generadas por computadora, el ángulo de convergencia entre los ojos todavía varía con el objeto 3D se mueve hacia atrás y hacia delante, pero el alojamiento es siempre el mismo porque la distancia de los ojos a la pantalla es fija. Causando los conflictos de alojamiento

con la convergencia haciendo que el cerebro se confunda y causa dolores de cabeza. Así los inconvenientes de los actuales sistemas de realidad aumentada y por qué motivos el diseño de un nuevo sistema se describe en esta sección.

2.2.3. Tipos de tejido óseo

Los huesos poseen zonas con diferente densidad de tejido óseo que se diferencian macroscópicamente y microscópicamente (Figura 2.19) en áreas de hueso compacto o cortical (el cual constituye el 80% del esqueleto) y áreas de hueso esponjoso¹ (el cual constituye el 20% del esqueleto), no existen límites perfectamente marcados entre las dos áreas existiendo entre ellos una pequeña zona de transición.

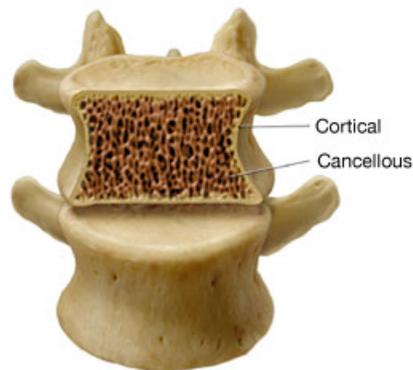


Figura 2.19: Distribución del tejido óseo

2.2.3.1. Tejido Óseo Compacto

Este tipo de hueso posee “pocos” espacios entre sus componentes duros. El hueso compacto se encuentra en la diáfisis² de los huesos largos proporcionando resistencia a las cargas producidas por el apoyo del peso y los movimientos[12].

2.2.3.2. Tejido Óseo Esponjoso

El tejido óseo esponjoso no contiene osteonas verdaderas si no que consta de laminillas dispuestas en una red irregular de columnas delgadas de hueso, llamadas trabéculas. Los espacios macroscópicos (observables) contienen médula osea roja, la cual esta encargada del proceso de hematopoyesis.

Al igual que el hueso compacto, existen lagunas desde donde se ramifica los

¹En inglés es denominado Cancellous Bone

²Diáfisis: Es el cuerpo o porción cilíndrica principal del hueso

canalículos. Los osteocitos³⁴trabeculares reciben nutrientes directamente de la sangre que circula por las cavidades medulares[12].

2.2.4. Visión Esteroscópica

El proceso de la visión estereoscópica artificial se basa en la emulación de la visión estereoscópica natural, es decir, en generar una imagen para el ojo izquierdo y una imagen para el ojo derecho. Así pues, en el momento de visualizar el ambiente donde se va a desarrollar el proyecto, se deben tomar dos imágenes del objeto de forma parecida a como lo hacen nuestros ojos: dos imágenes suficientemente parecidas como para que puedan fundirse en una y suficientemente diferentes como para que las diferencias de paralaje a lo largo de la base óptica formada por las pupilas o lentes se traduzca en información sobre las profundidades [18][...].

2.2.5. Modelado geométrico del objeto 3D

Dado que un sistema de realidad virtual tiene que permitir explorar la escena de forma interactiva y ver el mundo virtual desde cualquier punto de vista, es necesario disponer de una representación geométrica 3D de este mundo, que permita hacer los cálculos de imágenes, generación de sonido espacial, cálculo de colisiones, etc. a los módulos que describiremos más adelante[11].

2.2.5.1. Software de tratamiento de datos de entrada

Los módulos de recogida y tratamiento de datos se encargan de leer y procesar la información que proporcionan los sensores. Esto incluye los controladores de los dispositivos físicos, así como los módulos para el primer tratamiento de los datos suministrados.

2.2.5.2. Software de simulación física

Los módulos de simulación física se encargan de llevar a cabo las modificaciones pertinentes en la representación digital de la escena, a partir de las acciones del usuario y de la evolución interna del sistema. Estos módulos varían mucho dependiendo de la aplicación concreta. La función más básica consiste en calcular colisiones, deformaciones, comportamiento y otras actualizaciones que afecten a la evolución en el tiempo del entorno virtual representado.

³Osteocitos: Son células óseas maduras que se encuentran en el tejido óseo siendo el componente principal manteniendo las funciones celulares diarias (circulación, alimentación e intercambio de nutrientes y desechos con la sangre).

⁴Las células cuyo nombre incluye el sufijo -cito son células primarias que constituyen el tejido óseo y cualquier otro tejido.

2.2.5.3. Software de simulación sensorial

Estos módulos se encargan de calcular la representación digital de las imágenes, sonidos, etc. que el hardware se encargará de traducir a señales y finalmente a estímulos para los sentidos. Entre los módulos de simulación sensorial, lo más importante es el de simulación visual, que se basa en algoritmos de visualización en tiempo real del modelo geométrico.

Respecto a la simulación táctil, es necesario distinguir entre los dispositivos que proporcionan sensación de tacto (a menudo limitado a la mano), sensación de contacto (también limitado a la mano) y realimentación de fuerza (impiden u ofrecen resistencia a hacer movimientos con la mano cuando ésta choca virtualmente con un objeto virtual).

2.2.5.4. Factores en el modelado geométrico

El objeto tridimensional se situará en un espacio de referencia. Para modelar cada elemento es necesario usar distintas formas geométricas que se unan entre sí. Es necesario definir exactamente el comportamiento de cada parte móvil con respecto a las demás. El movimiento va a venir definido por transformaciones geométricas (traslación, rotación y otras deformaciones).

2.2.6. Aplicaciones

El número de aplicaciones relacionadas con la Realidad Virtual Inmersiva aumenta cada día. En el cuadro 2.1 se citan algunos de los campos aun no nombrados donde es empleada esta disciplina.

| Área | Aplicación |
|--------------------|---|
| Física | Visualización de partículas |
| Ingeniería | Manipulación remota de robots Procesos de ensamblado |
| Geología | Visualización de fenómenos volcánicos Modulación de relieves topográficos |
| Arquitectura | Modelado virtual interactivo de sus diseños de casas y edificios |
| Psicología | Tratamiento de fobias |
| Centros de ciencia | Visitas virtuales a lugares o templos antiguos que por alguna razón no están disponibles al usuario (destrucción, restauración) |

Cuadro 2.1: Aplicaciones de Realidad Virtual Inmersiva

En muchas de estas aplicaciones es necesario recurrir a técnicas puntuales para refinar los movimientos.

La luz y textura

- La Luz y la textura aportan la apariencia realista y la sensación de volumen al objeto.
- Las texturas consisten en general en fotografías de superficies. Se aplican por proyección sobre cada objeto, operación que se denomina mapeo. Además se les puede dotar de características de rugosidad.
- La luz es muy importante para tener una percepción adecuada del volumen del objeto. En una escena se añaden distintas fuentes luminosas creando un ambiente de iluminación más realista. Algoritmos específicos calculan la intensidad que le corresponde a cada punto, dependiendo de la luz reflejada por el objeto.

Capítulo 3

INGENIERÍA DEL PROYECTO

En este capítulo se muestra el análisis, diseño y desarrollo para la implementación de un sistema inmersivo. Dentro de este proyecto se incluirá algunos conceptos de electrónica, mecánica y de realidad virtual. A partir de estos conceptos se llega a generar las variables del sistema que se utilizan para realizar el diseño.

Objetivo del análisis

- Determinar las variables dependientes e independientes que intervienen en el sistema electrónico, mecánico y digital, así como sus respectivos parámetros.

Requerimientos

- Se requiere evaluar las diferentes características que presenta cada tipo de textura que se desea programar, con el fin de proponer un simulador capaz de ejercer un control usando la retroalimentación de fuerza del dispositivo háptico.

3.1. Análisis

Aclarar los objetivos del diseño, establecer los requerimientos del usuario, identificar las restricciones y establecer funciones son parte de las tareas de la fase de definición del problema. Fricción, viscosidad, apariencia, tamaño, forma son variables principales que podemos desprender para un completo y exacto análisis del estado actual de cualquier sistema de realidad virtual ya sea inmersivo o no.

Dentro de este proyecto se busca obtener el modelamiento de diferentes texturas para desarrollar la simulación del sistema háptico, el monitor y el usuario. En

cuanto a la interfaz electrónica se hará uso de un computador que se encarga de llevar a cabo la simulación de forma interactiva, basándose en el modelo geométrico 3D y en el software de recogida de datos, simulación física y simulación sensorial. Debido a que el proceso más crítico en realidad virtual es la simulación visual (síntesis de imágenes a partir de modelos 3D).

Hablando en el campo de la mecánica se construirá un sistema de inmersión apto para monitores de 22" y de 19" siendo estos de diferentes tipos de material y la estructura mecánica de 22" podrá lograr la rotación angular adecuada del monitor 3D de acuerdo a la necesidad del usuario. Finalmente dentro de la realidad virtual se tendrán conceptos como sistemas de visualización y lo más importante, que es el diseño y desarrollo del ambiente virtual.

Éste último debe tener en cuenta que las variables existentes dentro de la vida real deben ser reproducidas de forma adecuada dentro del entorno gráfico. Es el caso de las fuerzas manejadas para el movimiento del manipulador háptico Novint Falcon, características intrínsecas de diferentes texturas, entre otras.

| LINEA | ÁREAS TEMÁTICAS | TEMAS |
|--|--|------------------------------------|
| TÉCNICA APLICADA AL ÁREA DE INMERSIÓN | Sistema de simulación de inmersión 3D | |
| | Sistema de entrenamiento | Ventriculostomía háptica |
| | Sistema de servicio | Ingeniería Medicina Geología |
| | Técnicas y procedimientos | Preparación Operaciones |

Cuadro 3.1: Sistema para las técnicas de simulación inmersivo

3.1.1. Procesos inductivos

Tomando como partida el peso, forma y las dimensiones del monitor 3D y aunque se mencione de últimas pero no menos importante el espacio de trabajo del dispositivo háptico mostrados en la figura 3.1, se deben tener en cuenta las siguientes variables para el diseño del sistema de inmersión:

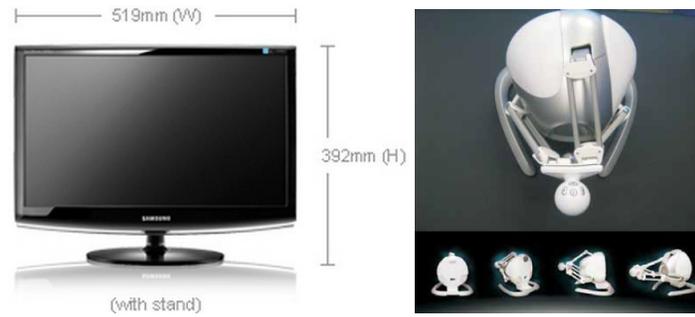


Figura 3.1: Componentes iniciales para el diseño e implementación

Variables

- Luz
- Altura
- Desplazamiento
- Ángulo de visualización
- Momento flector.

El diagrama mecánico de la figura 3.2, hace referencia a que un sistema actual de realidad virtual inmersivo funciona de forma estática, en otras palabras, que es totalmente rígido.

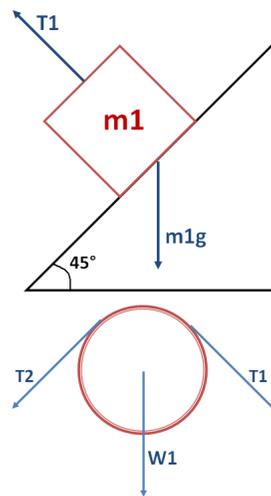


Figura 3.2: Diagrama del sistema mecánico

Para realizar la implementación de dichos componentes, se propone un sistema ergonómico, que consta de unos subsistemas tal y como se ilustra en la figura 3.2

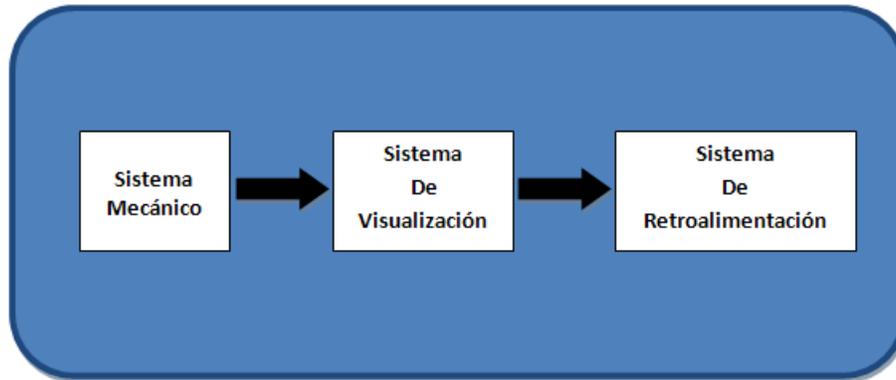


Figura 3.3: Diagrama de caja negra del sistema de realidad virtual inmersivo (mesa inmersiva).

Partiendo del sistema general mostrado en la figura 3.2, el proyecto tiene como objetivo el diseño e implementación de una mesa inmersiva. Teniendo en cuenta las variables presentadas por los componentes, se propone un sistema como se muestra en la figura 3.3

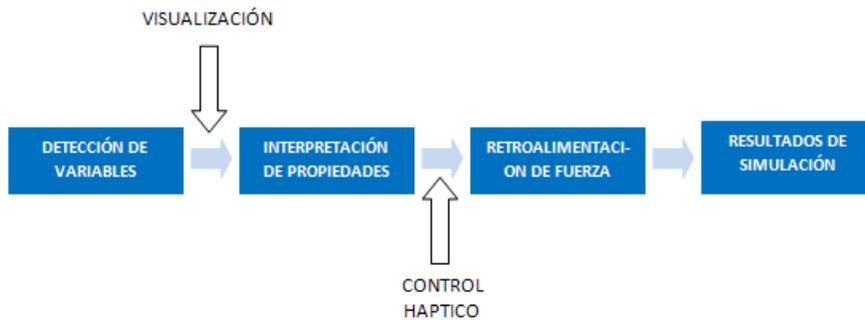


Figura 3.4: Diagrama de bloques del sistema de inmersión.

Cada bloque del sistema cumple una función específica, como se indica en el cuadro 3.2

| ELEMENTO | DESCRIPCIÓN | INCONVENIENTE |
|-------------------------------|--|--|
| Detección de variables | Identifica cuando el objeto puede ser manipulado. | Objeto con posición no específica, el dispositivo háptico no interactuaría con el sistema. |
| Interpretación de propiedades | Recoge los datos dados por el objeto. | Las propiedades no limitadas a la forma del objeto, perturban el resto del espacio. |
| Retroalimentación de fuerza | Lograr controlar los motores del dispositivo háptico de acuerdo a los datos obtenidos. | Variables, afectan al modificarlas en valores altos o pequeños. |
| Resultados de simulación | Realizar sugerencias para eliminar defectos y aumentar su desempeño en un futuro. | Factores como la distancia de visión y la luz afectan la experiencia inmersiva. |

Cuadro 3.2: Elementos principales del sistema

3.1.2. Análisis de la información y definición de las variables del sistema.

El sistema se compone de:

- Monitor Full HD 3D
- Dispositivo háptico Novint-Falcon u otro modelo.
- Computador (Software para la visualización de la interfaz virtual)
- Estructura mecánica
- Dispositivos hápticos de visualización virtual (gafas - ver sección 2.1.4.4)

Su forma de funcionamiento esta expresado en el diagrama de procesos de la figura 3.5 así como la relación que hay entre cada elemento del sistema.

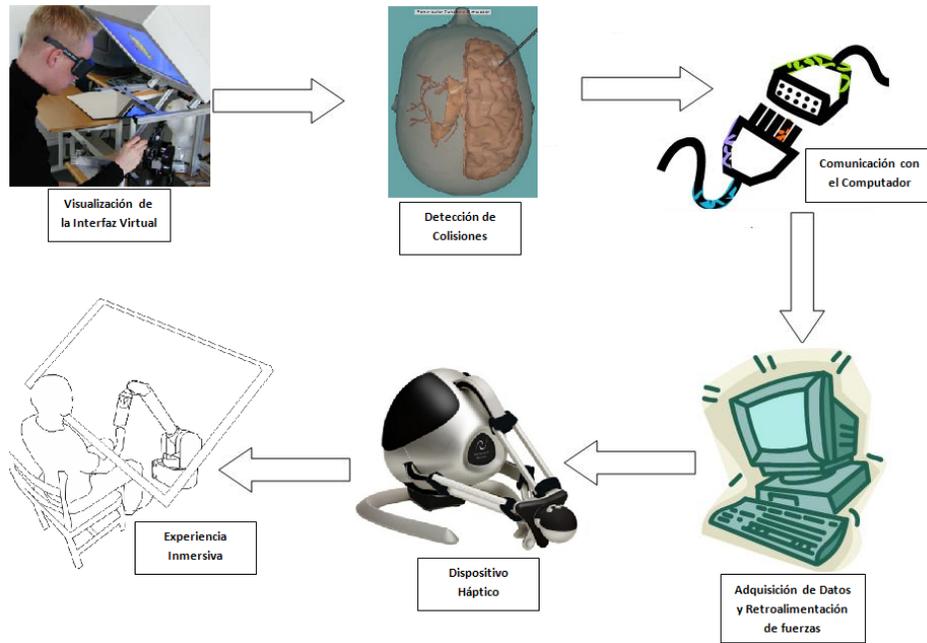


Figura 3.5: Diagrama de procesos

Una vez definido el proceso, se procede a identificar las variables del sistema por medio de los elementos que lo conforman.

3.1.2.1. Monitor - Sistema de visualización



Figura 3.6: TV Full HD Samsung SyncMaster 2233

A continuación se establecen las variables que intervienen en este elemento:

Intensidad luminosa: Se define como la cantidad de flujo luminoso que emite una fuente por unidad de ángulo sólido (ecuación 3.1). Su unidad de medida en el Sistema Internacional de Unidades es la candela (cd). Matemáticamente, su expresión es la siguiente:

$$I_v = \frac{\delta F}{\delta \Omega} \quad (3.1)$$

donde:

- I_v es la intensidad luminosa, medida en candelas.
- F es el flujo luminoso en lúmenes.
- $\delta \Omega$ es el elemento diferencial de ángulo sólido, en estereorradianes.

Pixel: Es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital, ya sea esta una fotografía, un fotograma de vídeo o un gráfico. Las imágenes se forman como una matriz rectangular de píxeles, donde cada píxel forma un área relativamente pequeña respecto a la imagen total.

Para poder transformar la información numérica que almacena un píxel en un color, hemos de conocer, además de la profundidad y brillo del color (el tamaño en bits del píxel), el modelo de color que estamos usando. Por ejemplo, el modelo de color RGB (Red-Green-Blue) permite crear un color componiendo dos colores básicos y uno secundario: el rojo y el azul (primarios) y el verde (secundario).

Frecuencia: Es el número de ciclos o repeticiones del mismo movimiento durante un segundo, su unidad es el S^{-1} que corresponde a un hertz (Hz) también se llama ciclo. La frecuencia y el periodo están relacionados inversamente.

Especificaciones técnicas del monitor:

- Resolución: 1600x980
- Frecuencia: Variable hasta 120Hz.
- Profundidad de color: Color verdadero de 36 bits.
- Velocidad de cuadro: Hasta 120 fps (imágenes por segundo).
- Entrada $HDVI_{HD}$.

Partiendo de este sistema se explica el sistema electrónico y mecánico el cual comprende a la estructura interna del Novint Falcon y a la estructura física de la mesa de inmersión; las variables que pertenecen al sistema electrónico son: El voltaje y la corriente.

- Variable normal: La corriente eléctrica (I), es la rapidez del flujo de carga (Q) que pasa por un punto dado (A) en un conductor eléctrico en un tiempo (t) determinado.

- Variable operacional: Según la ecuación 3.2 proporcional al voltaje e inversamente a la resistencia. donde,

$$I = \frac{V}{R} \quad (3.2)$$

En potencia se divide en:

- Variable normal: La rapidez con la que se realiza un trabajo. En física según la ecuación 3.3, la potencia se expresa como,

$$P = \frac{T}{t} \quad (3.3)$$

- Variable operacional: El sistema electrónico esta dado por los siguientes parametros:
 - Voltaje: Voltaje de alimentación del sistema eléctrico, 5 voltios.
 - Corriente nominal: Es la cantidad de corriente que se consumirá en condiciones normales de operación.
 - Corriente de vacío: Es la corriente que se consumirá cuando no se encuentre operando la carga, la cual es de aproximadamente del 20 % al 30 % de su corriente nominal.

Las variables que hay en el sistema mecánico en la parte de fuerza son:

- Variable Normal: La fuerza es todo agente capaz de modificar la velocidad o la forma de los objetos.
- Variable Real: Durante el proceso existirá esa influencia capaz de modificar el estado de reposo de la estructura mecánica y del dispositivo háptico generando un movimiento al proporcionar una aceleración que varía el módulo, la dirección o el sentido de su velocidad.
- Variable Operacional: Fuerza = Masa * Aceleración ($F = m * a$).
- Fuerza de fricción Normal: Siempre que un objeto se mueve sobre una superficie o en un medio viscoso hay una resistencia al movimiento debido a la interacción del objeto con sus alrededores. Dicha resistencia recibe el nombre de fuerza de fricción.
- Variable Real: Existirán cambios en la fricción siempre que se haga rotar el dispositivo háptico en la interfaz gráfica. Operacional: Coeficiente de fricción por fuerza normal.

Teniendo la estructura mecánica estos dos siguientes parámetros:

- Coeficiente de fricción: Es propio para cada material.
- Masa: Cantidad de materia, en este caso en particular, la estructura mecánica incluyendo el monitor nunca cambiara su peso.

3.1.3. Flujo de información

En esta parte del capítulo se hará un análisis a las diferentes variables que se identificaron en las secciones anteriores, además de eso se tendrán en cuenta requerimientos básicos del sistema.

El campo de proyección al plano del usuario es uno de los requerimientos básicos del sistema ya que este entre más cómodo y con un afeaste entre 30° a 60° sea va a tener una percepción mejor en la aplicación, además de esto se debe tener en cuenta factores como el puntos ciegos ocasionado por la falta de luz, u otros factores que pueden afectar el sistema.

En el siguiente cuadro se hará una breve descripción de los diferentes elementos que se utilizaran a la hora de realizar el diseño y el desarrollo del proyecto.

| Función | Elemento Seleccionado |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Manipulación de Objetos | Dispositivo Háptico |
| Tratamiento digital de datos | Cable USA |
| Efecto de profundidad | Gafas de Obturación |
| Visualización del entorno gráfico | Computador |

Cuadro 3.3: Selección general de los componentes del sistema.

Ahora se realiza una síntesis para relacionar cada uno de los bloque del Cuadro 3.2 y compararlos con el Cuadro 3.3 para ver su relación.

Lo primero que se hace es la detección de variables (Objetos con características), es decir que podrá el dispositivo háptico tener una interacción con el objeto, a continuación este dispositivo transformara estas propiedades para enviarlas al computador.

Luego se pasa al segundo bloque, en el cual se adquieren los datos, este bloque lo que hace es analizar los datos programados y los picos de voltaje y dejar esto listo para su procesamiento, de esta forma pasamos al tercer bloque que es el control de los motores internos del dispositivo háptico logrando la retroalimentación de fuerza para una mejor percepción (vista-tacto).

Dejando el flujo de la información listo para el último bloque, el cual tiene como función resultados de la simulación, donde se muestra que tan perceptivo e interactivo es para el usuario.

Una vez identicada la función, variables y parámetros de los elementos previamente mencionados, se propone el sistema de realidad virtual inmersiva de la figura 3.7

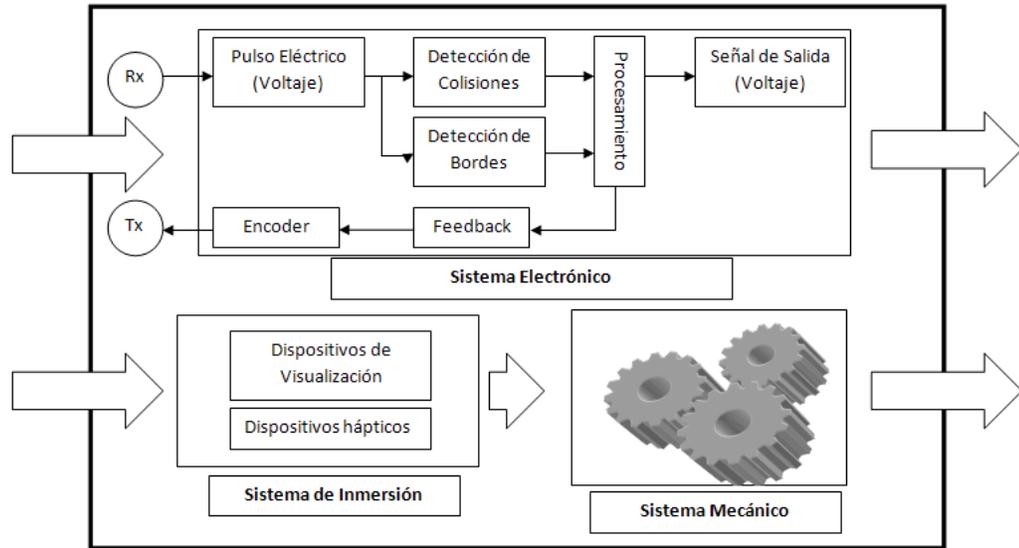


Figura 3.7: Diagrama de caja blanca del sistema propuesto.

Capítulo 4

DISEÑO Y DESARROLLO

En el transcurso de este capítulo se describirá el diseño y desarrollo del prototipo de un simulador inmersivo con todas las especificaciones correspondientes para su realización, así mismo al hardware (sistema mecánico) empleado y además las partes más importantes y sobresalientes del código de los programas, de manera que se pueda entender claramente el desarrollo del software.

4.1. Arquitectura general del sistema

En el proceso de entrenamiento virtual inmersivo se tiene en cuenta tres características fundamentales:

- La simulación
- La interacción
- La percepción

A partir de estas tres características se llegará al ambiente virtual de entrenamiento, teniendo el control del sistema con el dispositivo háptico el cual recogerá la información de la textura simulada enviando la información al ordenador para ser procesada y actuar en consecuencia de esa manera aumentara la iteración de los sentidos.

El proceso para una estación de trabajo inmersiva consiste en llevar al usuario al mundo virtual a través de Shutter Glasses y que el mundo virtual este siendo visualizado sobre el vidrio parcialmente reflectivo actuando como un proyector pasivo. Para recrear la escena se tiene el elemento de control, que será el dispositivo háptico situado debajo del espejo parcialmente reflectivo, el cual envía el posicionamiento actual en la interfaz y la retroalimentación generada por la programación de la textura hacia el efector final del usuario.

El software que intervendrá en el sistema es H3DAPI que incorpora todas las herramientas necesarias para la realización de cualquier proyecto, la principal ventaja es su alcance gratuito que se encuentra disponible en la página www.h3dapi.com, el cual maneja el formato de archivo X3D que está basado en el estándar ISO XML.

Es un conjunto de librerías encargadas de extender las funcionalidades básicas de X3D con la incorporación de sistemas hápticos. Para su programación puede utilizar cualquier editor de texto, en este caso se utilizó la herramienta de software libre Notepad++ (<http://notepad-plus-plus.org/>).

Para este proyecto se realizaron dos prototipos, uno utilizando acrílico y el segundo utilizando perfiles de aluminio para darle mayor robustez, modularidad y ajustabilidad en diferentes escenarios, y poder competir con los fabricantes comerciales como SenseGraphics

En la figura 4.1 se presenta el diagrama de flujo de como fue realizado el proceso de elaboración específicamente del sistema tomando fases y revisiones partiendo desde las necesidades y las tendencias actuales del proyecto entendiendo que las fases son:

- Validación de la idea
- Diseño conceptual
- Especificación y diseño
- Prueba del prototipo

En cuanto a las revisiones, estas son:

- Lanzamiento del proyecto
- Aprobación de la Implementación del proyecto
- Aprobación del diseño

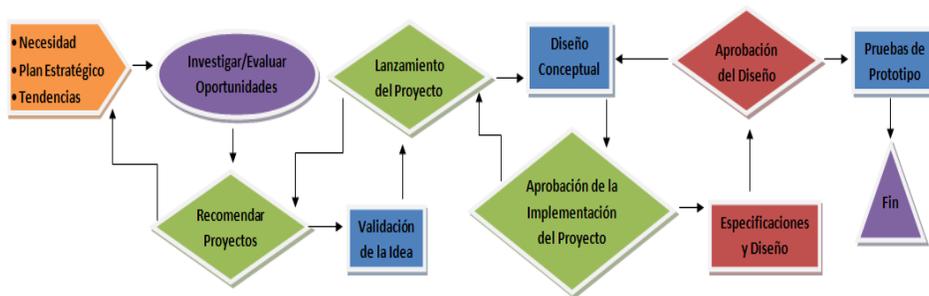


Figura 4.1: Fases y Revisiones del simulador háptico

4.1.1. Diseño Mecánico

Esta sección cubre las restricciones que deben tomarse en consideración para el diseño en el hardware de la mesa inmersiva con la finalidad de que los problemas detectados se solucionaron, o al menos, se redujeron al mínimo. Usando un software de CAD en este caso Solid Edge y CosmosWorks para establecer las limitaciones y analizar el diseño.

En la elaboración de la estructura inmersiva se tuvo en cuenta las dimensiones del monitor (altura, largo y peso) y teniendo en cuenta también la proyección virtual del plano y el espacio de trabajo del dispositivo háptico. El material seleccionado fue acrílico para la primera versión y aluminio en la versión definitiva por su fácil adquisición, maleabilidad y durabilidad, también es un material difícil de corroerse sin abarcar los metales inoxidables de alto precio.

Dispositivo háptico y proyección virtual del plano:

Con el fin de diseñar un sistema háptico de realidad aumentada, primero se debe determinar la posición del dispositivo háptico con respecto a el usuario. Un análisis ergonómico se llevo a cabo para identificar la posición ideal del dispositivo háptico teniendo en cuenta su volumen y una postura cómoda del codo y la muñeca de un usuario.

La figura 4.2 muestra la posición deseada del dispositivo háptico y su espacio de trabajo; haciendo que el usuario busque el efector final del dispositivo háptico desde la posición cero del sistema de coordenadas del mismo, se define una línea entre la posición de los ojos y el centro del espacio de trabajo del dispositivo háptico.

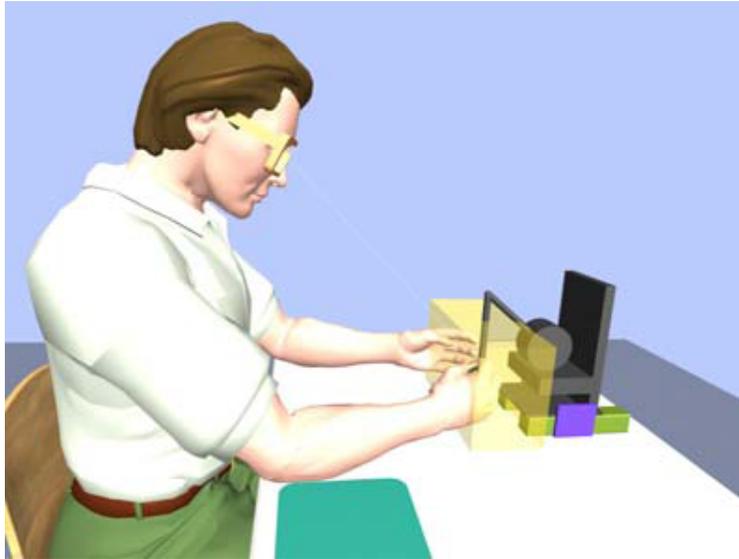


Figura 4.2: Proyección del plano virtual

Configuraciones:

Vista la posición deseada y la orientación de la proyección del plano virtual, el siguiente paso es estudiar todas las configuraciones posibles para el monitor y el espejo para mantener esa limitación fundamental. El espejo corresponde con la bisectriz del ángulo entre la pantalla del monitor y el plano de proyección virtual. Así, tanto el espejo y el monitor deben ser coordinadas con el fin de mantener el plano de proyección virtual en 45° .

Posicionando el espejo horizontal, como en la gran mayoría de Immersives Workbench, mueve la pantalla dentro del campo de visión del usuario y obliga a el usuario a estar buscando en la parte superior del plano de proyección virtual como se observa en la figura 4.3

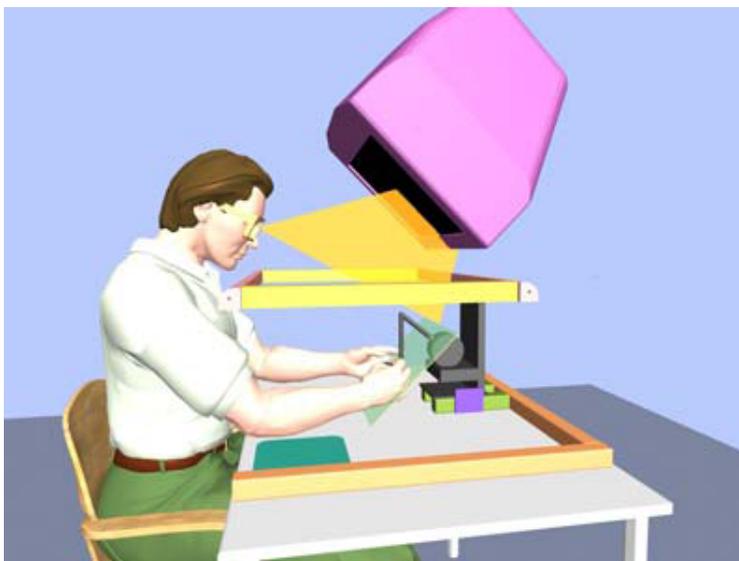


Figura 4.3: Espejo posicionado horizontalmente al usuario

Por otro lado, la localización de la pantalla del monitor en posición horizontal, como en el proyecto París TM, la cabeza del usuario interfiere la imagen del monitor que se refleja en el espejo (Figura 4.4).

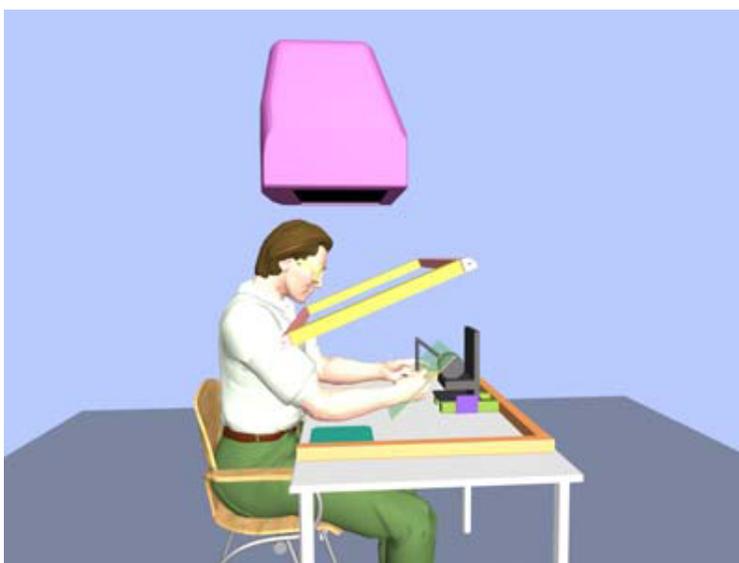


Figura 4.4: Monitor posicionado horizontalmente sobre el usuario.

Después de analizar tanto como los proyectos París y SenseGraphics, se llegó a una solución viable en el que el monitor este a la vez fuera de campo de vista del usuario y suficientemente separado de la cabeza del usuario como se observa en la figura 4.5 el cual se definió como la posición deseada final para una estructura inmersiva.

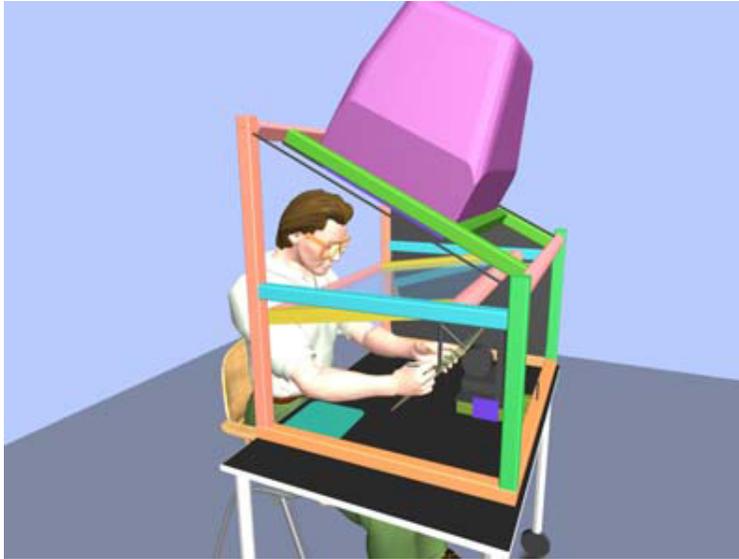


Figura 4.5: Análisis final de una mesa inmersiva

Vale la pena mencionar y destacar que en la figura 4.6 el espejo es lo suficientemente grande (47cm x 30cm) para permitir al usuario ver los objetos virtuales de diferentes puntos de vista (muestra la vista centrada del usuario) haciendo posible que el mueva su cabeza de izquierda a derecha sin romper la ilusión visual.

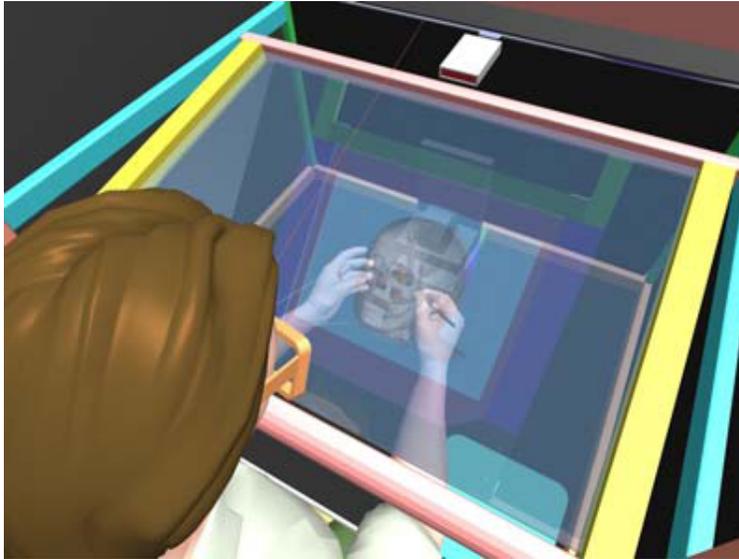


Figura 4.6: Perspectiva del usuario

Mesa inmersiva 1.0:

Se utilizó la herramienta Solid Edge ST para realizar el modelado de las piezas de acrílico necesarias para la “implementación” de una mesa inmersa con un tamaño real de piezas y componentes, después de ello usamos el software COSMOS para el respectivo análisis de elementos finitos (FEM) asumiendo que se realizara en material acrílico y obviamente haciendo un enmallado previamente de nuestro conjunto. a continuación veremos las piezas realizadas y también la estructura completa al ser descompuesto por (FEM) para comprobar su alta resistencia y deformaciones.

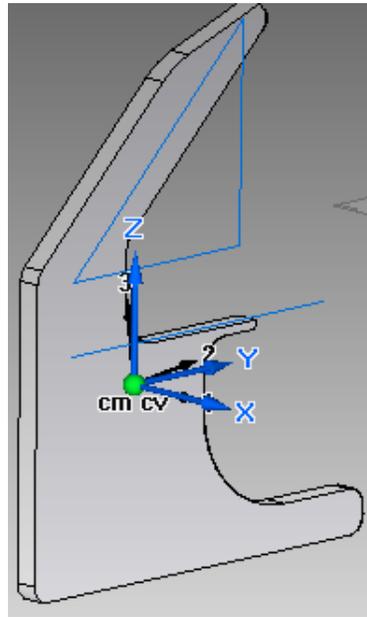


Figura 4.7: Soporte lateral de acrílico

Como se escribió anteriormente se dan las propiedades del material en el software para que sean mas detallados y exactos los cálculos y las gráficas con el fin de tomar decisiones en caso de que sea necesario el volver a rediseñar la estructura de la mesa de inmersión o se dejara el modelo actual por cumplir con lo esperado.

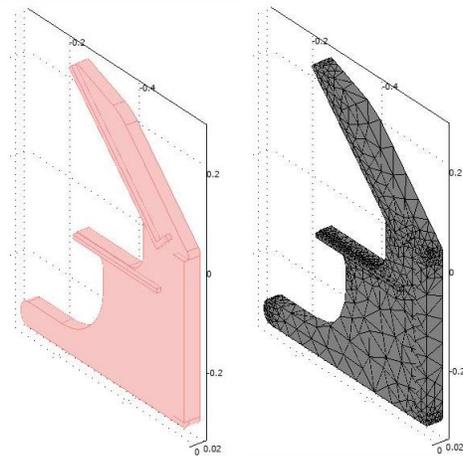


Figura 4.8: a) Importación de Pieza en la interface COSMOS b) Enmallado de la Pieza

Se simula solamente un soporte lateral ya que este es lo mas importantes en la parte estructural del diseño de la mesa inmersiva ya que soportan el peso de el monitor y el vidrio. Lo que si se considera es dividir el total del peso el cual se aplico para el simulación un total de 8 kg. para dejar esta pieza al máximo esfuerzo de tensión; y las siguientes imágenes que se observan son las varias formas de representar los esfuerzos por VonMises y los desplazamientos generados en el material.

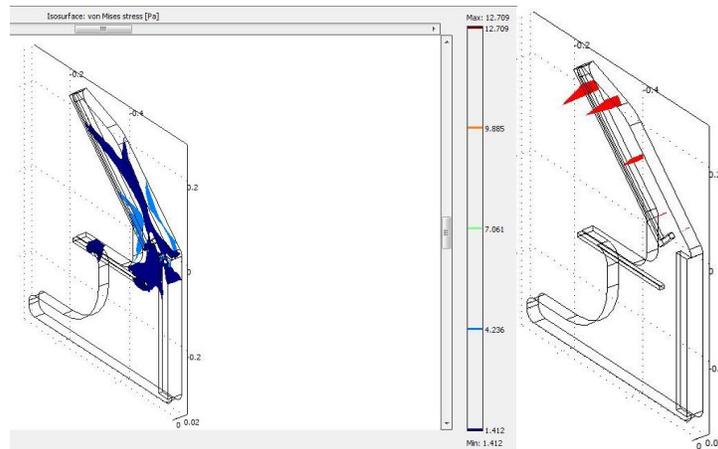


Figura 4.9: a) Tensión de Von Mises b) Desplazamiento

Después de realizar un buen renderizado que sea acorde al computador se pasa por el análisis de desplazamiento y VonMises para constatar de que esta estructura no fallara o cederá arrojando las siguientes gráficas de las figuras 4.9 y 4.10.

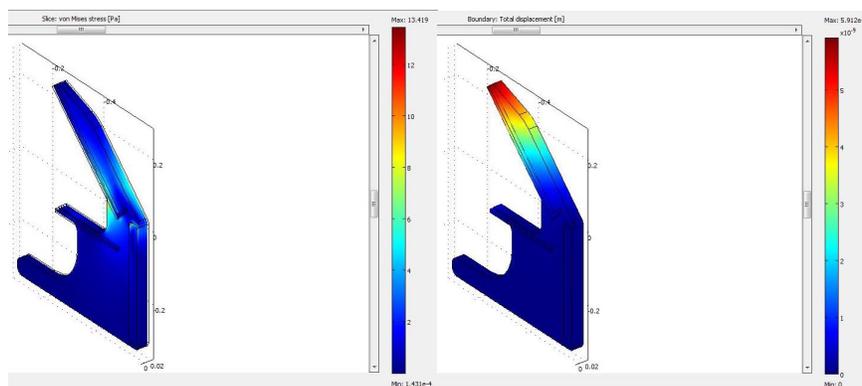


Figura 4.10: a) Teoría de fallo b) Desplazamiento total

Al observar de que este tipo de estructura es poco probable de que llegue a fallar

teniendo en cuenta que el valor de esfuerzo máximo es mucho menor que el límite elástico del material empleado. Posteriormente se procede a usar el programa Corel Draw el cual se utilizara para hacer la vista lateral de los perfiles de acrílico; la razón por la cual se usa este programa es que las Cortadoras Laser comerciales en la ciudad de Bogotá usan la extensión “.CDR” así con ello se llevo a cabo el corte perfecto de estas dos piezas pero en un calibre numero 10, ya que el usar un ancho de 25 mm de en una placa es bastante costoso y difícil de trabajar y de conseguir. Pero no hay ningún inconveniente con este cambio en el diseño del calibre ya que están dentro de nuestro rango de tolerancia.

Continuando con los materiales, para la ubicación y posicionamiento del monitor se hace un marco con ángulos de Aluminio previamente y a la medida del televisor a colocar en la mesa inmersiva, para este caso se utilizo un monitor Compaq WF1907 de 19” con una resolución de 1440x990.

Usando taladro, escuadras y tornillos de rosca fina se arma el marco de seguridad para el monitor y se instala usando una arista de estos en los laterales de cada una de las piezas de acrílico para lograr firmeza y un buen equilibrio. Por lo cual se ve en el diseño CAD de esta primera versión de una mesa inmersiva de la figura 4.11.

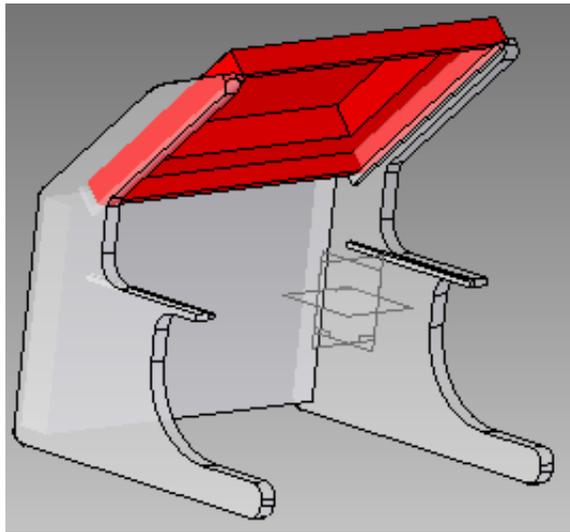


Figura 4.11: Modelo en CAD de una mesa inmersiva

Con la ubicación del monitor se procede a sacar la longitud del vidrio parcialmente reflectivo usando simplemente trigonometría básica en un triángulo, ya que sabiendo la altura del monitor esta dimensión será nuestra hipotenusa y en el diseño constatamos un ángulo de 45° para satisfacer un buen ángulo de visión sin tener ningún tipo de oclusión entre el usuario y dispositivo de inmersión, siendo así la longitud del vidrio parcialmente reflectivo de 240mm.



Figura 4.12: Ubicación del marco del monitor

Con esta breve introducción de los pasos que se usaron para poder hacer la parte estructural de la mesa de inmersión se da paso a ver unas imágenes de la fase de construcción y por último la mesa totalmente en su uso en el Centro de Realidad Virtual en la UMNG.



Figura 4.13: a) Montaje final de la mesa de inmersión V1.0 b) Vista lateral de la mesa de inmersión



Figura 4.14: Vista en el espejo parcialmente reflectivo de la implementación

Mesa inmersiva 2.0:

Selección del material

Se inclino por seleccionar los componentes mecánicos de Festo ya que fueron concebidos para numerosas aplicaciones. El sistema modular puede utilizarse para equipos hápticos. También permite la configuración de estructuras portantes para los diseños incluidos en la gama de sistemas modulares de inmersión.

Desde la fase de desarrollo del sistema inmersivo se prestó especial atención en que los componentes principales puedan adaptarse de modo rápido y sencillo al sistema de perfiles asegurando que esta estructura mecánica permita una construcción eficiente y resistentes a grandes esfuerzos. Aunque hay que tener en cuenta la importancia de que dependiendo de la estructura, deberá tenerse en cuenta el esfuerzo estático máximo admisible, tal como se indica en los diagramas que constan en las informaciones técnicas de un perfil.

Estos perfiles tienen un código cuya estructura siempre es la misma la cual se muestra en la figura 4.15 por medio de un ejemplo y sirve para hacer referencia a ellos.

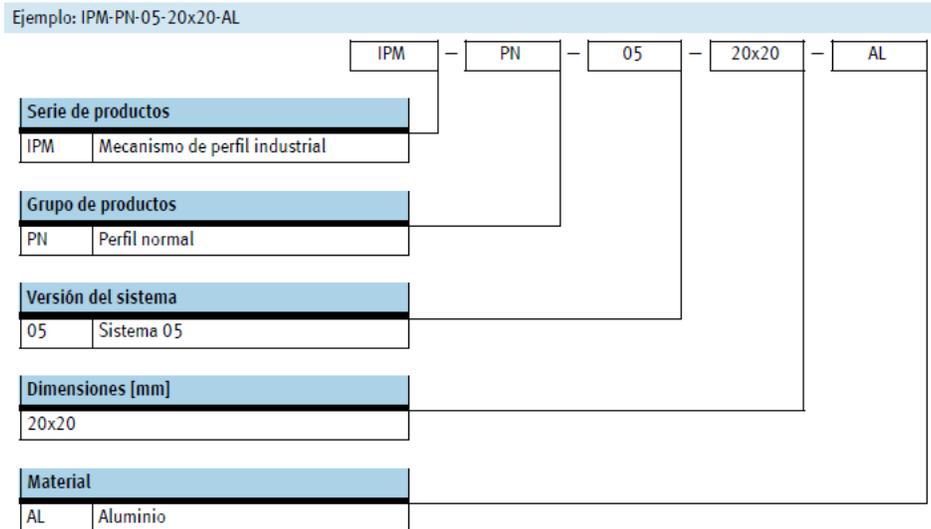


Figura 4.15: Estructura del código para perfilería

Las características de los perfiles Festo es que son moldeados por extrusión y son de una aleación de aluminio anodizado. Las ranuras de los perfiles se utilizan principalmente para la fijación de los elementos de unión, con los que es posible configurar estructuras modulares para estas clases aplicaciones y con la amplia gama de accesorios para este sistema de perfiles, el uso es casi universal.

La perfilería Festo cuenta con dos clases de sistemas los cuales son “*Sistema 5*” y “*Sistema 8*” siendo diferenciables en su tamaño, forma y debido a eso a sus características de Patrón y de Esfuerzo de Tracción las cuales observamos en la figura 4.16; al conocer que el monitor el cual es el componente que ejerce mayor esfuerzo sobre la estructura mecánica no supera mas de los 600N se opta por el sistema 5 y de esa forma no gastar recursos económicos en un sistema mas robusto y más costoso.

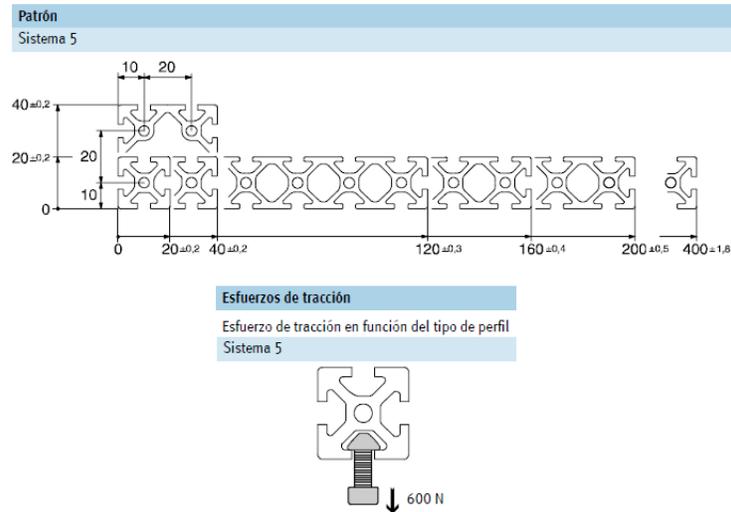


Figura 4.16: a) Patrón Sistema 5 b) Esfuerzo de tracción Sistema 5

■ Sistema 5 - Flexión y Esfuerzo de Flexión

Recurriendo al siguiente diagrama de esfuerzo, es posible determinar aproximadamente la flexión y el esfuerzo de flexión en el sistemas 5. Las flechas y los sentidos indicados en el diagrama muestran la forma de leer la flexión en los casos 1 hasta 6. Se sobreentiende que también es posible proceder a la inversa: conociendo la flexión, se obtienen las dimensiones del perfil. dicho sistema de perfil tiene por defecto estos valores característicos:

- $R_m = 250 \frac{N}{mm^2}$,
- $Rp_{0,2} = 200 \frac{N}{mm^2}$
- Tensión admisible: $\sigma_{adm} = 135 \frac{N}{mm^2}$ con coeficiente de seguridad: $\nu = 1,5$,
- Módulo elástico: $E_{A1} = 70000 \frac{N}{mm^2}$

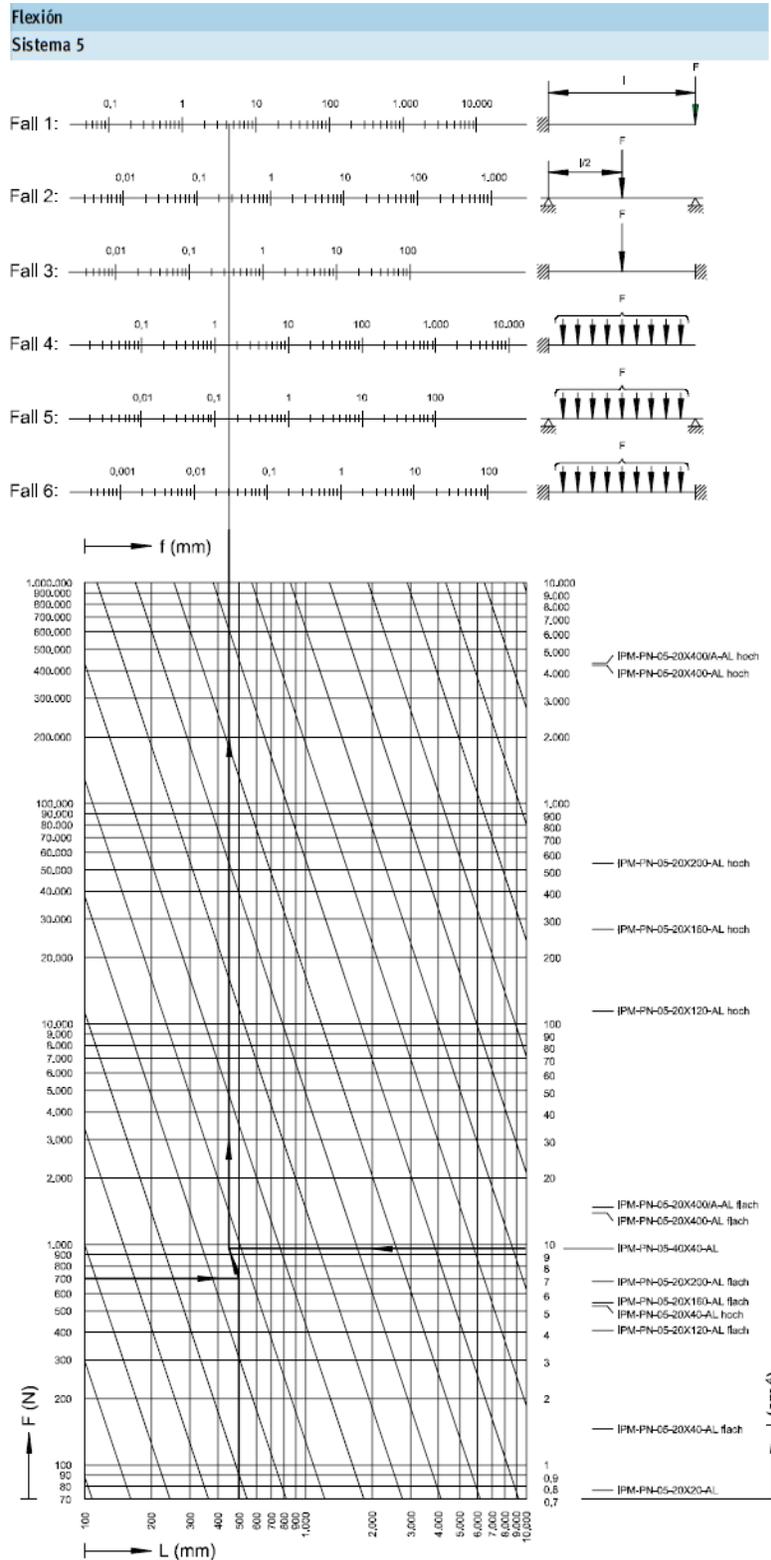


Figura 4.17: Diagrama de Flexión

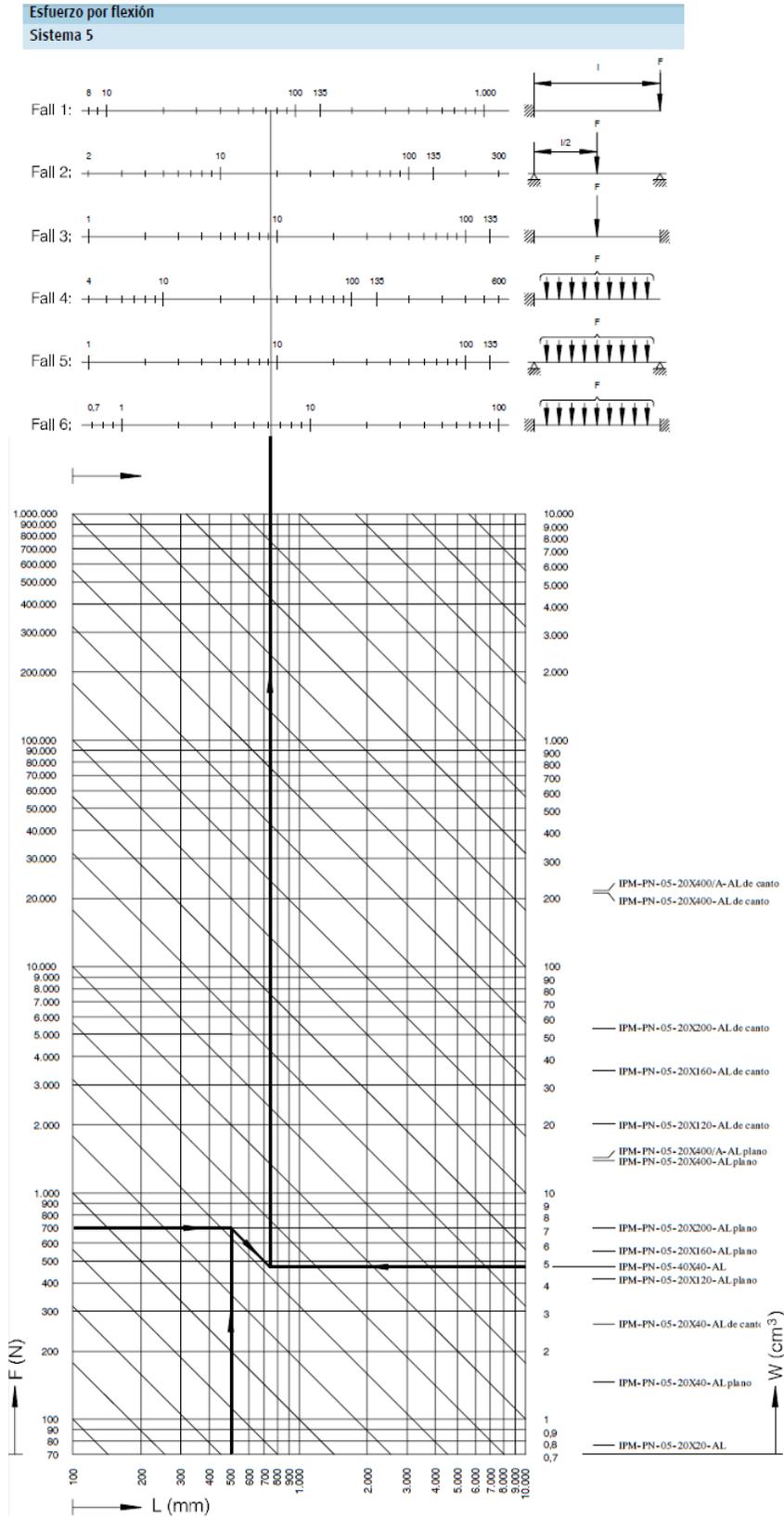


Figura 4.18: Diagrama de Esfuerzo de Flexión

Al verificar todas las características que tienen estos perfiles se construirá la estructura mecánica de la mesa inmersiva con el Perfil Festo 20x20 – IPM-PN-05-20x20-AL, ya que es especialmente apropiado para sobreestructuras finas y ligeras, que no deben soportar grandes esfuerzos con los siguientes datos técnicos y dimensiones que se pueden observar en la figura 4.19

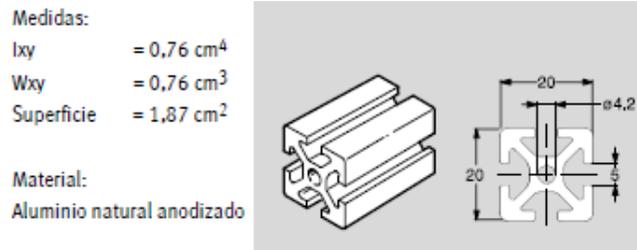


Figura 4.19: Datos técnicos y dimensiones del perfil 20x20

Después de elegir el perfil como bien se explico al principio de esta sección no solamente al elegir el perfil estará completado la estructura mecánica ya que estos perfiles necesitan accesorios que ayuden a reforzar la unión entre ellos mismos y para esto se utilizaran “elementos de unión” los cuales son escuadras (figura 4.20 y 4.21) que se utilizan para unir mecánicamente perfiles del sistema 5, utilizando tuercas deslizantes y tornillos. Usando como refuerzo para elementos de unión perfilados y como elementos para el montaje de componentes indistintos en perfiles a (0° - 90°) y 45° (elementos angulares).

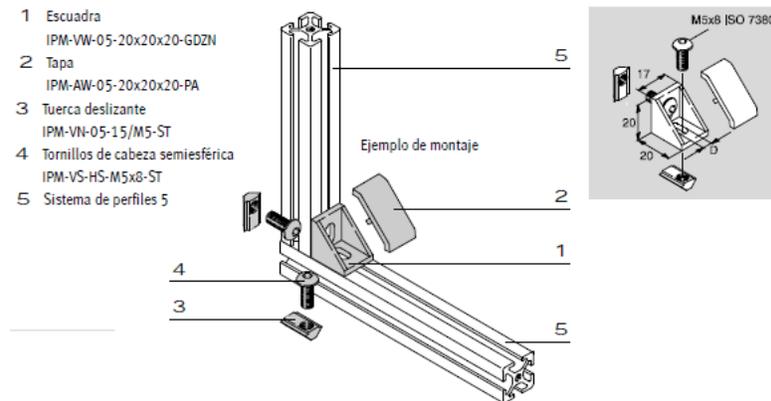


Figura 4.20: Elemento de unión Escuadra 20x20x20 – IPM-VW-05-20x20x20-GDZN

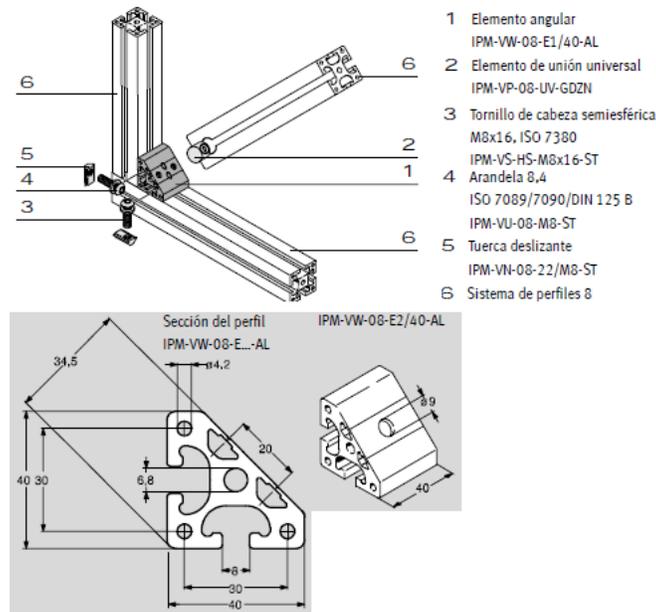


Figura 4.21: Elemento de unión angular

Modelado del proceso de diseño CAD/CAE

Para realizar el modelado se utilizó un método para modelar las decisiones, las acciones y las actividades de un sistema. Se utiliza la combinación de gráficas y texto presentados en forma organizada y sistemática. Consiste en que las unidades básicas dentro de un modelo son las actividades, las que se definen como “el componente de un sistema que desarrolla una acción, transformando sus entradas en salidas”, y se representan como cajas. Este modelo está compuesto por una serie jerárquica de actividades que gradualmente presentan niveles de detalle describiendo actividades y sus interfaces con el contexto del sistema.

Las entradas (izquierda de la caja) que son transferidas a los datos de salida (derecha de la caja). Los controles (arriba de la caja) gobiernan a las funciones y los mecanismos (abajo de la caja) indican cómo será realizada la función. El propósito del modelo que se presenta en la figura 4.22, es asistir en el diseño y evaluación del proyecto.

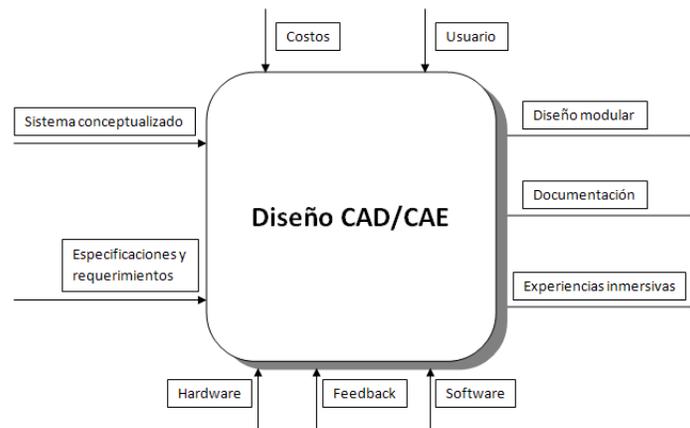


Figura 4.22: Modelado del proceso de diseño

Partiendo de 4 actividades o funciones las cuales son:

- *Modelado geométrico*: Es la función donde se genera la representación simplificada de una textura que se desea estudiar. Con la cual es posible interactuar, que tiene propiedades geométricas inherentes, características, conectividad entre elementos que conforman al componente y que se puede almacenar.
- *Análisis de ingeniería*: El análisis de ingeniería es utilizado para realizar cálculos y simulaciones.
- *Revisión y evaluación del diseño*: En esta función se realizan las revisiones entre actividades de trabajo.
- *Aplicación de realidad virtual*: En esta función tiene lugar la experiencia multisensorial con la simulación del caso de estudio. Del modelado de proceso de diseño CAD/CAE¹, se obtienen categorías de información requeridas para realizar dicho proceso:
 - *Aplicación de la realidad virtual*: Representa la información de intercambio con el usuario, percepción, interacción, manipulación y comprensión de la tarea a realizar.
 - *Funciones*: Las funciones asociadas al proyecto.
 - *Especificaciones*: Esta información dicta y restringe los límites que se deben de tomar durante el proceso.

Para finalmente globalizar la planeación del proyecto a través del diagrama de la figura 4.23, que muestra la relación entre el proceso clásico de diseño y los

¹CAE: Computer-Aided Engineering, siglas en inglés de ingeniería asistida por computadora

módulos de un ambiente de diseño e ingeniería asistidos por computadora [9] y se agrega el soporte que proporciona la realidad virtual inmersiva para llevar a cabo las revisiones de la fase de diseño.

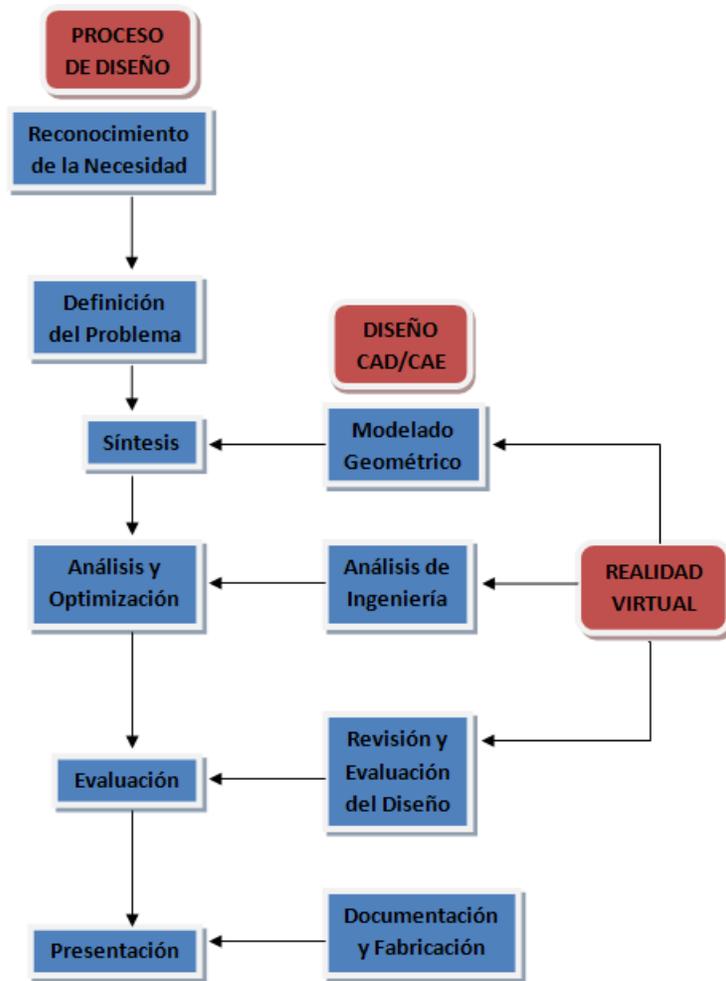


Figura 4.23: Proceso de Diseño y Realidad Virtual

El diseño de las piezas fue realizado a través del software Solid Edge v.ST, se generaron los planos de construcción y ensamble de cada segmento de pieza del perfil y en las siguientes gráficas se muestra el conjunto del diseño final para la construcción de la mesa inmersiva y las propiedades físicas de este ensamble, es decir, simular su peso final con la densidad de el aluminio que se puede seleccionar con esta herramienta de el software de diseño asistido por computadora.

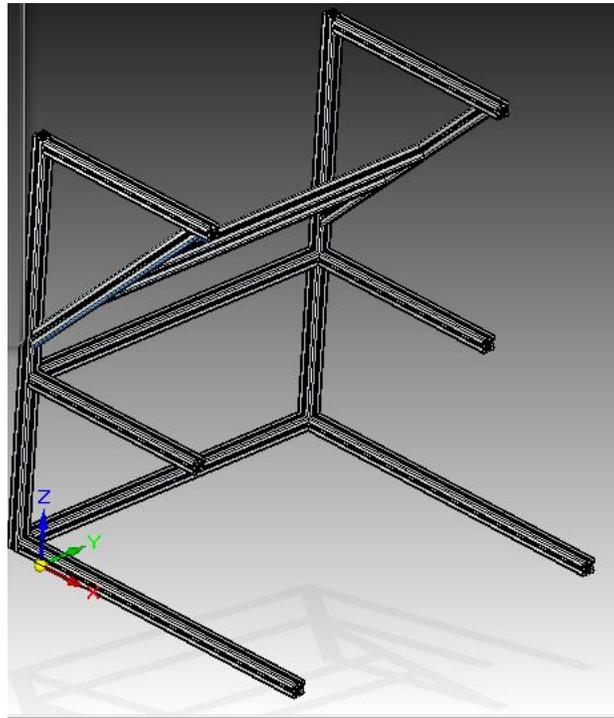


Figura 4.24: Ensamble final de diseño del prototipo de inmersión

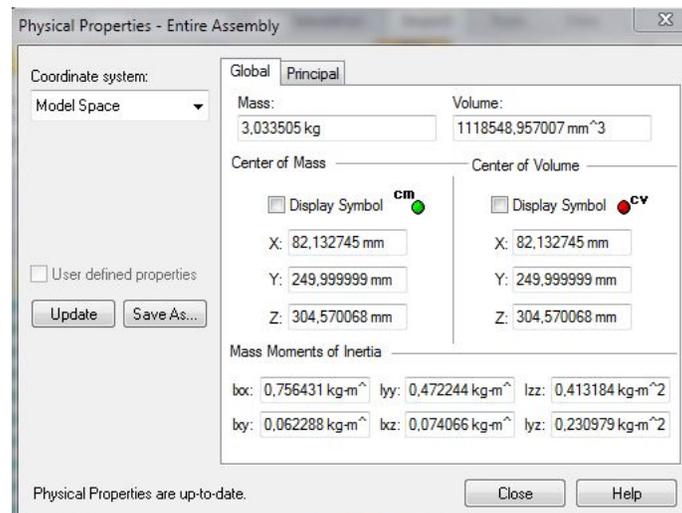


Figura 4.25: Peso final del ensamble

Para mejorar la estructura mecánica de la mesa inmersiva a diferencia de las mencionadas a nivel profesional se realizó el diseño y el mecanizado de la base del monitor para que esta tenga 2 grados de libertad (Figura 4.26), es decir para evitar que sea rígida y asegurar un offset entre 30° y 60° de la proyección de la imagen del monitor al espejo junto con un movimiento lineal que puede alcanzar los 12 cm de longitud para poder ajustar el monitor al derecho o desde el reverso en caso de que el computador que se este utilizando no cuente con una tarjeta de vídeo para invertir la imagen.

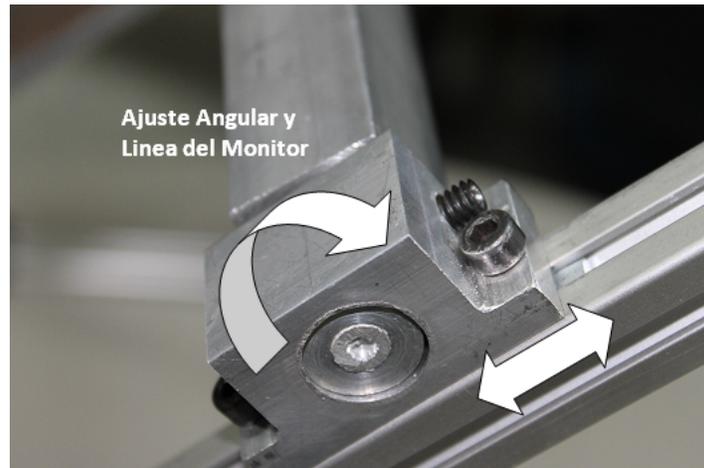


Figura 4.26: Ajuste angular y lineal para la proyección del monitor

Se integro un base trasera a la medida del monitor proveniente de una platina de aluminio en vez de ajustar a la estructura un marco rígido como se hizo en la anterior versión de la mesa inmersiva, de esta manera se elimino peso extra a la estructura. Dicha base esta unida por tres tornillos de llave bristol al eje ajustable mostrado en la imagen.

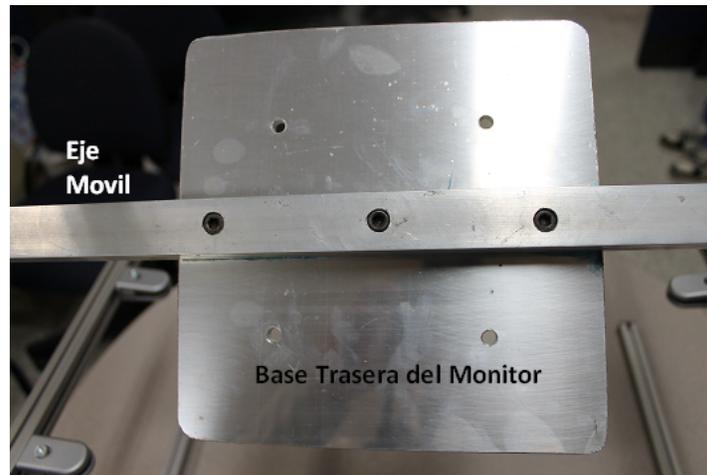


Figura 4.27: Base del Monitor

En la figura 4.28 se observa la forma en como se unen los perfiles de manera perpendicular dando más estabilidad a la estructura haciendo uso de las escuadras.



Figura 4.28: Elemento de Unión

Un gran inconveniente en la elaboración de esta mesa era el poder usar los accesorios angulares que el fabricante Festo ofrecía en su catalogo ya que estos no son compatibles con el sistema 5, motivo por el cual fueron mecanizados y rectificados para que se pudieran acoplar al perfil 20x20 seleccionado, esto se muestra en la figura 4.29 quedando con un excelente acabado.

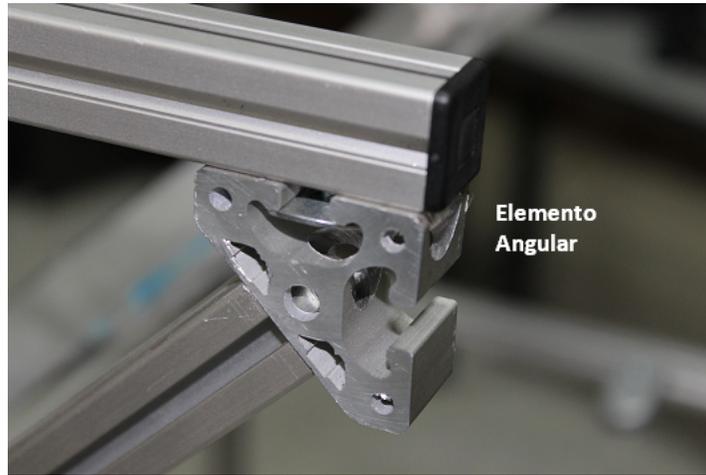


Figura 4.29: Elemento Angular

Para finalizar antes de mostrar la estructura terminada, se colocó un fino accesorio el cual son cuatro prensatornillos (Figura 4.30) para sujetar el espejo parcialmente reflectivo y de esta manera dejar al espejo un movimiento lineal, para ajustar aun más la imagen proyectada por el monitor.



Figura 4.30: Elemento Plano

A priori se observa en las siguientes figuras la estructura final con y sin el monitor instalado junto a los demás componentes del centro de realidad virtual CRV para aumentar la percepción de los sentidos en caso de usar este novedoso proyecto inmersivo el cual se bautizó como MUID 2.0 (Military University Immersive Desk).



Figura 4.31: Estructura mecánica



Figura 4.32: Mesa inmersiva MUID 2.0 - Estado final

4.1.2. Software para el simulador de realidad virtual

Características:

- Capacidad de importar modelos 3D y librerías de objetos 3D.
- Permitir operaciones geométricas.
- Detección de colisiones entre objetos o dispositivo haptico.
- Propiedades físicas de los objetos.

- Color, textura, luz, POV² de camara.
- Retroalimentacion de fuerzas sincronizada con el ambiente virtual.

Para el desarrollo del entorno virtual, se utilizo como herramienta de trabajo el Notepad++, en el cual se realiza el codigo h3d y se guarda con extencion *.x3d con el fin de que este archivo creado sea visualizado por medio del software gratuito H3D-API producido por la empresa SenseGraphics siendo una plataforma de desarrollo de software háptico, el cual posee opciones especiales para la edición en cuanto a la visualizacion del entorno virtual y el ajuste de navegacion de dispositivos hápticos.

En esta plataforma H3D esta incluido la *Renderización háptica* la cual se utiliza para determinar las fuerzas de geometrías; si un usuario está empujando hacia el objeto entonces una fuerza contraria al movimiento tiene que alejarlo. Los dos algoritmos disponibles son “*God-Object*” publicado en 1995 por C.B. Ziles y J.K. Salisbury y el Renderizador Ruspini siendo este una mejora del algoritmo God-Object.

- Algoritmo God-Object: Se evalúa en cada paso en el tiempo la posición del efector final en el entorno virtual o el HIP³. Como se observa en la figura 4.33. Si el HIP esta dentro del volumen de la geometria virtual entonces la distancia entre el HIP y la superficie de la forma, o el punto intermedio de la interfaz háptica (IHIP) se calcula. La fuerza generada corresponde a la ley de Hooke, $F = -kx$. Entonces esta fuerza es enviada al hardware háptico activando los motores para restringir el empuje del usuario.

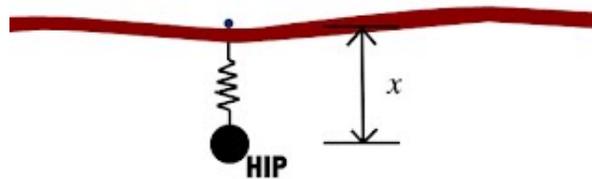


Figura 4.33: Representación del algoritmo God-Object

- Algoritmo Ruspini: Es semejante a God-Object, excepto que utiliza una esfera como el IHIP en lugar de un punto. Esto elimina la mayor parte de tener un polígono discontinuo. A través de la experimentación en varios modelos del algoritmo Ruspini, en general, produce resultados más realistas con un menor número de fallas.

²P.O.V: acronimo en ingles de Point of View que significa punto de vista.

³HIP: Punto de Interfaz Háptico

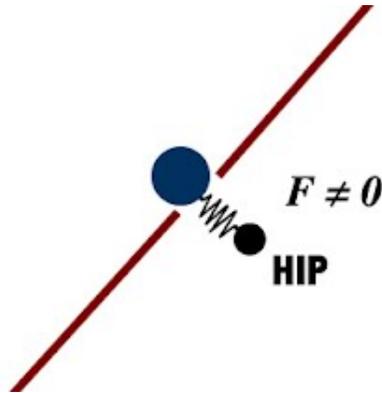


Figura 4.34: Representación del Algoritmo Ruspini

SELECCIÓN DEL ALGORITMO EN EL H3DAPI:

Primero que todo se debe cargar alguna interfaz gráfica e ingresar a las opciones de renderizado como se observa en la figura 4.35 donde se podrá elegir estos 2 tipos de algoritmos y también configurar el modo de representar el objeto 3D es decir, pasarlo a escala de Blue-Red para anaglifo o Quad Stereo para las gafas de obturación.

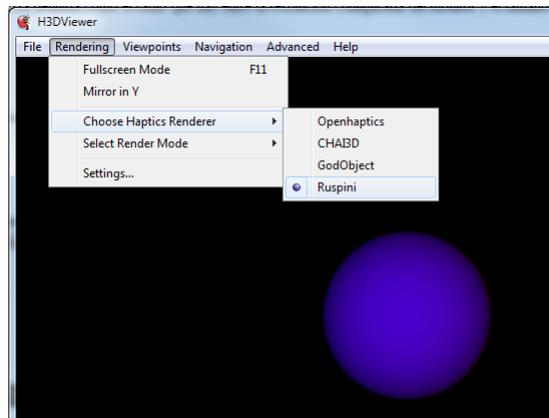


Figura 4.35: Elejir Renderizado Háptico en H3DAPI

Como se conoce H3D utiliza un formato XML con X3D para la simulaciones táctiles, X3D es un método de creación de graficos por computadora utilizando OpenGL, pero sin la complejidad de la programación de C++. y el formato XML es bastante conocido y facil de ordenar ya que utiliza etiquetas `<></>` para almacenar datos.

4.2. Comparación de Características de MUID 2.0 con sistemas previos de inmersión

Para comparar los sistemas de realidad aumentada es necesario, ver la definición conceptual y matemática de dos características que no han sido mencionados anteriormente los cuales son la densidad del pixel y la agudeza visual, estos dos factores solamente afectan al monitor que se usa en la estructura mecánica.

- Densidad del pixel: Esta definida como el radio que hay entre la resolución configurada del monitor y el tamaño de este (ecuación 4.1). Esta característica se mide en pixeles por pulgada (ppi) y la visión humana puede distinguir fácilmente los detalles de hasta 300 ppi.

$$PD = \frac{DisplayResolution}{ScreenSize} \quad (4.1)$$

- Agudeza visual: Es una medida de la visión de una persona. Zwern [10] en el año 1995 calculo la agudeza visual para las pantallas estereoscópicas (ecuación 4.2), como una función del campo de visión (FOV) y la resolución configurada del display:

$$VA = \frac{20}{FOV * \frac{1200}{Resolution}} \quad (4.2)$$

En el siguiente cuadro se muestran las características físicas y digitales con los que cuenta este nuevo sistema de simulación de realidad aumentada y se compara con los tres proyectos más sobresalientes a nivel académico y profesional.

| CARACTERÍSTICA | PARIS™ | SenseGraphics | Immersive Touch® | MUID 2.0 |
|--|------------------------------|---------------|------------------|----------------|
| Resolución del Display (pixel) | 1280x1024 | 512x768 | 1600x1200 | 1680x1050 (3D) |
| Frecuencia de actualización del monitor | 108 (Hz) | 60 (Hz) | 100 (Hz) | 120 (Hz) |
| Densidad del Pixel (ppi) | 22 | 58 | 100 | 97 |
| Tamaño de Monitor (inches) | 58x47 | 12x9 | 16x12 | 20.5x13.6 |
| Agudeza Visual ($\frac{20}{30} = \textit{perfecto}$) | 20/112.5 | 20/82.03 | 20/24.75 | 20/23.57 |
| Volumen gráfico y conjunto háptico | • | ✓ | ✓ | ✓ |
| Monitor fuera del FOV del usuario | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Adecuado para la simulación de cirugía y/o el desarrollo de aplicaciones | • | • | ✓ | ✓ |
| Sólo la imagen reflejada es visible | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Espacio de trabajo confortable (ancho del espejo) | ✓ | • | ✓ | ✓ |
| Perspectiva centrada del usuario | ✓ | • | ✓ | ✓ |
| Seguimiento de cabeza y/o mano (tracking) | ✓ | • | ✓ | • |
| Numero requerido de computadores | Dos (un PC para tracking) | Uno | Uno | Uno |

Cuadro 4.1: Resumen de características entre la MUID 2.0 y sistemas previos.

Capítulo 5

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Con el diseño del prototipo, usando componentes mecánicos de Festo y aplicando algunos de sus accesorios para aplicaciones específicas, se llegó a tener la simulación de una estación de trabajo modular, consiguiendo de esta manera con los elementos de fabricación que se utilizaron, tener un peso ideal para la parte de experimentación para el usuario.

La mesa de inmersión se puede adaptar a la medida del usuario por medio de su mecanismo de ajuste del monitor y espejo parcialmente reflectivo junto con hacer uso de una silla para manipularla. También se puede observar que al colocarle al usuario gafas de obturación o anaglifo, se siente la sensación de estar en un ambiente virtual 3D.

En la figura 6.1 se puede observar los items que se pueden usar el usuario para realizar su percepción e interacción con la mesa de inmersión.

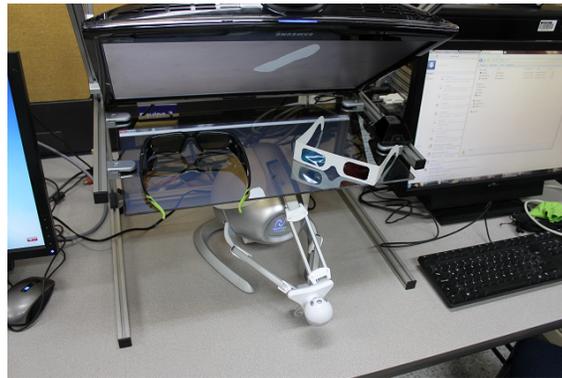


Figura 5.1: Fotografía de la mesa de inmersión MUID 2.0 con los dispositivos de visión háptica.

5.1. Pruebas

Para confirmar la destreza total del dispositivo háptico Novint Falcon, se necesitaba asegurar en la estructura mecánica el volumen de trabajo de este dispositivo (Figura 6.2) sabiendo que este tiene (4"x4"x4") o (10,2cmx10,2cmx10,2cm); es decir que se entiende únicamente por volumen de trabajo de un dispositivo háptico al espacio dentro del cual puede desplazarse el extremo de su muñeca. Para determinar el volumen de trabajo no se toma en cuenta el actuador final, la razón de ello es que a la muñeca del dispositivo se le pueden adaptar accesorios de distintos tamaños.

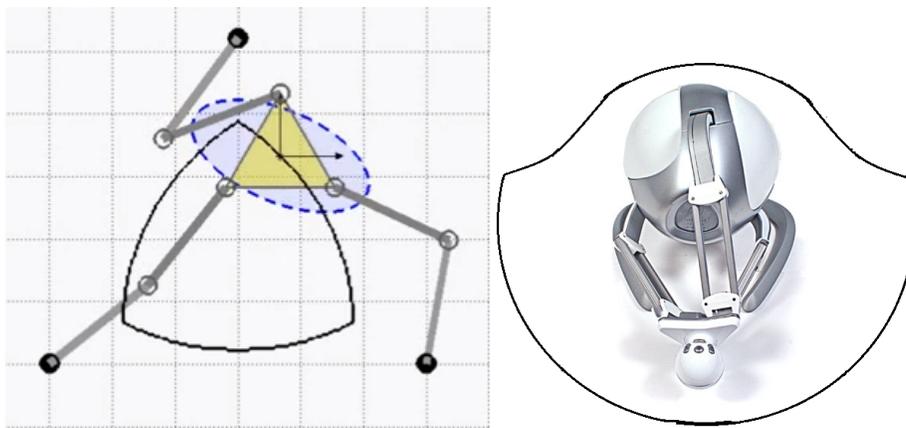


Figura 5.2: a) Volumen de trabajo del Falcon b) Novint Falcon en su estado físico

Antes de iniciar a interactuar con el entorno virtual, se muestra en la Figura 6.3 la estructura electro-mecánica interna de un dispositivo háptico con estructura paralela con el fin de conocer más este tipo de dispositivos y de cómo puede dar retroalimentación de fuerzas en los 3 ejes hacia la mano del usuario el cual tiene en su diseño un "círculo imaginario" para evitar la detección de colisiones entre el actuador lineal y los 3 motores centralmente montados en la base.

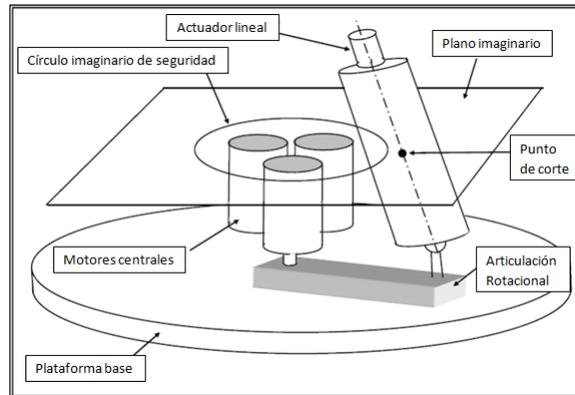


Figura 5.3: Estructura Electro-Mecánica de un dispositivo paralelo.

Dentro de la programación en X3D se intentó evaluar las siguientes características al momento en que el usuario interactúe con el entorno gráfico logrando aumentar su percepción de sus sentidos tanto como sea posible como se observa en la figura 6.4 y así identificar la textura de los objetos hápticos.

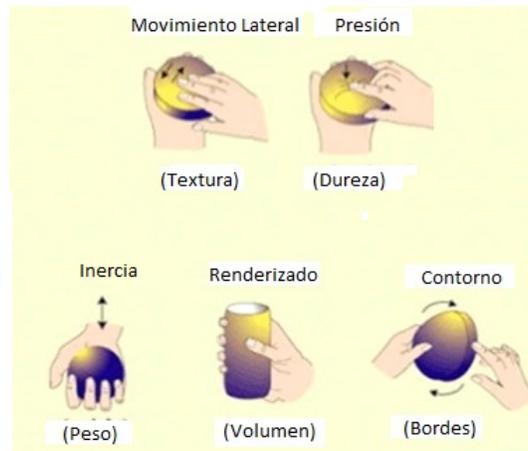


Figura 5.4: Características de identificación háptica

■ LIMITACIONES DEL SISTEMA IMPLEMENTADO DE INMERSIÓN:

Este sistema al usar el sistema de visualización con gafas de obturación hay el problema en que el usuario tiene pérdida visual del entorno gráfico en ciertos puntos del espejo, aunque se presente el efecto virtual 3D en todo su esplendor surge este pequeño inconveniente, posiblemente la solución más viable es el cambio el vidrio 50/50 como el que usan a nivel profesional ya que este cuenta con tratamientos químicos de primera calidad y su precio

es muchísimo mayor al instalado en esta estructura, aunque por otro lado el efecto realizado con anaglifos tanto en la primera estructura como en la segunda funciono con un buen nivel de luminosidad e intensidad en la imagen reflejada.

Adicionando la característica y precio del vidrio y los datos de contacto del proveedor del espejo al EVL:

- 1 x Mirror Spectrafilm MLBS 40 half-silvered mirror
- Contacto: Denglas Technologies [contacto directo: Leslie Aharon - LAharon@denglas.com]
- Margen de trabajo requerida: Seamed
- Dimensions: 47cmx30cmx6mm
- Costo: ~\$230
- Tiempo de entrega: 4-6 semanas.

Dependiendo de la clase de característica que se aumente o disminuya en el código x3d cambiara la clase de efecto en la mano del usuario como la rapidez en la que puede desplazarse sobre el objeto la cual se modifica cambiando la fricción estática y dinámica de la textura. La fuerza constante ($-kx$) de un resorte simulando la gravedad en la tierra, la viscosidad que se presenta en una textura arenosa variando sus propiedades de amortiguamiento (Damping) y rigidez.

Para todos los efectos de las texturas se eligió la forma de una esfera ya que es uniforme y la única forma para no obtener ningún tipo de retroalimentación es la de estar fuera del objeto como se observa en la figura 6.5 y en la figura 6.6 obteniendo ya la fuerza opuesta al movimiento del usuario.

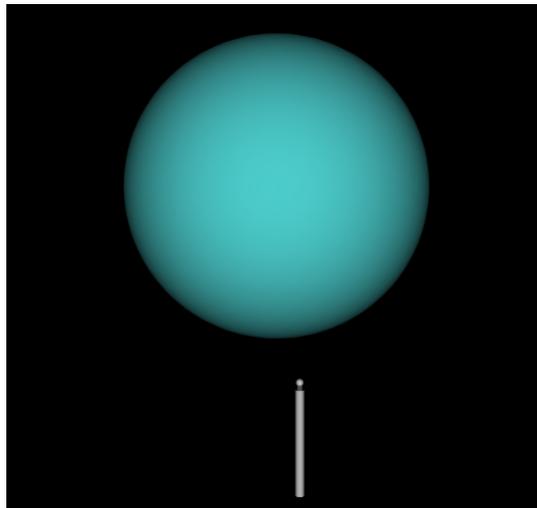


Figura 5.5: Interfaz Virtual H3D sin ninguna interacción.

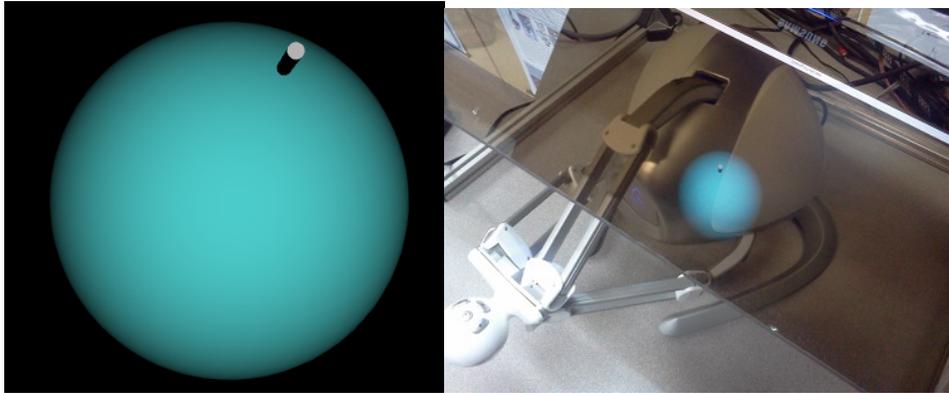


Figura 5.6: a) Interfaz virtual generando Feedback b) POV desde el usuario.

Capítulo 6

CONCLUSIONES

- Un sistema de realidad virtual para simulación háptica idealmente debe estar compuesto por los siguientes atributos:
 - El sistema debe permitir a la mano del usuario ser integrada libremente al entorno virtual 3D.
 - El usuario debería ser capaz de sentir cualquier punto 3D del ambiente virtual.
 - La agudeza visual de el monitor deber ser cercana a la visión humana $\frac{20}{20}$
 - El FOV del usuario y del monitor no deben causar entre si oclusión.
- Se diseñó y construyó un sistema de realidad virtual y aumentada que es aun capaz de superar otras limitaciones tecnológicas de los sistemas anteriores aunque igualmente presenta ventajas significativas, incluyendo gráficos más precisos una mayor resolución de pantalla, mayor densidad de píxeles; pero esto no descarta el generar un nuevo diseño de una nueva estructura para conseguir una nueva generación de estos simuladores hápticos.
- Se mejoro la agudeza visual del usuario al interactuar con el sistema, gracias a la integración del monitor 3D el cual es el componente esencial para lograr aumentar esta característica. Es decir, entre mejores especificaciones técnicas tenga el monitor más se acercara al valor requerido que es $\frac{20}{20}$.
- El diseño mecánico se obtuvo un espacio de trabajo cómodo el cual permite que este proyecto pueda ser utilizado en el desarrollo de simulación inmersivo en el campo médico aunque para poder usar el espacio de trabajo de el dispositivo háptico PHANTOM es necesario cambiar el perfil perpendicular el cual asigna la altura entre la base de la mesa de inmersión y el espejo parcialmente reflectivo logrando así aumentar de 3 DOF a 6 DOF.

- La programación de las texturas hápticas al ser simuladas fueron esencialmente muy cercanas con la realidad pero para un trabajo futuro es el poder realizar modelado en 3D agregando distintas clases de texturas tanto así que se pueda llegar a la deformación de estas.
- Se logró construir un prototipo de bajo costo al comparar su precio (\$1.765 USD) con sistemas comerciales (\$13.000 USD).



Figura 6.1: Visualización final sobre la estructura mecánica.

Capítulo 7

SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

- Construir ambientes virtuales que puedan representar situaciones más complejas y que necesiten visualización 3D, p.e. simuladores de cirugía.
- Integrar otros dispositivos hápticos como el sensible phantom, force dimension omega, entact robotics w5d.
- Integrar un sistema de tracking para la cabeza del usuario, con el fin de lograr un mayor grado de inmersión en el sistema.
- Incorporar al sistema una implementación de reconocimiento de gestos, imágenes u otros objetos para una manipulación más sofisticada de objetos 3D.
- Implementar algoritmos para la identificación de renderización usando el SDK de Phantom Omni® o *NovintFalconTM* junto a la librería de C++ VCollide, para asegurar que la detección de colisiones no sea respecto a un punto ya que en el momento se encuentran considerables pérdidas de inmersión visual y realismo de la aplicación.
- Teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del PHANTOM OMNI su espacio de trabajo de retroalimentación de fuerzas es de (6.4W x 4.8H x 2.8D in); por ende hacer el ensamble debido para aumentar la altura (H) de la estructura mecánica modular 200 mm más para satisfacer la destreza total del dispositivo dejando sin restricciones los movimientos del usuario.

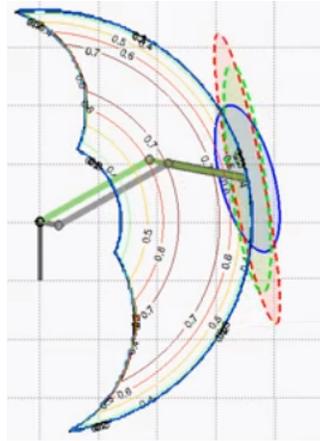


Figura 7.1: Espacio de trabajo del Phantom Omni Vista Lateral

- Los librerías programables concernientes a esta clase de simuladores son realmente extensos por ende por falta de recursos y tiempo no fue posible realizar una investigación más exhaustiva por lo que se agregan en esta parte para un próximo proyecto o investigación:

- ParaView v2.4.4 para generación de superficies isométricas y optimización de mallas poligonales.
- ITK-SNAP v1.4.1 para segmentación volumétrica de imágenes médicas.
- Coin3D 3.0 para la renderización de gráficos interactivos.
- GHOST 4.0 SDK para renderizado háptico y limitar las colisiones.
- pciBIRD API para el tracking de mano y cabeza.
- FLTK para la interfaz de nivel bajo de OpenGL y la interfaz gráfica del usuario (GUI).

Junto a estas librerías esta una que generalmente se a usado la cual es 3DStudioMax el cual nos ayuda a realizar una apariencia gráfica más realista; dando un ejemplo en el campo quirúrgico podría realizarse una *Trepanación*¹ con un modelo virtual.

¹Trepanación: es una practica medica que consiste en agujerar el cráneo.

Capítulo 8

ANEXOS

Se incluyan en esta sección del documento para finalizar, los planos realizados para la construcción de la estructura mecánica junto con el código *x3d de las diferentes pruebas y texturas programadas para la interfaz virtual.

Algoritmo 8.1 Superficie Lisa

```
<X3D>
<Scene>
<Viewpoint position='0 0 0.6' />
<Shape>
<Appearance>
<Material diffuseColor="0.3 0.8 0.8" />
<SmoothSurface stiffness="0.5" damping="0.02" /> //superficie lisa
</Appearance>
<Sphere radius="0.08" />
</Shape>
</Scene>
</X3D>
```

Algoritmo 8.2 Superficie Dura

```

<X3D>
<Scene>
<Viewpoint position='0 0 0.6' />
<Shape>
<Appearance>
<Material diffuseColor="0.3 0.8 0.8" />
<FrictionalSurface stiffness="0" damping="5" staticFriction="0" dynamic-
Friction="0" />
</Appearance>
<Sphere radius="0.08" />
</Shape>
</Scene>
</X3D>

```

Algoritmo 8.3 Superficie Magnética

```

<X3D>
<head>
</head>
<Scene>
<Viewpoint position='0 0 0.6' />
<Shape>
<Appearance>
<Material diffuseColor='0.9 0.9 0.9' />
</Appearance> <Sphere radius='0.06' DEF='B' />
</Shape>
<MagneticGeometryEffect enabled='true' startDistance='0.3' escapeDistanc-
e='0.3' springConstant='500'>
<Sphere USE='B' />
</MagneticGeometryEffect>
</Scene>
</X3D>

```

Algoritmo 8.4 Campo de Fuerza

```
<X3D>
<Scene>
<Viewpoint position='0 0 0.6' />
<Shape>
<Appearance>
<Material diffuseColor='0.1 0.65 1' />
</Appearance>
<Sphere radius='0.08' DEF='B' />
</Shape>
<SpringEffect position='0 0 0' springConstant='100' startDistance='0.1' escapeDistance='0.2' deviceIndex='0' />
</Scene>
</X3D>
```

Algoritmo 8.5 Superficie de Lija

```
<X3D>
<Scene>
<Viewpoint position='0 0 0.6' />
<Shape>
<Appearance>
<Material diffuseColor='1 0.6 0' />
<ImageTexture url="Paper.png" />
<FrictionalSurface stiffness="2" />
</Appearance>
<Sphere radius='0.09' />
</Shape>
<ViscosityEffect enabled='true' viscosity='1' radius='0.6' dampingFactor='1' deviceIndex='0' />
</Scene>
</X3D>
```

Algoritmo 8.6 Superficie de Arena

```

<X3D>
<Scene>
<Viewpoint position='0 0 0.6' />
<Shape>
<Appearance>
<Material diffuseColor='1 0.6 0' />
<ImageTexture url="Sand.png"/>
</Appearance>
<Sphere radius='0.08'/>
</Shape>
<ViscosityEffect enabled='true' viscosity='0.9' radius='0.5' dampingFactor='0.5' deviceIndex='0' />
</Scene>
</X3D>

```

Algoritmo 8.7 Escalpelo para Stylus de H3D

```

<Group>
<Shape>
<Appearance>
<Material/>
</Appearance>
<Sphere DEF="PROXY" radius = "0.000025"/>
</Shape>
<Transform translation="0 0.040 0">
<Shape>
<Cylinder radius=".003" height=".07"/>
<Appearance>
<Material diffuseColor="0.7 0.7 0.7"/>
</Appearance>
</Shape>
</Transform>
<Transform translation="0 0.003 0">
<Shape>
<Box size="0.003 0.006 0.003"/>
<Appearance>
<Material diffuseColor="0.3 0.3 0.3"/>
</Appearance>
</Shape>
</Transform>
</Group>

```

Agregar Escalpelo.x3d en Local Disk/H3D/H3DAPI/settings/common/stylus y configurarlo en el H3DLoad Settings.

Bibliografía

- [1] Z. O. Abu-Faraj, D. M. A. Rjeily, R. W. B. Nasreddine, M. A. Andari, and H. H. Taok. A prototype retinal prosthesis for visual stimulation. In *Proc. 29th Annual Int. Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society EMBS 2007*, 2007.
- [2] Jorge Diaz. Adán Ancamil y Mirta LLancaman. Laboratorio virtual interactivo en internet para apoyar la enseñanza de la física.informe tecnico,. Universidad de la Frontera, Chile.
- [3] Angelfire. Curso de contexto mundos virtuales consultado el día 23 de noviembre de 2012. Internet, abril 2005.
- [4] T. Aoki, T. Tanikawa, and M. Hirose. Virtual 3d world construction by inter-connecting photograph-based 3d models. In *Proc. IEEE Virtual Reality Conf. VR '08*, 2008.
- [5] Bienetec. *Pytron*, disponible en: <http://www.bienetec.es/bienetec/jsp/web/catalogo/productos/novintfalcon/index.jsp>, Consultado el día 04 de abril de 2010.
- [6] Google-Sergey Brin. *Glass*, disponible en: <http://www.elcolombiano.com/L/losinventostecnologicosquetrajo2012.asp>, Consultado el día 03 de enero de 2012. BLOOMERG, 2012.
- [7] Sierra Ballen Christian David, Quintero Guerrero Eduardo Leonardo. Diseño de un prototipo de sistema de realidad virtual inmersivo simplificado. *N/A*, I:16, 2008.
- [8] UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. *FÍSICA INTERACTIVA PARA INGENIEROS*. Universidad nacional de Colombia sede medellin, 2000.
- [9] Lucian Florea Greg Dawe Cristian Luciano, Pat Banerjee. *Design of the ImmersiveTouch*. University of Illinois at Chicago, 2009.
- [10] Thomas DeFanti Cristian Luciano, Pat Banerjee. Haptics-based virtual reality periodontal training simulator. *Springer-Verlag London Limited 2009*, I:17, 2009.

- [11] Universidad Politecnica de Catalunya UPC. *ArquitecturVirtual sistema de Realidad Virtual*. BarcelonaTECH, 2010.
- [12] Carlos Julio Cortés Rodriguez. Diego Alexander Garzón Alvarado, Máximo Alejandro Roa Garzón. *Análisis por Elementos Finitos del Proceso de Regeneración Ósea*, volume I. Publicaciones/Ingeniería, Agosto 2004.
- [13] EVL. *EVLFoundation*, disponible en: <http://www.evl.uic.edu/index.php>, Consultado el día 04 de abril de 2011.
- [14] Roosevelt Fajardo. *Endoassist*, disponible en: <http://www.cts.usc.edu/roboticsurgery.html>, consultado el día 10 de octubre de 2012. Fundacion Santafe., 2012.
- [15] Flickr. *PARIS, Immersive touch*, Disponible en : <http://www.flickr.com/photos/uicahs/3944908669/>, Consultada el día 30 de marzo de 2011.
- [16] AMES GEARY. el cuerpo electronico. *Londres*, 1:16, 2007.
- [17] Michal Koutek Gerwin de Haan, Eric J. Griffith. *PDRIVE: The Projector-based*. University Of Netherland, 2007.
- [18] ANA BELEN GONZALO CALDERON JESUS SABAS HERRERO PASCUAL ANGEL LUIS MUÑOZ NIETO y JUAN ANTONIO DEL VAL RIAÑO. JAVIER GOMEZ LAHOZ, DIEGO GONZALEZ AGUILERA. Reconstrucción 3d y realidad virtual en criminología. *España*, 1:33, 2010.
- [19] Ivan Santelices Malfani. Juan C. Parra Marquez y Rodrigo Garcia Alvarado. *Introducción practica de Realidad virtual*. Barcelona, 2001.
- [20] Cristian J. Luciano. *Open Surgery Training Simulator Using Haptics and Augmented Reality Technologies*. PhD thesis, University of Illinois at Chicago, 2010.
- [21] Erik Löwquist. *User Roles and User Guidance: Analysing the Relation between User Participation and the Development of a Medical Training System*. PhD thesis, University of Limerick, 2010.
- [22] José Pascual Molina Massó. Curso de ingeniería técnica e informática de gestión. In *Escuela Politécnica Superior de Albacete*, 2001.
- [23] Cristina Matrtin Oñate. Interfaces hápticas, aplicación en entornos virtuales. XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA. <http://www.egrafica.unizar.es/ingegraf/pdf/Comunicacion17018.pdf>.
- [24] SenseGrahics. *Sensegraphics*, disponible en <http://www.sensegraphics.com/>, consultada el día 04 de abril de 2011.

- [25] Jia Wang, Ying Zhao, Xinyu Chai, and Qiushi Ren. Micro-stimulator circuitry design for visual prosthesis based on optic nerve stimulation in artificial vision. In *Proc. 8th Int Signal Processing Conf*, 2006.
- [26] Wei Wang, M. N. S. Swamy, and M. O. Ahmad. Rns application for digital image processing. In *Proc. 4th IEEE Int System-on-Chip for Real-Time Applications Workshop*, 2004.
- [27] Wikipedia. *FALCON HAPTIC DEVICE*, disponible en sitio web: <http://en.wikipedia.org/wiki/Novint>, Consultado el 4 de abril de 2010.
- [28] Wikipedia. Gafas anaglifo. Internet, October 2012. Consultado el dia 04 de Mayo de 2012.
- [29] Wikipedia. Técnicas de estereoscopia-anaglifo. I:1, Diciembre 2012.
- [30] Chen Yuchao and Liu Hui. Study on the meso-structure image of shale based on the digital image processing technique. In *Proc. Int. Conf. Image Analysis and Signal Processing IASP 2009*, 2009.
- [31] E. Zigouris, A. Kalantzopoulos, and E. Vassalos. Labview to ccs link for automating digital signal & image processing applications. In *Proc. Int. Symp. Signals, Circuits and Systems ISSCS 2007*, 2007.