



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL

DESARROLLO DE UN CONCEPTO
INNOVADOR DE PRODUCTO, EL CASO DE
ESPACIOS DINÁMICOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECATRÓNICO

P R E S E N T A N:

ARTURO BASTIDAS CRUZ
RODRIGO EZEQUIEL SEGURA LÓPEZ

ASESOR DE TESIS: DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ

CON EL APOYO DE:

CENTRO DE DISEÑO MECÁNICO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE DISEÑO INDUSTRIAL
FACULTAD DE ARQUITECTURA, UNAM

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA, DIVISIÓN DE DISEÑO
UNIVERSIDAD DE STANFORD



MÉXICO, D.F.

ABRIL DE 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A nuestras familias y amigos por su apoyo incondicional.

Un especial agradecimiento a los profesores Vicente Borja Ramírez y Alejandro Ramírez Reivich por invitarnos a ser partícipes de este proyecto.

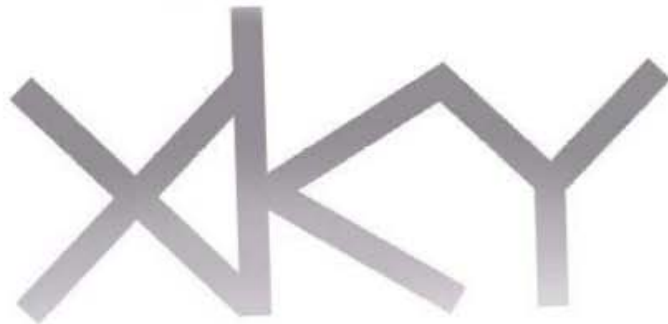
Agradecemos al CIDI y a sus profesores Arturo Treviño y Luis Equihua por mostrarnos un poco del mundo del diseñador industrial.

Gracias a Bernardo y Jimena por ser excelentes compañeros de equipo.

Gracias al equipo Bosch por todo su apoyo a lo largo del proyecto.

Agradecemos al personal académico de la Facultad de Ingeniería, en especial al Departamento de Mecatrónica por nuestra sólida formación como ingenieros.

Nuestro más profundo agradecimiento a la UNAM, nuestra alma máter, por habernos brindado todas las herramientas para ser mejores personas.



Universidad Nacional Autónoma
de México



Stanford University
USA

Índice

Introducción.....	5
1 Actividades Desarrolladas.....	8
1.1 Cuatrimestre de Otoño.	8
1.2 Cuatrimestre de Invierno.	19
1.3 Cuatrimestre de Primavera	21
2 Contexto	24
2.1 Establecimiento de las Necesidades.	24
2.2 Establecimiento del problema.....	25
3 Estado del arte en el diseño de espacios acústicos e identificación de la necesidad	26
3.1 Espacios acústicos.....	26
3.1.1 Acústica en espacios de oficina.....	28
3.2 Identificación de la necesidad	29
4 Proceso de diseño	31
4.1 Prototipo Dark Horse: Divisiones de espacio.	31
4.1.1 Aislamiento sonoro	31
4.1.2 Manipulación del sonido	33
4.1.3 Divisiones de luz.....	34
4.2 Prototipo de Niveles de Sistemas: Integración de detección y movimiento.	38
4.2.1 Prototipo Sensorial.....	38
4.2.2 Prototipo de Movimiento	41
4.3 Prototipo funcional y de integración de sistemas: Techo dinámico	43
4.3.1 Enmascaramiento y absorción.....	45
4.3.2 Absorción del sonido.....	47
4.3.3 Reflexión del sonido.	51
4.4 XKY: La atmosfera acústica dinámica	57
4.4.1 Sistema mecánico	58
4.4.2 Sistema eléctrico	58
4.4.3 Software	58
5 Requerimientos.....	59
5.1 Requerimientos de funcionamiento	59
5.2 Requerimientos físicos.....	65
6 Especificaciones de diseño de XKY	67
6.1 Especificaciones funcionales	67
6.1.1 Interfaz de usuario	67
6.1.2 Función acústica	67
6.1.3 Infraestructura electromecánica y de software.....	67
6.2 Especificaciones físicas.....	67
6.3 Pruebas y análisis.....	68
6.3.1 Retroalimentación de los usuarios.....	68
6.3.2 Acústica	69
6.3.3 Consumo de energía	71
7 Conclusiones	72
Bibliografía.....	74

Introducción

En la actualidad, la Facultad de Ingeniería y el Centro de Investigaciones de Diseño Industrial de la Facultad de Arquitectura llevan a cabo diversos proyectos con diferentes universidades alrededor del mundo. Uno de estos proyectos se desarrolla de manera conjunta con la Universidad de Stanford y se conoce como ME310. Se trata de un curso impartido por los profesores Larry Leifer y Mark Cutkosky.

Dentro del curso, estudiantes de la Universidad de Stanford así como de reconocidas universidades alrededor mundo abordan retos de diseño de innovación propuestos por colaboradores industriales. Como lo hace notar la frase en el sitio web del curso ME310:

“Real Companies. Real Projects. Real Designs” (Compañías reales, proyectos reales, diseños reales.)

El resultado del curso, donde los estudiantes aprenden, aplican y experimentan el “proceso de diseño innovador de Stanford”, es un refinado concepto de diseño acompañado de aprendizajes obtenidos durante todo su desarrollo.

En cada proyecto, equipos globales y multidisciplinarios trabajan durante 9 meses en una solución innovadora al reto de diseño propuesto por la empresa patrocinadora del proyecto. La mayor parte del tiempo el trabajo se realiza a distancia, valiéndose de diversos medios electrónicos de comunicación para poder estar siempre en contacto tanto los integrantes en Stanford como su contraparte en el exterior.

El curso hace énfasis en que la diversidad de sus integrantes no solo agrega una variedad aun mayor de habilidades y aptitudes, sino que permite que el reto de diseño sea abordado desde diferentes perspectivas culturales, incrementando la posibilidad de generar ideas con un alto grado de innovación.

El curso está dirigido principalmente a estudiantes en las áreas de ingeniería, diseño industrial y economía. El objetivo del curso consiste en exponer al estudiante a situaciones que se presentan en el mundo laboral actual, donde los proyectos a distancia y el trabajo colaborativo multidisciplinario es de gran importancia.

Un importante grupo de académicos y ayudantes de profesor dan soporte a los equipos de diseño durante el desarrollo del curso. Al ser la Universidad de Stanford el administrador del curso, las universidades globales aplican en paralelo la forma de organización y estructura del curso.

Las tareas que realiza cada uno de los actores que participan en el curso se describen a continuación:

- Profesores: Además de ser los encargados en contactar a los colaboradores industriales, trazan el calendario de trabajo, imparten clases, brindan asesoría y evalúan los trabajos entregados por los equipos de diseño.
- Mentor: Gente con experiencia profesional y familiarizada con el curso, que brindan apoyo tanto técnico como logístico al equipo de diseño a lo largo del desarrollo del proyecto.
- Ayudantes de profesor: Exalumnos del curso del periodo inmediato anterior, son los encargados de administrar los recursos disponibles para el curso, además de organizar ciertas actividades propuestas por el equipo de profesores y dar asesoría a los equipos de diseño.
- Representante industrial: Representantes de las compañías que patrocinan los diferentes proyectos dentro del curso, su función es la de dar información a los estudiantes, resolver dudas en torno al planteamiento del problema asignado y brindar soporte.

Cada equipo de diseño está compuesto por un grupo local de tres a cuatro estudiantes de la Universidad de Stanford y de tres a cuatro estudiantes de una de las instituciones invitadas. En el caso de la UNAM, son dos, los equipos partícipes en dicho curso y cada equipo está compuesto por dos estudiantes de la Facultad de Ingeniería y dos estudiantes del Centro de Investigación en Diseño Industrial.

Durante el transcurso del curso se evalúa semanalmente el progreso de los diferentes proyectos. Para esto, se programan juntas con las siguientes características:

- SGM *Small Group Meetings*: Juntas que se llevan a cabo una vez a la semana y en donde forman parte tanto los integrantes del equipo de diseño como los profesores y ayudantes de profesor.
- LGM *Large Group Meetings*: Juntas dirigidas a todos los equipos de diseño partícipes de ME310. Se llevan a cabo una vez a la semana, y en ella se tratan asuntos que conciernen a todos los miembros del curso como avisos importantes, aclaraciones de dudas y ejemplificación de próximos ejercicios.
- SUDS *Slightly Unorganized Design Session*: Convivencia social que se realiza una vez por semana cuyo objetivo es relajar el ambiente de trabajo. La comida y bebida es organizada por los mismos grupos de diseño del curso.

La estructura del curso se divide en tres cuatrimestres: *cuatrimestre de otoño*, *cuatrimestre de invierno* y *cuatrimestre de primavera*.

Esta tesis detalla el proceso de diseño seguido por el equipo que trabajó para la compañía Autodesk; con el propósito de dar a conocer el concepto denominado *Espacios dinámicos*, y que tuvo al prototipo *XKY* como un ejemplo de la aplicación de dicho concepto en la problemática de acústica dentro de espacios de oficina.

La tesis inicia en el capítulo 1 con una descripción detallada de la estructura del curso, así como de las actividades realizadas a lo largo de éste. Posteriormente, en el capítulo 2, se detallan las necesidades en las que se basó el equipo de diseño para el desarrollo del proyecto y el establecimiento del problema. La tesis continúa con el capítulo 3 donde se describe el proceso de exploración que incluye la etapa de investigación relacionada con la acústica de espacios cerrados y la búsqueda de la necesidad que debía abordar el proyecto. El capítulo 4 describe el proceso de diseño que consistió en la construcción de diversos prototipos que se entregaron a lo largo del curso y que llevaron al equipo de diseño al concepto de espacios dinámicos y a la construcción del prototipo funcional denominado *XKY*. El capítulo 5 consiste en la descripción de los requerimientos de funcionamiento y requerimientos físicos del prototipo *XKY*, mientras que el capítulo 6 consiste en las especificaciones de diseño del prototipo *XKY*. La tesis concluye con un análisis del prototipo funcional *XKY* en base al proceso de diseño seguido a lo largo del curso.

Es importante destacar que debido a que el proyecto se desarrolló en conjunto con una empresa, parte del contenido de esta tesis es confidencial, para su consulta es necesario dirigirse al Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Objetivo:

Como se mencionó anteriormente el objetivo de esta tesis consiste en dar a conocer el proceso de diseño seguido por el equipo que trabajó para la compañía Autodesk, dando como resultado la construcción del prototipo denominado *XKY*, prototipo que representa la visión del equipo sobre el concepto denominado *Espacios Dinámicos* y cuyo propósito consiste en incrementar la productividad de la gente que trabaja en oficinas, reduciendo el ruido que se genera en dichos espacios.

1 Actividades Desarrolladas.

El desarrollo de las actividades del curso ME310 se divide en 3 cuatrimestres. En esta sección se enumeran las actividades desarrolladas, los objetivos que éstas tienen para contribuir con el desarrollo del proyecto, así como una breve descripción de las mismas.

Aprovechando que diversos proyectos globales se desarrollaron en paralelo, los estudiantes del curso ME310 junto con participantes de otros proyectos, participaron en las actividades del cuatrimestre de otoño con el fin de añadir una mayor riqueza al inicio del curso y promover la convivencia.

Para facilitar la consulta de estos apartados, se han ordenado estas actividades de manera cronológica y han sido separadas de acuerdo al cuatrimestre en el que fueron desarrolladas.

1.1 Cuatrimestre de Otoño.

❖ *Registro al curso, perfil del participante y el “idealog”*

Objetivos

- Incorporación formal a las actividades del curso ME310.
- Creación de una página web en el servidor Wiki de la Universidad de Stanford destinado al desarrollo de la asignatura con el perfil de cada participante, incluyendo sus datos personales y una breve semblanza de su vida, así como sus áreas de experiencia y habilidades especiales.
- Inicio de las bitácoras (*idealogs*) de los participantes inscritos.

Descripción

Cada uno de los participantes en el curso (académicos y alumnos) eligió un nombre de usuario y clave que le permitiera acceder a la sección privada de la página de Internet de ME310 (<http://wikibox.stanford.edu/08-09/index.php>) para su consulta y edición. La primera actividad después del registro del usuario en el sitio de Internet de Stanford consistió en la creación de una página con su perfil, formado por sus datos personales, una fotografía y una breve semblanza. Los datos personales en los perfiles permitieron la gestión de una agenda que facilitó la comunicación entre los miembros del grupo, tanto para el desarrollo de las tareas posteriores del curso como para la organización de actividades de integración social. Incluir la semblanza fue útil para identificar las áreas de especialización personal y promover el intercambio de ideas específicas para dar solución a los problemas que se fueron presentando durante la evolución de las actividades de diseño.

Una vez concluida la página con el perfil, se inició la construcción de un espacio de expresión personal designado con el nombre de *idealog*, reservado para el registro de reflexiones y notas relevantes para la documentación del proceso de diseño. De igual manera sirvió para compartir a la clase los conocimientos adquiridos durante las actividades y las emociones derivadas de ellas. El propósito final de este recurso fue brindar la oportunidad de monitorear, integrar, sintetizar e identificar las lecciones aprendidas a lo largo del curso.

❖ **ME310 (des)Orientación**

Objetivos

- Realizar el diseño y construcción de una catapulta que lance una pelota de tenis mojada, utilizando únicamente materiales reciclados o de desecho para su construcción, que tenga la capacidad de arrojar el proyectil antes mencionado a una distancia mínima de 30 m y una elevada precisión y control en los lanzamientos.
- Documentar el proceso de diseño, las lecciones aprendidas y las medidas a considerar para la siguiente iteración.

Descripción

Se formaron equipos de 4 personas para la construcción de catapultas a base de materiales reciclados, como tubos de hierro o de PVC, madera de desecho y alambre de acero. La competencia de catapultas se realizó en la explanada del área de frontones de Ciudad Universitaria.

La gran mayoría de las catapultas construidas por los participantes logró cumplir el requerimiento inicial de lograr por lo menos 30 m de distancia de lanzamiento además de poder verificar un alto grado de control y precisión realizando una serie de lanzamientos. Se premió al equipo que demostró tener el mayor grado de precisión y predicción promedios en sus lanzamientos.

La actividad permitió la integración de los participantes del curso en México, además de ser una excelente introducción a la metodología de diseño del curso a base de la construcción iterativa de prototipos rápidos.

❖ **Formación de los equipos de diseño para construcción de bicicletas de cartón**

Objetivos

- Establecer la configuración de los integrantes para la construcción de los vehículos de cartón.
- Introducir a los participantes a los formatos de revisión y documentación de los entregables durante el curso.

Descripción

La actividad de las bicicletas de cartón consistió en la construcción de un vehículo utilizando papel o materiales derivados de éste (en este caso cartón), con la posibilidad de usar hasta 500 [g] de materiales no derivados. Los vehículos se construyeron con el propósito de tomar parte en una competencia que se llevó a cabo en el campus de la Universidad de Stanford, dicha actividad consistió en una batalla utilizando globos de agua para anotar puntos y atacar a los contrincantes.

Debido a la naturaleza de la competencia, las bicicletas tuvieron como requerimiento, el resistir los impactos de los globos llenos de agua, así como poder mantener su constitución al contacto con el líquido. Los resultados obtenidos por esta actividad se vieron reflejados en la creación de 2 bicicletas de cartón capaces de transportar una cantidad moderada de globos de agua y a un participante, propulsados por otro miembro del equipo.

La formación de los equipos de la UNAM estuvo a cargo de los profesores mexicanos. Las configuraciones de los equipos diferían de las ocupadas en la actividad de construcción de las catapultas, esto con el propósito de hacer que los alumnos pudiesen conocer los métodos y actitudes de trabajo de sus demás compañeros.

❖ ***Revisión de la función crítica de la bicicleta de cartón***

Objetivo

- Presentar los resultados obtenidos al construir y probar un prototipo destinado a explorar con detalle aquella función que los miembros del equipo consideran ser la más importante o riesgosa, para asegurar el desempeño adecuado del prototipo.

Descripción

La función principal de esta actividad consistió en la evaluación, por parte del equipo de profesores, de prototipos sencillos, pero lo suficientemente completos como para visualizar un problema clave para el éxito del diseño de las bicicletas de cartón. Dichos prototipos fueron presentados por los equipos de diseño y fueron el resultado de diversas pruebas, las cuales consistieron principalmente en probar conceptos de relevancia para el buen desempeño de los vehículos de cartón.

Para esta actividad se hizo énfasis en evitar presentar maquetas o prototipos de tipo *mock-up* que solo fuesen una representación visual del problema o componente que se desease probar. La relevancia de esta actividad se basaba

en las pruebas directas y evaluación de problemas o fallas de diseño inicial, que al final contribuyeron de manera significativa en el desarrollo y éxito de la construcción de las bicicletas de cartón.

❖ **Competencia de bicicletas de cartón diseñadas en México**

Objetivo

- Evaluar el diseño de la bicicleta de cartón antes de la competencia en Stanford, realizando una competencia previa con el resto de los equipos participantes del curso en México.

Descripción

Las bicicletas de ambos equipos de la UNAM fueron transportadas desde el espacio de trabajo hasta el jardín anexo al área de la alberca olímpica en Ciudad Universitaria para realizar una competencia similar a la realizada en la Universidad de Stanford. De acuerdo al desempeño obtenido en esta partida, se realizaron las últimas modificaciones en los diseños para asegurar un buen papel en la partida a disputar en la Universidad de Stanford.

Las bicicletas de ambos equipos presentaron fallas menores respecto a su resistencia al agua contenida en los globos para la competencia. Una de ellas sufriendo el desacople de una de las ruedas debido a la ruptura de uno de los topes que la contenían, mientras la otra solo presentó desajustes menores al soporte del asiento del competidor.

Se realizaron las correcciones pertinentes a los vehículos antes de realizar el viaje a California para la competencia donde participarían la totalidad de los participantes del curso ME310

❖ **Documentación del diseño de las bicicletas de cartón**

Objetivo

- Agregar al servidor de Stanford una copia digital de la documentación de la bicicleta de cartón para su revisión por parte del equipo de profesores en Stanford.

Descripción

Para la realización del documento se bajó una plantilla de la Wiki en donde se detallaban los elementos característicos de cada una de las secciones que conforman un documento de diseño de acuerdo a la metodología del curso ME310.

En conjunto con la plantilla de la Wiki, se tuvieron como referencia varios ejemplos de años anteriores contenidos en este mismo recurso informático, además de la asesoría del equipo de profesores mexicanos y los asistentes de profesor, quienes brindaron una ayuda directa en la construcción de los documentos elaborados, dando como consecuencia la obtención de buenos comentarios en la evaluación del trabajo de ambos equipos.



Figura 1.1 A) Competencia de catapultas. Primera actividad de integración. B) Prototipo de función crítica. Introducción a los entregables del curso. C) Competencia local de bicicletas de cartón. D) Integración de los participantes en proyectos globales.

❖ ***Competencia con las bicicletas de cartón diseñadas por los miembros globales.***

Objetivo

- Poner a prueba los diseños ejecutados por cada equipo así como fomentar la convivencia y adaptación de los participantes internacionales del curso.

Descripción

Se llevó a cabo una competencia similar a las anteriores, pero en esta ocasión debido a la gran cantidad de equipos participantes se decidió modificar la disposición del campo de juego, de tal manera que se pudiesen realizar 2 batallas a gran escala al mismo tiempo.

❖ ***Perfil de preferencia para el trabajo en equipo***

Objetivo

- Cada integrante debe brindar información a ser considerada por los maestros para la formación de los equipos en los proyectos corporativos.

Descripción

Los estudiantes mexicanos tuvieron la oportunidad de elegir la estructura de los equipos para los proyectos corporativos, basándose en las experiencias personales de cada uno de los integrantes con respecto a la calidad del trabajo en equipo obtenida con los demás alumnos y la convivencia que se tuvo durante la realización de los trabajos previos.

A los estudiantes de Stanford se les exigió hacer uso de un programa de computo basado en los estudios del profesor Doug Wilde (Wilde, 2007) para obtener grupos de afinidad en relación a sus personalidades; además de completar un cuestionario en donde registraron los resultados de su evaluación Wilde/Myers-Briggs, sus deseos de participar o no con miembros específicos del grupo y el tipo de proyecto en el que estaban más interesados.

❖ ***Configuración de los equipos para proyectos corporativos***

Objetivo

- Selección y conformación de los integrantes de los equipos para el desarrollo de proyectos corporativos.

Descripción

Los equipos corporativos se conformaron durante la primera sesión de *LGM* global, llevada a cabo durante la última semana de octubre de 2008, durante la primera visita de los alumnos globales en Stanford.

La selección de los equipos se llevó a cabo tomando en consideración la información de la tarea anterior y se realizó después de las presentaciones de los alumnos globales durante la sesión grupal.

En la siguiente tabla se muestra la distribución de los equipos en los que fueron incluidos los alumnos de la UNAM.

Proyecto	Alumnos
<i>Bosch</i>	Stanford: David Bertucci, Laurent Calvalido, Bryan Duggan, Fang Li UNAM: Rolando Fuentes, Victor González, Marcela Marín, Mariana Ruíz.
<i>Autodesk</i>	Stanford: Matthew Campbell, Matthew Freshman, Dave Havskjold, Anna-Katrina Shedletsky UNAM: Arturo Bastidas, Bernardo Nuñez, Ezequiel Segura, Jimena Borboa

Tabla 1.1 Equipos de la UNAM y Stanford partícipes en el proyecto.

❖ **Prototipos rápidos de 30 minutos**

Objetivo

- Dar a entender nociones iniciales del concepto de prototipo rápido.

Descripción

Durante la segunda *LGM* se desarrolló una dinámica de desarrollo de prototipos rápidos de 30 minutos con el objetivo de que presentaran una solución al problema descrito en la premisa propuesta por las compañías. Estos prototipos fueron generados y presentados durante el transcurso de las 2 horas que tiene como duración la clase y sirvió como una primera actividad de integración de los equipos de diseño.

La idea general de la dinámica consistió en dar a entender el concepto de prototipo rápido a los alumnos, dejando en claro la premisa de que la construcción de un prototipo busca responder una pregunta en específico de un problema que de otra forma sería difícil de responder.

❖ **Reto de diseño de 2 días**

Objetivo

- Realizar una versión más refinada del desarrollo de prototipos rápidos además de introducir al equipo de trabajo a las dinámicas en conjunto de generación de ideas.

Descripción

Con el propósito de introducir a los estudiantes en el desarrollo de las dinámicas de trabajo en equipo, se realizó la petición de entregar una serie de prototipos rápidos de mejor calidad que tuviesen como objeto dar una solución al problema propuesto por las compañías. En esta ocasión los equipos contaron con 2 días para desarrollar el trabajo y fueron motivados a realizar las primeras sesiones de lluvia de ideas para desarrollar las propuestas.

La presentación de los prototipos se llevó a cabo en una serie de presentaciones realizadas por cada uno de los equipos al resto de la clase, además de contar con la presencia de los representantes de las empresas participantes en el curso y el equipo de profesores.

A)



C)



B)



D)



Figura 1.2 A) Competencia de bicicletas de cartón en Stanford. B) Prototipos rápidos. Primera actividad desarrollada con el equipo de diseño. C) "Brainstorm". Las lluvias de ideas son una importante herramienta a lo largo del curso. D) "Loft". La primer visita a Stanford sirve para conocer los proyectos y compañeros de equipo, así como el área de trabajo del curso ME310.

❖ **Compartiendo información útil para el diseño**

Objetivo

- Añadir información útil para la comunidad de ME310 en la wiki del curso.

Descripción

Con el propósito de enfatizar el uso de la Wiki como una plataforma para compartir información con la totalidad de los participantes del curso, se propuso que cada estudiante agregase una página en el servidor de Stanford con información que a su criterio pudiera resultar útil no solo para el curso o el proceso de diseño, sino para la planeación de viajes y los convivios semanales.

❖ ***Creación de la página para el proyecto corporativo***

Objetivos

- Crear una página electrónica para el proyecto corporativo en la Wiki.

Descripción

Como una de las fases iniciales del proyecto se creó una sección particular dentro de la wiki del curso que actuase como una página electrónica que mostrase la identidad corporativa del equipo de diseño. Esta página contendría información referente al trabajo realizado así como cumplir las funciones de recurso informático a distancia para que los miembros del equipo pudiesen utilizarla como otra herramienta de trabajo.

❖ ***Planeación de las actividades para la parte final del cuatrimestre de otoño***

Objetivos

- Asignar los horarios para las juntas semanales entre los equipos de la UNAM y Stanford.
- Realizar una planeación previa de las actividades a realizar para el cumplimiento de las actividades entregables del curso.

Descripción

Debido a la naturaleza internacional del proyecto, era indispensable mantener un contacto constante entre los integrantes estadounidenses y mexicanos. Debido a esto se estableció un calendario que determinaba que por lo menos se tuviese una junta a la semana celebrada entre las 2 mitades el equipo, las cuales serían efectuadas a través de tecnología *VoIP* (Voz sobre Protocolo de Internet), para mantener informados a todos los miembros del equipo sobre los avances en las actividades asignadas a cada uno y compartir información valiosa en términos de la evolución de diseño, así como realizar dinámicas de generación de ideas y planeación del proyecto.

❖ **Revisión de las actividades de benchmarking**

Objetivos

- Resaltar el propósito de las actividades de *benchmarking*.
- Exponer las lecciones aprendidas y las actividades consecutivas de diseño.

Descripción

Además de la etapa correspondiente al estado del arte, desde el punto de vista de ME310, el concepto de *benchmarking* se extiende a la interacción con dispositivos, situaciones o personas que brinden información substancial acerca del contexto del problema que se intenta resolver. Este elemento de investigación consiste en experimentar de manera cercana el problema, por medio del uso de entrevistas, encuestas o el simple hecho de experimentar las situaciones de primera mano.

La revisión de las actividades de *benchmarking* se realizó por medio de presentaciones que mostraban la información obtenida por los miembros del equipo de la UNAM y de la Universidad de Stanford.

❖ **Prototipos de función crítica**

Objetivo

- Realizar la entrega del primer prototipo de función crítica relacionado con el proyecto corporativo.

Descripción

El propósito general que cumplen los prototipos de función crítica es el de tratar de responder preguntas específicas con respecto a la viabilidad de puntos clave de los diseños o soluciones propuestas por el equipo de diseño, además de generar posibles incógnitas que se resolverán con la generación de nuevos prototipos. En la evaluación se deben presentar todos los elementos empleados para la realización de las pruebas, el análisis de los resultados obtenidos y una fuerte justificación de las razones consideradas para definir la función sometida a estudio como una función crítica.

La etapa de exploración de estado del arte y el proceso de *benchmarking* realizado previamente, brindó al equipo de diseño diversas áreas de estudio para el desarrollo de ideas que cimentaran de manera más substancial el propósito del proyecto, y de esta forma poder enfocar los esfuerzos del equipo de trabajo en áreas más específicas.

❖ **Breviario de las actividades de Otoño**

Objetivo

- Entregar al representante de la empresa un folleto que sintetice los resultados de las actividades de diseño realizadas durante el cuatrimestre de otoño.

Descripción

El folleto debió ser visualmente atractivo para capturar la atención de los patrocinadores.

❖ **Presentaciones finales**

Objetivo

- Exponer en 12 minutos el estado actual del proyecto corporativo.

Descripción

Las presentaciones se realizaron en los espacios de trabajo de la Universidad de Stanford y la UNAM por los respectivos miembros del equipo.

❖ **Documentos de diseño de Otoño**

Objetivo

- Entregar la documentación referente a las actividades del proyecto corporativo realizadas en el cuatrimestre de otoño.

El documento entregado se realizó enfocándose en los antecedentes y contexto del proyecto corporativo. Se establecieron los requerimientos que satisfacen la necesidad planteada por el cliente corporativo y los esfuerzos realizados hasta ese momento para establecer algunas especificaciones de diseño a través del prototipo de función crítica.

❖ **Limpieza del loft**

Objetivo

- Dar mantenimiento al espacio de trabajo.

Descripción

Para asegurar la limpieza de las áreas comunes del *loft*, se estableció como regla general, que después de la entrega de los documentos finales de cada cuatrimestre los equipos tendrían que responsabilizarse del aseo de una parte específica de éste, además de la organización de su mesa de trabajo.

1.2 Cuatrimestre de Invierno.

❖ Prototipo Dark Horse

Objetivos

- Explorar mediante este prototipo, la viabilidad de una idea poco estudiada.
- Construir y entregar el prototipo.
- Preparar la presentación del prototipo.

Descripción

El propósito del prototipo *Dark Horse* consiste en retomar el estudio de la viabilidad de una idea o concepto que fue desechado previamente debido a razones de riesgo, implementación o por ser considerada demasiado ambiciosa. Esta oportunidad que tienen los equipos de explorar ideas descartadas brinda la posibilidad de éxito substancial debido a la naturaleza misma de los conceptos que se plantean.

Evaluar alguna idea o tecnología *Dark Horse* ayuda a mantener un amplio panorama de las posibles soluciones y evita descartar alguna de estas prematuramente. A pesar de que el prototipo resulte ser poco viable, los conceptos y conocimientos adquiridos pueden resultar ser benéficos para las etapas posteriores de desarrollo.

❖ Prototipo Funky de integración de sistemas (Funktional Prototype)

Objetivos

- Desarrollar, con la construcción de este prototipo, las nociones iniciales de integración de sistemas.

Descripción

El propósito principal del prototipo *funky* de integración de sistemas permite vislumbrar al equipo de diseño las complejidades inherentes al desarrollar un prototipo que contenga varios subsistemas. El aprendizaje obtenido durante este

prototipo genera información relevante para poder anticiparse posteriormente a dichos problemas, además de poder responder preguntas importantes referentes al diseño del producto final.

❖ ***Presentación formal de invierno***

Objetivos

- Realizar una presentación con la participación de todos los miembros del equipo acerca del estado actual del proyecto así como indicar la dirección final a la que éste se dirige.

Descripción

Esta presentación se realizó en conjunto por las dos mitades del equipo de diseño, debido a que los miembros de la Universidad de Stanford se encontraban presentes en el campus de Ciudad Universitaria. El enfoque de esta presentación fue el de presentar un resumen breve del estado del proyecto, enumerar los aprendizajes obtenidos así como dar indicios de la dirección final del proyecto y el concepto del siguiente prototipo funcional.

❖ ***Prototipo funcional de integración de sistemas***

Objetivo

- Construir y revisar el diseño de prototipo funcional de integración de sistemas.

Descripción

El propósito de este prototipo es el de probar el nivel de integración de los diversos sistemas que lo componen. Este prototipo debe representar una versión muy aproximada de lo que será el prototipo final, por lo que debe probar los conceptos críticos además de tener la característica de que la mayoría de los problemas técnicos que se presentaron en prototipos anteriores se encuentren, en su mayoría, resueltos.

La integración de los diferentes subsistemas que componen a este prototipo debe tener la calidad suficiente como para poder representar a grandes rasgos el concepto del producto final, además de encontrarse en un estado de aceptable funcionalidad.

❖ **Documentación de Invierno**

Objetivos

- Realizar la documentación pertinente a las actividades desarrolladas durante el cuatrimestre de invierno.

Descripción

Al igual que en el cuatrimestre pasado, se entregó documentación referente a las actividades desarrolladas durante el periodo de invierno. Esta documentación condensaba los aprendizajes obtenidos por los miembros del equipo además de establecer la dirección que el producto final tendría.

1.3 Cuatrimestre de Primavera

❖ **X está terminado**

Objetivos

- Mostrar una parte del producto final que sea definitiva al grupo de profesores.
- Asegurar la entrega puntual del prototipo.

Descripción

Teniendo en consideración el poco tiempo restante a esta altura del curso, “X está terminado” busca formalizar y aterrizar el esfuerzo del equipo a un nivel físico con la presentación, al grupo de profesores, de componentes relevantes del hardware o software en su versión final, listos para su integración al prototipo final.

❖ **Penúltima revisión de hardware y software**

Objetivos

- Realizar una revisión de los componentes y funciones finales.
- Estimar el tiempo necesario para finalizar el prototipo.
- Confirmar la planeación de las actividades restantes en términos del tiempo, dinero, recursos humanos y materiales disponibles.

Descripción

Esta actividad tiene como propósito la presentación de una versión no detallada del producto diseñado con todas las funcionalidades que se plantearon en el plan de trabajo establecido por el equipo. Es en este punto donde se puede

vislumbrar la capacidad que tiene el equipo de entregar el prototipo funcional en las condiciones necesarias para su presentación final, además de que se presentan los últimos comentarios formales por parte del equipo de profesores.

❖ **Folleto final y poster para EXPE**

Objetivos

- Resumir en un folleto el concepto general y las características del prototipo final para los visitantes y personas ajenas al curso.
- Realizar el diseño e impresión del cartel que será utilizado durante la EXPE en la presentación física del prototipo final.

Descripción

Los folletos deben presentar de forma concisa y atractiva las características fundamentales del prototipo final. Estos folletos tienen el propósito de informar, a toda persona ajena al curso, de las características del proyecto.

El cartel utilizado durante la feria EXPE debe tener cualidades estéticas e informativas atrayentes para el público en general.

❖ **Presentaciones finales de primavera**

Objetivos

- Presentación oficial de todos los proyectos del curso ME310

Descripción

El 4 de Junio de 2009 se llevó a cabo la presentación de proyectos del curso ME310. Cada equipo participante del curso contó con 20 minutos para mostrar las novedades y características de su producto, al mismo tiempo que se trabajaba en los preparativos para la feria de diseño EXPE, que se llevó a cabo inmediatamente después de concluida la totalidad de las presentaciones.

❖ **Revisión final de hardware durante la feria de diseño EXPE**

Objetivos

- Divulgación de los resultados de la experiencia de diseño del curso ME310 a personas ajenas a los proyectos (profesores de otras asignaturas y universidades, representantes de las compañías, socios corporativos potenciales, futuros estudiantes y responsables de recursos humanos en distintas compañías, entre otros).

Descripción

A manera de exposición, la feria de diseño EXPE mostró a empresarios, maestros, alumnos, amigos y gente interesada, todos los productos finales del curso ME310. En las áreas comunes y salones del complejo de edificios de ingeniería Terman se instalaron mamparas, pequeñas carpas y equipo multimedia para exhibir las innovaciones.

❖ **Documentación Final**

Objetivo

- Presentar un registro de toda la información relacionada con el proyecto.

Descripción

La documentación final integra la información previamente presentada al término de los cuatrimestres además de la generada durante este periodo. El documento final abarca desde las primeras actividades de exploración de estado del arte *benchmarking*, estudios de mercado, pasando por los diferentes prototipos realizados, hasta llegar a la dirección final de diseño, sus especificaciones físicas y funcionales.

2 Contexto

Hasta ahora el propósito de este documento ha sido el de informar la estructura y el ambiente de trabajo característicos de la experiencia ME310. A partir de este capítulo en adelante, se pretende presentar una visión más completa del trabajo desarrollado durante los cuatrimestres de invierno y primavera por los miembros del equipo Autodesk que dieron como resultado la creación del prototipo funcional XKY: el techo acústico dinámico.

El capítulo actual se enfoca en el establecimiento de las necesidades presentadas al inicio del proyecto corporativo así como en la definición del problema que debía ser resuelto por los miembros del equipo.

2.1 Establecimiento de las Necesidades.

Una de las diferencias más profundas entre los campos de la Arquitectura/Construcción y los ámbitos del Diseño de productos/Ingeniería mecánica es el énfasis puesto en la búsqueda de necesidades del usuario durante el proceso de diseño. El proceso de búsqueda de necesidades, implementado por firmas como IDEO, tiene la prioridad de diseñar tecnología que sea responsiva y tenga un impacto substancial en complacer necesidades humanas. En contraste, en el campo comercial de la construcción de edificios, varios factores vuelven difícil la tarea de enfocarse en necesidades específicas del usuario ya que existe una diferencia notable en el procedimiento: la interacción entre el arquitecto y el dueño de la construcción generalmente excluye al usuario final. Sin aportaciones del usuario, los puntos de vista y necesidades de la gente que harán uso de las instalaciones para habitar o trabajar son ignorados.

Es por esta razón, que la búsqueda de necesidades, utilizada en el diseño de productos, aplicada en el campo de la construcción debe ser aplicada con una estrategia particular. Dicha estrategia debe contemplar que las necesidades del usuario cambian con respecto al tiempo, por lo tanto ésta deberá ser flexible y dar cabida a un cambio radical en las metodologías utilizadas para la construcción comercial. Esta nueva y mejorada estrategia traerá un nuevo enfoque y planeación en el campo en cuestión, incrementado la posibilidad de que las necesidades del usuario final sean atendidas incluso, si éstas se modifican en algún sentido.

Existen muchas áreas en donde los usuarios de espacios de construcción requieren flexibilidad así como de un ambiente dinámico. Éstas incluyen, dentro de las posibilidades que hasta el momento parecen ilimitadas, la necesidad de cambiar la función, el tamaño, la locación, iluminación y la acústica de un espacio determinado. Debido a la complejidad del tema y tomando en consideración entrevistas con usuarios potenciales, se decidió limitar los

alcances de este proyecto a aplicar esta nueva estrategia a trabajadores que laboran en oficinas. Una búsqueda de necesidades más profunda dentro de este grupo de usuarios reveló que la acústica dentro de estos espacios es uno de los problemas más notorios que resultan de la naturaleza estática de los mismos.

Para poder explorar y refinar la necesidad de flexibilidad en el ámbito de la construcción, el equipo Autodesk se enfocó en detalles específicos de las necesidades acústicas de usuarios que laboran dentro de edificios de oficinas. Tres de estas necesidades específicas son: la necesidad de comunicar, la de colaborar y la de concentrarse o enfocarse en el trabajo. Por ejemplo, en un área común dentro de un espacio de oficinas, equipos multidisciplinarios de profesionistas, como ingenieros y diseñadores, pueden tener preferencias que varían dependiendo de la actividad que realicen. Miembros de uno de estos equipos puede encontrar que el sonido ambiental es un distractor durante actividades que requieran un nivel de concentración elevado, pero el mismo grupo, cuando se encuentre realizando actividades de generación de ideas, puede valorar la habilidad de poder conversar y escucharse unos a los otros. A un nivel individual, un empleado puede preferir la presencia de música de fondo o simplemente tiene la capacidad de ignorar el ruido de fondo de una oficina llena de personas, mientras que otro necesite un entorno más silencioso para poder realizar sus actividades. Aunque las necesidades que se encuentran dentro de este ámbito laboral son bastante básicas, el camino para satisfacerlas varía de actividad en actividad y de persona a persona.

La exploración realizada para identificar necesidades reveló que el control sobre el ambiente acústico es un problema relevante que tiene repercusiones substanciales en el bienestar personal de los individuos y organizaciones que trabajan en edificios comerciales. Es por esto que la acústica dentro de espacios de trabajo es el foco principal de este proyecto.

2.2 Establecimiento del problema

El objetivo del equipo Autodesk consistió en emplear técnicas de diseño de producto y de manufactura en los ámbitos de la construcción y la arquitectura de edificaciones habitables. Existe una creciente necesidad en los usuarios de edificios, de poder modificar y personalizar su ambiente (incluido el ambiente acústico). Un espacio abierto de oficinas y sin barreras, supuestamente fomenta la colaboración y el trabajo en equipo, pero esa colaboración crea ruido, el mismo espacio de trabajo es utilizado para trabajo individual y juntas. Los usuarios deben tener la capacidad de manipular la acústica de su espacio de tal forma que satisfaga sus necesidades inmediatas. Es de este modo que se presenta XKY, una herramienta para manipular la atmósfera acústica de un espacio interior determinada por las necesidades en tiempo real de los usuarios.

3 Estado del arte en el diseño de espacios acústicos e identificación de la necesidad

El proceso de exploración permitió la identificación de la necesidad de mejorar la acústica en espacios de oficina, la decisión de enfocarse en dicho problema, llevó al equipo Autodesk, a investigar las diversas tecnologías que se utilizan en el diseño de espacios acústicos. A continuación se describen los puntos más importantes derivados de dicha investigación y el proceso que realizó el equipo para identificar dicha necesidad.

3.1 Espacios acústicos

“El éxito del diseño acústico de cualquier tipo de recinto, una vez fijado su volumen y definidas sus formas, radica en primer lugar en la elección de los materiales más adecuados para utilizar como revestimientos del mismo, con objeto de obtener unos tiempos de reverberación óptimos.

Además, en según qué tipos de espacios, resulta necesario potenciar la aparición de primeras reflexiones y/o conseguir una buena difusión del sonido”.
(Antoni Carrión, 1998)

Son tres los efectos que se pueden lograr dependiendo del tipo de material y la geometría de la superficie en que incide la onda sonora:

1. Absorción del sonido: Debido a la presencia de materiales absorbentes, elementos absorbentes selectivos, de la gente y de los muebles.
2. Reflexión del sonido: Debido a la existencia de elementos reflectores.
3. Difusión del sonido: Debido a la presencia de elementos difusores.

Una mirada crítica a algunos de los espacios acústicos de renombre mundial, revela interesantes formas geométricas que pretenden reflejar y absorber el sonido. Las salas de concierto tienden a ser grandes espacios abiertos, que sin un análisis adecuado se tienen grandes cantidades de eco y reverberación. Si bien en cierta medida la reverberación es deseable, estos espacios suelen necesitar un manejo cuidadoso.

Los entramados son una característica muy común en los espacios acústicos. La figura 3.1 muestra un entramado con paneles de acrílico que se ubican encima de la orquesta en la sala de conciertos Davies de San Francisco mientras que la figura 3.2 muestra el entramado de la sala de conciertos Nezahualcoyotl en Ciudad Universitaria. Entramados como éste sirven tanto a los músicos como al público. Están diseñados para promover una mejor comunicación entre los músicos, garantizando una distribución uniforme de la energía reflejada por cada uno de los instrumentos de los músicos hacia otros músicos (Cox, 2004). También pueden ser utilizados para reflejar el sonido hacia algunos sectores del público que de otra manera no contarían con la misma recepción de

energía sonora (Cox, 2004). Muchos entramados están diseñados para dejar pasar la mayor parte del sonido, de manera que se refleja en el techo de la sala y se crea reverberación. Los paneles con superficie plana normalmente no se utilizan porque crean distribuciones de presión desiguales, y reflexiones de frecuencia desiguales, que afectan la manera percibir la calidad del sonido (Cox, 2004).



Figura 3.1 Sala de conciertos con entramado de paneles de acrílico para la reflexión del sonido.



Figura 3.2 Sala de conciertos Nezahualcoyotl en Ciudad Universitaria. El techo cuenta con un entramado de materiales que reflejan el sonido en diversas direcciones.

Es común encontrar objetos geométricos en las paredes y los techos de los espacios acústicos. Los cubos de la sala de la Orquesta de Minnesota están diseñados para absorber ciertas frecuencias de sonido y evitar que se refleje. Los anillos con geometría toroidal de la Ópera de Sydney resuenan con el órgano de los tubos. Las características del techo en el escenario de la sala Oscar Peterson en la Universidad de Concordia equilibran el sonido en el escenario y lo refleja de manera más uniforme hacia el público.

3.1.1 Acústica en espacios de oficina

La acústica es una característica esencial para diseñar un espacio de oficinas que favorezca el óptimo rendimiento de trabajo. "Un estudio a 400 gerentes de empresas realizada por Building Owners and Managers Association (BOMA) y la Universidad de Maryland, identificaron el problema de ruido excesivo como la mayor oportunidad para la mejora de la productividad con un incremento promedio estimado de 26 por ciento." (Moeller, 2009)

Varios factores clave en la acústica de la oficina implican: la altura del techo, la adición de materiales absorbentes y accesorios de iluminación. Techos más altos son mejores para las oficinas debido a que el espacio ofrece más de una oportunidad para que el sonido se disperse antes de ser reflejado. Los techos altos también ofrecen más oportunidades para el uso de objetos reflejantes colgados del techo, que pueden reducir el ruido de los cubículos vecinos. Un panel acústico que cuelga del techo absorbe una mayor cantidad de ondas sonoras que un techo del mismo material con la misma área, puesto que absorbe por la parte inferior y por la parte superior (Armstrong, 2007). La elección del sistema de iluminación es de suma importancia puesto que también afectan la acústica del lugar. Las plafones luminosos que ocupan prácticamente el espacio de un panel de los que conforman el techo del lugar son considerados los de mayor afectación en la acústica del lugar (Armstrong, 2007). Lamentablemente, esta es una de las combinaciones más comunes en las oficinas y las instalaciones educativas.

Una de las principales preocupaciones en la acústica de oficinas, es la posibilidad de que las conversaciones privadas puedan ser escuchadas fácilmente, específicamente en las llamadas oficinas abiertas (Armstrong, 2007), y es la fuente de una cantidad importante de inversión en tecnologías de enmascaramiento de sonido. El enmascaramiento de sonido o "sound masking" consiste en generar frecuencias del rango de la voz de manera que interfieran con las ondas sonoras generadas por las personas presentes en el lugar, haciendo ininteligible las conversaciones.

3.2 Identificación de la necesidad

Una vez que se tuvo bien definido al usuario, en este caso la gente que labora en oficinas, una parte importante del “needfinding” consistió en conversar con gente que trabajara en empresas que aplican el concepto de hoteling. Las personas que trabajan en este tipo de entornos no poseen un escritorio o espacio de trabajo personal, sino que diariamente utilizan uno de los múltiples escritorios que la empresa pone a disposición de cualquier empleado.

A través de diversas entrevistas se pudo extraer información importante de estos lugares de trabajo. Algunos entrevistados comentaron la importancia de socializar en los espacios de trabajo, haciendo énfasis en que uno de los factores que promueven esta actividad es la de permitir el contacto visual entre las personas desde su espacio de trabajo. En cuanto a los objetos con que uno debe contar en su escritorio o espacio de trabajo, variaban demasiado, mientras que a algunas personas les gustaba mantener su espacio ordenado, libre de cualquier objeto personal y su laptop como herramienta de trabajo, a otros no les molestaba tener su desorden de papelería encima de su escritorio y a otros tantos les gustaba, además de sus herramientas de trabajo, tener algún objeto personal sobre su escritorio. Otro aspecto importante fue referente al ruido. Los empleados consideraban al ruido que se generaba en sus espacios de trabajo como un agente distractor que mermaba el rendimiento en su trabajo. Muchos de los entrevistados, consientes de esta situación, nos comentaban que para no molestar a sus colegas mientras sostenían una conversación por celular, salían a los pasillos del edificio e incluso utilizaban sus coches como lugares para llevar a cabo su conversación privada. Las personas consultadas parecían dar mayor peso al sonido sobre lo visual para la generación de un ambiente de privacidad.

También se acudió a empresas donde se desarrolla una gran cantidad de trabajo en equipo, juntas con clientes y subcontratación. En este caso se trató de una empresa consultora en telecomunicaciones: ZIMAT. Las personas que trabajan en esta empresa cuentan con su propio espacio de trabajo. Debido a la falta de barreras contra el sonido, las quejas sobre el ruido que se generaba eran comunes, sobretodo en cuanto que todo mundo podía escuchar conversaciones privadas por teléfono. Esta empresa cuenta con espacios de trabajo en exteriores, muchas de las personas que hacen uso de estas instalaciones argumentaban que les gustaba trabajar en este tipo de espacios porque se sentían más relajados y en un ambiente de mayor privacidad. Cuando era necesario el trabajo colaborativo entre dos o más personas hacían uso de salas de juntas para poder evitar el ruido de los espacios comunes y también para tratar asuntos privados.

Otras de las empresas visitadas fueron dos empresas dedicadas a ofrecer diversos servicios por Internet, Meebo y TrialPay son dos empresas que cuentan con aproximadamente el mismo número de personal, 70 personas aproximadamente, y donde sus empleados realizan tareas similares. Estas

empresas contaban con áreas comunes en sus espacios de oficina para promover la convivencia entre los empleados. Estas áreas contaban con objetos que promueven el esparcimiento y la relajación. En TrialPay, los escritorios estaban separados por paredes de cristal que generaban una mayor privacidad en cuanto a sonido sin limitar el contacto visual entre los empleados, aspecto que era visto en general como positivo. A pesar de que en varios de los sitios visitados se contaba con salas de juntas disponibles para los empleados, las personas preferían llevar a cabo sus reuniones en otro lado.

La acústica en ambos lugares era un problema. Muchos de los trabajadores portaban audífonos para no ser distraídos. Se contaba además, con una amplia zona abierta para desarrollar diferentes actividades donde idealmente se requeriría de una diferente acústica en el lugar para cada actividad. Se observó que no necesariamente el lugar de trabajo tiene que estar en el edificio de la corporación. En Meebo, por ejemplo, cuando se requería realizar alguna junta de trabajo, las personas tomaban su laptop y utilizaban los cafés cercanos a la compañía para llevar a cabo sus juntas y de esta manera no distraer o molestar a la demás personas. Aunque puede parecer una solución práctica al problema de ruido, en realidad podría ser más productivo si los trabajadores no tuvieran que salir de su área de trabajo cada vez que necesitan realizar una junta.

Se visitaron también varios espacios de oficina en universidades. En el centro de docencia de la facultad de Ingeniería de la UNAM, las oficinas están organizadas de manera que los empleados tienen, desde su escritorio personal, una vista de casi toda el área. Las divisiones entre cada espacio de trabajo consistían en cristales que permitían el contacto visual entre los empleados y a su vez funcionaba como barrera para evitar la difusión del sonido. El lugar contaba con un área común para poder socializar y además contaba con una sala de juntas con paredes de cristal. En este caso no hubo quejas sobre el ruido puesto que el número de empleados es muy pequeño y el ruido que se generaba era muy poco.

Oficinas gubernamentales también fueron visitadas. En este caso se visitaron las oficinas del CONACYT. El lugar constaba de varios pisos de oficinas, se trataba en la mayoría de oficinas abiertas, donde no había una división física que separara los escritorios. El problema que más mencionaban los entrevistados era la generación de ruido que distraía de manera importante a los empleados. Cada piso contaba con diversas salas de juntas que servían para evitar todo el ruido que se generaba en las oficinas y tener privacidad, pero la enorme cantidad de empleados generaba una alta demanda de estas salas por lo que era muy común que los empleados tuvieran que recorrer varios pisos en busca de una sala que estuviera desocupada.

4 Proceso de diseño

El proceso de diseño consiste en una descripción detallada de los prototipos que se fueron elaborando a lo largo del curso y que contribuyeron a la construcción del prototipo funcional final.

4.1 Prototipo Dark Horse: Divisiones de espacio.

El propósito del prototipo Dark Horse es el de experimentar con ideas y conceptos desechados al inicio del curso por el equipo de trabajo, al ser consideradas muy complejas o con alto riesgo de falla, pero que a final de cuentas puedan representar una enorme recompensa si resultan exitosas en su ejecución. Basándose en la idea de los espacios dinámicos se decidió investigar los métodos por los cuales un espacio físico es dividido por medio de luz y de sonido. La división más común es una barrera física, como una pared o inclusive algún tipo de mueble. Estas barreras físicas crean áreas con diferente iluminación, sonido y temperatura, se crea una ambientación diferente; generando la percepción de dos espacios diferentes. El objetivo era el entender el rol que tienen los sentidos al crear la percepción de espacios diferentes.

Los miembros del equipo de Stanford se enfocaron en la percepción del aislamiento sonoro al conducir por separado dos estudios con base en pruebas de usuario. En el primero, se intentó entender la percepción del usuario en sonidos ambientales. En el segundo, se sometió a diversos usuarios a la experiencia de un aislamiento sonoro mientras se encontraban realizando algún tipo de tarea que requiriese un alto grado de comunicación, esto con el motivo de entender cómo es que las barreras y la creación de una percepción de espacio puede a su vez modificar la percepción del sonido.

El equipo de la UNAM decidió investigar la percepción que se tiene, al crear barreras divisorias que no sean físicamente tangibles, con base en un prototipo construido de paredes de luz láser dispersada a través de fluidos como el vapor de hielo seco o el humo a base de glicerina. El propósito era entender las posibilidades reales que se tienen al tratar de crear una división espacial a base de medios que no sean físicos.

4.1.1 Aislamiento sonoro

El estudio sobre el aislamiento sonoro tuvo el propósito de entender cómo es que los usuarios perciben la privacidad de un espacio público basado en el aislamiento del sonido desde o dentro del ambiente. El aislamiento sonoro desde el ambiente es la percepción de que el ruido que uno está generando no puede ser escuchado por el resto, mientras que aislamiento sonoro dentro del ambiente es la percepción que se tiene cuando el sonido generado por el ambiente es

reducido a tal punto que se presenta la sensación de no pertenecer ya a ese espacio o ambiente.

Para poder probar el aislamiento sonoro dentro del ambiente se les pidió a varios usuarios el mantener una videoconferencia en el área del *loft* utilizando audífonos y micrófonos, de tal forma que se pudiera generar una sensación de aislamiento con respecto al ambiente.

Para poder probar el aislamiento sonoro desde el ambiente, se experimentó con el aislamiento sonoro del ambiente a través de la creación de una cabina con paredes de policarbonato traslucido, la cual fue colocada en el sofá del área de videoconferencia del *loft* en Stanford. Dicha cabina fue construida a base de un marco de madera, de tal forma que ésta afectase de manera mínima el resto de los sentidos a parte del auditivo de los participantes de la prueba, permitiendo ver a través de ella, además de que no se contase con algún tipo de aislamiento térmico con respecto al resto del espacio del *loft*. Esta cabina tenía como propósito el de contener y amplificar el sonido dentro del área del sofá, de tal forma que dos o tres individuos pudiesen tener una conversación aislada que sería difícil de escuchar del otro lado de la barrera de policarbonato.



Figura 4.1. Los sonidos dentro de la cámara de policarbonato se perciben más altos, mientras que fuera de ésta casi no se escuchan

Después de la realización de diversas pruebas de videoconferencia con las configuraciones de: audífonos-micrófonos y cabina-sin cabina, se le preguntó a los usuarios su opinión acerca de la experiencia. La mayoría de los usuarios hicieron comentarios positivos con respecto al uso de micrófonos y audífonos durante la videoconferencia debido al alto grado de privacidad y el bajo nivel de distracción generados bajo esta configuración, haciendo mención de que la cabina también presentaba una mejora significativa en la comunicación; como dato final se hizo notar el déficit que se tiene al tener que realizar

conversaciones locales al tener los audífonos puestos, comparados con el uso regular del espacio o la implementación de la cabina de policarbonato.

El aprendizaje más substancial generado por estos estudios se dio en la verificación de que la reducción o atenuación del sonido pueden generar la percepción de encontrarse en un espacio diferente, aunque dicha percepción de separación es menos notoria que con una barrera física convencional.

4.1.2 Manipulación del sonido

La segunda parte del estudio realizado por medio de divisiones de espacio sonoras, consistía en observar y obtener información con respecto a cómo es que los usuarios responden a sonidos distractores en el ambiente, y qué umbrales existen para el volumen y diferenciación del sonido. Para lograr esto, se creó una pista de grabación de tres minutos, compuesta de varios sonidos ambientales al azar. Estos sonidos contenían conversaciones grabadas, sonidos de máquinas, y utensilios de cocina chocando entre ellos. Esta amalgama de ruidos ambientales creaba un amplio ambiente sonoro lleno de distracciones auditivas. Utilizando cierto modelo de audífonos que no aislaban en su totalidad al usuario y que proporcionaban una alta calidad en el sonido, se realizaron entrevistas con diversos usuarios mientras estos escuchaban la pista de audio. De igual forma se les pidió a ciertos participantes que realizaran algunas tareas como contestar e-mails o llenar algún tipo de formulario en papel e inclusive que tuviesen una conversación mientras escuchaban la pista de audio. Posterior a estas pruebas se realizaron también una serie de experimentos con tapones para los oídos utilizados por trabajadores de la construcción, de tal forma que los usuarios bloquearan casi en su totalidad el sonido ambiental. El resultado más sobresaliente de este experimento fueron los comentarios de incomodidad por parte de los usuarios al existir una ausencia total de sonido ambiental. Adicionalmente se realizaron pruebas para observar cómo los usuarios reaccionaban a un desbalance extremo de sonido ambiental donde la mayoría de este sería recibido por un lado del usuario.

Las pruebas y los diversos resultados y observaciones obtenidas se encuentran contenidos en la tabla 4.1.

Aprendizajes de la prueba	
<i>Condición</i>	<i>Reacción</i>
Ambiente personal	Una sola voz o conversación es más distractora que muchas voces o conversaciones juntas.
Ambiente personal	En general, la gente quiere reducir el volumen del ruido del ambiente por debajo de 60 a 70 dB.
Ambiente personal	Los usuarios elevan el sonido de sus voces de 5 a 10 dB para contrarrestar el sonido del ambiente.
Ambiente grupal	A los usuarios les gusta ocasionalmente escuchar conversaciones ajenas.
Ambiente grupal	Cuando se combinan muchas voces se genera el ruido ambiental.
Ambiente grupal	Un ruido ambiental intermitente es más distractor que un ruido ambiental constante.
Ambiente grupal	Lo usuarios se sentían incómodos bajo un total aislamiento sonoro.
Ambiente grupal	A los usuarios les agradaba tener un poco de ruido ambiental.
Ambiente grupal	Los usuarios se sentían incómodos cuando los niveles de sonido se encontraban desbalanceados.

Tabla 4.1 Aprendizajes de las diversas pruebas sobre aislamiento sonoro.

4.1.3 Divisiones de luz

Desarrollando la idea de espacios divididos por medio de luz, se idearon diversos conceptos. Uno de estos conceptos incluyó la idea de rayos láseres reflejados y re-direccionados por medio de postes para crear la ilusión de una división física de espacio. Otros conceptos involucraban rayos láseres giratorios o luz difuminada a través de fluidos como el vapor o humo.

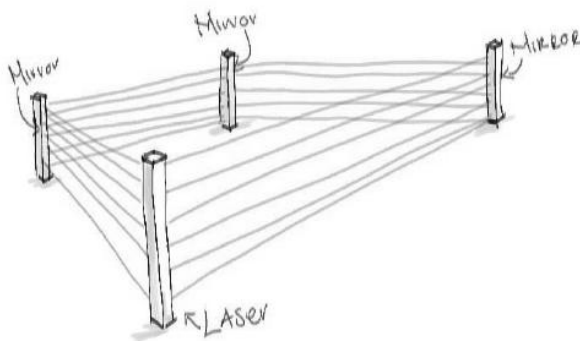


Figura 4.2. Concepto de paredes de luz que utilizan rayos laser que se reflejan para generar un espacio cerrado

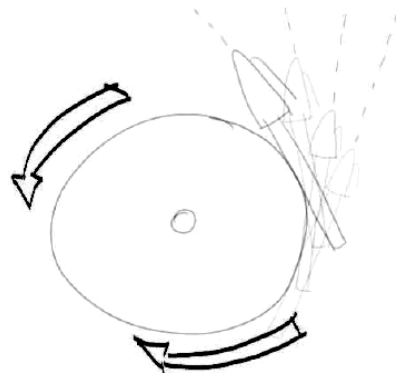


Figura 4.3. Concepto de un laser giratorio para crear la percepción de división.

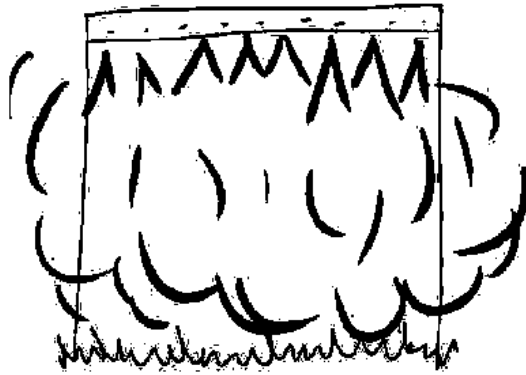


Figura 4.4. Concepto del uso de vapor iluminado para crear la sensación de división

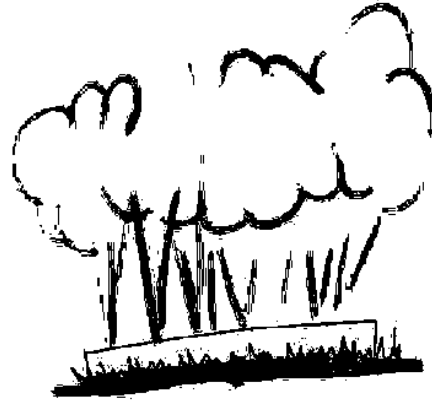


Figura 4.5. Concepto del uso de humo presurizado iluminado por luz para crear la sensación de división.

La pregunta crítica que se deseaba responder con este concepto era si en verdad una división virtual creada a partir de la luz podía dar la sensación de estar dentro de un espacio confinado. En este caso, los usuarios tendrían la capacidad de percibir que la división espacial es intangible, pero basándose en su comportamiento a través de un simple ejercicio tipo laberinto, se podría observar si es que dichos usuarios perciben la barrera al tratar de evitarla y no colisionar con ella o si simplemente la ignoran al caminar a través de ella.

Para hacer un arreglo eficiente de láseres, se decidió realizar una refracción ordenada a partir de un solo rayo, al utilizar segmentos de vidrio a 45° , de tal forma que el rayo laser incidente se refractase en dos llegando a los demás segmentos de vidrio y reflejándose en una nueva dirección. De esta forma se logro generar seis rayos horizontales con un solo emisor de laser. Utilizando este método se creó un espacio de 4 paredes utilizando postes con espejos, los cuales representaban las esquinas del espacio virtual.



Figura 4.6 El laser es dividido en 6 a través de segmentos de vidrio en posición angulada.

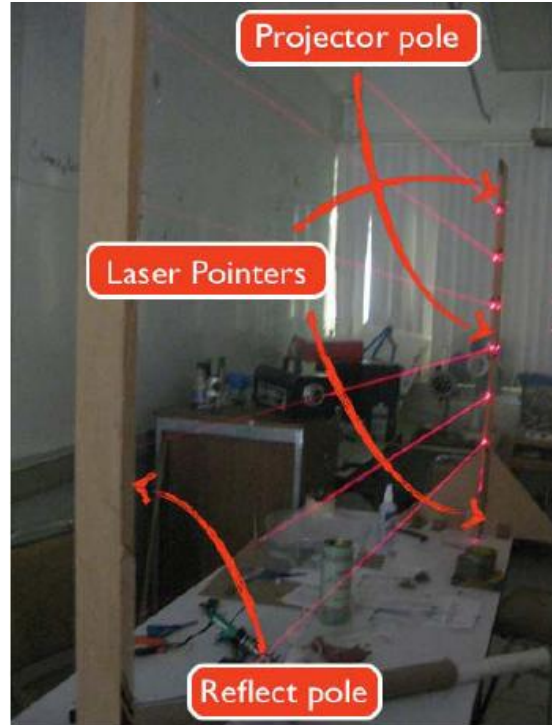


Figura 4.7. Componentes físicos de la pared de luz.

Para lograr que los rayos láseres generados, pudieran ser apreciados por el ojo humano, fue necesario hacer que estos fueran reflejados por un medio, en este caso se eligió realizar dos pruebas diferentes, con humo generado por una maquina a base de glicerina y con vapor de CO_2 generado por hielo seco al contacto con agua a temperatura ambiente. La primera prueba generaba una visibilidad substancial de los rayos de luz, pero tenía como efecto contraproducente el hecho de que el gas se esparcía por toda el área, haciendo difícil contener dicho vapor dentro de la trayectoria del láser. El segundo método requirió de una instalación especial a base de un ducto de PVC lleno con agua en la parte superior de las paredes virtuales, que al momento de ser llenados con el hielo seco dejaban salir el vapor, que al ser más denso que el aire caía por efecto natural; para direccionar de mejor manera la trayectoria del vapor, se utilizó un arreglo de extractores en la base de la pared que dirigían y canalizaban el vapor más eficientemente. La desventaja de esta solución implicaba el agregado de más componentes físicos a la pared virtual.

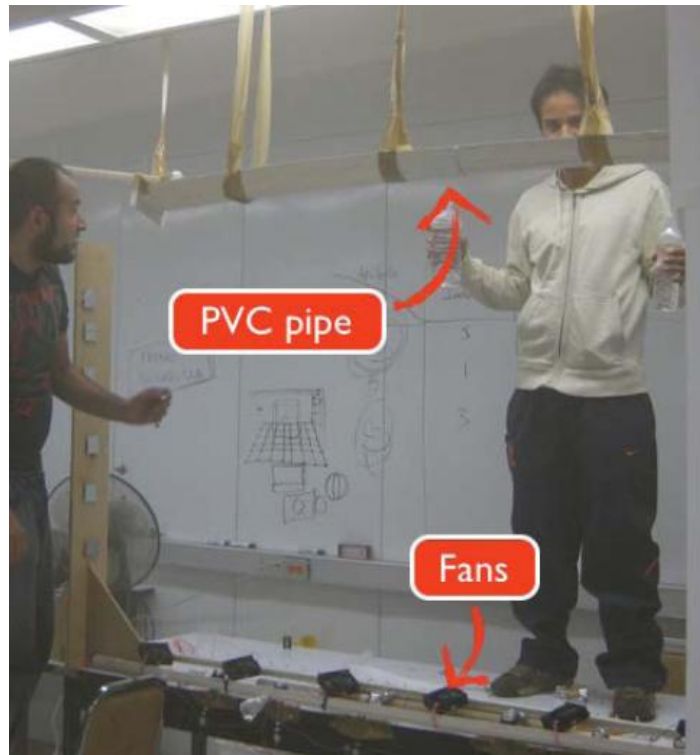


Figura 4.8. Configuración de pared virtual utilizando vapor de hielo seco y ventiladores

Con el propósito de obtener retroalimentación de los usuarios se decidió realizar una serie de pruebas sencillas de distinción de las paredes virtuales. A varios usuarios se les solicitó que transitaran de un punto A (fuera del espacio virtual rectangular) a un punto B (dentro del espacio virtual), por la trayectoria que ellos considerasen pertinente. Si los usuarios decidían transitar por la única abertura libre de luz de la estructura, nosotros inferíamos que la sensación de tener una barrera por medio de los rayos láser era exitosa, mientras que si los usuarios decidían atravesar alguna de las paredes generadas, el objetivo de dar una percepción de una barrera física no se cumplía ya fuera por la falta de visibilidad o por la ausencia de una sensación de barrera.

Las pruebas de usuario no se pudieron realizar por dos factores: el primero radicaba en la dificultad de poder ver los rayos láseres de forma ortogonal a su trayectoria, debido a que el medio de humo o vapor se difuminaba rápidamente provocando que la visibilidad de éstos disminuyera con el tiempo, requiriendo un flujo constante del medio reflector. Segundo, la presencia de luz natural impedía la visualización del rayo láser que simulaba la pared.

En base a estas observaciones se concluyó que los requerimientos para simular una pared a través de la manipulación de la luz eran lo suficientemente complicados para poder abandonar la idea.

4.2 Prototipo de Niveles de Sistemas: Integración de detección y movimiento.

El propósito del prototipo de niveles de sistemas consiste en tener los subsistemas del prototipo interactuando entre ellos, esto con el propósito de dar al equipo de trabajo la experiencia inicial requerida por la integración eficiente de dichos subsistemas.

A estas alturas del curso, el equipo de diseño sabía que el espacio dinámico requería algún tipo de componente móvil poco convencional, como una pared o un mueble. Y se sabía que el sistema debía reaccionar a estímulos externos, al igual que moverse en ciertas trayectorias y con seguridad.

Con esta perspectiva, se dividió el prototipo en dos partes, la sensorial y la de movimiento. El propósito de la parte sensorial consistió en recopilar información acerca de sus alrededores con el fin de tomar decisiones apropiadas acerca de qué cambiar, mientras que la parte móvil se enfocó en el movimiento de los objetos a partir de la decisión tomada de la parte sensorial.

4.2.1 Prototipo Sensorial

El propósito de este prototipo consistió en tratar de usar información proveniente de sensores y una computadora para entender las necesidades de un usuario y reaccionar de manera apropiada. Se requirió entender cuáles eran las magnitudes más importantes que se debían de tomar en consideración de tal forma que el espacio reaccionase de manera apropiada a lo que se suscitaba en su interior.

El sistema que se creó involucraba un arreglo de sensores para comprender las necesidades de personas participantes en una junta, y reaccionar de forma apropiada para permitir que la reunión se efectuara de una manera más fluida y productiva. A continuación se presenta una tabla con el equipo utilizado para el prototipo.

Sensor	Posición	Propósito
Barómetro	Entrada	Medir presión del aire
Termómetro	Entrada	Medir temperatura
Micrófono	Entrada	Medir volumen
Sensor de inclinación	Respaldo de la silla más cercana a la entrada	Determina si la persona sentada en la silla la esta reclinando
Sensor de presión	Debajo del pizarrón	Determina si se está usando el pizarrón
Potenciómetro 1	Panel en frente de la persona sentada en la silla cercana a la entrada	Determina el grado de satisfacción de la persona sentada en la silla
Potenciómetro 2	Panel en frente de la persona sentada en la silla cercana a la entrada	Determina el nivel de atención de la persona sentada en la silla

Tabla 4.2. Sensores utilizados en el prototipo de integración de sistemas

Un arreglo especial de cortinas fue instalado en el área de trabajo del equipo Autodesk, se creó un arreglo de luces y bocinas que solo involucraban el área señalada. En este sistema era posible controlar individualmente cada una de las luces colocadas dentro del espacio, además de controlar el volumen del sonido que salía de las bocinas. El objetivo principal de este experimento consistió en experimentar con la recopilación de información y su procesamiento, pero, debido a la naturaleza del sistema establecido, también fue posible observar las reacciones de los individuos participantes mientras el espacio donde se encontraban se modificaba automáticamente.

Como se puede observar en la tabla 4.2, los potenciómetros 1 y 2 estaban encargados de medir el grado de satisfacción de los participantes de la junta, de tal forma que si se giraba el potenciómetro a la izquierda indicaba un grado de satisfacción bajo que podía traducirse en una falta de atención hacia la junta llevada a cabo; mientras que si se giraba dicho potenciómetro a la derecha el participante denotaba un grado de satisfacción elevado.

Después de haber realizado la instalación del equipo, se comenzó con las pruebas de usuario. Inicialmente se le pidió a cuatro participantes que experimentaran con el espacio por un periodo de 5 minutos, durante este tiempo se recopiló información de los sensores y se registraron los valores de los potenciómetros. Para observar las diferentes reacciones de los estudiantes se manipuló manualmente las luces, de tal forma que durante cierto tiempo éstas solo iluminasen a la persona que denotaba mayor participación en la conversación, posteriormente se realizó lo mismo pero con las personas que se encontraban en silencio. En cierto momento en que fue utilizado el pizarrón, las luces fueron modificadas de tal forma que iluminasen esa área. Después del experimento, se les pidió a los participantes que llenaran unos cuestionarios acerca de su experiencia con el prototipo.

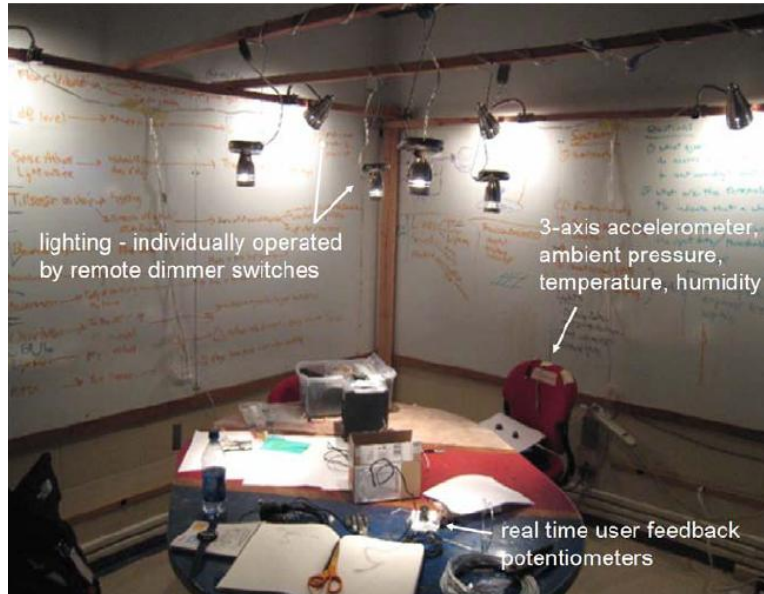


Figura 4.9. Disposición del espacio para realizar la pruebas

Muchos de los sensores utilizados durante el experimento resultaron ser innecesarios, como el de temperatura, presión y humedad. Además de que la información recopilada del acelerómetro colocado en los asientos de los participantes resultó ser aleatoria y bastante inconsistente con respecto al nivel de participación de los usuarios en la conversación. Además de esto, se pudo observar una incomprensión bastante generalizada de los participantes con respecto a los cambios de iluminación y de sonido. La capacidad de los usuarios de utilizar los potenciómetros para expresar su nivel de conformidad durante la conversación resultó ser poco práctica y por lo tanto su uso fue mínimo. Posteriormente se realizaron pruebas con solo 2 usuarios que permitieron a los miembros del equipo reaccionar más rápido y hacer los ajustes de iluminación necesarios durante la conversación.



Figura 4.10. Recolección de datos del equipo de diseño.

La conclusión más significativa de este prototipo fue el conocimiento de que un nivel de automatización elevado crea un sentido de incomodidad entre los usuarios, los participantes hicieron notar su deseo de tener algún tipo de control. De igual manera se pudo observar que las magnitudes y variables que deben medirse para poder generar un ambiente automatizado de esta naturaleza pueden resultar demasiado complejas si se desea obtener una retroalimentación eficiente del área en cuestión.

4.2.2 Prototipo de Movimiento

Mientras una parte del equipo se dedicó a observar la parte sensorial del prototipo, la otra se enfocó en asumir que la señal de comando había sido enviada y se enfocó en formas de poder mover objetos. Ambos sistemas en conjunto presentaron un esquema donde era posible mover paredes o muebles dentro de un espacio tomando como punto de partida las acciones tomadas dentro del mismo.

Para que un objeto pueda moverse libremente dentro de un espacio, es necesario que logre identificar los obstáculos que se encuentran en el mismo para poder esquivarlos. Es por eso que el concepto de este prototipo consistió en la construcción de un robot, el cual representaría un objeto más grande, que pudiese moverse dentro de un ambiente esquivando obstáculos y que fuese capaz de regresar a su punto inicial de partida, todo esto con el menor grado de intervención humana posible.

Las ideas iniciales contemplaban el uso de rutas marcadas en el suelo y robots seguidores de luz, pero debió considerarse las consecuencias que tendrían este tipo de configuraciones al espacio donde serían implementadas, y teniendo en cuenta que el propósito final del proyecto era el implementar el concepto de espacios dinámicos en ambientes habitados, estas ideas fueron desechadas. Después de una serie de lluvia de ideas, los miembros del equipo de la UNAM decidieron utilizar tecnologías de reconocimiento de imágenes, y con ayuda del equipo de profesores se tomó la decisión de utilizar la tecnología utilizada en el sintetizador digital llamado "*reacTable*". Este sistema utiliza una plataforma de software libre llamada *ReactVISION* que reconoce patrones específicos llamados *fiducial markers* utilizando una cámara digital. El concepto de este nuevo prototipo consistió en utilizar los *fiducial markers* como identificadores de los objetos presentes en un espacio, utilizando el software para indicar los *fiducial markers* que representaban al móvil, obstáculos, el objetivo y el origen de la trayectoria.

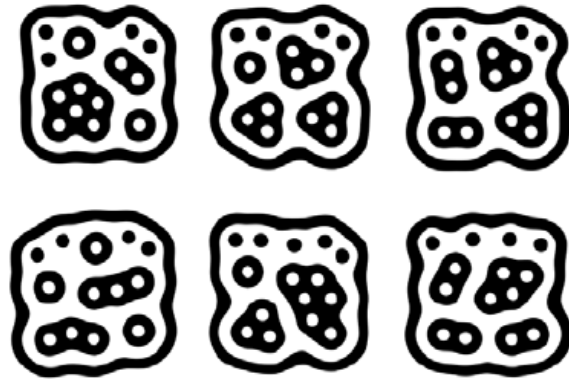


Figura 4.11. Algunos ejemplos de *fiducial markers*

Con la asesoría de un ingeniero egresado de la UNAM (Peña, 2009) que desarrolló para su tesis de licenciatura un trabajo similar utilizando los *fiducial markers* se procedió a desarrollar el prototipo. El trabajo original tenía como objetivo el dirigir un robot móvil a través del reconocimiento visual de una superficie con el propósito de encontrar un objetivo representado por un *fiducial marker* específico, el software desarrollado para este proyecto incluye una subrutina capaz de diferenciar el robot y obstáculos marcados por otros *fiducial markers*. El robot estaba construido con un kit de robótica Lego Mindstorms para poder programar su comportamiento por medio del uso de LabVIEW de National Instruments.

El sistema utilizaba el software libre ReactVISION escrito en lenguaje C#, el cual interpretaba información de las subrutinas y las traducía en datos manejables (un vector numérico indicando posición, velocidad y dirección de cualquier *fiducial marker* presente en la imagen digital). Se creó una extensión de este software para mandar la información al robot utilizando el mismo código del kit de Lego Mindstorms. Esta elección facilitó la construcción del prototipo para poder enfocar el tiempo de desarrollo en efectuar observaciones y conclusiones a partir del mismo.

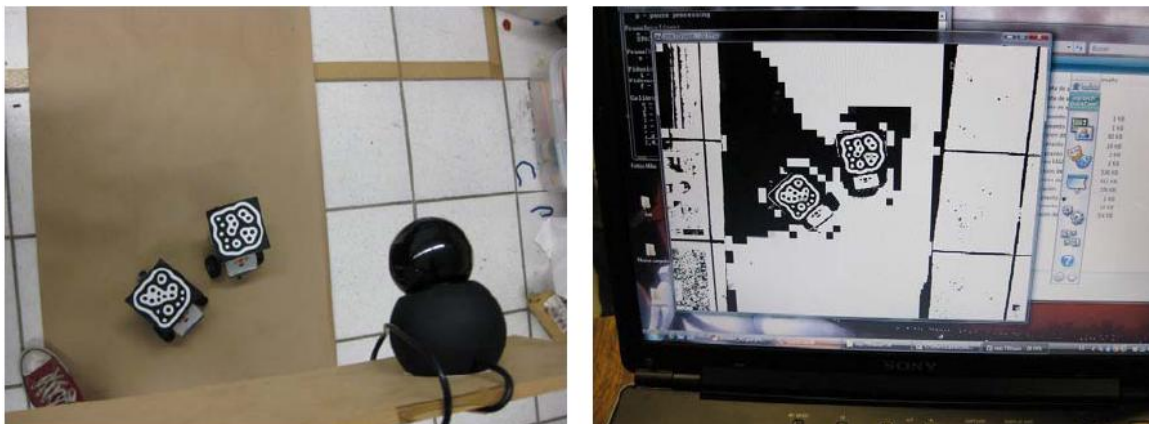


Figura 4.12. Disposición de la cámara web utilizada así como una fotografía del software ReactVISION utilizado

El sistema de visión fue implementado de la siguiente forma. Se colocó una cámara web sobre el área de estudio, la cual fue cubierta con papel de color opaco para poder contrarrestar con el blanco brillante del piso original del área de trabajo de la UNAM y axial poder realizar mediciones más precisas sin realizar demasiados ajustes en el software de ReactIVISION. Los *fiducial markers* fueron impresos a partir de la documentación proporcionada por el kit de desarrollo del software libre.

Aunque el uso de los *fiducial markers* permitió que el sistema desarrollado fuera menos invasivo que los propuestos en un principio, se pudieron observar una serie de problemas que resaltaron al momento de realizar las pruebas. El uso de una cámara digital limitaba el tamaño del área monitoreada, esto debido al rango focal del lente de la cámara (en el prototipo se tuvo que manejar para una altura de 1.2 m, *fiducial markers* de 10 cm x 10 cm para una confiable detección de las imágenes). La resolución y el procesamiento de información de la cámara resultó una limitante con respecto a la velocidad de detección, ya que si el móvil adquiría una velocidad demasiado elevada se corría el riesgo de perder su ubicación con el software. La luz ambiental también resultó un factor a considerar, esto debido a los reflejos luminosos en el suelo que generaban ruido en la imagen que detectaba la cámara.

4.3 Prototipo funcional y de integración de sistemas: Techo dinámico

El propósito del prototipo funcional y de integración de sistemas fue el de probar la integración de múltiples sistemas críticos para la solución a espacios dinámicos en oficinas. De la búsqueda de necesidades se dedujo que el análisis de la acústica en espacios de oficinas era una necesidad primordial causante de muchos cambios en el comportamiento (como el buscar espacios exteriores para trabajar) y reducción de la productividad de los usuarios. Uno de los datos más relevantes para el desarrollo de este prototipo fue la noción de que en muchas circunstancias actuales los espacios de oficina son naves amplias que contienen pocas barreras físicas, además de que el espacio en dicha oficina es utilizado para diversas actividades a lo largo del día laboral. Por ejemplo, en la mañana quizás se requiera que cada uno de los trabajadores cuente con su espacio particular de trabajo o escritorio, mientras que durante el transcurso del día sea necesario realizar actividades entre pequeños grupos para terminar el día con una gran reunión donde el director de la compañía desee realizar algún tipo de anuncio. Se llegó a la conclusión de que las necesidades acústicas de los trabajadores de una oficina son *dinámicas*, de este factor se observó una oportunidad para poder convertir a la oficina en un *espacio acústico dinámico*. Este espacio dinámico proporciona formas de incrementar la productividad y la percepción de división y privacidad entre los empleados sin la necesidad de un incremento de metros cuadrados en el espacio.

El equipo de diseño decidió abordar la necesidad particular de reducir la propagación del sonido en espacios de oficinas por dos razones principales. Primera, hasta ahora la necesidad no ha sido manejada de forma *dinámica*. Se ha realizado mucho trabajo en diseño de espacios acústicos estáticos, como el uso de paredes angulares que son favorables para proyectar el sonido de un escenario. Pero estos espacios no dan la opción de integrar otro tipo de arreglos que varíen o modifiquen la constitución misma del espacio. La percepción que tiene el equipo de diseño es que se ve a la acústica dinámica como un medio único y poco estudiado para poder tratar el problema del sonido ambiental en las oficinas. Segunda, el problema del ruido ambiental parece ser uno de los factores con mayor grado de frustración por parte de los empleados de oficinas.

Se consideraron diversas ideas para controlar el sonido ambiental de una manera dinámica. Estas incluían cubrir las paredes de un espacio con paneles absorbentes, “enmascarar” el sonido con altavoces que emitiesen “ruido blanco”, y manipular la forma del techo para lograr la reflexión y absorción del sonido. Cada idea fue considerada en relación a su eficiencia y practicidad.

La investigación que se realizó en torno al diseño de espacios acústicos reveló que el uso de diversas tecnologías y medios para poder modificar el sonido es, en el presente, una práctica común, algunas de estas técnicas se muestran en la figura 4.13, figura 4.14 y figura 4.15 (ACoustical, 2009). Se encontró también la existencia de dispositivos generadores de ruido blanco utilizados en oficinas (Simply, 2009).



Figura 4.13 Techo acústico curvo



Figura 4.14 techo acústico curvo



Figura 4.15 Techo Geometrix

Se observó que cambiando la configuración del techo de diversas formas o estados, cada uno de estos podría tener propiedades únicas de una forma similar a los ejemplos encontrados para los espacios estáticos. Por lo que la manipulación dinámica del sonido, basada esencialmente entre el paso de diversos estados estáticos, podría ser posible. Para poder verificar si era posible tener algún tipo de modificación perceptible era necesario el desarrollo de un prototipo para poder realizar pruebas con usuarios.

Los miembros del equipo en Stanford y los de la UNAM decidieron abordar la solución del techo dinámico desde dos perspectivas diferentes. El equipo en la

UNAM trató de utilizar el techo como una fuente para producir sonido de enmascaramiento, o ruido blanco, que bloquearía algunos tipos de sonidos ambientales distractores. Este prototipo eventualmente evolucionó en un techo cuyo propósito consistía en la absorción de sonidos ambientales mediante el uso de materiales absorbentes como la fibra de vidrio. El equipo en Stanford diseñó un techo cuyas diversas configuraciones reflejaban el sonido en cierta dirección buscando efectos de amplificación y disipación del sonido.

4.3.1 Enmascaramiento y absorción.

El concepto inicial consistió en crear un techo dinámico que produjera el efecto de enmascaramiento del sonido a través del sonido generado de su movimiento. Después de diversas asesorías con Jorge Galaviz (Galaviz, 2009), un especialista en acústica, y el Dr. Antonio Pérez López, (Perez, 2009) investigador que ha realizado diversos estudios en acústica, es como se produjo el interés por la idea de enmascaramiento del sonido.

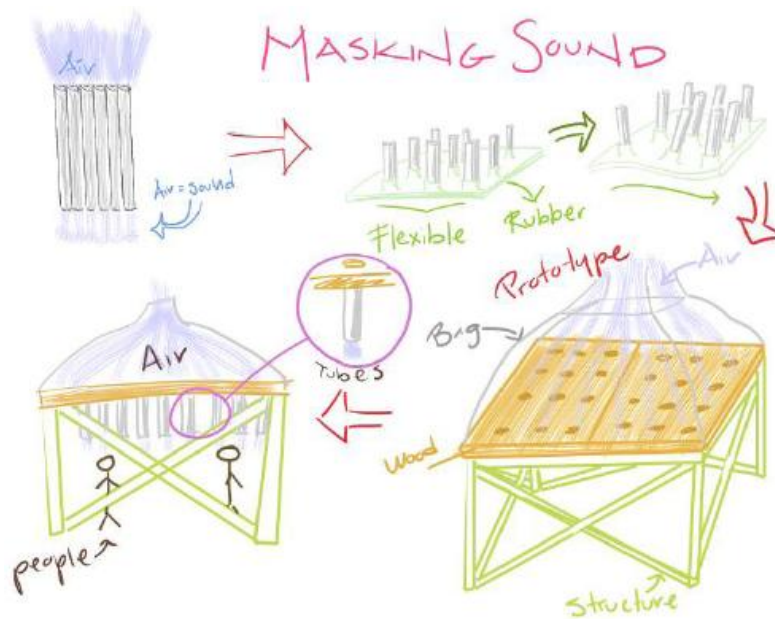


Figura 4.16 Conceptos iniciales del prototipo de enmascaramiento de sonido.

El enmascaramiento del sonido es el efecto que se obtiene al agregar “ruido rosa” a un ambiente para tratar de atenuar frecuencias particulares, en este caso nuestro objetivo era el rango de frecuencias de la voz humana y sonidos característicos de una oficina, como teléfonos sonando o maquinaria electrónica como impresoras o copadoras. El enmascaramiento usualmente es realizado por un experto en acústica que diseña un arreglo específico de altavoces para las necesidades particulares del espacio. Estos altavoces generan el mencionado “ruido rosa”, que es una mezcla de frecuencias sonoras cuyo valor fluctúa alrededor de la frecuencia de la voz humana, permitiendo la percepción

de sonidos de emisión directa (como cuando una persona le habla directamente a otra), pero impidiendo el sonido indirecto (una conversación de fondo).

Un problema presente en los sistemas de enmascaramiento de sonido actuales es su costo y su alta demanda de energía, ya que los altavoces deben encontrarse encendidos todo el tiempo (Galaviz, 2009). Además de que algunas personas perciben el ruido rosa como algo molesto. Se pensó entonces que existía la posibilidad de fusionar los conceptos de enmascaramiento de sonido con un techo dinámico, al explorar la posibilidad de generar el ruido rosa sin altavoces, basándonos en un sistema mecánico de movimiento constante.

Existieron dos conceptos iniciales para la realización de este prototipo. El primero consistió en la creación del efecto de enmascaramiento al golpear entre sí objetos metálicos como tubos de cobre. El segundo consistió en hacer pasar un flujo de aire a través de los tubos, causando que estos resonaran, al utilizar diámetros y longitudes diferentes se lograba producir diferentes frecuencias. Para ambos conceptos se contemplaba que el techo estuviera cubierto de tubos y que el ruido rosa se dirigiera directamente a los usuarios que se encontrasen debajo del dispositivo.



Figura 4.17 Tubos de metal utilizados en conceptos iniciales.

Inicialmente se trató de buscar diferentes materiales que generasen sonido en el rango de frecuencias necesarios para producir un efecto de enmascaramiento natural (250 a 3000 Hz). La idea original era hacer que diferentes tubos de metal con diferentes diámetros se golpearan entre sí. Esta idea fue descartada debido a lo poco práctico que resultaría buscar los diámetros necesarios para generar las frecuencias deseadas. Posteriormente se decidió llenar los tubos con pequeños balines metálicos que golpeaban las paredes interiores de los tubos, pero esta idea no generó el rango de frecuencias que se estaba buscando. Pasar aire a través de los tubos era una idea que tuvo inicialmente potencial, debido a que no era necesario un arreglo de tubos con diámetros diferentes. Se construyeron prototipos básicos para probar esta idea, pero la limitante más

notoria fue la intensidad del sonido. Se utilizó un ventilador para hacer pasar un flujo de aire a cierta presión a través de los tubos y se utilizó un decibelímetro para poder medir el sonido generado por el tubo. Se concluyó que la intensidad del sonido era mínima, especialmente en comparación con el ruido producido por el motor del ventilador. Para poder generar un volumen mayor de sonido se necesitaría una fuente de aire más poderosa, pero el sonido generado por esta fuente continuaría siendo un problema importante.



Figura 4.18. Medición de ruido rosa

A través de estas investigaciones, se encontró que la construcción de un mecanismo de enmascaramiento de sonido natural resultaba bastante complicada, debido a los problemas técnicos y logísticos vislumbrados en la construcción de los prototipos básicos. Se decidió abandonar esta idea para poder enfocarse en otro campo: la absorción del sonido.

4.3.2 Absorción del sonido.

El concepto consistió en absorber el sonido utilizando el techo, de tal manera que cualquier tipo de ruido generado dentro de este espacio fuese atenuado por los alrededores del mismo.



Figura 4.19. Concepto de un techo de absorción de sonido

Se buscaba entender cómo un techo construido a base de materiales absorbentes podía cambiar la percepción del sonido en un espacio al cambiar su forma, además de poder observar cómo es que esto también podía generar una percepción de espacio diferente. También se buscó entender las consecuencias negativas que esto pudiese generar en la comunicación directa entre personas y cómo es que diversas configuraciones del techo cambiarían los sonidos que los usuarios percibirían. El mayor indicador de éxito sería generar a través de este prototipo una diferencia notoria al momento en que un usuario estuviese debajo del techo.

Basándose en diversas investigaciones se concluyó que una estructura de domo mejora la acústica de un espacio reduciendo el volumen para alguien que se encuentra debajo de dicho domo. Se consideraron diferentes mecanismos, pero al final se decidió utilizar la versión más simple posible. Consistió en diversos paneles unidos por bisagras para permitir el movimiento entre ellos. Al ser jalado por el centro, el efecto de gravedad crea la forma curva que se requiere. Se construyó el prototipo a base de tablas de aglomerado de madera.

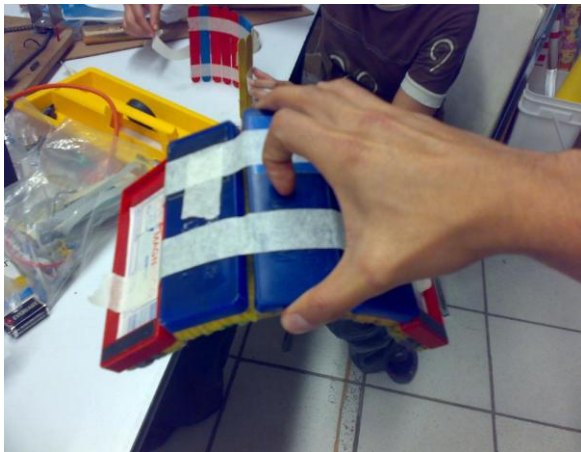


Figura 4.20. A la izquierda, prototipo básico para ejemplificar el mecanismo de movimiento del techo. A la derecha, versión final del mecanismo utilizado para el prototipo de absorción de sonido

Una vez construida la estructura de soporte, se cubrió una de las caras de la estructura con fibra de vidrio R-11 para darle propiedades de absorción sonora. Debido a que la fibra de vidrio es un material peligroso, se recubrió la fibra con una tela porosa para evitar el contacto directo.

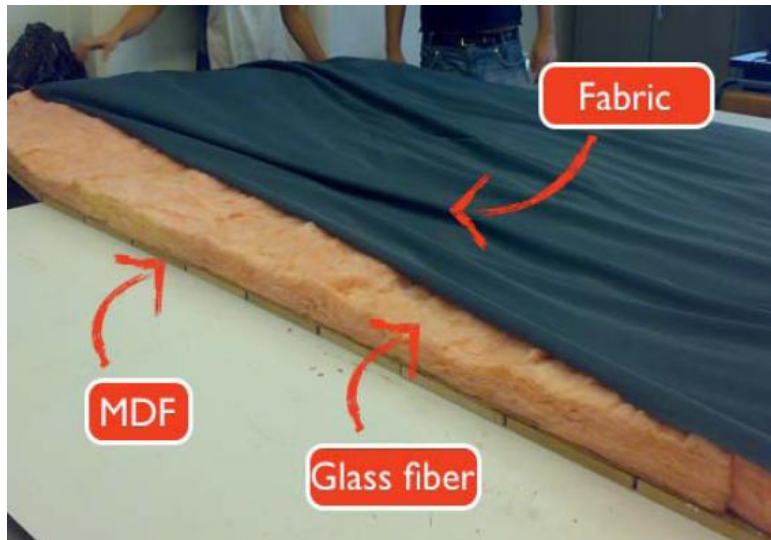


Figura 4.21. Constitución del sistema flexible de absorción de sonido

Para sostener el techo, se construyó una estructura a base de perfil rectangular de acero. Esta estructura contaba con un arreglo sencillo de poleas y por medio de un cable de acero se elevaba y descendía el techo formando diversas configuraciones. La figura 4.22 muestra el prototipo final.

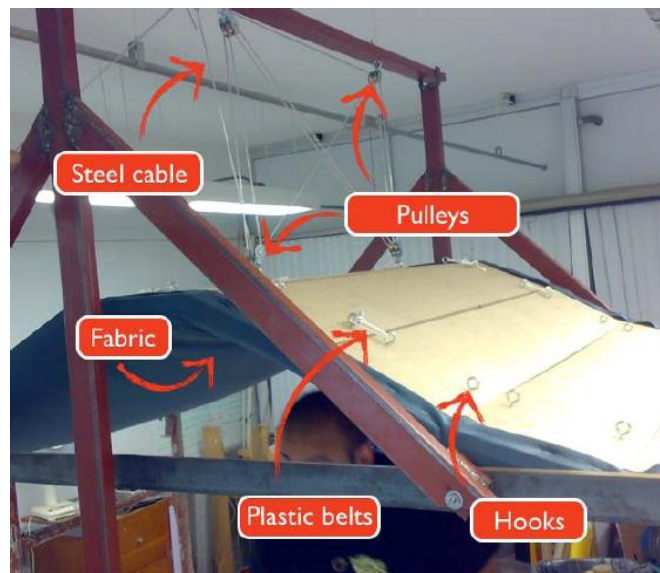


Figura 4.22. Configuración utilizada para levantar el techo.

Para probar el dispositivo, se colocaron bocinas debajo del techo absorbente para generar un sonido controlado, y utilizando un decibelímetro se midió la intensidad del sonido generado. Se cambió la distancia que existía entre las bocinas y el techo para poder encontrar el punto de mayor absorción. Se realizó un segundo experimento al pedirle a grupos de personas que se sentasen dentro del espacio y nos dijeran sus observaciones acerca de la experiencia. Finalmente se probó el techo durante una sesión de videoconferencia, verificando de esta manera que el sonido que se alcanzaba a escuchar, fuera

del área que abarcaba el techo, en efecto tenía un decremento significativo debido al material absorbente.



Figura 4.23. Prototipo siendo utilizado durante una sesión de videoconferencia

El prototipo permitió generar conclusiones respecto a los efectos que tiene la absorción de sonido en los usuarios. Aunque el prototipo resultó exitoso al reducir la intensidad del sonido de la fuente que se ubicaba debajo del prototipo. La diferencia del nivel sonoro entre las diversas configuraciones del techo era prácticamente imperceptible a menos que la fuente sonora se ubicara a una distancia muy reducida del techo (Figura 4.24). Esto generaba que, para que las diferentes configuraciones del techo tuvieran un verdadero efecto en la absorción del sonido, el techo tuviera que ubicarse lo más pegado posible al usuario, esto provocaba un reducción importante del espacio y generaba además incomodidad en el usuario.

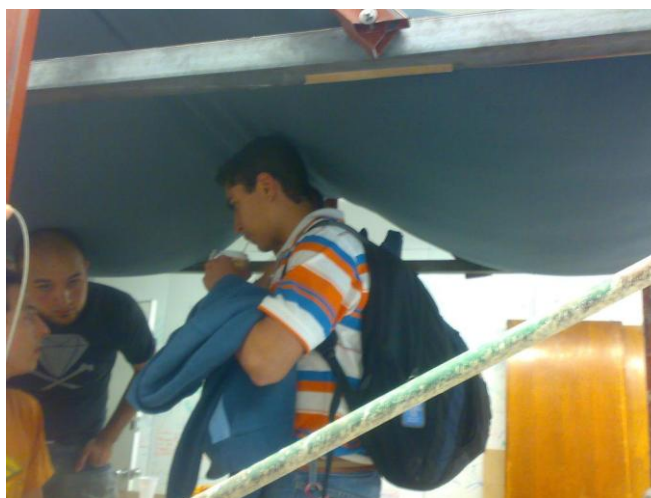


Figura 4.24. Los usuarios (fuente sonora) tenían que situarse lo más cercano posible al material absorbente para que las configuraciones del techo, como la superficie cóncava de la imagen, tuvieran un verdadero efecto.

Se concluyó que para la aplicación de un techo acústico, la absorción del sonido es independiente del movimiento de éste. Su aplicación es meramente en un estado estático.

4.3.3 Reflexión del sonido.

El objetivo de los miembros del equipo de la Universidad de Stanford fue el de manipular la forma del techo para poder cambiar los efectos de reflexión del mismo. Se optó por utilizar un concepto basado en paneles colgantes, debido a las facilidades de manufactura. La Figura 4.25 muestra la configuración del arreglo funcional, excluyendo la circuitería electrónica.



Figura 4.25. Disposición general del techo de reflectante.

Estructura de Soporte:

Aunque el enfoque principal del prototipo consistió en el arreglo de paneles y el sistema electro-mecánico utilizado para controlarlos, la construcción del marco que sostenía el sistema fue de gran importancia para el desarrollo del mismo. Este marco fue construido en madera, con una base cuadrada de 12 pies por 12 pies con 10 pies de altura (Figura 4.26). Fue colocado en el centro del loft en el edificio Terman de la Universidad de Stanford.

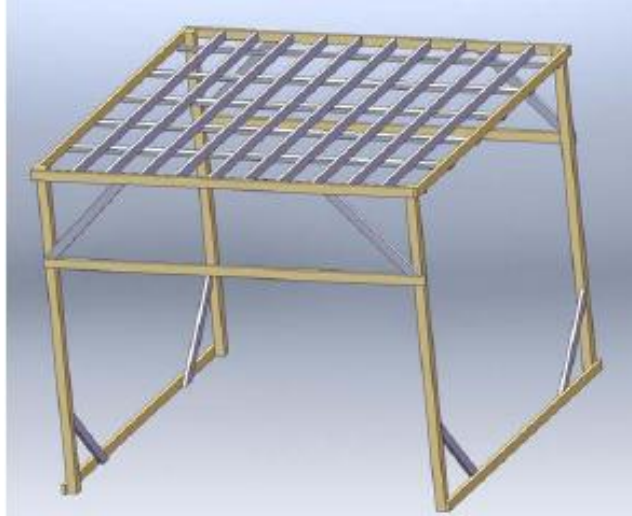


Figura 4.26. Estructura de soporte para el techo dinámico reflector del sonido.

Paneles y proceso de montaje:

El sistema de reflexión consistió en un arreglo de 5 por 5 paneles cuadrados de masonite (Figura 4.27) sostenidos aproximadamente a tres pies por debajo de la altura máxima del marco por 36 cuerdas de nylon con capacidad de soporte para 13 libras. El arreglo estaba construido de tal forma que 16 motores de corriente directa actuaban sobre las 16 cuerdas interiores del arreglo, mientras las 20 cuerdas exteriores eran pasivas (Figura 4.28). Los motores tenían la capacidad de bajar los paneles una distancia máxima de un pie, creando una especie de forma esférica, de igual modo los paneles podían ser elevados para formar una especie de domo (Figura 4.29).

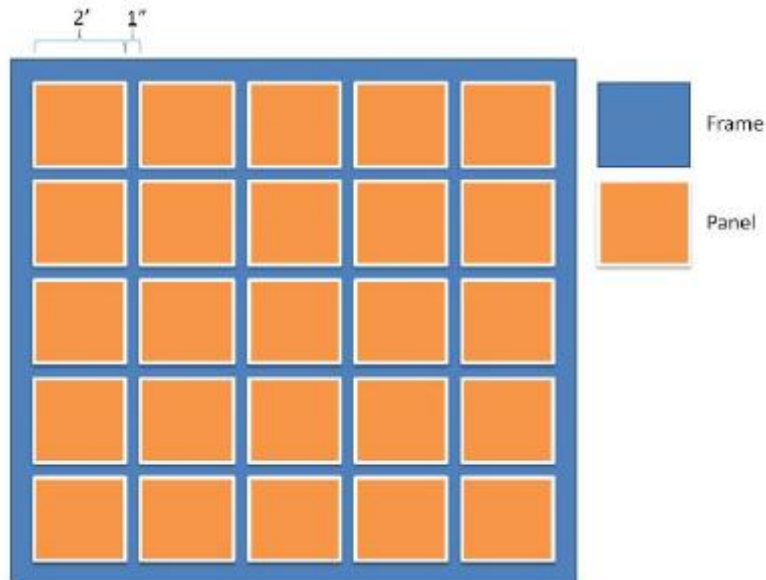


Figura 4.27. Arreglo de paneles reflectores

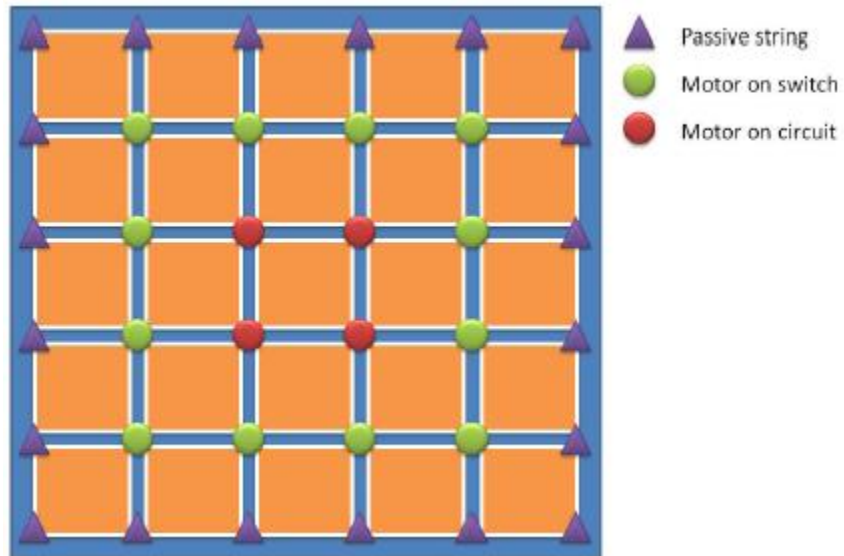


Figura 4.28. Cuerdas pasivas y motorizadas



Figura 4.29. Domo formado al jalar el panel central del arreglo.

El prototipo contaba con un sistema de unión y sostén de paneles utilizando una banda elástica (Figura 4.30) unida a un gancho que se conectaba directamente con las cuerdas (Figura 4.31). Este método fue empleado ya que presentaba la mejor solución posible para generar formas más suaves y continuas, aunque tenía el problema de que al momento de jalar las cuerdas los paneles tendían a juntarse demasiado, impidiendo el paso de luz. Una de las posibles soluciones a este problema sería el uso de paneles reflectantes traslucidos.



Figura 4.30. Unión elástica entre paneles

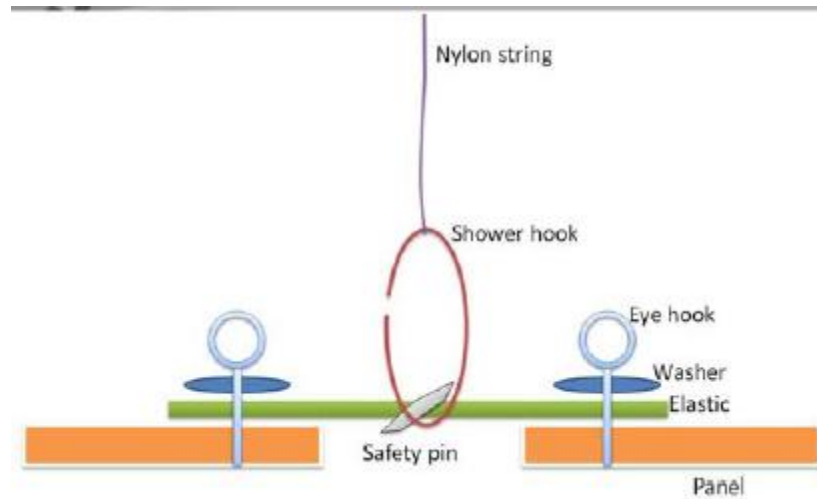


Figura 4.31. Diagrama general del sistema de unión y sostén de paneles.

Sistema electromecánico:

El sistema electromecánico consistió en un arreglo de 16 motores de corriente directa sostenidos por vigas transversales en la parte superior del marco, además de los circuitos necesarios para que éstos fueran controlados de la manera deseada. Las flechas de los motores se encontraban paralelas al piso soportadas por placas de acrílico para garantizar que al momento de ser accionados se enrollase correctamente el hilo.



Figura 4.32. Disposición de los motores

Para accionar los motores se diseñó un circuito analógico que elevaba los paneles cuando éste detectaba la luz de un diodo emisor parpadeando a bajas frecuencias, y a su vez bajaba los paneles cuando se detectaba la luz parpadeando a altas frecuencias.

Para darle un sentido de control al usuario sobre los motores y en general sobre el techo, se construyó un pequeño control remoto que generaba las señales necesarias, esto facilitó enormemente el desarrollo de las pruebas de usuario, además de mejorar la presentación general del prototipo.

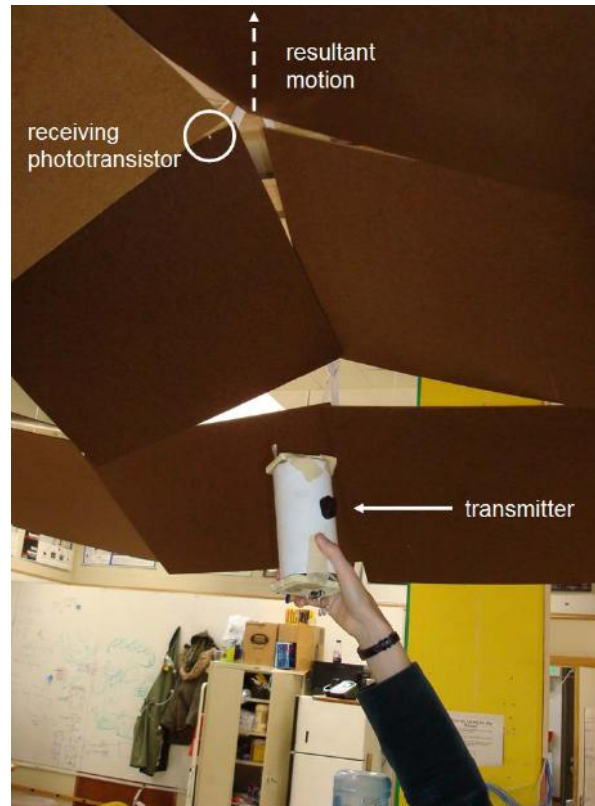


Figura 4.33. El usuario apunta el control remoto para mover el techo

Las pruebas de usuario realizadas consistieron en invitar a estudiantes de la Universidad de Stanford a que jugaran con el control remoto y con el prototipo en general, tomando nota de sus experiencias, comentarios, para poder verificar después si la diferencia acústica era notoria.

En general, los resultados fueron positivos debido a que los usuarios percibían de manera clara los cambios en la acústica del lugar al momento de modificar los paneles. Los aprendizajes que se tuvieron de la experiencia pueden simplificarse en tres puntos: primero, la interfaz utilizada con el control remoto generó comentarios positivos de los usuarios, pero éstos dejaron en claro que un uso más claro y conciso de la interfaz podría ser benéfico. Segundo, los usuarios expresaron su interés por saber cómo podrían resolverse conflictos al momento de usar el techo, por ejemplo, ¿qué pasaría si un usuario decidiera subir su sector del techo y otro bajarla? Estos comentarios, de nueva cuenta, alertaron al equipo de diseño para tratar de proporcionar una interfaz de usuario más concisa y más robusta. Tercero, se aprendió que la luz debajo de los paneles es un elemento relevante a considerar, ya que es fundamental, en un ambiente de trabajo, proveer la suficiente luz para incrementar el estado de atención del trabajador y quizá su productividad.

4.4 XKY: La atmosfera acústica dinámica

XKY: La atmosfera acústica dinámica, se trataba de un prototipo de prueba de concepto a gran escala que demostraba tanto las posibilidades acústicas como estéticas de un espacio dinámico implementado en un espacio de oficinas. Estaba constituido de tres subsistemas principales: mecánico, eléctrico, y software. Los componentes de dichos subsistemas se combinaban para crear la atmosfera dinámica, la cual fue probada cuantitativamente en términos de consumo de energía y acústica, y cualitativamente por los usuarios. La alta resolución que presentaba este prototipo fue producto de una serie de iteraciones en cada uno de sus componentes y sistemas.

La gran escala del prototipo XKY, que cubrió aproximadamente un área de 300 pies cuadrados fue una necesidad absoluta debido a que se tenía interés en manipular ondas de sonido dentro la escala de la voz humana, lo que significa longitudes de onda de aproximadamente un metro o más.

Para poder manipular algo tan grande, el prototipo debía tener la capacidad de producir configuraciones que tuviesen características más largas que estas longitudes de onda. A pesar de su tamaño, el prototipo fue aún demasiado pequeño para poder realizar un análisis más profundo del efecto acústico del techo, pero fue lo suficientemente grande como para obtener datos contundentes tanto en el efecto acústico, como en la retroalimentación provista por los usuarios.



Figura 4.34. El prototipo abarcaba un área de casi 300 pies cuadrados para hacer notable los efectos acústicos de éste.

4.4.1 Sistema mecánico*

4.4.2 Sistema eléctrico *

4.4.3 Software*

CONFIDENCIAL

* Para la consulta de este apartado favor de contactar al Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

5 Requerimientos

Este capítulo muestra los requerimientos que se establecieron a partir del establecimiento del problema descrito en el capítulo 2, las lluvias de ideas, el proceso de exploración e identificación de la necesidad del usuario así como de los prototipos realizados a lo largo del curso. Dichos requerimientos se presentan en las siguientes tablas. Al final de estas tablas se agregó una lista con las restricciones, suposiciones y oportunidades relacionadas con los requerimientos.

Las tablas de requerimientos incluyen aquellos que por el alcance del curso no se pudieron concretar, éstos se encuentran en *itálicas*.

5.1 *Requerimientos de funcionamiento*

Los requerimientos de funcionamiento se dividieron en tres partes: uso, mantenimiento y alimentación.

Requerimientos de uso

Requerimiento	Especificación	Justificación
La instalación de XKY debería de reducir al máximo los contratiempos para el usuario	<i>Todos los componentes de XKY deben de poderse instalar, incluso si se trata de una renovación o una instalación nueva, en menos de tres días por un profesional entrenado.</i>	<i>Instalaciones que requieren mucho tiempo pueden desalentar al cliente de utilizar XKY. 3 días son suficientes para que sea instalado durante un fin de semana.</i>
	<i>Todos los componentes deben ser instalados a un costo de mano de obra de 1.50 USD / pie²</i>	<i>Es el costo promedio por instalar un plafón.</i>
	El plan de instalación debe considerar la posibilidad de funcionar en secciones independientes, que permitan su uso en espacios separados.	Para espacios muy grandes, podría tomar muchos fines de semana su instalación y además una instalación en determinadas secciones reduce el movimiento de muebles en el lugar.
XKY debe de adaptarse rápidamente a nuevas configuraciones demandadas por el usuario.	Cualquier configuración del techo debe ser lograda en máximo 3 min. contados a partir de que el usuario activa el comando.	El sistema necesita ser dinámico en la misma escala de tiempo de las necesidades del usuario. 3 min. sirven como límite que el usuario está dispuesto a esperar.
XKY debe requerir de mínima interacción con el usuario	El usuario debe poder enviar indicaciones al sistema en menos de 7 s.	Un sistema que es muy laborioso de cambiar, no será cambiado. Siete segundos es el promedio de tiempo que los usuarios pueden prestar atención.
	Los usuarios deben poder enviar indicaciones al sistema a través de un dispositivo portátil.	El usuario no cambiará el techo si éste requiere de un esfuerzo muy grande prefiriendo dejar el techo en su estado actual.
	El usuario debe de interactuar con el sistema de control de XKY, solo 5% del tiempo que está ocupando el espacio.	XKY debe alentar al usuario a utilizar el mayor tiempo posible el espacio sin tener que estar desperdiciando tiempo en realizar ajustes a la configuración del techo.
La operación de XKY no debe requerir de un manual de instrucciones.	80% de los usuarios debe ser capaz de entender el funcionamiento de la interfaz de usuario en menos de 10 min.	Una interfaz gráfica complicada puede desalentar a nuevos usuarios potenciales.
	La interfaz debe de desplegar todos los botones de control en una sola pantalla.	Los usuarios les disgusta utilizar las funciones si no son de acceso fácil.
	La interfaz de usuario debe permitir al usuario la elección de diferentes funciones acústicas más que diferentes configuraciones de techo.	La acústica de espacios es compleja, y los usuarios no requieren entenderla para poder saber la configuración que requieren, ellos solo quieren que el espacio se adapte a sus necesidades.
	La interfaz gráfica debe mostrar al usuario las configuraciones de panel que se generan para diferentes funciones.	Al mostrar las configuraciones que el techo puede tomar para determinada función, ayuda a desarrollar el instintivo del funcionamiento de XKY.

Los componentes de XKY deben ser modulares y reemplazables.	Las partes modulares de XKY deben poder ser reemplazadas en menos de una hora por un usuario promedio.	Si alguna parte sufre alguna avería puede ser fácilmente removida y reemplazada por el usuario.
XKY debe de satisfacer la experiencia acústica del usuario.	En el modo de ponencia, la configuración debe generar un incremento de 10 dB en el volumen que percibe el auditorio, en comparación a la configuración de techo plano.	Para frecuencias de voz humana, un incremento de 3 dB se puede percibir, por lo que un incremento de 10 dB establece claramente una diferencia.
	En la configuración de domo, cuando se está a una distancia de 3m fuera de éste, el ruido que se genera dentro del domo debe ser percibido un 30% menos que cuando se está dentro de él.	Para frecuencias vocales humanas, una reducción de 30% corresponde a estar 1.5 veces más alejado de la persona que habla.
	90% de los usuarios debe experimentar una profunda diferencia en el sonido de una configuración a otra.	Un techo dinámico que no soporta diferentes configuraciones acústicas no puede ser dinámico.
<i>XKY debe funcionar sin generar ruido.</i>	<i>El ruido generado por los motores, fuentes de poder y luces no debe exceder los 35 dB.</i>	<i>35 dB es el volumen de sonido de fondo recomendado en salones de clases.</i>

Tabla 5.1. Requerimientos de uso.

Requerimientos de seguridad

Requerimiento	Especificación	Justificación
<i>XKY debe cumplir con todas las normas federales y estatales en el tema de construcción y productos comerciales.</i>	<i>El sistema debe ser capaz para ser aprobado por cualquier órgano regulador.</i>	<i>El sistema debe cumplir con estas normas de modo que pueda comercializarse.</i>
<i>XKY debe ser resistente a terremotos</i>	<i>Los componentes de XKY deben soportar temblores de hasta 8.0 en escala Richter.</i>	<i>Un techo debe ser seguro de manera que no se caiga durante un terremoto.</i>
<i>Las partes móviles de XKY deben ser seguras para el usuario.</i>	<i>Las partes que se mueven, incluyendo maquinaria, deben ser protegidas para que no sean accesibles durante su uso normal de operación.</i>	<i>XKY estará cambiando mientras el usuario está presente. El mecanismo no debe lastimar al usuario.</i>
	<i>El sistema debe ser capaz de detectar posibles colisiones que opongan una resistencia mayor a 10 N</i>	<i>XKY no debe lastimar al usuario o dañar objetos si estos se encuentran en su trayectoria de movimiento. 10 N es aproximadamente la fuerza de un kilogramo en el campo gravitacional de la Tierra.</i>
	<i>Si se detecta la colisión con algún objeto, las partes móviles deben detenerse dentro de un recorrido máximo de 1 cm.</i>	<i>Las partes móviles del techo deben detenerse casi instantáneamente de manera que se eviten posibles lesiones al usuario o que dañe algún objeto.</i>
	<i>Los sensores de detección de objetos deben enviar señales a un promedio de al menos 60 Hz.</i>	<i>Mientras más rápida la lectura de los sensores, más rápido podrá responder XKY a las colisiones minimizando el daño que se podría causar.</i>
	<i>Si el sistema detecta señales anormales de los sensores, debe detener su movimiento dentro de 1 cm máximo de recorrido.</i>	<i>Dependiendo del sistema de sensado con que se cuente, los sensores pueden llegar a confundirse generándose una situación peligrosa para el usuario.</i>
	<i>Los paneles de XKY deben ceder ante posibles obstáculos.</i>	<i>Si el sistema de sensado de colisiones falla, los paneles no deben aplastar los obstáculos.</i>
<i>Los componentes que se calientan deben estar protegidos</i>	<i>Componentes que exceden los 35°C deben estar protegidos o inaccesibles para el contacto directo con el usuario durante su operación, además de que tienen que estar con una ventilación adecuada.</i>	<i>XKY no puede ser una amenaza de incendio.</i>
<i>El sistema eléctrico debe estar debidamente aislado.</i>	<i>XKY no debe tener cableado expuesto o sin aislante.</i>	<i>XKY debe disminuir el riesgo de electrocutar a alguien o generar un incendio.</i>

Tabla 5.2. Requerimientos de seguridad.

Requerimientos de alimentación

Requerimiento	Especificación	Justificación
XKY no debe requerir ser alimentado mientras se encuentra estático	Cuando no se está moviendo el sistema debe consumir un mínimo de energía.	Un sistema que desperdicia energía no puede ser económicamente viable.
No debe de consumir demasiada energía mientras el sistema está en funcionamiento	XKY no debe de consumir más de 13000 Wh por cada día para un área de 1000 pie ²	El usuario no tiene que considerar el costo de cambiar las configuraciones del techo. Los sistemas de iluminación actuales consumen alrededor de 1.3 Wh/pie ² , que para un área de 1000 pie ² y 10h/día da como resultado 13000 Wh/día.

Tabla 5.3. Requerimientos de alimentación

Restricciones

- XKY no puede dañar el espacio u objetos dentro del espacio donde opera.
- XKY está limitado en su recorrido vertical por el espacio que ocupa.
- XKY debe estar soportado por alguna estructura del espacio que ocupa.
- XKY debe operar dentro del espacio donde es instalado.
- XKY requiere de una alimentación eléctrica para poder funcionar.

Suposiciones

- Las configuraciones de XKY pueden ser activadas por usuarios comunes.
- XKY puede ser instalado en áreas propensas a fenómenos naturales como el caso de los terremotos.
- XKY puede ser instalado tanto en espacios ya existentes como en nuevos espacios.
- XKY puede cambiar su configuración al menos una vez al día.
- XKY puede ser ocasionalmente instalado por gente no profesional.
- La eficiencia energética es valorada por el usuario.
- Los usuarios de XKY pueden contar con un dispositivo portátil con acceso a internet.

Oportunidades

- XKY podría venderse en línea y ser enviado directamente al cliente.
- XKY podría sensor las emociones del usuario.
- XKY podría contar con un sistema contra incendios de aspersores.
- XKY podría permitir diferentes configuraciones de iluminación en adición a sus características acústicas.

- XKY podría permitir la personalización tanto a un nivel individual como de grupo.
- XKY podría estar compuesta de un solo plafón extendido a lo largo de todo el espacio.
- XKY podría ser instalado y utilizado tanto en interiores como en exteriores.
- XKY podría retroalimentar al usuario con información referente al volumen de su voz.
- XKY podría tener un modo “dormir” para ahorrar energía.
- XKY podría proveer servicios de localización de personas o grupos en un espacio.
- XKY podría incluir funciones para almacenar objetos.
- XKY podría proporcionar al usuario con extensiones eléctricas retractiles ubicadas en el techo.
- Los paneles de XKY podría contar con material reflejante y absorbente de sonido.
- La funcionalidad de XKY podría ser demostrada en las tiendas donde se vende.
- La interfaz gráfica de XKY puede ser mejorada para fomentar la interacción con el usuario.

5.2 Requerimientos físicos.

Los requerimientos físicos se dividieron en dos áreas: durabilidad y tamaño y costo.

Durabilidad

Requerimientos	Especificación	Justificación
<i>Los paneles y los conectores de XKY deben soportar la transportación, instalación, caídas e impactos.</i>	<i>Los paneles y conectores deben sobrevivir y mantener su funcionalidad a caídas de 1m de altura sin su embalaje.</i>	<i>Los paneles pueden sufrir caídas durante su instalación o transportación.</i>
	<i>Los paneles y los conectores deben sobrevivir y continuar funcionando a caídas de de 3m de altura.</i>	<i>Los componentes pueden caer del techo en situaciones extremas.</i>
Los paneles y conectores de XKY deben ser resistentes a líquidos.	Los paneles y conectores no deben mancharse o mojarse si se derrama sobre su superficie una cantidad aproximada de 2 L.	Los derrames de líquidos son frecuentes y pueden causar daños a la instalación eléctrica y además de empeorar su apariencia.
<i>XKY debe ser resistente al fuego.</i>	<i>Los paneles y los conectores deben tener un FSI menor a 25</i>	<i>Los techos típicos con material absorbente suelen tener un FSI menor a 25</i>
<i>Una vez instalado, XKY debe ser confiable y robusto.</i>	<i>Los componentes de XKY no deben fallar más de una vez al año.</i>	<i>Un mantenimiento continuo al sistema significa un mayor costo para el usuario.</i>

Tabla 5.4. Requerimientos de durabilidad.

Tamaño y costo

Requerimiento	Especificación	Justificación
Los componentes de XKY deben de pasar a través de puertas y ventanas convencionales.	Cada componente debe ser capaz de pasar por espacios de 0.9 x 2.1 m.	Debe ser posible instalar el sistema en espacios ya existentes.
Los controles de XKY deben ser del tamaño adecuado para ser utilizados por cualquier usuario.	Los botones de la interfaz deben ser de al menos una pulgada cuadrada en pantallas LCD de 15" con una resolución de 1024x768.	Los botones grandes son más fáciles de ver y presionar.
XKY debe ser escalable	El techo debe poderse instalar en cualquier tamaño de área.	El sistema debe estar disponible para todos los espacios, sin importar las dimensiones.

Tabla 5.5. Requerimientos de tamaño y costo.

Restricciones

- Los componentes de XKY deben poder ser movidos por una persona.
- XKY debe haber un mínimo de altura debajo del techo para poder permitir a la gente utilizarlo.
- XKY debe proporcionar un espacio adecuado de trabajo a los individuos que están debajo de él.
- El movimiento vertical de XKY es limitado por la altura del espacio donde es instalado.
- Ninguna parte del sistema puede extenderse hacia fuera del espacio confinado.

Suposiciones

- XKY puede ser empleado en espacios con dimensiones fijas y definidas.
- XKY puede ser instalado en espacios que pueden soportar el peso de los componentes.
- XKY puede ser instalado en espacios con una altura definida.
- XKY puede resistir a pequeñas vibraciones durante su transportación e instalación.
- Clientes potenciales pueden tener un presupuesto limitado.

6 Especificaciones de diseño de XKY

Esta sección provee una descripción de los detalles físicos y funcionales del prototipo XKY, incluyendo planos, y procedimientos de construcción. También se incluye una descripción de los procedimientos de análisis y pruebas para los datos acústicos.

6.1 Especificaciones funcionales*

.

6.1.1 Interfaz de usuario

6.1.2 Función acústica

6.1.3 Infraestructura electromecánica y de software

6.2 Especificaciones físicas*

* Para la consulta de este apartado favor de contactar al Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

6.3 Pruebas y análisis

6.3.1 Retroalimentación de los usuarios

Una vez que se finalizó de construir el prototipo, se procedió a desarrollar una serie de pruebas de usuario. Durante estas pruebas se solicitó a grupos de usuarios que interactuaran con el prototipo, tanto en su faceta física, como en la digital. La retroalimentación obtenida a partir de estos usuarios se generó a partir de observaciones en las interacciones con el prototipo, los resultados están contenidos en la tabla 6.5. Cabe mencionar que ninguno de los usuarios contaba con experiencia en acústica y no habían interactuado con un prototipo acústico conceptual como lo es XKY. En consecuencia, la retroalimentación obtenida no es necesariamente precisa, pero se considera que refleja la posible recepción que tendría XKY por parte de trabajadores de oficinas que tuviesen instalado el prototipo en su espacio laboral.

Perspectivas de usuario generadas por el prototipo XKY	
Me gusta...	Me gustaría...
Que el techo pueda ser configurado por medio de una página Web	Que las separación entre los paneles fuera menor
Los paneles del techo se mueven a una buena velocidad, cualquier tipo de configuración se puede lograr en menos de 30 segundos	Que el movimiento de los paneles se sintiera menos extraño cuando éstos bajan
El techo no parece ser pesado. Los paneles son brillantes y hay una muy buena iluminación debajo del techo	Que los motores hicieran menos ruido cuando el techo se encuentra cambiando de forma
La presentación de los paneles y los conectores se ve muy limpia	Que fuera más fácil saber que configuración del techo sería la óptima para mis necesidades acústicas
El techo se ve agradable cuando se está moviendo	Que el techo pudiera modificar su forma autónomamente basado en una medición del sonido
El prototipo resuelve el problema que normalmente no sabría cómo resolver	Que el techo incorporara luces para que éste pudiera cambiar de colores

Tabla 6.5 Retroalimentación de los usuarios.

6.3.2 Acústica

Para las pruebas de acústica se requirió la asesoría del profesor Jonathan Abel (Abel, 2009), y tres de sus estudiantes. La Figura 6.23 muestra la configuración utilizada para medir la intensidad de las ondas de sonido generadas en el espacio que abarcaba el prototipo. Debido a que se planteó enfocarse en espacios de oficinas, se seleccionó una configuración con dos micrófonos que se colocaron a alturas diferentes, una de ellas representando una posición sentada y otra estando de pie. Se tomaron mediciones a 12 pies y 3 ½ pies de distancia de una bocina que se encontraba también a una altura similar a la de una persona sentada. Los micrófonos recibían el audio generado por la bocina, mientras ésta generaba un barrido sinusoidal de frecuencias. Esta prueba fue efectuada modificando la configuración del techo para verificar la funcionalidad del prototipo a través de las mediciones que los micrófonos proporcionaban (Figura 6.24 y 6.25).

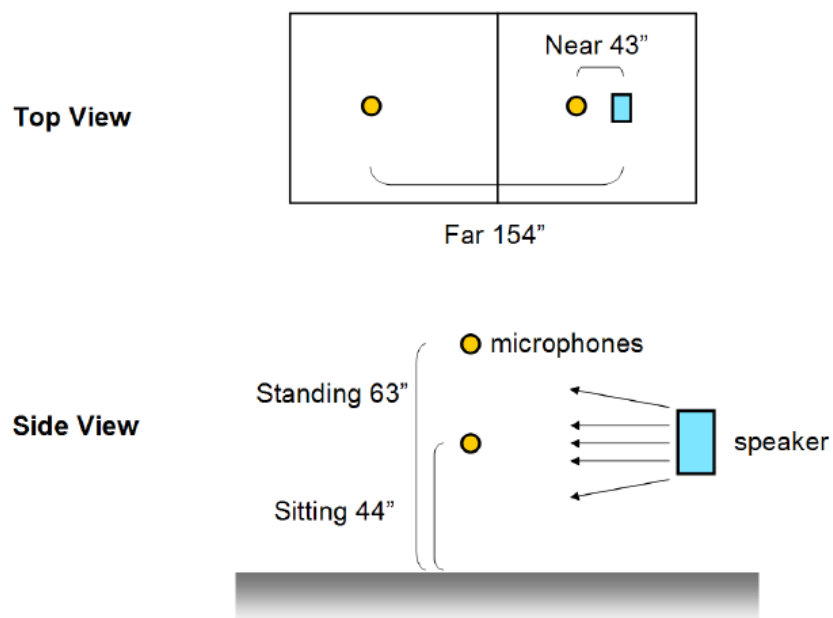


Figura 6.23. Se realizaron pruebas de acústica con el prototipo XKY para cuantificar el efecto que producían las diferentes configuraciones del techo.

Los resultados obtenidos se graficaron para facilitar su análisis. La configuración de techo que modificaba en un mayor grado la acústica del espacio donde se encontraba el prototipo resultó ser la configuración para grupos pequeños de trabajo (Figura 6.24).

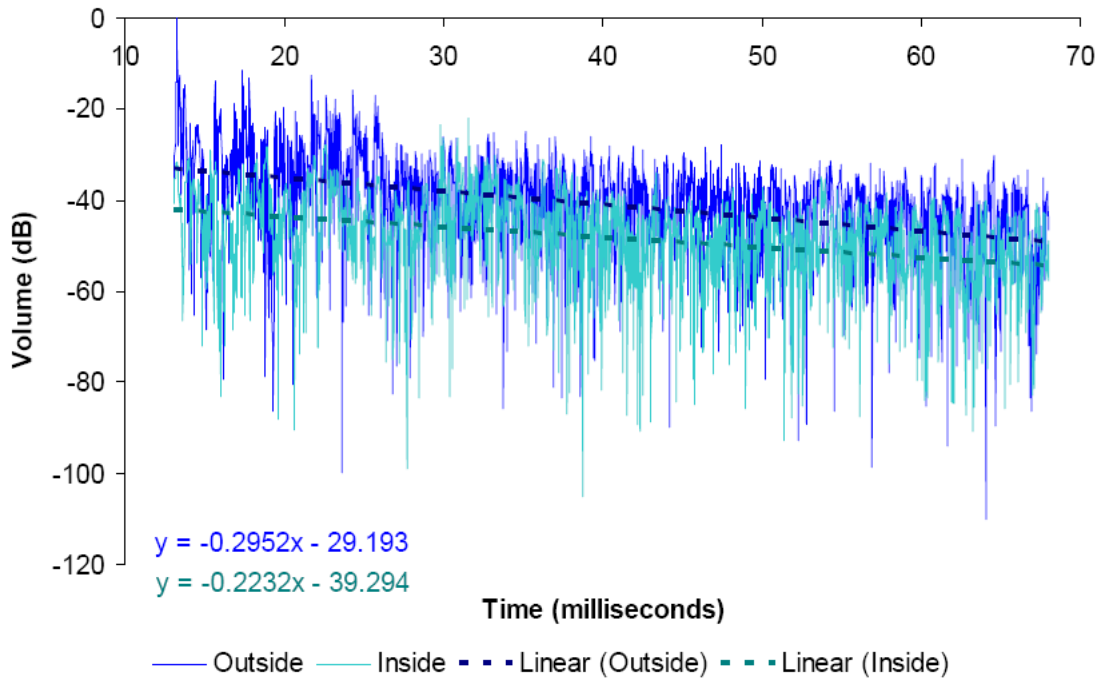


Figura 6.24. En la configuración del techo para grupos pequeños de trabajo, la gráfica muestra un incremento de 10 dB en el receptor que se localiza dentro del área de trabajo respecto al receptor que se encuentra fuera de esta área.

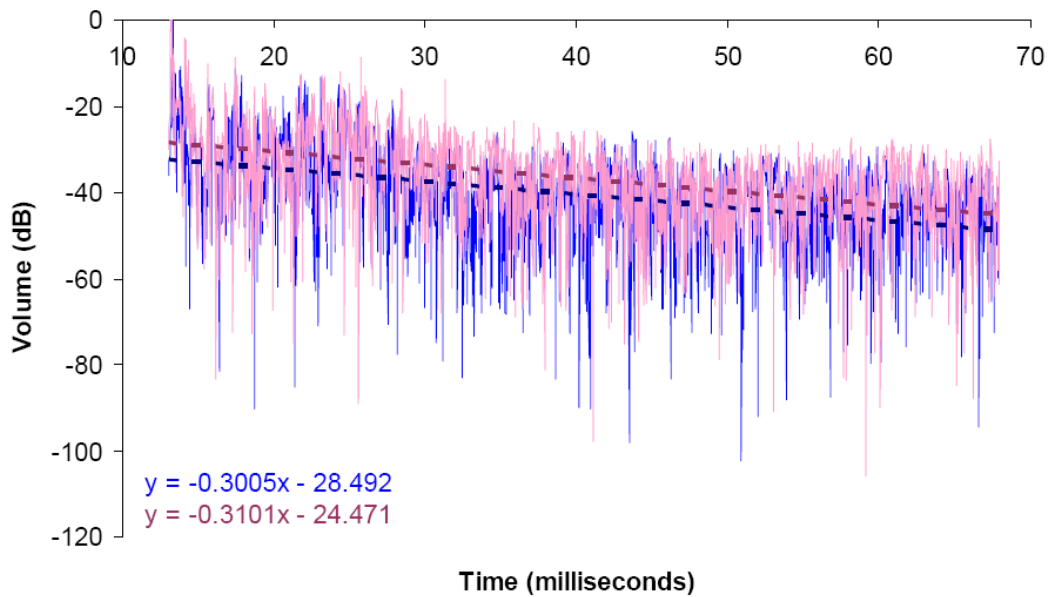


Figura 6.25. En la configuración del techo para modo de conferencia, la gráfica muestra un incremento de 4 dB en el receptor con respecto a la configuración de techo plano.

6.3.3 Consumo de energía*

CONFIDENCIAL

* Para la consulta de este apartado favor de contactar al Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

7 Conclusiones

La tesis cumple con el objetivo de mostrar de manera detallada el proceso de diseño que se siguió para la realización del proyecto Espacios Dinámicos. Dicho proceso se basó en una intensa etapa de exploración para definir un usuario y una necesidad además de una iteración continua en la construcción de prototipos en cada una de las etapas, algo que es característico del curso ME310.

El proceso inició con el establecimiento del concepto de *espacios dinámicos en la construcción* como tema de estudio y enfoque que el equipo de diseño desarrollaría en los prototipos posteriores. A pesar de tener un concepto definido, el equipo batalló para cumplir en tiempo y forma con todos los requerimientos que exigía cada uno de los entregables establecidos por el proyecto, esto debido principalmente a la carencia de un usuario y una necesidad establecida. Sin embargo, todos los prototipos dejaban diversos puntos de aprendizaje que ayudaron en el desarrollo del prototipo funcional final.

Una vez establecido el usuario y su necesidad, en este caso trabajadores de oficinas con la necesidad de un ambiente acústico dinámico que se adaptase a las diversas actividades de un día de labores, la evolución y refinamiento de los prototipos fue más evidente y congruente con lo establecido por el programa de entregables. El objetivo principal del proyecto, que consistió en la construcción de un prototipo funcional se cumplió satisfactoriamente, además de que se pudo comprobar su capacidad de modificar el ambiente acústico de un espacio por medio de información cuantificable y la retroalimentación del usuario.

Los diferentes componentes del prototipo final XKY, es decir, las tarjetas PCB, la montura de los motores, la interfaz gráfica, los conectores de los paneles y la estructura de soporte, son un reflejo directo de la combinación de las diferentes disciplinas de los integrantes del equipo de diseño. Durante el desarrollo del proyecto, todos los integrantes del equipo participaban en todas y cada una de las actividades desarrolladas, sin embargo, la repartición del trabajo variaba dependiendo de las cualidades de cada integrante.

En el caso de los autores de esta tesis, los ingenieros mecatrónicos, además de brindar apoyo en las tareas de los diseñadores industriales e ingenieros mecánicos y participar en la parte de exploración y búsqueda de la necesidad del proyecto, se enfocaron principalmente en los aspectos de control en los prototipos que lo requirieron y en el diseño de la electrónica del prototipo final. A continuación se muestra un listado de las principales actividades realizadas por los ingenieros:

- Programación de software.
- Análisis acústico del prototipo.
- Exploración de alternativas de control para el prototipo final.
- Diseño de los circuitos impresos de las tarjetas de los microcontroladores y de etapa de potencia de los motores.
- Calibración del sistema de sensado.
- Realización de pruebas de control del prototipo.

XKY es el resultado de meses de trabajo de un proceso que buscó ejemplificar de una manera sencilla y practica el concepto general de Espacios Dinámicos, dejando en claro la necesidad de iteraciones posteriores para poder llegar a un producto que verdaderamente sea aplicable en el ámbito de la construcción actual. Es necesario profundizar estudios en los lineamientos de construcción, el uso de materiales de características acústicas particulares, la eficiencia de los sistemas y métodos de alimentación eléctrica además de pruebas de usuario para hacer de XKY una realidad representativa del concepto de Espacios Dinámicos.

Es importante mencionar que el curso ME310 tiene como una de sus características principales el trabajo colaborativo a distancia. A pesar del uso de tecnología de comunicación remota (Wiki, e-mail y tecnología VoIP), las barreras de comunicación, tanto profesionales como de lenguaje, significaron un reto considerable en el proceso de diseño, de tal forma que los momentos de mayor productividad del equipo de diseño ocurrieron durante los periodos en los cuales todos sus miembros se encontraban en un mismo espacio físico.

La experiencia de este proyecto brindó la oportunidad de trabajar con estudiantes de diversas disciplinas y países, enriqueciendo de manera substancial las habilidades de comunicación. Esta relación multidisciplinaria y global fomentó también que el problema a resolver fuera abordado desde diferentes puntos de vista, llegando a una solución que no hubiera sido posible sin dichas características.

Finalmente, el proyecto permitió conocer métodos de trabajo enfocados en la innovación de productos y brindó la oportunidad de experimentar con un sistema novedoso de trabajo que contrasta con las metodologías de trabajo que comúnmente se practican en la Facultad de Ingeniería.

Bibliografía

- WILDE Douglas J. "Teamology: The construction and organization of effective teams." Stanford University, USA, 2007.
- Carrión Isbert, Antoni. "Diseño acústico de espacios arquitectónicos". Ediciones UPC (1998). Barcelona.
- Cox, Trevor y Peter D'Antonio. "Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, Design, and Application". 2004. New York: Spon Press.
- Moeller, Niklas. Achieving Effective Office Acoustics. 15 de marzo de 2009.
<http://www.fmlink.com/Marketplace/WhitePapers/Articles/logison-0405-1.htm>
- Armstrong World Industries. Office Acoustics: Attaining Speech Privacy in Open and Closed Plan Environments. 2007. 15 de marzo de 2009.
<http://www.armstrong.com/common/c2002/content/files/7729.pdf>
- Acoustical Surfaces, Inc. Echo Eliminator: Hanging Acoustic Baffles. 2009. 15 de marzo de 2009.
http://www.acousticalsurfaces.com/echo_eliminator/ee_hangbaf.htm?d=8
- Simply Noise. SimplyNoise.com sitio web. (2009). 14 de marzo de 2009.
<http://simplynoise.com/>
- Galaviz, Jorge. UNAM, Arquitecto, Especialista en acústica de espacios. Entrevista. Febrero de 2009.
- Pérez, Antonio. UNAM CCADET, Investigador en el departamento de Acústica y Vibraciones. Entrevista. Marzo de 2009.
- Peña, Jesús Alejandro, UNAM. Facultad de Ingeniería, Tesis: "Localización y control de un robot móvil para el seguimiento de trayectorias en el plano utilizando retroalimentación visual". Enero de 2009.
- Abel, Jonathan. Professor of Acoustics, CCRMA Stanford University. Entrevista. 29 de mayo de 2009.