UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA BASADA EN EL TRABAJO EN EQUIPOS MULTIDISCIPLINARIOS CON MIEMBROS GLOBALES, VW

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECATRÓNICO
PRESENTAN

MARTIN SEBASTIAN GARCÍA WILHELM
TOMÁS ÁLVAREZ MELIS

ASESOR DE TESIS: DR. ALEJANDRO CUAUHTÉMOC RAMÍREZ REIVICH

CON EL APOYO DE:

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

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN DISEÑO INDUSTRIAL
FACULTAD DE ARQUITECTURA, UNAM

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA, DIVISIÓN DE DISEÑO
UNIVERSIDAD DE STANFORD

ELECTRONICS RESEARCH LAB (ERL), VOLKSWAGEN GROUP OF AMERICA
PALO ALTO, CALIFORNIA

NÚMERO DE REGISTRO: 0901016

MÉXICO, D.F. JUNIO 2009

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

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.

Queremos agradecer a Alejandro Ramírez Reivich por habernos dado la oportunidad de participar en E310, por mostrarnos un panorama y un enfoque nuevo, una concepción de la ingeniería a un nivel de clase mundial. Apreciamos su amabilidad y confianza y admiramos su sencillez y exigencia.

También queremos agradecer a Vicente Borja Ramírez por habernos brindado su ayuda y consejos invaluables a lo largo del curso, a Víctor González Villela por asesorarnos en los sistemas electrónicos, a Luis Equihua y Arturo Treviño por mantener nuestra visión fresca y creativa y por complementar nuestros conocimientos en el area de Diseño Industrial.

Agradecemos a Adrian Espinoza Bautista por habernos apoyado en la parte administrativa del proyecto y la tramitología inherente a la UNAM.

Gracias a Mariano García del Gallego por la flexibilidad que nos dio en su clase y por sus consejos en el área de manufactura.

También queremos agradecer y felicitar a nuestros compañeros de clase que participaron en la manufactura de las componentes clave en el prototipo final.

Gracias a nuestras familias por el apoyo incondicional que nos brindaron, sin el cual el proyecto no habría podido llevarse a cabo.

Finalmente agradecemos a la Universidad de Stanford y a la Universidad Nacional Autónoma de México por otorgarnos la oportunidad de vivir y aprender de una experiencia interdisciplinaria, internacional e intercultural.

MARTIN SEBASTIAN GARCÍA WIHELM
TOMÁS ÁLVAREZ MELIS

VOLKSWAGEN BOREALIS

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA BASADA EN EL TRABAJO EN EQUIPOS MULTIDISCIPLINARIOS CON MIEMBROS GLOBALES, VW

"Design is a sociotechno-mediated process"
Larry Leifer

Índice

Introducción 9

1. E310: Engineering Design Entrepreneurship 11

1.1 Objetivos del curso 12
1.2 Estructura académica 13
1.3 El lugar de trabajo 14
1.4 Organización de las actividades 15

2. Actividades desarrolladas 18

2.1 Otoño 20

2.1.1 Registro al curso, perfil del participante y el *Idealog* 21
2.1.2 310 (des)Orientación 22
2.1.3 Formación de los equipos de diseño para las bicicletas de cartón 23
2.1.4 Revisión de la función crítica de la bicicleta de cartón 25
2.1.5 Reflexión en el Idealog respecto a la función crítica de la bicicleta de cartón 26
2.1.6 Revisión del diseño de la bicicleta de cartón 27
2.1.7 Juego de polo con las bicicletas de cartón diseñadas en Stanford 28
2.1.8 Documentación del diseño de las bicicletas de cartón 28
2.1.9 Juego de polo con las bicicletas de cartón diseñadas por los miembros globales 29
2.1.10 Perfil de preferencia para el trabajo en equipo 29
2.1.11 Formación y selección de los equipos para los proyectos corporativos 30
2.1.12 Compartiendo información útil para el diseño 32
2.1.13 Lanzamiento de la Aventura 33
2.1.14 Planeación de las actividades otoño-invierno 33
2.1.15 Revisión de las actividades de benchmarking 35
2.1.16 Prototipos de función crítica 36
2.1.17 Breviarios de las actividades de diseño de Otoño 37
2.1.18 Presentaciones Finales 38

2.1.19 Documentos de diseño de Otoño 38
2.1.20 Resumen de salida 40
2.1.21 Limpieza del *Loft* 40

2.2 Invierno 41

2.2.1 Planeación del trabajo de invierno 41
2.2.2 Reservación de los espacios para la celebración de SGMs 43
2.2.3 Entrega del prototipo Dark Horse 43
2.2.4 Documento preliminar de los entregables al corporativo 45
2.2.5 Revisión del prototipo funcional 46
2.2.6 Presentaciones finales de Invierno 46
2.2.7 Documento de diseño de Invierno 47
2.2.8 Limpieza del *loft* 47

2.3 Primavera 49

2.3.1 Reflexión sobre los problemas dentro del equipo 49
2.3.2 Reserva de los espacios para la celebración de SGMs 51
2.3.3 Planeación del trabajo de abril y mayo 52
2.3.4 Contrato final de los entregables al corporativo 54
2.3.5 X está terminado 55
2.3.6 Penúltima revisión de hardware y software 55
2.3.7 Penúltimas especificaciones 57
2.3.8. Folletos finales para EXPE 58
2.3.9 Presentaciones finales de Primavera 58
2.3.10 Revisión final del hardware durante la Feria de Diseño EXPE 59
3.3.11. Documentación final 60
2.3.12 Entrega de hardware a corporativos, disposición del material y último SUDS 61

3. Tecnologías para el soporte del trabajo en equipo 63

3.1 Wiki 63
3.2 Teamspot 64
3.3 Videoconferencia 64
3.4 Correo electrónico 65
3.5 Mensajería instantánea 66
3.6 Servicios de correo y paquetería exprés 66
3.7 Presentaciones electrónicas 67
3.8 Videos 68
3.9 Teléfono 68

4. Tecnologías para la construcción de los prototipos 70

4.1 Herramientas de manufactura 70
4.2 Materiales 72
4.3 Software 72
4.4 Hardware 75

5. Documentación 80

5.1 Portada 80
5.2 Resumen Ejecutivo 80
5.2.1 Glosario 81
5.3 Tabla de Contenidos 81
5.4 Contexto 82
5.4.1 Declaración de las necesidades 82
5.4.2 Declaración del problema 82
5.5 El Equipo de Diseño 82
5.6 Requerimientos de Diseño 83
5.6.1 Requerimientos Funcionales 84
5.6.2 Requerimientos Físicos 85
5.7 Desarrollo del Diseño 86
5.8 Descripción del Diseño 86

5.9 Planeación y administración del Proyecto.....87
5.10 Referencias 87
5.11 Apéndices.....88

Conclusiones 89

Anexo A: Documentación de la bicicleta de cartón.....91

Anexo B: Documentación Final del VW Borealis 129

Bibliografía …… 492

Introducción

En el ambiente globalizado del siglo XXI las empresas transnacionales buscan aprovechar los equipos de diseño tecnológico distribuidos en regiones geográficas con diferentes contextos para el desarrollo de sus actividades de investigación y desarrollo.

Este esquema ofrece ventajas tales como la flexibilidad de contar con múltiples opciones en cuanto a manufactura, proveedores, costos, legislación y diferentes perspectivas para abordar la solución a un problema. Sin embargo, la coordinación de este tipo de proyectos resulta compleja, requiriendo de profesionistas con experiencia para comunicarse y cooperar con personas de distintas culturas y disciplinas.

Con el propósito de preparar a sus alumnos para que se puedan adaptar a esta nueva dinámica laboral, las universidades buscan emular el ambiente corporativo con un enfoque académico. Esto implica la constitución de un equipo multidisciplinario y global que enfrente el reto de resolver un problema planteado por un colaborador industrial haciendo énfasis en la innovación y dejando de lado el aspecto legal que se establecería en caso de que la pequeña compañía de alumnos emprendedores hubiera sido contratada por la empresa; exceptuando la cláusula de confidencialidad.

En esta tesis se detalla el proceso de diseño seguido en el curso con la clave E310 de la Universidad de Stanford para el desarrollo de productos innovadores; con el propósito de dar a conocer el esquema de trabajo adoptado por los alumnos de la UNAM invitados a ser protagonistas en esta experiencia de diseño colaborativo, resaltar los problemas a los que se debió hacer frente para cumplir con las actividades programadas y lograr una participación exitosa, de tal manera que

futuros participantes puedan identificar las oportunidades para mejorar su desempeño.

Se inicia con la descripción del esquema general del curso E310 en el capítulo uno. Posteriormente, en el capítulo dos, se expone una cronología de todas las actividades desempeñadas, haciendo énfasis en experiencias propias para derivar recomendaciones útiles en su ejecución.

Los capítulos tres y cuatro detallan las tecnologías utilizadas tanto para la comunicación entre los integrantes del equipo como para la construcción de los prototipos.

El capítulo cinco detalla la estructura y los conceptos necesarios para elaborar los documentos entregados al colaborador industrial, en nuestro caso Volkswagen.

Se concluye la tesis con la exposición de las lecciones aprendidas en torno a las condiciones necesarias para fomentar el desarrollo de productos tecnológicos innovadores en un ambiente global, de acuerdo a la metodología del curso.

Para el desarrollo del proyecto los autores de esta tesis trabajaron en conjunto con los alumnos de diseño industrial Gladis Arroyo y Marco Lobato, bajo la asesoría de los profesores Dr. Vicente Borja, M.D.I. Luis Equihua, Dr. Adrián Espinosa, Dr. Víctor González, D.I. Héctor López, Dr. Alejandro Ramírez, Arq. Arturo Treviño y D.I. Alberto Vega.

1. E310: Engineering Design Entrepreneurship

Engineering 310 (E310) es un curso de maestría con una duración de nueve meses impartido a nivel maestría en la Universidad de Stanford en California, Estados Unidos, desde 1969 por Larry Leiffer y Mark Cutkosky. En él se generan equipos multidisciplinarios (de las áreas de Ingeniería, Economía y Diseño Industrial) y globales (con miembros de instituciones invitadas de Europa, Asia y América) que trabajan en el desarrollo de productos innovadores, para dar solución a problemas tecnológicos presentados por colaboradores industriales de clase mundial. Su red global de profesores y alumnos representan uno de los grupos de diseño más distinguidos alrededor del mundo; por lo que el curso constituye una gran plataforma de impulso profesional para sus participantes.

Cada equipo multidisciplinario trabaja en dos sedes, local (con los estudiantes inscritos en Stanford) y global (con los inscritos en las instituciones invitadas); las cuales coordinan sus esfuerzos para el desarrollo del producto, desde su diseño conceptual hasta la manufactura de prototipos sometidos a evaluación por medio de pruebas con usuarios. Los maestros involucrados intervienen como asesores durante todo el curso.

Además de plantear los problemas que deberán ser resueltos por los equipos de trabajo, los colaboradores industriales proporcionan los recursos monetarios para todas las actividades desempeñadas.

La conformación de los equipos parte de la premisa de que la diversidad de sus integrantes incrementa la posibilidad de generar ideas con un alto grado de innovación en tanto que se examinan los problemas desde diferentes ángulos; incluyendo sus aspectos culturales, económicos, ergonómicos, de mercado, viabilidad productiva y funcional.

1.1 Objetivos del curso

El curso está dirigido a personas con el interés de desarrollar su creatividad y capacidad de liderazgo, pues su objetivo principal es formar profesionistas con la experiencia básica para dirigir proyectos a distancia y relacionarse de manera efectiva con diferentes disciplinas.

Las actividades diseñadas para el curso están enfocadas en presentar algunos de los métodos, herramientas y estrategias a las que pueden recurrir los equipos para lograr proponer una solución innovadora al problema que les fue presentado, contribuir al buen desarrollo interpersonal de todos los involucrados en el curso (alumnos, maestros y colaboradores industriales) y aprovechar al máximo el poco tiempo disponible. Estas actividades pueden englobarse en las siguientes etapas principales:

1. Presentación de los participantes.
2. Integración de los equipos globales.
3. Exploración de mercado (benchmarking).
4. Definición del plan de trabajo.
5. Implementación de soluciones aparentemente inviables.
6. Materialización de ideas.
7. Manufactura de prototipo final.
8. Documentación.

Para introducir a los participantes a la dinámica de trabajo en equipos multidisciplinarios y el aprendizaje basado en la construcción de prototipos seguidos en E310, el curso da inicio con un ejercicio que consiste en el diseño de una bicicleta de cartón; práctica que se ha convertido en uno de sus elementos distintivos.

Se fomenta realizar la documentación del desarrollo tecnológico argumentando que es este proceso el que permite al equipo reflexionar sobre las lecciones aprendidas durante su trabajo, conciliar distintos puntos de vista entre sus miembros, definir adecuadamente las tareas que deben ser ejecutadas y los tiempos disponibles para ellas en fases posteriores del curso, evaluar el estado del proyecto y proporcionar la información necesaria para permitir la reproducción del prototipo final por parte del colaborador industrial.

1.2 Estructura académica

El perfil de los integrantes de cada equipo se puede describir por la conjunción de un elemento de cada una de las siguientes categorías:

- Rol: Profesor / Ayudante de profesor /*Coach* / Alumno / *Liaison.*
- Disciplina: Ingeniería / Diseño Industrial / Economía.
- Sede: Local / Global.

El equipo de profesores (conocido como TTeam) realiza el contacto con los colaboradores industriales y las instituciones académicas invitadas antes del inicio del curso, traza el calendario de actividades, evalúa los trabajos entregados por los equipos de diseño y les brinda su asesoría.

Además de asistir a los profesores durante las clases, los ayudantes de profesor se encargan de administrar todos los recursos disponibles para el curso; dando soporte técnico a los alumnos durante su uso. Generalmente son exalumnos del periodo inmediato anterior de E310.

Los *coaches* ayudan a los estudiantes a resolver problemas de índole profesional, cultural y personal que no desean ser discutidos directamente con el grupo de profesores.

Cada uno de los equipos de diseño está compuesto por un grupo local de tres a cinco alumnos de la Universidad de Stanford y tres a cuatro alumnos globales de una de las instituciones invitadas; en nuestro caso, la UNAM. Debe contar con al menos un estudiante del área de ingeniería y un estudiante de diseño industrial o economía. El equipo de diseño es el responsable directo de los resultados entregados al colaborador industrial.

Los *liaisons* son los empleados de los colaboradores industriales asignados para dar información a los estudiantes, resolver sus dudas en torno al planteamiento del problema asignado y atender peticiones específicas a la compañía. Deben asistir a las presentaciones del equipo de diseño elaboradas al final de cada cuatrimestre y revisar la documentación correspondiente (Borja *et al*, 2007).

1.3 El lugar de trabajo

En la Universidad de Stanford, las actividades de la materia E310 transcurren en el ático del edificio de ingeniería “Terman”; recibe el nombre de *loft* ya que es un espacio bastante amplio en el que cada equipo tiene asignado su propia área de trabajo. El centro del *loft* es una zona común en la que se llevan a cabo revisiones y pequeñas juntas, están disponibles computadoras, impresoras, fotocopiadoras, internet inalámbrico, teléfono y fax. Todos los equipos se encuentran concentrados para enriquecer el proceso de diseño y experimentación, pues se pueden pedir opiniones sobre aspectos específicos a integrantes de otros equipos, así como aprovechar la gran cantidad de personas presentes para que desempeñen el papel de usuarios de prueba. También se cuenta con talleres de manufactura pero es necesario estar inscrito oficialmente en Stanford y pagar una cuota al principio del periodo escolar para hacer uso de ellos.

En la UNAM, emulando la dinámica de Stanford, se definieron dos áreas de trabajo principales:

1) *Loft* de Ingeniería, ubicado en el Edificio de Posgrado Bernardo Quintana. Proporcionó el espacio suficiente para que los dos equipos invitados de la UNAM trabajaran simultáneamente en sus proyectos. Es un espacio abierto para que las ideas fluyan con facilidad entre los participantes; cuenta con un pizarrón interactivo, internet inalámbrico, sistema de conferencia a distancia y teléfono.

2) *Loft* de Diseño, ubicado en el segundo piso del Centro de Investigaciones en Diseño Industrial (CIDI) con características análogas al *Loft* de Ingeniería.

También se contó con el apoyo de los talleres de manufactura del Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica (CDMIT) en la Facultad de Ingeniería y de los Laboratorios de Materiales del CIDI.

1.4 Organización de las actividades

Todas las actividades que se realizaron a lo largo del curso estaban enlistadas en el portal de internet de E310, divididas en cuatrimestres (otoño, invierno y primavera) con su respectiva hora y fecha de entrega. Asimismo se describía la actividad y sus objetivos, lo que implicaba que era fundamental consultar frecuentemente el sitio.

La evaluación de las actividades planteadas se efectuó en el marco de algunas de las siguientes juntas.

SGM
Small Group Meetings o Reunión de Equipo, en español.

Estas juntas se llevan a cabo una vez por semana (martes o jueves, según el equipo) entre los integrantes del equipo y el grupo de maestros, ayudantes de profesores y, a veces, el representante de la compañía. Se presentan los avances del proyecto y se hacen las correcciones necesarias, tomando en cuenta los

comentarios propuestos por miembros invitados de otros equipos. Los socios globales pueden participar en estas juntas via videoconferencia.

LGM

Large Group Meetings o Juntas de Grupo, en español.

Estas juntas son para todo el grupo de E310. Se llevan a cabo una vez a la semana, después de las SGM del jueves. En ellas se tratan asuntos que conciernen a todos los miembros del curso, ya sean avisos importantes, aclaraciones de dudas comunes o la explicación y ejemplificación de los próximos ejercicios.

SUDS

Slightly Unorganized Design Session o Sesión de Diseño Ligeramente Desorganizada, en español.

Es una hora de convivencia social acompañada de comida y bebida que se lleva a cabo en el *loft* todas las tardes del jueves después de las SGMs. Se reúnen todos los participantes de E310. Ocasionalmente incluyen tutoriales sobre temas relevantes a los proyectos y demostraciones de hardware. Son organizados semanalmente por un equipo distinto haciendo uso de los recursos provenientes de los colaboradores industriales.

Juntas equipos UNAM

Se realizaba una junta semanal apoyada por presentaciones donde se reflexionaba sobre los temas tratados en Stanford durante las SGMs y LGMs.

Para una buena comunicación con el equipo de Stanford es importante realizar por lo menos una junta semanal de todo el equipo utilizando herramientas de comunicación electrónica.

De manera extraordinaria se llevaron a cabo comidas con los maestros para tratar asuntos del proyecto.

2. Actividades desarrolladas

Los nueve meses de trabajo en E310 se encuentran organizados en tres cuatrimestres nombrados de acuerdo a la estación del año en que transcurren y apegados al calendario escolar de la Universidad de Stanford.

En términos generales, el cuatrimestre de Otoño se caracteriza por la ejecución de actividades de diseño ajenas al proyecto corporativo en aras de buscar la integración social de los estudiantes inscritos al curso, la composición adecuada de los equipos multidisciplinarios y la asignación de las empresas patrocinadoras. Posteriormente se lleva a cabo una primera delimitación del problema presentado y los alcances de la solución que será propuesta.

En el cuatrimestre de Invierno deben definirse, después de un amplio estudio de las necesidades físicas y funcionales involucradas, las características de la solución al problema de diseño sintetizada por el equipo.

Finalmente, durante todo el cuatrimestre de Primavera se lleva a cabo la construcción del prototipo que será entregado a la compañía patrocinadora.

Cada una de las secciones destinadas a la descripción de los cuatrimestres anteriormente referidos da inicio con una tabla donde se incluyen las fechas y los horarios de entrega de las tareas desempeñadas, de tal forma que sea posible apreciar el arduo ritmo de trabajo exigido por el curso y el reto de planeación que representó para todos los miembros del equipo.

Además, se han numerado las tareas de la tabla para facilitar su localización en el cuerpo del documento en caso de que el lector desee realizar la consulta específica de una de ellas. Cada tarea se distingue por la puntualización de sus objetivos y la descripción de su desarrollo, incluyendo las perspectivas del equipo

en torno a las mismas con el propósito de contribuir a mejorar el desempeño de futuros participantes.

Se debe destacar que las visitas de los estudiantes de la UNAM a la Universidad de Stanford como socios globales tuvieron lugar en la primera semana de noviembre de 2007 y del 11 de mayo al 24 junio de 2008.

2.1 Otoño

Tabla 1. Tareas desempeñadas durante el cuatrimestre de Otoño

Tarea	Fecha de Entrega
2.1.1 Registro al curso, perfil del participante y el *Idealog*.	Miércoles 26 de septiembre antes de las 23:00.
2.1.2 310 (des)Orientación	Lanzamiento de cohetes de agua: Jueves 27 de septiembre, 16:30. Reflexión en la bitácora: Viernes 28 de septiembre antes de las 18:00.
2.1.3 Formación de los equipos de diseño para las bicicletas de cartón	Jueves 27 de septiembre, 16:00.
2.1.4 Revisión de la función crítica de la bicicleta de cartón.	Jueves 4 de octubre, 13:00 a 18:00.
2.1.5 Reflexión en la bitácora respecto a la función crítica de la bicicleta de cartón.	Viernes 5 de octubre, 18:00.
2.1.6 Revisión del diseño de la bicicleta de cartón.	Jueves 11 de octubre, 13:00 a 18:00.
2.1.7 Juego de polo con las bicicletas de cartón diseñadas en Stanford.	Viernes 12 de octubre, 16:00 a 18:00.
2.1.8 Documentación del diseño de las bicicletas de cartón.	Viernes 19 de octubre, 17:00.
2.1.9 Juego de polo con las bicicletas de cartón diseñadas por los miembros globales	Semana del 20 de octubre.
2.1.10 Perfil de preferencia para el trabajo en equipo	Jueves 16 de octubre, 16:00.
2.1.11 Formación y selección de los equipos para los proyectos corporativos	Formación: Lunes 22 de octubre, 16:00. Selección: Miércoles 24 de octubre, 17:00.
2.1.12 Compartiendo información útil para el diseño	Martes 30 de octubre.
2.1.13 Lanzamiento de la Aventura	Martes 30 de octubre.
2.1.14 Planeación de las actividades otoño-invierno	Determinación de las fechas para la visita de los socios globales: Viernes 2 de noviembre, 18:00. Compra de los boletos de avión: Viernes 9 de noviembre, 18:00. Itinerario y presupuesto estimado del viaje: Lunes 12 de noviembre, 15:00.
2.1.15 Revisión de las actividades de benchmarking	Martes 13 de noviembre.

Tabla 1 (continuación). Tareas desempeñadas durante el cuatrimestre de Otoño

Tarea	Fecha de Entrega
2.1.16 Prototipos de función crítica	Jueves 29 de noviembre.
2.1.17 Breviarios de las actividades de diseño de Otoño	Lunes 3 de diciembre, 12:00.
2.1.18 Presentaciones Finales	Ensayo: Martes 4 de diciembre. Presentación: Jueves 6 de diciembre.
2.1.19 Documentos de diseño de Otoño	Martes 11 de diciembre, 17:00.
2.1.20 Resumen de salida	Viernes 14 de diciembre, 17:00.
2.1.21 Limpieza del *Loft*	Viernes 14 de diciembre, 17:00.

2.1.1 Registro al curso, perfil del participante y el *Idealog*

Objetivos

- Incorporación formal a las actividades del curso *E310.*
- 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 permitieran acceder a la sección privada de la página de Internet de *E310* (http://wikibox.stanford.edu/07-08/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 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.

2.1.2 310 (des)Orientación

Objetivos

- Realizar el diseño y construcción de un cohete de agua seguro, confiable y cuyo comportamiento sea predecible, involucrando a todos los participantes del curso.
- Documentar el proceso de diseño, las lecciones aprendidas y las medidas a considerar para una siguiente iteración.

Descripción

Se construyeron dos cohetes de agua a partir de botellas de refresco de PET de 600 [ml] además de la plataforma necesaria para su lanzamiento con una bomba de aire manual para bicicleta. Debido a que un requisito de la actividad era que los cohetes reflejaran la imagen corporativa de alguna empresa, fueron provistos de

motivos estéticos que además les otorgaron originalidad. Su lanzamiento se efectuó en el área verde conocida como *Las Islas* de Ciudad Universitaria.

Ninguna de las trayectorias descritas por los cohetes de agua se apegó a las predicciones elaboradas por el equipo, pero de acuerdo a lo anotado en cada uno de los *idealogs* de los participantes, los experimentos dieron la oportunidad de realizar observaciones suficientes para emprender su rediseño.

La actividad permitió que los participantes del curso en México se empezaran a conocer entre sí e identificaran el potencial de los recursos informáticos que sirvieron para coordinar las actividades entre la Universidad de Stanford y la UNAM. Es importante mencionar que los alumnos de Stanford contaron con la simulación numérica del sistema neumático de la plataforma de lanzamiento; de tal manera que pudieron realizar observaciones sobre los efectos del nivel de agua, presión y ángulo de lanzamiento en la trayectoria de los cohetes de agua para definir criterios de diseño que les permitieran construir prototipos de gran precisión. El equipo cuyas predicciones estuvieron más aproximadas a las trayectorias descritas durante el lanzamiento fue premiado.

2.1.3 Formación de los equipos de diseño para las bicicletas de cartón

Objetivos

- Aprender sobre las preferencias y habilidades de los integrantes del grupo antes de la formación de los equipos para los proyectos corporativos.
- Introducir los formatos de revisión y documentación de los diseños a emplear durante el curso.
- Sensibilizarse sobre los problemas involucrados en la formación, organización y conducción de un equipo para la síntesis de un producto y su documentación.
- Divertirse.

Descripción

La actividad de las bicicletas de cartón consistió en construir un vehículo utilizando principalmente papel o materiales derivados (como cartón), con la posibilidad de usar hasta 500 [g] de materiales no derivados, para participar en una competencia inspirada en el Polo cuya dinámica puede ser consultada en el documento de diseño generado durante esta actividad incluido como *Apéndice A* de la presente tesis. Se constituyeron 20 equipos con los alumnos de la Universidad de Stanford y los de las instituciones académicas invitadas, entre las que figuraron, además de la UNAM:

- *San José State University (SJSU)* en Estados Unidos de América.
- *Royal Institute of Technology (KTH), Lulea University of Technology (LTU) y Lund University of Technology (LTH)* en Suecia.
- *University of St. Gallen (HSG)* en Suiza.
- *Pontificia Universidad Javeriana (PUJ)* en Colombia.
- *Hasso Plattner Institute (HPI)* de la Universidad de Potsdam en Alemania.
- *Helsinki University of Technology (TKK)* en Finlandia.

Puesto que para el periodo en que se realizaron las actividades de diseño de la bicicleta de cartón aún no se contaba con un espacio definido de trabajo dentro de la UNAM ni un presupuesto para el desarrollo de las actividades del curso, todos los recursos empleados para su construcción fueron proporcionados por los alumnos; eligiéndose como sede de trabajo los cubículos de investigación del CIDI debido a las facilidades prestadas por el personal de dicho Centro para el uso de los talleres de carpintería y el almacenamiento de los tubos de cartón que constituyeron la materia prima de los vehículos. Estos materiales fueron obtenidos principalmente del material de desecho de tiendas especializadas en la venta de telas.

En tanto que ninguno de los participantes era un experto en la construcción de este tipo de vehículos, fue posible realizar la consulta de los documentos entregados sobre el ejercicio por los alumnos del curso del año pasado; lo que puso en evidencia la gran importancia que tendría realizar una buena documentación de la experiencia de diseño. Una vez iniciado el proceso de construcción se buscó caracterizar las propiedades mecánicas de los materiales de cartón con los que se contaba para generar propuestas sobre la configuración de la bicicleta con base en sesiones de lluvia de ideas.

2.1.4 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 diseño.

Descripción

El ejercicio intelectual de esta actividad radicaba en encontrar una forma creativa para la construcción de un prototipo sencillo pero lo suficientemente completo para visualizar un problema clave para el éxito del diseño de la bicicleta de cartón. Durante la conducción de las pruebas con estos prototipos fue común romper componentes, los cuales fueron expuestos al equipo de maestros durante la revisión para señalar claramente cuál era el propósito del prototipo y el problema de diseño del que se deseaba obtener más información. Con esto se tuvo la oportunidad de mejorar la configuración de la bicicleta de cartón, apegándose al segundo axioma de diseño en E310 planteado por Larry Leifer en la página del curso: “*All design is redesign”.*

Antes de la entrega de este prototipo, se hizo mucho énfasis en evitar la presentación de *mockups*, es decir, modelos a escala o maquetas que simplemente comunican la idea de lo que se va a construir pero no aportan información funcional valiosa para el diseño posterior.

La presentación de los resultados se elaboró en una sesión de 10 minutos con el equipo de maestros en México para enfatizar la importancia del carácter ejecutivo de las revisiones, el cuál sería decisivo para las presentaciones con los *liaisons* una vez asignados los proyectos corporativos.

2.1.5 Reflexión en el *idealog* respecto a la función crítica de la bicicleta de cartón

Objetivo

- Escribir en el *idealog* de cada uno de los participantes una reflexión sobre el prototipo de función crítica.

Descripción

Una vez construidos los prototipos de función crítica, ambos equipos se percataron de que las bicicletas de cartón iban a ser demasiado grandes para ser transportadas ensambladas en el avión; por lo que se vio conveniente considerar dentro de los parámetros de diseño una configuración que pudiera ser fácil de armar a partir de componentes que fuera posible guardar en las maletas.

2.1.6 Revisión del diseño de la bicicleta de cartón

Objetivo

- Evaluar el diseño de la bicicleta de cartón antes del juego de Polo en Stanford.

Descripción

Las bicicletas de ambos equipos de la UNAM fueron transportadas desde el CIDI hasta el jardín ubicado en el estacionamiento para maestros de la Facultad de Ingeniería, a un costado del CDMIT, para simular una partida de Polo. De acuerdo al desempeño obtenido en esta partida, se realizarían los últimos cambios en los diseños para asegurar un buen papel en la partida a disputar en la Universidad de Stanford.

Después de una hora de juego, en la que participaron todos los maestros y alumnos inscritos al curso, las bicicletas presentaron fallas estructurales importantes. Una de las bicicletas sufrió la ruptura del eje trasero mientras que la otra tuvo problemas con la estructura de soporte del jugador.

Para el primer caso, el equipo optó por rediseñar exclusivamente el eje fallido, para de esta manera no tener que reconstruir el resto de la estructura.

Para el segundo caso se decidió no reciclar ninguno de los componentes, a excepción de las ruedas y el eje. Resultó de vital importancia aplicar lubricante a la superficie de contacto entre las ruedas y el eje para reducir la fricción y con ello la fatiga del miembro del equipo que empujaba el vehículo.

Durante los días que sucedieron a la revisión, los equipos se concentraron en preparar todo el material que sería necesario para el ensamble de los vehículos en Stanford.

2.1.7 Juego de polo con las bicicletas de cartón diseñadas en Stanford

Objetivo

- Llevar a cabo la partida de Polo entre los equipos de la Universidad de Stanford.

Descripción

Después del partido de polo, los participantes en la contienda registraron sus observaciones y comentarios en la wiki. Esto implicó una ventaja para los equipos globales en tanto que tuvieron la posibilidad de hacer modificaciones a sus bicicletas tomando en cuenta esta información.

2.1.8 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 maestros de 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 E310.

El reto para los miembros globales radicaba en que no se contó con la asesoría de Mark ni Larry para entender algunos conceptos claves y muy particulares. Se debió inferir la forma correcta de realizar este reporte de acuerdo a la lectura de ejemplos de años anteriores almacenados en el servidor del curso. A pesar de estas limitantes los dos equipos mexicanos obtuvieron muy buenos comentarios sobre los resultados.

2.1.9 Juego de polo 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 un partido de polo con dos pelotas en donde se dividió a los participantes internacionales en dos equipos opuestos. Una experiencia divertida y caótica.

2.1.10 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 en México manifestaron que la configuración de los equipos para las bicicletas de cartón había funcionado adecuadamente, por lo que no se realizaron cambios en su estructura y se esperó la asignación de los proyectos corporativos a los que sería vinculada la UNAM.

A los estudiantes de Stanford se les exigió hacer uso de un programa de cómputo 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[1], sus deseos de participar o no con miembros específicos del grupo y el tipo de proyecto en el que estaban más interesados.

2.1.11 Formación y selección de los equipos para los proyectos corporativos

Objetivo

- Conformar los equipos para el desarrollo de los proyectos corporativos.

Descripción

Tomando como referencia la información provista por los alumnos en la tarea anterior, se publicó en la página del curso una tabla el día 22 de octubre con los integrantes de cada uno de los equipos y se solicitó que enviaran un correo a los maestros donde enlistaran en orden de preferencia (del 1 al 11) todos los proyectos disponibles y expusieran los argumentos que llevaron a dicha clasificación. Los títulos de los proyectos propuestos por los colaboradores industriales fueron:

- *Audi AG: Smart Handbook.*
- *Autodesk Inc: Multi-User Design Collaboration.*

[1] Esta evaluación asigna un valor para identificar el perfil cognitivo de cada integrante del equipo, es un instrumento para garantizar la diversidad de personalidades desde el punto de vista psicológico.

- *BMW AG: Intelligent, novel, items management.*
- *Deutsche Bahn: Mobile Service Technician of the Future.*
- *Eastman Kodak Company: Opening Up the Kodak Ecosystem to Create Novel User Experiences.*
- *General Motors: Re-Design the Center Console.*
- *Immerse Global Inc: Pure Water Solution for the World.*
- *Panasonic: PanaWear- Intuitive controller for multiple wearable devices.*
- *SAP AG: Future Retail Center.*
- *BMW AG: Intelligent, novel, items management.*
- *Deutsche Bahn: Mobile Service Technician of the Future.*
- *Volkswagen AG: Virtual Convertible.*

El día 24 de octubre se publicó la configuración definitiva para los equipos y el proyecto asignado a cada uno de ellos. En la Tabla 2 se muestran los equipos en los que fueron incluidos los alumnos de nuestra Universidad.

Tabla 2. Configuración de los equipos con integrantes de la UNAM para los proyectos corporativos E310 2007-2008

Proyecto	Alumnos
Volkswagen AG: Virtual Convertible.	Stanford: Heikki Juvonen, Andrew Chang, Jason Reid. UNAM: Marco Lobato, Gladis Arroyo, Tomás Álvarez, Martin García.
General Motors: Re-Design the Center Console.	Stanford: Miika Heikkinen, Nicole Sampson, Patricio Romano. UNAM: Diana de Anda, Miguel Barousse, Octavio Narváez, Agustín Plancarte.

Se debe resaltar que la configuración de los equipos en la actividad de las bicicletas de cartón en Stanford no se mantuvo intacta para la definición de los equipos del proyecto corporativo; haciendo notable la consideración de los perfiles de preferencia presentados a los maestros en la actividad anterior y los resultados de la encuesta Wilde/Myers-Briggs. En contraste, los equipos globales para las

bicicletas de cartón sí se tomaron como base para la conformación de los equipos del proyecto corporativo.

2.1.12 Compartiendo información útil para el diseño

Objetivo

- Añadir información útil para la comunidad E310 en la wiki del curso.

Descripción

Con el propósito de enfatizar el uso de la wiki del curso como una plataforma para compartir información más allá de las fronteras del equipo asignado para el desarrollo del proyecto corporativo, se propuso a cada estudiante agregar una página en el servidor de Stanford con información que a su criterio pudiera resultar relevante. Entre la información agregada destacaron guías de viaje para orientar a los socios globales en la planeación de su visita, estrategias para ahorrar dinero, encontrar materiales, recetas de cocina, lecciones de gramática de distintos idiomas, clases de origami, dibujo, entre otras.

El ejercicio permitió eliminar inhibiciones de los participantes en el curso para fomentar la exposición pública de ideas a través de wikis y acercarse a los miembros del equipo de maestros en Stanford para la aclaración de dudas.

2.1.13 Lanzamiento de la Aventura

Objetivos

- Crear una página electrónica para el proyecto corporativo en la Wiki.
- Realizar una actividad de integración del equipo.
- Preparar el espacio de trabajo en el *Loft*.

Descripción

Durante las clases a las que se asistió en la primera visita a Stanford se explicó que la dinámica de trabajo de los equipos debía apegarse a la de una pequeña compañía contratada por el socio corporativo para desarrollar un producto innovador. Los maestros actuarían como un consejo técnico consultivo, pero los responsables directos del desarrollo del proyecto siempre serían los alumnos. En consecuencia a estos últimos se les exigió firmar un contrato de confidencialidad con el cliente como requisito para iniciar esta fase del curso. A continuación se programó una entrevista con los *liaisons* para recibir de primera fuente los detalles relacionados con el problema propuesto por la compañía. Con esto, cada equipo inició la construcción de sus espacios de trabajo tanto en el *loft* como en la red con todos sus integrantes reunidos por primera ocasión, lo que dio pauta a realizar actividades de entretenimiento e integración.

Es importante recalcar que durante la preparación de los espacios de trabajo se empleó parte del presupuesto destinado a los proyectos en la compra de materiales, accesorios y muebles que contribuyeron a generar un ambiente original en el *Loft*, donde quedó plasmada la identidad de cada uno de los socios corporativos que participaron en el ciclo escolar.

2.1.14 Planeación de las actividades otoño-invierno

Objetivos

- Asignar los horarios para las juntas semanales entre los equipos de la UNAM y Stanford.
- Determinar los días para la visita de los socios globales.
- Reservar los boletos de avión.
- Entregar una versión preliminar del itinerario y el presupuesto para el viaje.

- Asignar Tesoreros.

Descripción

Debido a la naturaleza internacional del proyecto era indispensable mantener contacto constante entre los integrantes estadounidenses y los mexicanos. Fue por esto que se generó un calendario donde se dio prioridad a la elaboración de juntas semanales por medio de aplicaciones de mensajería instantánea con soporte 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 del diseño. Dado que para la organización de estas juntas era indispensable considerar la diferencia de dos horas entre los relojes de la Ciudad de México y Palo Alto, además de la agenda personal de cada uno de los miembros de los equipos, resultó útil elaborar calendarios electrónicos que eran compartidos entre todos.

A pesar de que se contaban con amplias posibilidades para intercambiar información a distancia, el tener reuniones cara a cara con todos los integrantes del equipo es inigualable. Las lluvias de ideas, el flujo de información y el intercambio de opiniones son mucho más eficientes y enriquecedores teniendo a todo el equipo reunido en el mismo lugar. Así pues, se asignó un periodo de tiempo (final del cuatrimestre de otoño, segunda semana de diciembre) y un presupuesto (definido por cada equipo) para materializar una visita de los miembros estadounidenses de ambos equipos a México.

Finalmente, se consideró que para llevar una buena administración del presupuesto sería necesario nombrar dos tesoreros que realizaran el registro y control de los gastos en México y Estados Unidos.

La elección de tesoreros fue muy rápida ya que se propusieron sin objeción Andrew para tesoreso estadounidense y Gladis para tesorera mexicana.

2.1.15 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

Tradicionalmente el benchmarking consiste en la evaluación bibliográfica comparativa de los productos o patentes en competencia directa con el diseño conceptual o que resuelvan el problema que hasta este punto tenga definido el equipo. Sin embargo, desde el punto de vista de E310 este concepto se extiende a la interacción con dispositivos cuya funcionalidad y/o manufactura se relacionen de alguna forma con el proyecto e incluso se proponía la elaboración de encuestas a usuarios, de modo que pudieran despertar nuevas ideas entre el equipo.

La información y experiencias obtenidas al finalizar esta fase del benchmarking debían ser expuestas en Stanford por medio de una presentación de 12 minutos.

Durante la visita a Stanford se definió con los profesores de la UNAM que los avances con respecto a los proyectos se expondrían cada viernes empleando las mismas presentaciones utilizadas en Estados Unidos y de preferencia con la retroalimentación recibida del equipo de maestros. Así pues, en forma análoga a la dinámica seguida en el *Loft* de Stanford, las exposiciones de benchmarking fueron presentadas el viernes 16 de noviembre contemplando que los equipos se evaluaran mutuamente de forma oral y compartieran ideas que permitieron enriquecer los diseños presentados.

Debido a la naturaleza del proyecto el equipo se concentró en las experiencias derivadas de manejar un automóvil del tipo convertible. Para identificar

y experimentar estas sensaciones el equipo aseguró la obtención de vehículos convertibles para realizar pruebas de manejo (la parte estadounidense consiguió un convertible y la parte mexicana otro). De igual manera se entrevistó a usuarios tanto de automóviles normales como de automóviles convertibles para obtener sus puntos de vista y opiniones sobre el manejo de ambos tipos de vehículos.

Paralelamente se llevó a cabo una investigación, principalmente en internet, para determinar cuales eran las tendencias en la industria automotriz en cuanto a convertibles se refiere.

Finalmente se desarrolló una presentación conjuntamente con la contraparte estadounidense que condensara la información obtenida de la investigación para ser presentada en Estados Unidos y México

2.1.16 Prototipos de función crítica

Objetivo

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

Descripción

Con esta entrega comienza un ciclo iterativo de diseño para definir lo que *podría ser* la solución al problema planteado por el equipo, a partir de los requerimientos del socio corporativo. Deben ponerse a prueba las suposiciones iniciales sobre el diseño tomando en cuenta el contexto para evaluar la viabilidad con los usuarios . En tanto que de los resultados obtenidos se puede comenzar a bosquejar una posible ruta de solución que llevará al diseño final; resulta deseable que el prototipo de función crítica responda preguntas muy específicas o que despierte nuevas incógnitas que deberán ser resueltas con la construcción 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.

En este primer prototipo de función crítica el equipo quiso explorar dos aspectos, por lo que se realizaron dos prototipos. El primer prototipo, al que se le dedicó más tiempo y recursos, estaba diseñado para explorar la parte auditiva de la experiencia convertible. Se montaron diferentes configuraciones de micrófonos (profesionales unidireccionales y ambientales) en una parrilla montada en el techo de un automóvil. Posteriormente, usando una computadora para procesar el audio en tiempo real, se realizaron recorridos con las ventanas cerradas mezclando el sonido exterior, captado por los micrófonos, con música proveniente de una computadora portátil y reproduciendo esta mezcla a través del estéreo del auto.

El segundo prototipo exploraba la capacidad de un auto convertible de llamar la atención. Para lograr esto se montó una luz ultravioleta en el interior de un automóvil y se colocaron recortes de papel blanco con diferentes figuras sobre diferentes superficies del automóvil de tal manera que éstas emitieran un brillo tenue pero perceptible desde el exterior. Los resultados fueron poco satisfactorios, se lograba atraer la atención pero el brillo era molesto para el conductor y los pasajeros. Es importante notar que a pesar de que este prototipo fue un fracaso, se aprendió mucho sobre el aspecto visual de la experiencia convertible, el cual perduró hasta la entrega final.

2.1.17 Breviarios de las actividades de diseño de Otoño

Objetivo

- Entregar al liaison un folleto que sintetice los resultados de las actividades de diseño realizadas durante el cuatrimestre de Otoño.

Descripción

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

2.1.18 Presentaciones Finales

Objetivo

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

2.1.19 Documentos de diseño de Otoño

Objetivo

- Entregar la documentación del proyecto corporativo enfocándose en sus antecedentes y contexto, los requerimientos que darán satisfacción a la necesidad planteada por el cliente corporativo y los esfuerzos realizados hasta el momento para establecer algunas especificaciones a través del prototipo de función crítica.

Descripción

La primera entrega de la documentación del trabajo en el proyecto corporativo mostró que el reto principal de estas tareas a lo largo del curso consistiría en redactar documentos cohesivos, además de coordinar a todos los miembros del equipo para entregar puntualmente la sección de la que se había hecho responsable y permitir su integración en un formato visualmente atractivo.

El documento final fue bien recibido por los equipos de maestros. El documento presentado exponía de manera muy completa las experiencias y la información obtenida a lo largo del cuatrimestre de otoño, así como el proceso de diseño seguido para desarrollar e implementar los prototipos.

En cuanto a la redacción, se procuró que todos los miembros participaran en todas las secciones para lograr una coherencia y continuidad en el documento, objetivo que fue logrado satisfactoriamente.

2.1.20 Resumen de salida

Objetivo

- Administrar un bono virtual de $100,000 dólares otorgado por el socio corporativo.
- Evaluar las actividades del curso.

Descripción

Para cerrar el cuatrimestre de Otoño, el equipo de maestros pidió que junto a la evaluación de las actividades del curso se anexara en un correo electrónico la forma en la que los equipos dispondrían de un bono virtual de $100,000 dólares si en ese momento les fuera entregado por su socio corporativo correspondiente.

El dinero se repartió en partes iguales simbolizando que todos los miembros habían cumplido satisfactoriamente con su trabajo.

2.1.21 Limpieza del *Loft*

Objetivo

- Dar mantenimiento al espacio de trabajo.

Descripción

En aras de 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.

Con el propósito de fomentar la entrega oportuna de los documentos, se decidió que la selección del área común a limpiar estaría condicionada a la recepción de los trabajos por parte del equipo de maestros; de tal manera que el último equipo en entregar su documentación ya no tendría esta ventaja.

2.2 Invierno

Tabla 3. Tareas desempeñadas durante el cuatrimestre de Invierno

Tarea	Fecha de Entrega
2.2.1 Planeación del trabajo de Invierno.	Del 8 al 10 de enero.
2.2.2 Reserva de los espacios para la celebración de SGMs.	Viernes 11 de enero.
2.2.3 Entrega del prototipo *Dark Horse.*	Martes 15 y jueves 17 de enero.
2.2.4 Documento preliminar de los entregables al corporativo.	Martes 26 y jueves 28 de febrero.
2.2.5 Revisión del prototipo funcional.	Martes 4 y jueves 6 de marzo.
2.2.6 Presentaciones finales de Invierno.	Ensayo: Martes 11 de marzo, 14:00. Presentación: Jueves 13 de marzo, 13:00.
2.2.7 Documento de diseño de Invierno.	Martes 18 de marzo, 17:00.
2.2.8 Limpieza del *Loft.*	Viernes 21 de marzo, 17:00.

2.2.1 Planeación del trabajo de invierno

Objetivo

- Definir y calendarizar las actividades que se realizarán durante el cuatrimestre de Invierno.

Descripción

En este punto del proyecto los equipos ya conocen las habilidades de sus integrantes, permitiendo así planificar de manera más eficiente y acertada las actividades a realizar.

El plan de trabajo debe contemplar las siguientes actividades obligatorias:

- Prototipo *Dark Horse*
- Revisión del prototipo funcional

- Documento preliminar de los entregables al corporativo
- Presentaciones finales de Invierno
- Documento de diseño de Invierno

Adicionalmente cada equipo puede incluir las tareas extras que considere necesarias, lo que implica una mayor flexibilidad en el desarrollo del proyecto.

Se recomienda plantear el plan de trabajo en un diagrama de Gantt y utilizar la metodología PERT *(Project Evaluation and Review Technique);* es decir, comenzar con la definición de los objetivos finales del proyecto para luego plantear sus prerrequisitos inmediatos y realizar iteraciones análogas sobre los mismos, hasta tener una buena perspectiva de todo lo que tiene que hacerse y cuándo. Un punto importante es elaborar también un presupuesto estimado de los gastos a realizar durante el cuatrimestre. Con estas herramientas, se puede tener una perspectiva más clara sobre el avance del proyecto, así como el tiempo y recursos que se tienen que invertir.

La tarea fundamental y más importante del cuatrimestre de invierno consistía en el desarrollo del prototipo funcional, por lo que se determinaron todas las actividades requeridas para construirlo satisfactoriamente, entre las que se destacan lluvias de ideas, consideración de tiempos para ordenar partes, trabajo subcontratado, ensamble y pruebas con los usuarios.

Una sección importante del plan de invierno fue la calendarización en fechas cruciales de las reuniones globales que serían necesarias para organizar el trabajo de cada etapa del cuatrimestre.

En esta etapa se contaba con elementos suficientes para concluir que la estimulación visual ofrecía el mayor número de ventajas, lo que llevó a descartar los sentidos auditivo y del tacto.

Se planearon prototipos diseñados para profundizar en el aspecto visual.

2.2.2 Reservación de los espacios para la celebración de SGMs

Objetivo

- Definir los horarios en los que cada equipo tendrá su SGM.

2.2.3 Entrega del prototipo Dark Horse

Objetivos

- Construir y entregar el prototipo de una nueva idea.
- Explorar mediante el prototipo la viabilidad de una idea no estudiada previamente.
- Preparar una presentación de 20 minutos sobre el prototipo desarrollado.

Descripción

En las carreras, se le dice caballo negro (en inglés *dark horse*) a un competidor poco conocido al que nadie le apuesta y que inesperadamente gana la carrera. Es una expresión utilizada para referirse a alguien o algo del que nadie espera nada y sorpresivamente logra imponerse sobre las otras alternativas.

El prototipo *dark horse* debe ser de alguna idea que no se haya explorado en el prototipo de función crítica por considerarse riesgosa, muy difícil de implementar o muy extravagante. El razonamiento es que la idea no analizada podría sorprender al equipo y resultar ser una excelente alternativa, de ahí el nombre de *dark horse*.

Evaluar alguna idea o tecnología *dark horse* ayuda a mantener un amplio panorama de las posibles soluciones y evita descartar alguna de éstas prematuramente.

A pesar de que el prototipo finalmente resulte ser inviable, el conocimiento adquirido es valioso para las siguientes etapas y se pueden rescatar conceptos específicos. También puede ayudar a comprender de una mejor forma los requerimientos, lo que permitirá que el diseño final sea más innovador o sofisticado. Pero si se corre con suerte, el prototipo podría resultar verdaderamente un caballo negro y constituir la esencia del prototipo final.

El prototipo *dark horse* que llevó a cabo el equipo tuvo un gran impacto en las decisiones posteriores para la elaboración del producto final. Se le consideró un éxito en términos de creatividad y concepto, aún cuando la viabilidad tecnológica del prototipo haya sido insuficiente. El concepto fundamental del *dark horse* es idéntico al concepto fundamental del prototipo final, y solamente cambia la tecnología utilizada. El planteamiento hecho para el *dark horse* llevó al equipo a conclusiones interesantes, especialmente cuando se hablaba sobre la tecnología futura. Es muy recomendable incluir en las características del *dark horse* propuestas que presenten retos tecnológicos o sociales que puedan solucionarse en el futuro, abriendo camino en innovación y creatividad sin paradigmas actuales.

2.2.4 Documento preliminar de los entregables al corporativo

Objetivos

- Desarrollar una versión preeliminar de los requisitos de diseño del producto.
- Elaborar el primer borrador del contrato de entregables.

Descripción

Esta tarea consiste en la elaboración del primer borrador que será revisado por el equipo de profesores (TTeam). Esto fomenta que el concepto final del producto empiece a ser asentado y se establezcan los requisitos de diseño preeliminares que deberá cubrir el producto que será entregado al cliente. Si bien no es un documento legal, establece por escrito el alcance y los resultados del proyecto.

2.2.5 Revisión del prototipo funcional

Objetivos

- Desarrollar y presentar un prototipo que cumpla con las siguientes características: que funcione, sea factible, claro y deseable.
- Preparar un folleto de resumen, donde se listen los aspectos más importantes y las preguntas guía relacionadas con el prototipo. Este documento deberá dejar en claro cuáles son las funciones del prototipo y cómo se logran (o cómo se lograrán en el prototipo final si es que aún no se completan).

Descripción

Se considera que un prototipo es factible cuando los problemas tanto técnicos como humanos que involucra estén casi resueltos o existe una manera de solucionarlos. Con el prototipo funcional se debe entender claramente lo que se propone entregar

como producto final y ofrecer, aunque no sea con la tecnología más adecuada, un producto con el que se pueda interactuar.

Las soluciones propuestas por el equipo en el prototipo deben ser capaces de convencer a personas expertas en el tema y ser alternativas viables para la solución del problema.

Se construyó un simulador de un paseo en automóvil utilizando proyectores y pantallas que desplegaban videos sincronizados del frente y los lados del automóvil. Para lograr esto se grabó una ruta de aproximadamente 5 minutos de duración con tres cámaras las cuales reproducirían su contenido en las pantallas del simulador. El simulador constaba de un techo de comprimido de madera con las mismas dimensiones que el techo de un auto, soportado por tubos de PVC en las mismas localidades y ángulos que los pilares de un coche. En el horizonte se instaló una pantalla al frente y monitores de pantalla plana en las “ventanas”. Bajo el techo de madera se instalaron los diferentes sistemas y prototipos funcionales que buscaban generar la sensación del “convertible virtual”.

2.2.6 Presentaciones finales de Invierno

Objetivo

- Presentar el trabajo realizado durante el cuatrimestre de invierno, con una duración de 15 minutos más 5 minutos de preguntas y respuestas.

Descripción

Como al final de cada cuatrimestre, se debe realizar una presentación de los resultados obtenidos. El enfoque debe ser principalmente en el diseño, dando menos importancia al benchmarking y la introducción general. Con la presentación

el equipo debe convencer a la audiencia de que ya tiene una idea clara sobre lo que va a entregar en junio y que existe un plan sólido para llegar a ese objetivo.

2.2.7 Documento de diseño de Invierno

Objetivo

- Documentar el trabajo realizado durante el cuatrimestre de invierno.

Descripción

Esta tarea consiste en elaborar el documento donde se consigna todo el trabajo realizado durante este cuatrimestre. En este punto ya está definida la dirección que tomará el producto final, por lo que los requisitos de diseño deben estar ya identificados y asentados en gran medida. El enfoque debe estar principalmente en el material y conocimiento nuevo, trasladando a los apéndices el material de otoño que ya no tiene relevancia con la dirección tomada por el proyecto. La estructura del documento se detalla en el capítulo cinco.

2.2.8 Limpieza del *loft*

Objetivos

- Organizar y limpiar el área de trabajo.
- Devolver el equipo multimedia que se tomó prestado.

Descripción

Cada equipo debía limpiar su propia área de trabajo, organizar sus estantes, limpiar la mesa, tirar la basura y barrer el piso. Toda la herramienta que se tomó prestada

debía ser devuelta a su lugar de almacenamiento. Además de lo anterior, a cada equipo se le asignó una tarea de limpieza de las áreas comunes.

2.3 Primavera

Tabla 4. Tareas desempeñadas durante el cuatrimestre de Primavera.

Tarea	Fecha de Entrega
2.3.1 Reflexión sobre los problemas dentro del equipo.	Martes 1° y jueves 3 de abril.
2.3.2 Reserva de los espacios para la celebración de SGMs.	Jueves 3 de abril.
2.3.3 Planeación del trabajo de abril y mayo.	Jueves 8 de abril.
2.3.4 Contrato final de los entregables al corporativo.	Jueves 17 de abril.
2.3.5 X está terminado.	Martes 29 de abril y jueves 1° de mayo.
2.3.6 Penúltima revisión de hardware y software.	Martes 20 y Jueves 22 de mayo.
2.3.7 Penúltimas especificaciones.	Jueves 29 de mayo, 17:00.
2.3.8 Folletos finales para EXPE.	Jueves 29 de mayo, 18:00.
2.3.9 Presentaciones finales de Primavera.	Jueves 5 de junio.
2.3.10 Revisión final del hardware durante la Feria de Diseño EXPE.	Jueves 5 de junio.
2.3.11 Documentación final.	Martes 10 de junio, 17:00.
2.3.12 Entrega de hardware a corporativos, disposición del material y último SUDS.	Jueves 13 de junio.

2.3.1 Reflexión sobre los problemas dentro del equipo

Objetivo

- Observar la dinámica de trabajo entre los miembros del equipo de diseño para identificar puntos de desacuerdo.
- Plantear soluciones a problemas interpersonales que permitan mejorar los resultados esperados en la entrega del proyecto corporativo al final del cuatrimestre de Primavera.

Descripción

Un proyecto basado en el trabajo multidisciplinario y con participantes globales no es sencillo en términos de organización, paciencia, concordancia, toma de

decisiones ni opiniones. Lo más probable es que en algún momento se llegue a un desacuerdo, o incluso a una situación de enojo permanente entre los miembros del equipo; lo que impide obtener resultados positivos para la evolución del diseño durante las juntas de trabajo.

Para entender estos problemas y proponer medidas de conciliación, se propuso filmar la actividad de la porción del equipo en México desempeñando las siguientes tareas:

1. Revisar los requerimientos del proyecto durante 15 minutos, definiendo los tres primordiales y argumentando las razones por las que se les considera como tales.
2. Enlistar en 10 minutos todos los problemas del equipo y sus posibles causas.
3. Discutir 15 minutos sobre la principal fuente de conflicto y proponer una solución.
4. Exponer en 15 minutos los sentimientos experimentados mientras se realizaba el punto anterior.

Una vez finalizadas las actividades se reprodujo la grabación obtenida, de tal manera que cada uno de los integrantes del equipo pudo percatarse de la forma en la que interactuaba con los demás.

1. Desde el inicio del curso se procuró realizar una o más juntas semanales para no debilitar las relaciones dentro del equipo. Se acordó en manifestar todas las opiniones que fueran surgiendo, explicando las causas o razones de las mismas, ya sea basadas en conocimiento empírico, científico, cultural, personal o intuitivo.

2. Se reservó tiempo a la convivencia dentro del equipo tanto local como global, procurando conocer a cada integrante en aspectos de su vida que no estuvieran relacionados con el proyecto, tales como sus pasatiempos,

familia, novio(a), actividades deportivas, viajes, gustos gastronómicos, artísticos, etc. El equipo trabajó con comodidad y armonía en la gran mayoría del transcurso del proyecto. La relación entre los sub-equipos de México con el de Stanford fue especialmente buena. Las pocas frustraciones o discrepancias que hubo, no afectaron el desempeño general y sirvieron para ganar experiencia en relaciones humanas.

2.3.2 Reserva de los espacios para la celebración de SGMs

Objetivos

- Revisar los entregables y avances en el proyecto
- Aclarar dudas sobre la logística del curso.
- Recibir asesoría técnica.

Descripción

De manera análoga a los cuatrimestres anteriores, para llevar un seguimiento y control de los tiempos de entrega de las distintas actividades, se acordó realizar juntas semanales con los *coaches*. Cada equipo contaba con un tiempo exclusivo para exponer los resultados, avances y problemas de todos los aspectos relacionados con las actividades del momento. Los maestros daban sus opiniones y críticas constructivas; aunque sus recomendaciones para las siguientes iteraciones del prototipo se hicieron más concretas y ejercieron mayor presión sobre la toma de decisiones que consideraban primordiales para el éxito del proyecto. Asimismo, promovieron aumentar la participación de los miembros globales durante estas juntas para la exposición de sus retos técnicos y sugirieron la contratación de personas externas para dar solución a aquellos problemas en los que el equipo consideraba tener poca experiencia.

2.3.3 Planeación del trabajo de abril y mayo

Objetivo

- Establecer el plan de trabajo para concluir las actividades de construcción del prototipo final en mayo.

Descripción

Debido a las particularidades de cada uno de los proyectos en el curso, se propuso a los equipos entregar un documento donde detallaran todas las actividades necesarias para terminar puntualmente el prototipo final, sin la imposición de tareas por parte del equipo de maestros. Se siguió el mismo esquema del cuatrimestre anterior de plantear el plan en un diagrama de Gantt y emplear la metodología PERT.

Aunque el equipo estuvo trabajando desde hacía mucho tiempo en el sistema de comunicación con la computadora como uno de los componentes del sistema final; ya se habían sobrepasado las fechas límite acordadas para terminar distintas características de control y monitoreo del protocolo serial. Con el tiempo encima, el equipo estaba estancado en un problema técnico el cual estaba retrasando todo el desarrollo del proyecto. Afortunadamente, a la mitad de las actividades de abril y mayo la intensa actividad de investigación permitió encontrar un sistema más estable, eficiente y veloz. La nueva solución se asemejaba mucho al sistema que se estaba tratando de crear y prometía mejorar enormemente el desempeño del prototipo. Sin embargo, se tuvieron que enfrentar dos problemas:

1. Todo el avance que se había completado hasta ese momento se volvía obsoleto, e implicaba la pérdida de mucho tiempo.

2. Todas las actividades planeadas tenían que replantearse y ajustarse para terminar el trabajo en un solo mes.

La propuesta de modificación fue ampliamente rechazada por parte del equipo de maestros de la Universidad de Stanford, alegando que el nuevo protocolo de comunicación era muy extravagante puesto que no había sido usado en una aplicación similar. Además, el tiempo restante era bastante apretado como para empezar algo nuevo.

Este momento fue crucial para el equipo, ya que había que tomar una decisión lo más pronto posible; por lo que se dio solamente un día para proponer una mejor solución o mantener el curso inicial. Al día siguiente se tomó la decisión de integrar el nuevo sistema de comunicación (el extravagante), a pesar de las problemáticas de tiempo y la falta de apoyo.

Se desarrolló una agenda de actividades extremadamente estricta, se reclutó a un equipo de estudiantes que colaboraron con el trabajo manual, se diseño y montó una línea de producción perfectamente sincronizada que cumpliera los objetivos planteados día con día, sin permitir retrasos.

Se hicieron pedidos de hardware a una empresa que prometió una fecha de entrega, la cual no cumplió y retrasó la producción por casi una semana. Se tuvieron que aumentar y reajustar las horas de trabajo para recuperar el tiempo perdido y finalmente enviar por paquetería exprés todo el hardware final, esperando que no fuera retenido en aduana o retrasado por otra razón.

Esta etapa fue sin duda la más pesada en términos de estrés y trabajo, ya que al tomar una decisión riesgosa se ponía en juego todo el avance del proyecto sin opción a regresar a la anterior. Se tuvo que aprender, entender y resolver los problemas intrínsecos del nuevo sistema a la par con la coordinación de la línea de producción, las pruebas del sistema, la administración del presupuesto y la planeación del segundo viaje a la Universidad de Stanford para el montaje final, además de lo anterior, los alumnos debían cubrir las actividades académicas de los cursos y materias regulares del semestre en la UNAM.

2.3.4 Contrato final de los entregables al corporativo

Objetivos

- Estipular todas las características del sistema a entregar al socio corporativo.
- Cerrar las actividades relacionadas con la investigación y exploración de conceptos para concentrar los esfuerzos en la construcción de un prototipo final definido.

Descripción

Consiste en la redacción del contrato final entre el socio corporativo y el equipo, en el que se estipulan todas las condiciones y obligaciones que las contrapartes deberán cumplir al entregar el prototipo.

El ejercicio busca emular el acuerdo legal necesario para llevar a cabo un proyecto a nivel empresarial. Los clientes son los *liaisons* y el equipo es la compañía que se compromete a finalizar con éxito los entregables, de acuerdo a las especificaciones funcionales y temporales pactadas.

Redactar las características del prototipo final representó fijar los parámetros que marcarían sus características físicas y funcionales para priorizar las actividades y concentrar los esfuerzos de todo el equipo en la búsqueda de soluciones a problemas sumamente específicos. También implicó el aumento de la tensión entre los alumnos, tanto por la eliminación definitiva de propuestas particulares, como por el aumento exponencial en la cantidad de trabajo experimentado en las semanas previas.

En el contrato se estipuló que el prototipo a entregar debía estar montado sobre el coche recientemente suministrado por VW al equipo, un GTI.

2.3.5 X está terminado

Objetivo

- Mostrar una parte del producto final que sea definitiva y se encuentre estipulada en el contrato con el socio corporativo como un entregable.
- Asegurar la entrega puntual del prototipo.

Descripción

Teniendo en consideración el poco tiempo restante, “X terminado” busca formalizar y aterrizar el esfuerzo del equipo a un nivel físico, con la presentación a los maestros de componentes no triviales de hardware o software completamente terminados para su integración al prototipo final. Pueden ser desde un mecanismo, hasta el menú a emplear en un *display*.

2.3.6 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 contrato con el cliente, para emplearlo durante la presentación final en caso de que el prototipo detallado o alguna de sus partes fallen irreversiblemente durante los

procesos de acabado, limpieza, retoque, depuración y calibración que se pretenden encabezar durante las siguientes dos semanas.

El equipo tuvo un considerable retraso para la entrega del hardware, debido a la tardía definición de la dirección final. Además de esto la logística fue bastante compleja debido a que la manufactura de componentes fue realizada por terceros y ensamblada en México, pero faltaba enviarla por paquetería, añadiendo tiempo extra.

Mientras los componentes del sistema se fabricaban en serie en México, los estudiantes realizaron la segunda visita al campus de Stanford, donde se recibieron los componentes terminados para ensamblarse en el GTI.

Debido al poco tiempo disponible el equipo sólo pudo llevarse consigo unas pocas muestras de los componentes que se estaban fabricando. Estas muestras sirvieron para presentarse en la penúltima revisión de hardware y software. Los maestros de Stanford, aún nerviosos por la decisión tomada y los retrasos derivados de ella, se mostraron escépticos en cuanto a las fechas tentativas para la entrega final por lo que dieron un ultimátum que, de no cumplirse, dejaría a todo el equipo fuera del curso E310 y la presentación final.

Gracias al equipo de ensamblaje que trabajaba a la par en la UNAM, el resto de los componentes pudo ser enviado justo a tiempo para instalarse, probarse, depurarse y calibrarse en los últimos días.

2.3.7 Penúltimas especificaciones

Objetivos

- Hacer una revisión de las especificaciones y requerimientos de la documentación final.
- Iniciar los preparativos para la presentación final.

Descripción

Al tratarse de once proyectos distintos, los maestros no podían brindar apoyo inmediato a todos los equipos, además tenían que hacer las revisiones y entregar calificaciones parciales de distintas entregas; por lo que se sugirió redactar un borrador de las especificaciones que se incluirían en la documentación final para el cliente, una semana antes de la presentación final, en caso de que se deseara retroalimentación al respecto pues ésta sección había sido la peor evaluada durante el cuatrimestre de Invierno.

Durante esta semana también se elaboraron ensayos de las exposiciones finales para recibir comentarios tanto de maestros como de estudiantes inscritos al curso, ejercitar los puntos más difíciles y aplicar los cambios correspondientes.

2.3.8. Folletos finales para EXPE

Objetivo

- Resumir en un folleto el concepto general y las características del prototipo final para los visitantes y personas ajenas al curso.

Descripción

Los folletos debían ser concisos, sencillos, fáciles de entender y de una longitud máxima de cuatro cuartillas; ya que los visitantes a la EXPE 2008 *"The Stanford Design EXPErience 2008"* verían por primera vez los prototipos y querrían saber información sobre ellos. Si los estudiantes responsables no se encontraban disponibles, el folleto también podría servir como guía ilustrativa.

Además de la información técnica, los folletos debían ser atractivos, prácticos y originales; pues buscaban cultivar el área creativa de los estudiantes para la promoción de un producto terminado, como un pequeño ejercicio de marketing y publicidad gráfica.

2.3.9 Presentaciones finales de Primavera

Objetivo

- Presentación oficial de todos los proyectos del curso E310.

Descripción

El 5 de junio de 2008 se llevó a cabo la gran presentación de proyectos del curso E310. El resultado de más de 8 meses de trabajo, estudios, investigaciones, construcción de prototipos y viajes internacionales llevaron a crear una innovación

valiosa que fue compartida por todos en esta presentación. Desde las 8:00 de la mañana se podía encontrar a los equipos preparando los últimos detalles y conviviendo con algunos maestros y visitantes en los pasillos aledaños al Auditorio Terman. A partir de las 9:00 de la mañana se iniciaron las presentaciones. Cada equipo mostró en sólo 15 ó 20 minutos las novedades y características de su producto, al mismo tiempo que se trabajaba en los preparativos para la feria de Diseño EXPE, que se llevaría a cabo inmediatamente después.

2.3.10 Revisión final del hardware durante la Feria de Diseño EXPE

Objetivo

- Divulgación de los resultados de la experiencia de diseño en los cursos E310, ME317, ME113, ME325 y ME318 a personas ajenas a los proyectos (profesores de otras asignaturas y universidades, liaisons, 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 E310. En las áreas comunes del complejo de edificios de ingeniería *Terman* se instalaron mamparas, pequeñas carpas, toldos, tripiés, pantallas, mesas y equipo multimedia para exhibir las innovaciones.

Los visitantes platicaban y preguntaban toda clase de cuestiones relacionadas con los proyectos directamente a los diseñadores y creadores de los mismos. Los *liaisons* acudieron también para apreciar el logro que los estudiantes completaron gracias al apoyo de sus empresas.

Se tuvo algunas dificultades con la ubicación del prototipo por razones de iluminación por lo que requería un área especial para su exhibición. Debido a lo anterior el auto fue acomodado en una zona céntrica, elevada y bajo la sombra de una estructura de edificios, permitiendo el paso libre y cómodo a los visitantes mientras se mantuvo cerca de los demás expositores.

La reacción entusiasta y positiva del público al interactuar con el prototipo instalado en el GTI provocó una gran satisfacción en los integrantes del equipo. Fueron las expresiones de asombro de la gente que probaba el sistema lo que en cierta medida sirvió de pago por las largas horas de trabajo y estrés.

Como anécdota adicional, se puede mencionar que una de las características que hicieron muy atractivo el prototipo de VW, fue el distintivo sonido del motor a altas revoluciones que era causado por una de las distintas demostraciones del sistema, así como la propuesta de compra del prototipo, por uno de los espectadores.

3.3.11. 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 *benchmarking*, estudios de mercado, pasando por los diferentes prototipos realizados, hasta llegar a la dirección final de diseño, sus especificaciones físicas y funcionales.

A pesar de que el proceso de documentación es una constante a lo largo del curso, esto no implica que al final del proyecto simplemente se entregue todo lo

que se ha escrito en torno a él. Fueron necesarias muchas horas para depurar, actualizar, ordenar, completar y revisar cada una de las entradas realizadas (de acuerdo a la estructura presentada en el capítulo cinco de esta tesis), así como preparar el documento para su impresión y empastado. Es importante dar prioridad a la edición del documento, ya que constituye la bitácora completa de todo lo que fue realizado por el equipo y la voz que defenderá al proyecto en los años venideros.

2.3.12 Entrega de hardware a corporativos, disposición del material y último SUDS

Objetivos

- Entrega de prototipos y documentación a las empresas patrocinadoras.
- Celebración del último SUDS con maestros, *staff* y alumnos.
- Clausura oficial del curso E310-2007/2008.

Descripción

Culminada la feria EXPE, los productos innovadores fueron entregados a las corporaciones junto con la documentación final. El *loft* era un desastre producto de intensivas semanas de arduo trabajo e intercambio de experiencias entre más de diez equipos en una misma sala. Muchos desechos, basura, materiales y herramientas debían ser tirados, guardados u ordenados en su lugar original. La limpieza del lugar no fue tarea fácil, especialmente por los desvelos que la mayoría de los alumnos vivieron las noches anteriores.

El último SUDS se llevó a cabo en una pequeña área boscosa frente a los edificios del complejo de ingeniería Terman. Se instalaron mesas, se dispusieron comida y bebida. Todos los alumnos, finalmente relajados y libres de estrés, compartieron sus anécdotas al igual que los alimentos. Las mesas ya no estaban

divididas por equipos o por países; en cambio se apreciaba una gran comunidad estudiantil, integrada, amigable, contenta y nostálgica por ver finalizado un reto tan especial. Larry Leifer y Mark Cutkosky ofrecieron un pequeño discurso en el cual mencionaron sentirse orgullosos por el trabajo de los alumnos y los resultados presentados, para finalmente clausurar E310 con un gran aplauso.

3. Tecnologías para el soporte del trabajo en equipo

Para mantener un contacto periódico y efectivo entre los integrantes de los equipos, es necesario hacer uso de todas las herramientas de comunicación disponibles.

A continuación se detallan las ventajas y desventajas de las tecnologías de comunicación más importantes para el curso.

3.1 Wiki

Es una página de internet que permite que cualquier visitante modifique su contenido sin que medie moderación alguna.

En el caso de la Wiki empleada en E310 los únicos que podían acceder y editarla eran los participantes en el curso.

Ventajas:

- Cuenta con una parte pública, en la que se menciona el proyecto sin profundizar demasiado, manteniendo la confidencialidad del curso.
- Indica qué parte se modificó y por quién.
- Se pueden almacenar imágenes, diagramas, fotografías para facilitar el entendimiento de concepto.
- Almacena los avances del equipo en la documentación.
- Los participantes cuentan con acceso a lo que se desarrollo en los cursos anteriores.

Desventajas:

- Si dos personas tratan de modificar la Wiki al mismo tiempo, uno de los cambios no se graba.
- El lenguaje utilizado para hacer modificaciones no es intuitivo.

3.2 Teamspot

Herramienta que se introdujo por primera vez en este periodo (2007-2008) en versión beta por el fabricante.

Ventajas:

- Permite compartir archivos y editar documentos en línea desde cualquier ubicación geográfica que cuente con una conexión a internet por medio de un escritorio compartido.

Desventajas:

- Al tratarse de una versión beta, todavía cuenta con algunos inconvenientes de instalación y arranque de programa.
- Es importante contar con una pantalla de gran tamaño y una muy buena conexión a internet.

3.3 Videoconferencia

En algunos casos es importante poder tener contacto visual con las personas o prototipos para explicar fácil y rápidamente conceptos apoyados en material audiovisual.

Ventajas:

- Permite expresar las ideas claramente.
- Se pueden expresar diversas ideas, reforzadas por medio de bocetos o diagramas rápidos.
- Ambas partes están presentes y es lo más cercano a estar frente a frente.

Desventajas:

- Puede llegar a haber problemas con la conexión, por lo que se puede perder el contacto momentáneamente.
- A veces es difícil coordinar los diferentes horarios.
- Se debe preparar una minuta de la reunión con los temas a ser tratados y el tiempo destinado a cada uno de ellos para evitar su prolongación innecesaria.

Se debe destacar que el Centro de Docencia de la Facultad de Ingeniería facilitó las instalaciones para realizar la mayor parte de las juntas de Invierno en su Aula de Videoconferencias; aunque es necesario solicitar su uso con una semana de antelación.

3.4 Correo electrónico

La mayoría de los avisos importantes o aquellos relacionados con la parte administrativa del curso eran manejados por este medio.

Ventajas:

- Permite mantener contacto con los representantes de la empresa y con los profesores.
- Es un medio conocido por la mayoría de las personas.
- Resulta familiar y fácil de usar.
- No es necesario conciliar horarios al no requerir que ambas personas estén conectadas simultáneamente.

Desventajas:

- La respuesta puede tardar horas o incluso días en llegar.
- Un correo puede ser ignorado voluntaria o involuntariamente debido a la gran cantidad de correos electrónicos que se manejan en el curso.

- Algunos filtros de correo electrónico no deseado desvían correos importantes a la carpeta de basura.

Consejo:

- Es recomendable abrir una cuenta que vaya a ser exclusivamente para el curso, debido a que diariamente se reciben cantidades considerables de correos y de esta manera se puede tener una mejor organización de ellos.

3.5 Mensajería instantánea

Software compatible con los sistemas operativos actuales más comunes; permite intercambiar mensajes con otros usuarios de la red, enviar archivos, realizar conversaciones de voz e incluso video.

Ventajas:

- No requiere de un equipo sofisticado.
- Para cosas muy concretas suele ser muy efectiva.
- Permite atender otros asuntos relativos al tema al mismo tiempo.
- La junta queda archivada en el equipo de todos los involucrados.

Desventajas:

- Puede haber desorden en las ideas, ya que no hay un moderador.
- En ocasiones se presta a malos entendidos.
- El tiempo de uso se extiende demasiado.

3.6 Servicios de correo y paquetería exprés

Empresas privadas prestan sus servicios para llevar documentos y/o paquetes urgentes a un destino específico. Los paquetes se llevan y recogen en un domicilio o en la sucursal más cercana. El costo del servicio varía dependiendo de la distancia y las dimensiones del paquete a enviar.

Ventajas:

- Permite mandar prototipos para que los miembros del equipo localizados en Stanford puedan realizar las entregas utilizando componentes realizados por sus socios globales, agilizando así el desarrollo de prototipos.

Desventajas:

- Toma un mínimo de uno a tres días en llegar a su destino, dependiendo del tipo de paquete.
- El costo depende del volumen, el peso, la distancia y el tiempo de entrega.
- Incertidumbre respecto a la fecha de entrega.
- Requiere de un diseño de embalaje.
- Se pueden presentar problemas aduanales.

3.7 Presentaciones electrónicas

Típicamente el software utilizado para esto incluye tres funciones principales: un editor que permite insertar un texto y darle formato, un método para insertar y manipular imágenes y gráficos y un sistema para mostrar el contenido en forma continua. La transición de una diapositiva a otra puede ser animada de varias formas, y también se puede animar la aparición de los elementos individuales en cada diapositiva.

Ventajas:

- Forma didáctica de exposición oral.
- Ayuda al expositor a mostrar ejemplos y conceptualizar ideas.
- Se puede compartir el archivo y realizar la exposición en diferentes localidades.
- En algunos casos puede suplir la presencia de una persona(s) mediante la integración de un archivo de audio y/o video.

Desventajas:

- De no ser claras pueden confundir o distraer al público.
- Los recursos gráficos y el texto excesivo pueden desviar la atención de lo que está exponiendo el ponente.

3.8 Videos

Ventajas:

- Captura el trabajo del equipo.
- Después de una presentación física, es la mejor opción para mostrar y vender un producto.
- Se preserva el prototipo para la posteridad.

Desventajas:

- El tiempo de exposición debe ser reducido para poder ser compartido electrónicamente.
- La inversión de tiempo en su producción es significativa.
- Difícilmente se puede mandar por mensajería instantánea, correo electrónico o subirse a la red.

3.9 Teléfono

Ventajas

- Elimina el requerimiento de una computadora con acceso a internet.
- Permite una conexión que resulta más confiable que la conexión de voz por internet.
- Se pude presionar a los proveedores para producir resultados.

Desventajas

- Se requiere de un arreglo adecuado de micrófonos y bocinas para permitir la intervención de varias personas en la conversación, sin causar interferencia.

4. Tecnologías para la construcción de los prototipos

Para poder construir prototipos, así como para la realización del producto final es indispensable el uso de varias tecnologías, dentro de las cuales se pueden encontrar tecnologías de manufactura, software y hardware.
A continuación se expone una lista de tecnologías utilizadas por ambos equipos que resultaron de utilidad tanto para el desarrollo de algunas de las etapas del proyecto como para el prototipo final.

4.1 Herramientas de manufactura

Corte por láser

Método para cortar materiales utilizando un láser. Trabaja con un dibujo elaborado con técnicas CAD que se ingresa a una computadora conectada a la máquina de corte por láser.

Prototipado rápido

Para la elaboración de los prototipos entregados a lo largo del proyecto se emplearon diversas tecnologías de prototipado rápido. Estas tecnologías permiten la rápida y precisa elaboración de prototipos diseñados mediante CAD. A continuación se describen las diferentes técnicas de prototipado rápido que se emplearon.

Modelado de deposición fundida (FDM)

En este proceso se utiliza un cabezal que se puede desplazar en *x*, *y* y *z*. El cabezal comienza a depositar plástico ABS fundido, construyendo de esta forma la pieza capa por capa.

Esta tecnología es más barata y rápida que la estereolitografía, y se empleó para construir todas las piezas pequeñas que fueron necesarias.

Impresión 3D

En este proceso, capas de un polvo fino son rociadas por el cabezal de impresión selectivamente con un adhesivo líquido formando la sección transversal de la pieza que se desea construir. De esta forma se construye la pieza capa por capa.

Este método es el más rápido de todos y el acabado es bueno, sin embargo las piezas son frágiles, por lo que no se pueden someter a cargas. Debido a lo anterior se utilizó impresión 3D para piezas que sólo se utilizaron para mostrar sus cualidades estéticas, pero que no fueron funcionales.

Estereolitografía (SLA)

Es un proceso de fabricación aditiva en la que se utiliza una tina llena con una resina de un fotopolímero sensible a la luz ultravioleta. Un láser ultravioleta comienza a recorrer la superficie de la resina, solidificándola, siguiendo la sección transversal de la pieza que se desea construir; por lo que la construcción es por capas.

Las ventajas de este método son que el acabado y la resolución son superiores a los obtenidos con las técnicas anteriores. Además, se pueden construir piezas de gran tamaño.

4.2 Materiales

Trovicel

Polímero que se puede conseguir en diferentes colores y que es fácil de trabajar. Permite crear piezas requeridas para ensambles de manera rápida y fácil. Es sencillo de cortar utilizando una cortadora láser y se puede agujerar usando un taladro convencional. Por lo general se compra en placas.

Aluminio

Metal dúctil, suave, maleable y de poca densidad útil para construir estructuras de soporte livianas.

Debido a sus propiedades, el aluminio es fácil de trabajar lo que permite construir una estructura de este metal con herramientas básicas y en corto tiempo.

4.3 Software

Diseño asistido por computadora (CAD)

Las piezas elaboradas se diseñaron empleando paquetes de software de CAD, entre los que destacan Solid Edge, SolidWorks, AutoCAD y Rhino. Modelar cada pieza utilizando estas herramientas permitió visualizar y analizar con mucha precisión su geometría así como las interacciones que tendría con otras piezas antes de ser construida. Adicionalmente, al diseñar utilizando tecnologías CAD se pudieron construir las piezas con técnicas de manufactura asistida por computadora (CAM), específicamente con prototipado rápido.

Visión por computadora

Durante el desarrollo del proyecto se analizaron diferentes tecnologías de visión por computadora entre las que figuraron OpenCV, Eyepatch, una aplicación propia elaborada en Python y reacTIVision, siendo esta última la que finalmente se utilizó.

ReacTIVision es una arquitectura de visión por computadora que puede dar seguimiento de símbolos especiales. La información que ofrece de los símbolos especiales vistos por la computadora es su posición, orientación, velocidad y aceleración. Es software libre, lo que significa que el código fuente está disponible para poder ser estudiado o modificado. Además se ofrecen ejemplos escritos en varios lenguajes computacionales para comenzar el desarrollo de una nueva aplicación utilizando esta tecnología.

Comparado con las otras opciones de visión por computadora analizadas, reacTIVision resultó perfecto para efectos del prototipo final entregado debido a la facilidad y rapidez con la que se puede integrar esta tecnología.

C++

Para realizar el programa que interpretaría los eventos registrados por reacTIVision y tomaría las decisiones pertinentes se utilizó el lenguaje de programación C++. Se seleccionó debido a que es poderoso, portable a diferentes plataformas, rápido y se puede acoplar fácilmente a reacTIVision.

C sharp o C#

Un lenguaje de programación de propósito general orientado a objetos. Es muy flexible por dos razones:

1. Ofrece la ventaja de que se puede comunicar fácilmente con otros lenguajes

de programación.

2. La interacción con dispositivos de hardware es relativamente sencilla.

Este lenguaje de programación fue utilizado por el equipo de VW para procesar video proveniente de una cámara para posteriormente ser transmitido a un display externo.

Simple DirectMedia Layer (SDL)

SDL es una librería que proporciona funciones para realizar operaciones gráficas en 2D y para gestionar eventos e interrupciones de la computadora. Se utiliza ampliamente en el desarrollo de videojuegos. Para el proyecto de GM se utilizó para elaborar una interfaz gráfica que proporcionaría información acerca del estado del sistema al usuario mediante una pantalla. Se seleccionó esta librería debido a que se puede utilizar con el lenguaje de programación C++, es portable a diversas plataformas y permite la elaboración de aplicaciones gráficas muy potentes. Además se rige con una licencia libre, por lo que se puede utilizar sin restricciones ni necesidad de pagar regalías.

Max5

Software para edición de video y audio que permite conexión a un sistema basado en DMX por medio de una interfase USB-DMX. Este software desarrollado por *Cycling* es de alta utilidad para hacer prototipos que involucren manipular datos provenientes de una cámara USB de manera rápida y sencilla. Para aplicaciones más complejas el MAX 5 no es una buena opción ya que requiere muchos recursos de procesamiento y es un poco rígido en cuanto a las funciones que se pueden realizar en él. Además, no es software libre por lo que hay que pagar los derechos de licencia.

DMX – 512

Protocolo de comunicación de 8 bits con 512 canales frecuentemente utilizado para iluminación. Ofrece una plataforma robusta ideal para aplicaciones donde se necesite conectar dispositivos en cadena que requieran de un constante flujo de información. Además, el DMX posee una velocidad del doble de la comunicación serial (250,000 contra 115,000 bits por segundo).

Protools

Programa para grabar, editar y procesar señales de audio.

4.4 Hardware

Microcontroladores (PIC)

Un circuito integrado que contiene las tres unidades fundamentales de una computadora (CPU, memoria y unidad de E/S) lo que le permite realizar operaciones matemáticas y el control de entradas y salidas a un sistema.

Son de utilidad cuando se requiere procesar información sin necesidad de una computadora (de escritorio o portátil) o como medio de comunicación a la misma.

Inversor

Un convertidor que permite obtener una señal de corriente alterna de 110 V a partir de los 12 V de corriente directa proporcionados por la batería de un automóvil. Los hay de diferentes capacidades medidas en watts.

Fuente de poder de computadora

Las fuentes de computadora (desktop) son de gran utilidad cuando se requiere obtener voltajes de 12 V de manera fácil, segura y confiable. Estas fuentes son útiles para alimentar circuitos electrónicos de alta demanda de corriente.

Luz ultravioleta

Radiación electromagnética de longitud más corta que la del color violeta.
La luz UV es útil para resaltar objetos en ambientes de poca luminosidad (fluorescencia) ya que con una sola fuente de luz se pueden resaltar varios objetos sin necesidad de iluminar individualmente cada uno de ellos. Esto elimina el cableado necesario y las fuentes individuales de luz, reduciendo el costo.

RGB LED

Diodos emisores de luz de tres colores (rojo, azul y verde).

Los RGB LEDs son fuentes de luz brillantes, de relativamente poco consumo de energía y alta duración. Es una tecnología fácil de conseguir y su naturaleza tricolor ofrece una gran gama de colores y de fácil control.

La desventaja de estos diodos es que no pueden emitir colores mate tales como café, verde oscuro y tonalidades de gris. Hay que tomar en cuenta que la luz emitida por estos dispositivos es puntual, por lo que es recomendable utilizar un difusor.

Placas fenólicas perforadas

Ofrecen una solución rápida y económica cuando se necesita construir un circuito de prueba y se requiere que sea más durable que un circuito montado en una

protoboard. De igual manera, un circuito construido en fenólica es menos susceptible a falsos contactos que pueden causar comportamiento errático del circuito.

Proyectores

Proyecta una señal de video (proveniente de una fuente) sobre una superficie.

Esta tecnología es de gran utilidad cuando se necesita simular pantallas de manera rápida. Debido al tamaño de los proyectores es fácil ubicarlos y moverlos de lugar.

Interface Enttec USB-DMX

Una interface de hardware que permite conectar un sistema basado en DMX a una computadora por medio del puerto USB. Ofreciendo una manera de controlar los dispositivos instalados en la red DMX.

Circuitos impresos (PCB)

Medio para conectar eléctricamente y sostener mecánicamente dispositivos electrónicos.

Ofrecen un montaje robusto, consistente, de alta confiabilidad y un bajo costo. Es imperativo considerar las PCB cuando se requiere producir un circuito en grandes cantidades. A mayor número de piezas, menor el precio por pieza.

Se recomienda revisar minuciosamente el esquemático del circuito que vaya a ser utilizado para la manufactura de las PCBs ya que cualquier error causará que las tarjetas sean inservibles.

Cable Ethernet (Cat5)

Tipo de cable con cuatro pares trenzados de hilos utilizado comúnmente para aplicaciones de computación.

Los ocho hilos que componen un cable de Ethernet se pueden acomodar como se requiera para posteriormente colocarles las puntas (j45 macho) utilizando una pinza ponchadora.

Lo anterior otorga una gran versatilidad al cable Cat5 ya que se puede mandar a través de él información, energía o una combinación de ambas según sea requerido.

La configuración macho-hembra del cable Ethernet permite que sean sencillas su conexión y desconexión.

Optoacopladores

Un dispositivo que se utiliza para aislar señales previniendo que esta se degrade. Es imperativo utilizar optoacopladores cuando se implementa un sistema basado en DMX que cuente con más de 32 dispositivos conectados.

Computadoras portátiles

Debido a su portabilidad y su amplia capacidad de procesamiento son excelentes unidades de control para sistemas de hardware.

Micrófonos Profesionales

Micrófonos que requieren de alimentación *(phantom power)* útiles para grabar sonidos con alta fidelidad.

Mbox

Interface USB con entradas para micrófono y salida de audio estéreo.

Filtro protector de viento (pop filter)

Dispositivo para prevenir ruidos derivados del viento golpeando el diafragma del micrófono.

5. Documentación

A continuación se detalla la estructura de los documentos presentados después de la construcción de las bicicletas de papel y al final de cada uno de los cuatrimestres descritos en el capítulo dos.

Los documentos finales representan la síntesis de todo el conocimiento adquirido por el equipo en torno a la experiencia de diseño, su legado a futuros participantes del curso E310 y el instrumento del socio corporativo para emprender el proceso de registro de una patente sobre el diseño final; por lo que se debe entender que su contenido se considera confidencial y se declara como tal en el *Apéndice B* de la presente tesis.

En el *Apéndice A* puede consultarse la documentación de la bicicleta de papel para complementar las descripciones siguientes con un ejemplo específico de su implementación en uno de los problemas de diseño abordados en el curso.

5.1 Portada

Es indispensable que incluya los nombres de los integrantes del equipo, su institución de procedencia, el nombre del proyecto, el socio corporativo y el periodo correspondiente a la presentación del documento. Pueden incluirse los nombres de los instructores universitarios y los representantes del socio corporativo asignados al proyecto.

5.2 Resumen Ejecutivo

Se debe asumir que ésta es la única sección del documento que será leída por el responsable final del proyecto en la compañía que decidió financiarlo. Es por esto que deben sintetizarse en forma atractiva y clara los resultados obtenidos y los

comentarios considerados de vital importancia para futuras iteraciones sobre el diseño.

Es apropiado incluir una breve descripción del problema y el contexto en que se fundamentó el desarrollo del proyecto; la filosofía o visión empleada por el equipo en su trabajo durante el periodo e imágenes del diseño final donde se resalten su modo de uso y partes constituyentes con etiquetas referidas al texto. Estas imágenes pueden emplearse en secciones posteriores de la documentación para ser descritas con mayor detalle.

Es deseable que todos los miembros del equipo redacten esta sección al finalizar el resto del documento para tener una visión general de su contenido y lo que se desea resaltar al ejecutivo.

5.2.1 Glosario

Se definen brevemente todos aquellos términos -no obvios- relacionados con el diseño que fueron inventados por el equipo o cuya comprensión resulta de vital importancia para entender su configuración, funcionamiento y modo de empleo.

Es imprescindible que esta sección se incluya en el mismo apartado que el resumen ejecutivo para no dar lugar a interpretaciones erróneas de las ideas expuestas.

5.3 Tabla de Contenidos

Además de incluir el índice con cada una de las secciones y sub-secciones del documento, se añade una lista de figuras con la descripción presentada al pie de cada una de ellas en el cuerpo del texto y el número de página en que se encuentran, considerando a la portada como la página número uno.

La tabla de contenidos no participa en la cuenta de secciones o capítulos del documento.

5.4 Contexto

5.4.1 Declaración de las necesidades

Se hacen explícitas cuáles son las necesidades que se desea satisfacer con el producto desarrollado y justificar por qué resultan importantes para la compañía que respalda el proyecto. Asimismo se definen los criterios sobre los que se fue construyendo el trabajo del equipo durante el transcurso del proyecto.

5.4.2 Declaración del problema

Se declara el problema que tratará de resolverse como consecuencia del análisis de las necesidades descritas por el cliente y las detectadas por el equipo a lo largo de su trabajo. Se espera que esta sección sea dinámica a lo largo de los tres cuatrimestres y que aumente su nivel de detalle.

5.5 El Equipo de Diseño

Se presenta una semblanza con fotografía de cada uno de los integrantes del equipo, incluyendo su grado académico, correo electrónico, áreas de especialización, habilidades técnicas e intereses fuera del ámbito profesional. Además, se puede incluir información sobre las pruebas cognitivas aplicadas a los integrantes del equipo para su consolidación; tal y como los índices Wilde/Myers-Briggs determinados en el cuatrimestre de Otoño.

La sección finaliza con los datos básicos para contactar a los instructores universitarios y los representantes del socio corporativo asignados al proyecto.

5.6 Requerimientos de Diseño

Esta es la sección a la que se otorgó mayor peso en la calificación del contenido del documento, pues consiste en la definición de los criterios con los que se evaluará de forma concreta y detallada el diseño final. Para este propósito debe tenerse en cuenta que todas las especificaciones de un producto son consideradas dentro de una misma familia de soluciones que pueden resolver un mismo problema de acuerdo a ciertos requerimientos. Como ejemplo considérese el reto de cruzar un río.

Para llegar a la otra orilla existen cientos de familias de soluciones entre las que tenemos: utilizar algún transporte, construir un puente, o incluso secar el río. Los productos dentro de cada una de estas familias se distinguen por medio de sus especificaciones; tan sólo hay que tener en mente las diferencias entre un barco y un avión aunque ambos sean transportes.

La posibilidad de secar el río quedaría eliminada para resolver el problema si se considera el requerimiento de reducir el impacto ambiental.

Se considera que un requerimiento no está apropiadamente definido si no es posible medirlo para su materialización en especificaciones.

Con el propósito de fomentar el pensamiento concreto en torno a los requerimientos que guiaron la evolución de los proyectos, se propuso la distinción de requerimientos, restricciones, suposiciones y oportunidades.

Es indispensable que esta sección sea elaborada con todos los integrantes del equipo después de una lluvia de ideas para fomentar la consideración de todas las perspectivas del problema y unificar criterios para la búsqueda de su solución. Se espera que aumente su complejidad a medida que avance el curso y se incremente la sensibilidad sobre aspectos particulares en la solución del problema.

5.6.1 Requerimientos Funcionales

Acciones que deben ser ejecutadas por el diseño en forma intrínseca (interna) o en relación (externa) con otro sistema o el usuario. Es útil distinguir entre las que resultan primordiales para el diseño y aquellas que son secundarias, con el propósito de distribuir apropiadamente las tareas entre el equipo; pues se espera que los requerimientos primordiales sean respaldados por la construcción de prototipos de función crítica.

Restricciones Funcionales

Características que deben ser respetadas en el funcionamiento del diseño de acuerdo al apego con una norma o condiciones impuestas por el cliente.

Suposiciones Funcionales

Se deben documentar aquellas premisas que son consideras incuestionables para el funcionamiento del diseño por parte del equipo, no requieren de una investigación para ser verificadas y marcan la forma adecuada de interacción con los usuarios.

Oportunidades Funcionales

Son las características adicionales a los requerimientos funcionales que pueden marcar la diferencia entre un diseño innovador y uno simplemente satisfactorio. Es imprescindible que se detallen sobre todo si no es posible implementarlos en el proyecto actual, pero resultaría conveniente considerarlos en futuras iteraciones del diseño.

5.6.2 Requerimientos Físicos

Es todo aquello que debe incluir el diseño como parte de su estructura interna y respecto a los elementos externos asociados con su contexto y usuarios. En esta clasificación quedan englobados el tamaño, la forma, configuración y los materiales que serán empleados en el producto.

Restricciones Físicas

Características físicas que deben manifestarse en el producto de acuerdo a las condiciones impuestas por una norma, las fuentes de energía disponibles, su transporte, embalaje, costos, el contexto espacial en que funcionará el producto, la forma en la que interactuarán los usuarios, entre otras.

Suposiciones Físicas

Delimitan las condiciones físicas (de temperatura, presión, cargas, etc.) para las que el equipo garantiza el funcionamiento adecuado de su diseño.

Oportunidades Físicas

Atributos físicos que podrían aportar una ventaja adicional a los requerimientos primarios definidos por el equipo.

Nota sobre los requerimientos

Es común que existan características de un producto que involucran tanto requerimientos físicos como funcionales. En este caso puede omitirse su clasificación y simplemente detallar los factores de diseño que tienen implícitos. La idea central de la sección es trazar una imagen detallada del diseño que constituiría la solución ideal al problema declarado.

5.7 Desarrollo del Diseño

Se describen todas las actividades elaboradas para llevar al diseño a su estado actual, haciendo énfasis en los resultados de cada una de ellas para facilitar su réplica por parte de otro equipo. Resulta útil para entender la evolución del producto y apreciar cómo podría haber cambiado su configuración bajo circunstancias distintas, por lo que es importante señalar las ideas que fueron abandonadas y las razones que respaldaron dicha decisión.

Entre los recursos empleados para facilitar la descripción de las actividades y su seguimiento destacan líneas de tiempo, resultados de encuestas y experimentos, matrices de decisión, votaciones entre los miembros del equipo y fotografías.

5.8 Descripción del Diseño

Esta sección debe presentar una descripción concisa del estado actual del diseño, aclarando la forma en la que las especificaciones satisfacen o no los requerimientos planteados.

Después de presentar una descripción general del diseño y su modo de empleo, se optó por la subdivisión de esta sección en el análisis de los sistemas mecánicos, electrónicos y computacionales; describiendo el funcionamiento de cada uno de ellos y su relación mediante el auxilio de diagramas de bloques. Además se desglosaron los componentes principales de los sistemas en tablas con su modelo tridimensional desarrollado en software CAD, detallando sus especificaciones principales y el requerimiento que motivó su introducción al diseño; para a continuación presentar las instrucciones de ensamble.

Se cerró la sección con una serie de recomendaciones para futuras iteraciones sobre el diseño que se consideró podrían mejorar la aproximación a las características planteadas en los requerimientos.

5.9 Planeación y administración del Proyecto

Los instrumentos primordiales para ilustrar la planeación del proyecto fueron dos diagramas de Gantt. Uno de ellos elaborado al inicio del cuatrimestre mostrando las tareas y responsabilidades de cada uno de los integrantes del equipo y otro con el registro de la forma en la que en realidad fue cumpliéndose con cada una de ellas. De esta manera es posible observar qué actividades fueron eliminadas por el atraso de otras de mayor importancia, cuáles tuvieron que ser truncadas por eventos inesperados al inicio del periodo y aquellas que definitivamente no pudieron llegar a culminarse. Además de estos diagramas se incluyeron en la sección un apartado de *Entregables* donde se detallaron todos los elementos que fueron entregados al cliente en apego al contrato y la fecha estipulada para ello; la relación de costos que justifica el *Presupuesto* destinado al Proyecto y finalmente la presentación de una *Reflexión del proceso* por parte de cada uno de los integrantes del equipo.

5.10 Referencias

Además de todas las fuentes bibliográficas y páginas de Internet consultadas, se agregan dos apartados titulados *Recursos Humanos* y *Proveedores*.

En *Recursos Humanos* se incluye la información básica de personas contratadas por el equipo en calidad de asesores; mientras que *Proveedores* debe describir los lugares que resultaron fundamentales para adquirir componentes o realizar un servicio específico. Se debe destacar que la consulta de estas secciones en los documentos de diseño de cursos pasados (disponibles en el *loft* de Stanford y en el servidor del curso) resultó de gran utilidad para los miembros globales, en tanto que facilitó su contextualización en Palo Alto y brindó un acercamiento al ritmo de trabajo en los Estados Unidos de América.

5.11 Apéndices

En este apartado deben incluirse análisis de resultados, encuestas, bocetos, código fuente, presentaciones, esquemas electrónicos, planos, transcripciones de juntas realizadas por los miembros del equipo, contratos y cualquier otro documento referido a la síntesis del diseño, considerado demasiado largo como para ser incluido en el cuerpo del texto. Es importante que en las secciones anteriores se refiera la consulta de todos los contenidos del apéndice.

No existe ninguna restricción en el formato en que deben presentarse los documentos de diseño, siempre y cuando se disponga de una copia electrónica descargada al servidor del curso para su distribución entre los maestros y alumnos de E310.

Conclusiones

El desarrollo tecnológico se impulsa cuando las instituciones generadoras de conocimiento y recursos humanos, como las universidades trabajan en colaboración con las entidades productivas, como las empresas. Si las universidades trabajan aisladas de las empresas es muy difícil que el conocimiento que crean se materialice en productos de valor agregado que fomenten el desarrollo económico y social de su entorno. Los proyectos como el abordado en esta tesis cumplen esta función de vinculación y preparan recursos humanos capaces de innovar y crear soluciones viables a problemas de diversa índole. Si las empresas colaboran con las universidades y sus estudiantes, se construye un entorno de concepción y materialización de ideas cuyos beneficios redituarán en el fortalecimiento de todos los actores involucrados.

Además, al trabajar en colaboración universidades de diferentes países, se fomenta el intercambio cultural y de ideas, lo que enriquece aún más el proceso de diseño de nuevos productos y amplía su utilidad en diferentes realidades sociales.

La participación en este proyecto nos sitúa en un contexto más apegado al entorno laboral en el mundo globalizado contemporáneo, en donde es frecuente encontrar equipos de desarrollo integrados por personas de diferentes países y realidades que trabajan en conjunto para solucionar problemas comunes.

De nuestra experiencia en E310 encontramos que los comunes denominadores de un diseño innovador exitoso en un ambiente global son la flexibilidad y la tolerancia. Flexibilidad para disponer de infraestructura en cualquier horario, flexibilidad en la disponibilidad de los integrantes del equipo. Tolerancia hacia las decisiones, ideas, opiniones, perspectivas culturales y metodología de trabajo de todos los involucrados.

Una buena administración de recursos financieros, humanos y de tiempo es clave para garantizar que se cumplan las metas establecidas a lo largo de un proyecto incluso si se presentan imprevistos.

Finalmente, la herramienta fundamental, sobre cualquier conocimiento técnico, para la realización de un proyecto global es la capacidad de comunicarse clara y eficazmente de preferencia en varios idiomas. Debido al contexto actual esto implica tener un nivel avanzado del idioma inglés.

Anexo A: Documentación de la bicicleta de cartón

Paper Bicycle 07 - 08

Engineering 310

Paper Bicycle Design Review

UNAM MEXICO
Version: October 19, 2007
Dept. of Mechanical Engineering
Stanford University
Stanford, CA 94305-4021
© 2007

Paper Bicycles 07-08

Sexy Design. Team 11

19th of October of 2007

UNAM

STUDENTS

Tomas Álvarez
Gladis Arroyo
Martin García
Marco Lobato

COACHES

Luis Equihua
Alberto Vega
Alejandro Ramírez

Index

1.1 Executive Summary	p.1
1.2 Glossary	p.2
2. **Context**	p.3
2.1 The assignment	p.3
2.2 The Team	p.4
3. **Design Requirements**	p.5
3.1 Functional Requirements	p.5
3.1 Functional Requirements	p.5
3.1.1 Functional Constrains	p.8
3.1.2 Functional Assumptions	p.8
3.1.3 Functional Opportunities	p.9
3.2 Physical Requirements	p.10
3.2.1 Physical Requirements	p.10
3.2.2 Physical Constrains	p.10
3.2.3 Physical Assumptions	p.10
3.2.4 Physical Opportunities	p.11
3.3 Development Constrains	p.11
4. **Design Development**	p.12
4.1 Design Process Tools	p.12
4.2 Vision	p.12
4.3 Overview	p.12
4.4 Design Considerations	p.16
4.5 Human Factors	p.20
4.6 Human-Product-Environment System	p.24
5. **Design Description**	p.26
6. **Project Management**	p.31
6.1 Retrospective	p.32

1.1 Executive Summary

In this writing you will find the development of a project that consists of learning different principles of design to build a final product and at the same time to interact with a team and learn the dynamics of cooperation and integration.
The challenge is to design and build a transport composed primarily of paper products.
It must be robust enough to carry one person and light enough to be propelled and guided by a second person. The vehicle has to be designed to be used in a tournament of a polo based game with some added features, such as 4 changing goals and a radio controlled interface for communication with participants outside the field.
Furthermore, the vehicle has to be easy to disassemble for shipping, and it has to meet the size specifications given by the client.

The design philosophy being emphasized involves a correct and convenient player's posture, simplicity of construction, importance of durability and an aesthetic and harmonious look and style.
Extensive field testing, team brainstorming, and long hours of improvements in design and manufacturing lead to a final cardboard bike which shows an enormous amount of insight and simplicity, ready to assemble and easy to use. Fitted for different sizes and weights of different players, the bike has an exceptional adaptability as well as keeping comfort and security.

1

1.2 Glossary

PB: Paper Bike

RC guy: The member of the team that conveys information to the players in the field by means of the RC.

Non cognitive: Perceptual factors

UNAM: Universidad autónoma de México

GCE: General Certificate of Education
IGCSE: International General Certificate of Secondary Education

Field of Action: The area in front and around the rider where the former is able to reach and handle the ball with the mallet.

Bicolour LEDs: LEDs that can emit two or more different colours depending on the terminals being energized.

2. Context

A few weeks ago, at the beginning of the current semester, students from the Faculty of Engineering and the Faculty of Architecture of the UNAM were invited to participate in a global project coordinated by Stanford University.
The first main assignment consisted of designing and building a paper bicycle. The main objectives of this challenge were:

- To apply the design concepts and philosophies of each member of the team in order to assimilate everyone's ideas and come up with the solution to a real life problem. This includes all designing process and the building of a fully functional prototype.

- To gain experience to work in a corporate based design problem.

- To integrate the team members in a professional and social manner so as to exploit each member's unique abilities.

-To have fun

2.1 The assignment

The team is required to design and build a vehicle made out completely from paper products. The use of 500 grams of non-paper material is allowed. The vehicle has to be robust enough to fully support the weight of a person and has to be powered by a second person.
The purpose of the paper vehicle is to be used in a game of modified polo named PAPER POLO.

This game is planned in such a way that information about the goals layout has to be conveyed from the sidelines to the persons manning the vehicle. Therefore a communication system / interface must me devised. There are two active goals, out of a total of four goals, which are active at any given time. One goal is for attacking and the other one has to be defended.

2.2 The team

The team is formed by two Industrial Design students and two Mechatronics Engineering students from the UNAM. The interdisciplinary nature of the team provides a technical and human factors (ergonomics, esthetics) perspective.

The educative formation of the team members includes:
Abitur German system (Martin)
GCE - IGCSE and A level- British system (Tomás and Marco)
Mexican High school model (Gladis)
Such diverse formation conveys to a wide cultural variety which is ideal for global projects.

The personalities of the team members – open and straight forward- leads to a practical and efficient exchange of ideas and concepts. The working ambience is relaxed but dynamic and there is a steady flow of jokes.

Placement questionnaire. Myers – Briggs Format

GLADIS	MARCO	MARTIN	TOMAS
I24	E24	E24	E24
S30	SN24	S24	S24
F24	T24	T24	T30
J24	J24	P24	J24

Design Requirements

3.1 Functional requirements

- The vehicle must be capable of supporting and transporting one passenger throughout the duration of the game. The size/mass of the passengers are as follows:

Gladis 160 cm / 50 kg
Tomas 178 cm / 75 kg
Marco 183 cm / 78 kg
Martin 183 cm / 66 kg

The maximum and minimum values for height, respectively, are 160 cm a 183 cm. For masses the minimum is 50 kg and the maximum is 78 kg.

This means that the maximum vertical force the vehicle is subject to the weight of the passenger plus the weight of the vehicle. Using our heaviest team member plus an over calculated guessed vehicle's weight of 20 kg, the vertical force is almost 1000 N. The previous calculation is based in a horizontal plane with no bumps or jumps. Since these events are short impulses with very high forces, calculations get complicated, therefore the strongest possible structure must be considered.

- The vehicle has to be powered by one person.

This person has to move the combined weight of the passenger plus the vehicle. To put the vehicle into motion requires the biggest force. Once in motion, this force diminishes a lot. **Design Requirements**

3.1 Functional requirements

- The vehicle must be capable of supporting and transporting one passenger throughout the duration of the game. The size/mass of the passengers are as follows:

Gladis 160 cm / 50 kg
Tomas 178 cm / 75 kg
Marco 183 cm / 78 kg
Martin 183 cm / 66 kg

The maximum and minimum values for height, respectively, are 160 cm a 183 cm. For masses the minimum is 50 kg and the maximum is 78 kg.

This means that the maximum vertical force the vehicle is subject to the weight of the passenger plus the weight of the vehicle. Using our heaviest team member plus an over calculated guessed vehicle's weight of 20 kg, the vertical force is almost 1000 N. The previous calculation is based in a horizontal plane with no bumps or jumps. Since these events are short impulses with very high forces, calculations get complicated, therefore the strongest possible structure must be considered.

- The vehicle has to be powered by one person.

This person has to move the combined weight of the passenger plus the vehicle. To put the vehicle into motion requires the biggest force. Once in motion, this force diminishes a lot.

(See force analysis in section 4 p.18)

- All players should be able to play in both positions – powering, giving instructions and passenger - .
A test was carried out, involving a scale pressed against a wall to estimate the pushing capabilities of each team member. The guys were able to push 40 kg (~ 400 N) in a sustained manner and the girl was able to push 20 kg (~ 200 N).

- Information about the goals lay out must be conveyed to the rider and the pusher with out the use of any kind of sound signals.

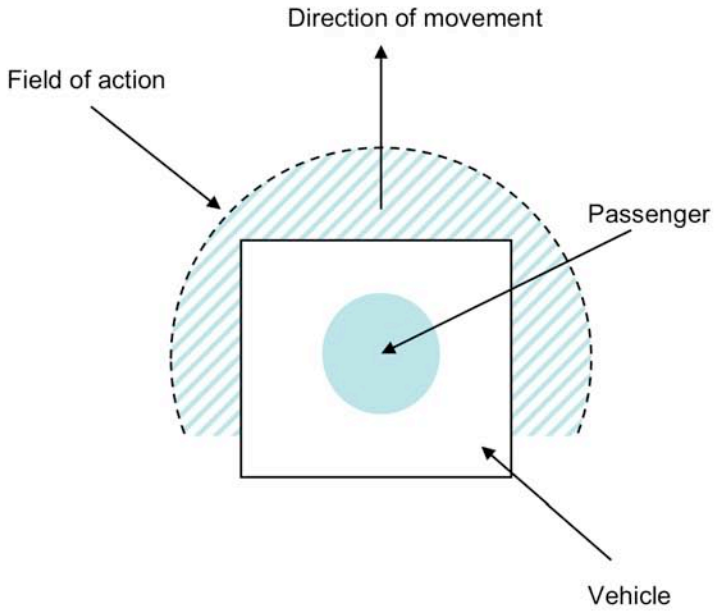
Since the purpose of the vehicle is to play polo, a number of additional considerations develop from this requirement.

Ergonomics

- The passenger must be comfortable when riding the vehicle. He should be able to keep his playing posture without a significant effort on his part. This comfort extends to him being able to wield the mallet in a natural and easy way.

- The passenger must have a wide range of action (the area around him where he can reach the ball with the mallet). Ideally the person powering the bike should not obstruct the player's mallet reach.

- The passenger must have a wide range of action (the area around him where he can reach the ball with the mallet). Ideally the person powering the bike should not obstruct the player's mallet reach.



- The person powering the vehicle must be able to power and maneuver it with ease. The position when pushing the vehicle should be comfortable and natural. The legs of the pusher, especially while running, should be clear of obstacles.

Playability

- The vehicle must be fast in order for it to be competitive at playing polo. Speeds of at least 3 m/s of sustained speed are necessary. Furthermore, speed bursts of 5 m/s are also needed to chase after balls or leave rivals behind.

- The vehicle has to be highly maneuverable, a small turn radius is critical, so is the ability to reverse.

- The vehicle must be durable; it has to survive all the test runs plus three 15 minutes chukkas of play.

3.1.1 Functional constraints

- The player must not touch the ground at any time during the game or interact with any other objects or persons, aside from the ball of course.

- The instructions must be passed form the sidelines to the player and the pusher by means of the RC, no shouting of goal dispositions allowed.

- The vehicle must be safe to ride and not pose a danger to other players.

- Only 500 hundred grams of non-paper material are allowed.

3.1.2 Functional assumptions

- Collisions are bound to happen so these spikes in stress forces have to be taken into account.

- The less parts the vehicle has, the better. With less parts, assembly is easier and the chances of an element failing are reduced (less parts that can fail). In addition the minimum movable parts are reduced to the wheels.

- A position that allows the player to lean forward (kneeling or standing) is better for this kind of games. Think about Hockey.

-Two independent wheels allow for the easiest and sharpest turns. This system permits the vehicle to turn over its own axel center, like a tank!

- If a two wheel system is used a third support might be included to prevent the pusher from having to balance the whole thing continuously.

- Turning speed can't be too high so as to prevent the vehicle from turning over along with the rider.

- Both rider and pusher should know the information being sent to them by the RC guy.

- The display should by easy to understand and not too complicated.

3.1.3 Functional Opportunities

-An adjustable seat so that each team member can customize the seating position to his liking.

- An adjustable push bar so that each pusher can set the height at which he wants the push handle.

- Using a block of cardboard (joining many layers of cardboard to form a solid block) as main structure instead of a tubular one could give a good aesthetic look and make it easier to build everything, just inserting the tubes in drilled holes.

- Utilizing a kind of display that can be seen by both the rider and pusher so that all the information is transmitted to them by the RC guy.

3.2 Physical requirements.

3.2.1 Physical requirements.

- The vehicle must fit in a volume of 166 in^3 in order for it to be shipped. At the start of the competition the vehicles are assembled. All assembly parts must be contained inside the box.

- The size of the vehicle is flexible (according to design) although a bigger size might imply a larger number of larger parts. This enters into conflict with the volume constrain.

- The vehicle, as has been stated before, must be completely made out form paper based products (products consisting of at least 50% paper)

- The total cost of material must not exceed 100 USD which for us Mexicans is around 1100 Mexican pesos.

- The shape must allow for someone to power the vehicle and someone to ride it (no sharp edges, spikes, etc.)

3.2.2 Physical constraints

- Even though a lubricant can reduce friction in a cardboard-cardboard bearing there will always be considerable friction.

- Wet cardboard is very weak in all aspects so keeping the vehicle dry is very important.

- Unions between cardboard tubes are obvious failure points so this kind of unions has to be minimized.

3.2.3 Physical assumptions

- The thicker the wheels the less they will bend sideways.

- Reinforced tubes are more resistant to flexion.

- Using a lubricant will reduce by a factor of eight to ten the bearing's friction.

3.2.4 Physical opportunities

- Use bigger wheels to create a mechanical advantage, making it easier to power the vehicle.

- Using some kind of lubricant to reduce bearing friction.

- Locating the system's (rider and vehicle) center of gravity in a convenient position, to make the vehicle easier to steer and power.

- Using the high tension-compression resistance of cardboard tubes as opposed to their weak flexion bearing capability.

3.3 Development constrains

- Time for project completion is limited so no fancy stuff!

- The radius of cardboard tubes are commercial/limited, therefore inventive fittings between different tube sizes have to be designed.

4. Design Development

4.1Design process tools

Video and Pictures Analysis and documentation.
Communication Mailing lists, Skype, mobile.
Brainstorming
Regular Meetings
Integration Picnics
Napkin and Blackboard sketching.
CAD
Scale Models
CFP
Prototype
Documentation

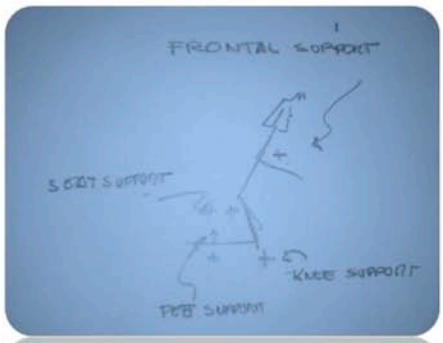
4.2 Vision

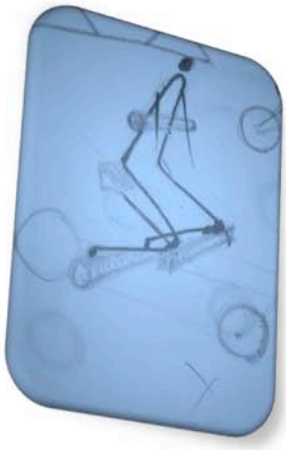
The essence of this project is to create a paper vehicle that does not replicate the common and predictable tubular disposition of PB from the past ME310 experiences. Even though the PB concept is not being re invented by the team, a user centered vision is being stressed out.
The design is being approached in such a way as to give the players a competitive advantage in comparison to the other bikes. Characteristics such as player posture, stability, speed, agility and durability is what this design accomplishes.

4.3 Overview

A successful design process is achieved by key factors such as a good essential functional and physical analysis and a high creativity.

Intense and extensive discussions and team brainstorming led to great ideas which are listed by priority.





The first proposals were actually not modified considerably; instead they were just adjusted to obtain the best performance, achieved through the CFP and a lot of observation.

The first part is the player's posture. (Practical, agile, comfortable and polo-playing orientated.)

First designs showed a wheelchair-like vehicle in which the player is kneeling instead of sitting. It was realized that the center of gravity had to be as close to the ground as possible in order to obtain more stability, especially in turns. So the player´s position was moved down,

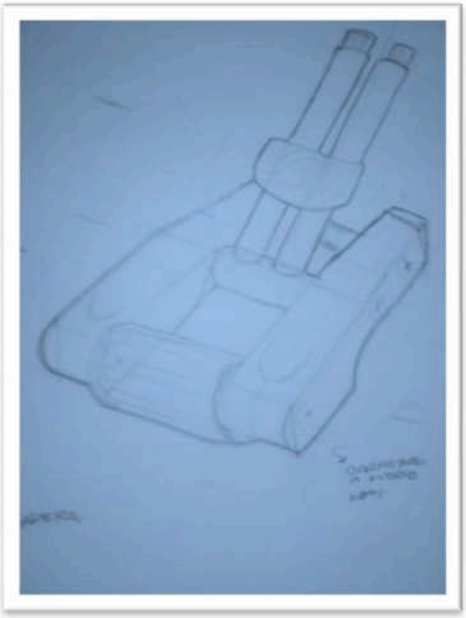
causing the knees to be more flexed. Therefore it was decided to place the shinbones almost parallel to the floor and give a full support from the knees to the feet. This optimized the player´s stability.

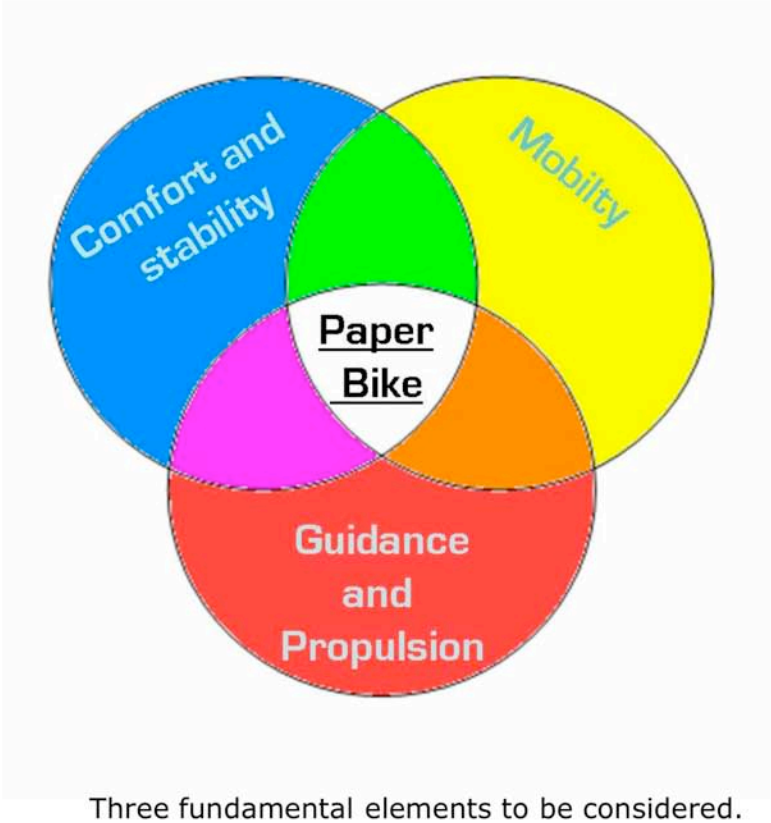
Focusing on mechanical aspects, using a lot of tubes glued together would eventually accomplish the support needed for the player, but it wouldn't provide a simple, easy to assembly and an aesthetic structure. Insight and a struck of inspiration lead to the idea of utilizing a lot of parallel sheets of cardboard glued together to obtain a solid compact block with any desired form.

Bending a board is easy if the force applied is "trough" it, but when the force is applied longitudinal it is impossible to bend, like trying to break a glass window hitting from the top and not from the front. So this block can hold all the weight easily.

This block disposition is one of the key components of the structural resistance of the design, saving the need of great amounts of tubes and useless effort and energy.

Such initial block design is enhanced to a configuration similar to the one shown in the sketch below.





Three fundamental elements to be considered.

4.4 DESIGN CONSIDERATIONS

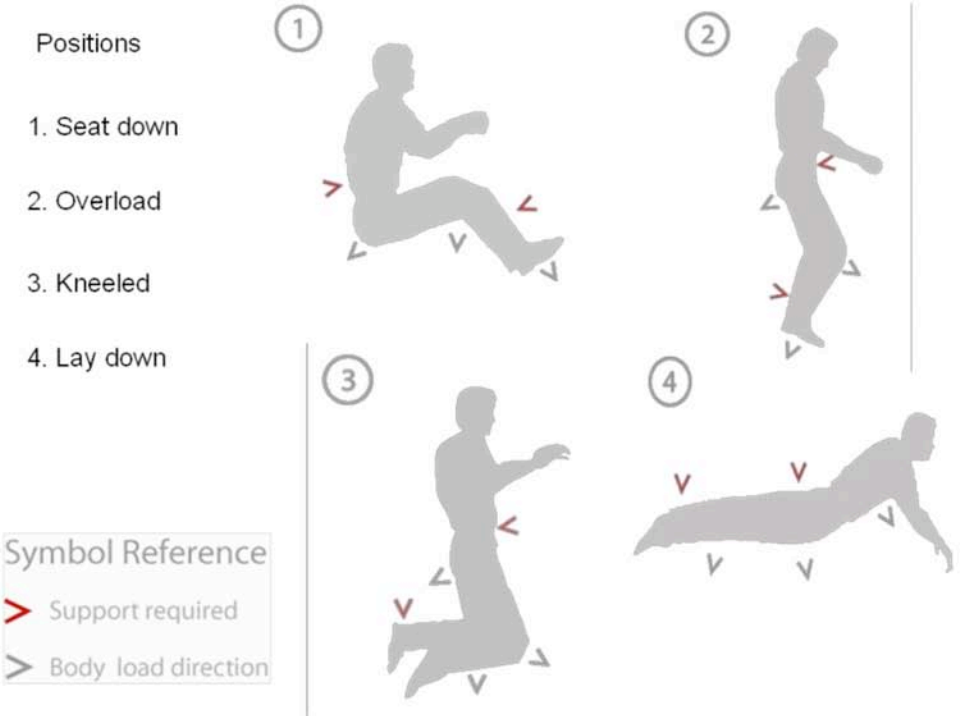
FOR THE USER

MOBILITY. A wide rider's action range for playing was the most important consideration for design aspects. The frontal space of the bike has to allow the rider free movement in any directions, so that he can reach the ball easily.

BALANCE. Following the wide action range for playing concept, it is defined a posture that allows the user to have an efficient position for playing. The most important issue for the rider is to reach the ball. Implicating a leaning forward action. At the same time this posture must allow the rider to remain in a balanced position.

SECURITY. The bike has to be secure. Since there is no frontal support for the player, additional support areas have to be implemented.

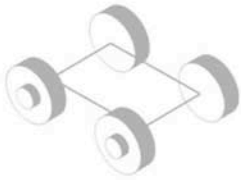
The feeling of speed and game interaction is a key aspect. Different postures and heights which focused on security were tested. Height increases the feeling of falling or been pushed to the front. This relates with stability and a better range of action to be near the ball.



Wheels

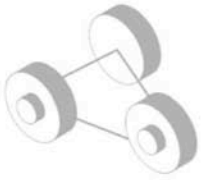
At first glance four wheels (2 and 2 disposition) is what comes to mind. By analyzing the problem, a vehicle that is designed to be used in a paper polo game, a two wheel disposition appears to be better. By creating an equilibrium state controlled by the pusher, the bike can swing slightly back and forth to obey natural forces such as acceleration and the phenomena of inertia.
After further analysis, a third wheel at the front (1 and 2) seems convenient to give more stability in straight direction or in idle positions, this is done in order to relief the pusher of the necessity to hold the bike constantly.

FOR THE BICYCLE



•BALANCE.

WHEEL´S Disposition	ADVANTAGE	DISADVANTAGE
2	Less weight Easy to spin	Can't stand by itself
3	Good stability Good mobility Wider action range	Moderate movement for spin
4	More stability	More weight Less mobility



•STRUCTURE

The structure by itself works as the main body of the vehicle and the support structure for the rider.

•DIMENSION

The vehicle has to be transported in a package with specific dimensions, because of this, an assembly configuration will be consider for the design.

Broken structural tube

17

Force analysis:
To make an accurate force analysis it is necessary to know the properties of cardboard, such as its friction coefficient.

static

$\Sigma_y = F_n - weight_{(bike+player)} = 0N$ y-axis is vertical

$\Sigma_x = F_{push} - F_{fs}$ x-axis is horizontal

$\Sigma_x = 392 - 392 = 0N$

In a static state the force needed must be grater than the static friction force (F_{fs}).

dynamic

$$\Sigma_y = 0_{(horizontal)} N$$
$$\Sigma_x = F_{push} - F_{fk} - m \cdot \bar{a}$$
$$\Sigma_x = 392 - 83.7 - 150 = 158.3N_{extra}$$

Once the bike is moving the force must surpass the dynamic friction force (F_{fk}) and eventual inertia forces due to the mass of the bike+player.

We measured an average speed of 3m/s and an average acceleration from 0 to 3m/s in 2 seconds, which is 1.5m/s^2.

$$v_{avg} = 3\,m/s$$
$$\bar{a} = 1.5\,m/s^2$$
$$m_{b+p} \cdot \bar{a} \approx 150N$$
$$weight_{(bike+player)} = 20kg + 78kg = 98kg \approx 100kg \approx 980N$$
$$F_{push} \approx 40kg \approx 392N$$

$F_{fs} = 0.4F_n \approx 392N$ (based on an experimental friction coefficient test)

$F_{fk} = 0.3 \cdot 0.285 \cdot F_n = 83.7N$

$adv = \frac{r_1}{r_2} = \frac{6cm}{21cm} = 0.285$ (adv (advantage) is the reduction of force due to the torque generated by the wheel over its inner side (cardboard bearing))

If no acceleration occurs the only force applied to keep the bike moving at constant speed is F_{fk}=83.7N
NOTE: this analysis was made using the highest values of weight to ensure that any other configuration will be less than the results showed.

The handle bar has to be assembled to the main structure. The solution is to make a strong tube that supports the push force.

For each user we would analyze direct and external forces that would be implied for the design development.

For the communication control system

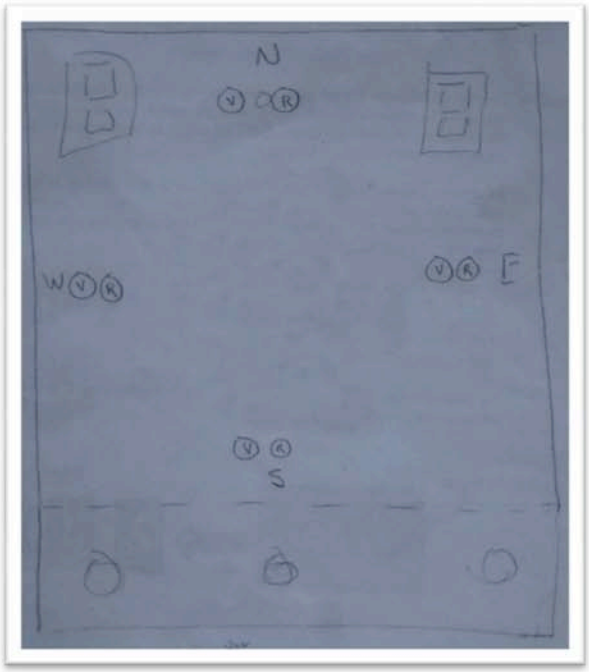
There are two active goals at any given time (one has to be defended and the other one attacked) and there are four goals. This layout gives twelve possible layouts.

Configuration	Attack	Defend
1	North	East
2	North	South
3	North	West
4	East	South
5	East	West
6	East	North
7	South	West
8	South	North
9	South	East
10	West	North
11	West	East
12	West	South

This information has to be conveyed to the players in the field in a simple and easy to understand way.
Instead of using the RC motors, one possible solution involving the use of bicolour LEDs arranged in such a way that each LED represents a goal. If the goal has to be attacked the LED emits a red light, if the goal has to be defended the LED emits a green light.

The information about the layout of the field goals conditions is entered into a "remote control" by means of 12 button switches. Using a RC circuit the information is sent to a receiver unit placed in one of the displays mounted on the PB. One display is mounted between the legs of the rider and the other one is mounted on the steering handle so the pusher can see it. These two displays are interconnected using a telephone cable.
To avoid having the players constantly taking looks at the display, each time the goal layout change information is sent via the RC, a bracelet containing a small motor vibrates calling for the player's attention. This bracelet is worn by the rider on the ankle and by the pusher on the wrist.

Additionally, there are two small seven digits displays is each of the displays. One shows the goal that has to be attacked and the other one shows the one that has to be defended.



This figure shows the configuration of the information display. V and R stand for green and red respectively.

4.5 Human Factors

ERGONOMIC ANALYSIS

ANTHROPOMETRICS

For a good dimensioning of the PB we made an analysis of measures on different persons, with different characteristics; taking special care of inclination angle on :

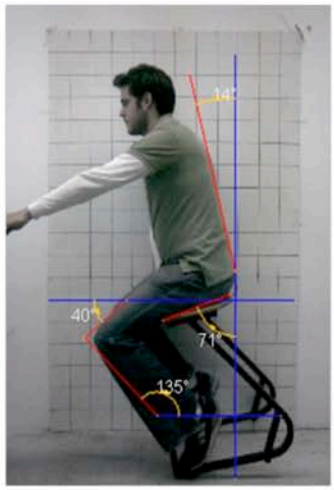
•Seat area

•User´s back

•User´s lap

•User´s shin

From the CFP it is concluded that kneeling is the best position. The full analysis shows the results of the physical and technical requirements for the vehicle. From this it is concluded that the manufacturing material and the user's posture are the principal issues for designing an efficient paper bike.

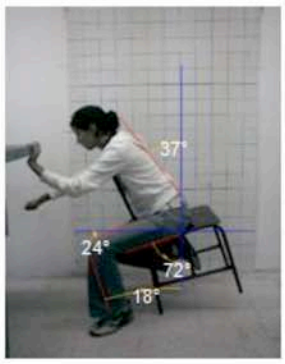


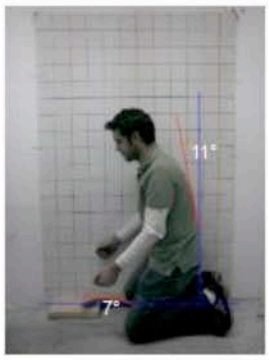
SEAT AREA: The seat inclination angle gives us the posture of the user.

BACK: The inclination of the user's back counters the posture. It balances the position so the user can stay in equilibrium.

LAP: The lap inclination is related to the seat's inclination. Along with the knees, the lap receives the weight and external forces.

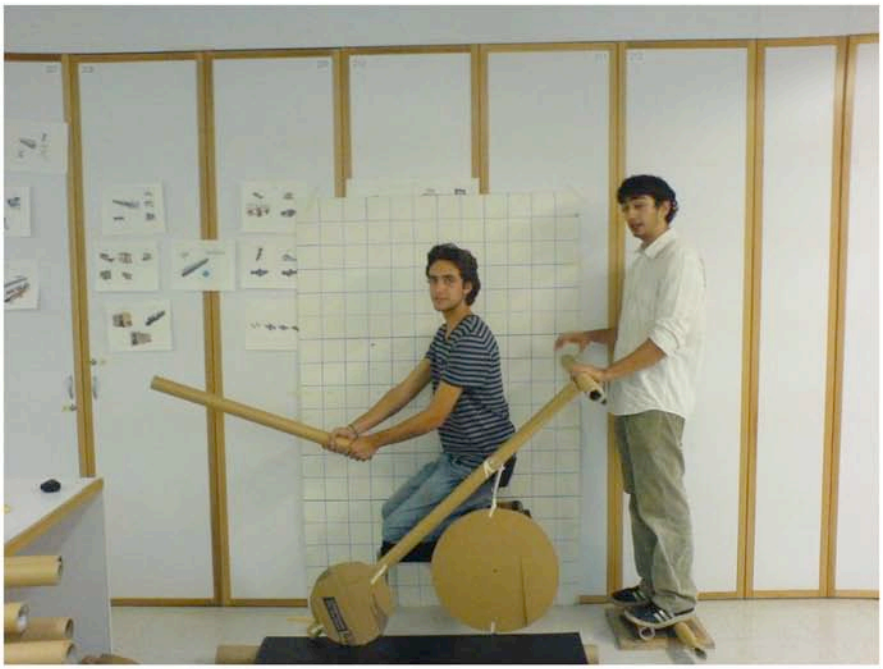
SHIN: The shin inclination allows the user to have a contact surface preventing him from falling forward.





21

From the CFP it is concluded that kneeling is the best position. The full analysis shows the results of the physical and technical requirements for the vehicle. From this it is concluded that the manufacturing material and the user's posture are the principal issues for designing an efficient paper bike.



BIOMECHANICS

Each player (rider or pusher) uses a different muscular configuration to perform their task.

FOR THE RIDER

TRUNK: Allows the body to remain erect. Because of this, the user is capable of twisting the upper body.

KNEES: Part of the body load is supported by the knees. The leg movement allows for the player to reach forward.

SHIN: The load is distributed along the shin area.

FOR THE PUSHER

ARMS & CHEST: The main force for pushing is generated by these groups of muscles.

LEGS: Legs play a critical function in running, pushing and steering the vehicle.

23

4.6 Human – Product – Environment System.

This system has an approach to the relation between the user's needs and the product´s requirements. All of this under the vision of external factors and the environment that will affect the system. This way of analyzing the project unifies and gives as a result a broader list of requirements which depend on each other. Body tolerance is primarily focused on the system, which by itself establishes a relation between the object and the environment and vice versa.

This relation shall be described as measurable body performance to use the products and the way these respond to the user´s requirements.

Decision making over the main list of requirements is easier when the external factors are already considered. Instead of encountering problems while testing the prototype, a brainstorm may help to anticipate problems about security, usability, transportation, shipping and maintenance.

All this factors affect the main concept of the design, and restrict some ideas that seem to be good at the beginning. However it is critical to discard these ideas before the CFP is based on them. Many of these aspects have to also be evaluated to see if one of these external factors is critical enough to consider it as the main function to be solved.

Examples of this are:

Accidents involving other players.
How the PB must have an intuitive way of use for people´s first contact.
Field´s condition affects the structure.

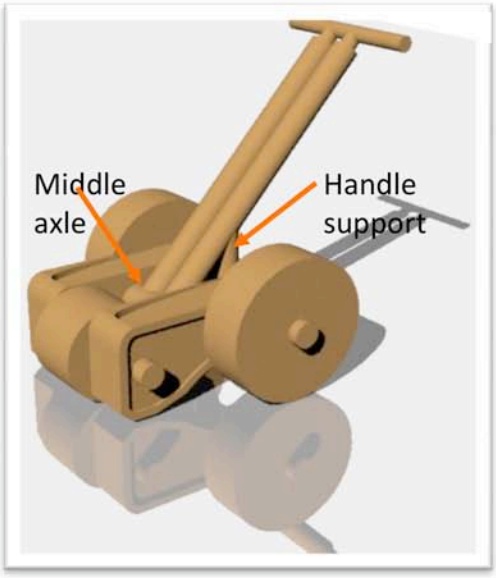
Disassembly transportation and shipping.

These restrictions impacts in the optimization of the structure components for the disassembly. However by understanding this as a system, many design solutions can be adapted to these criteria.

For example:
Avoiding gluing its structural elements.
Simplicity of design to avoid redundant components.

Prototype 1

At first the handle bar was positioned on the middle axle



Prototype 2

The handle bar is positioned on the frontal axle

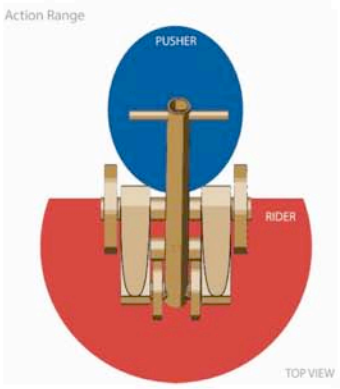
25

5. Design Description

The design is intuitive and simple enough so that anyone can infer how to use it at first glance. This objective is achieved by the use visual codes such as the wheels, the pusher´s handle and the hollowed out part where the knees are placed.
Non cognitive human factors provide the analysis of the intuitive interaction between the object and the users.
Two persons carry out two different roles while playing. One person rides the vehicle and interacts with the ball by means of a mallet. The other person pushes and steers the vehicle.

The person riding the vehicle kneels down and uses the steering handle as a seat. At the same time the natural position of the feet "locks" the rider into position.
The pusher adapts the handle to one of the three positions shown in the picture

.

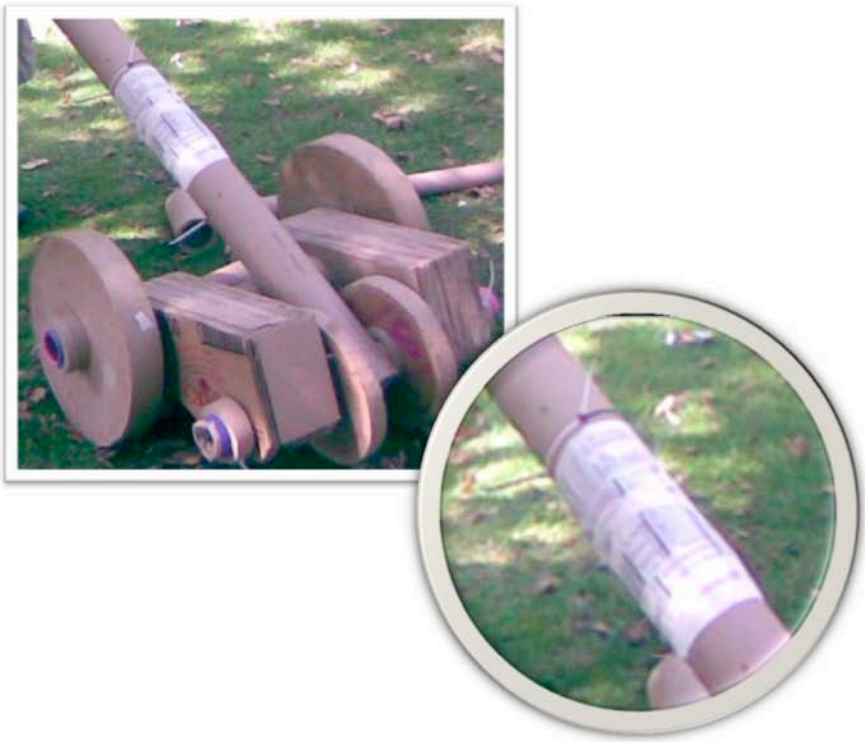


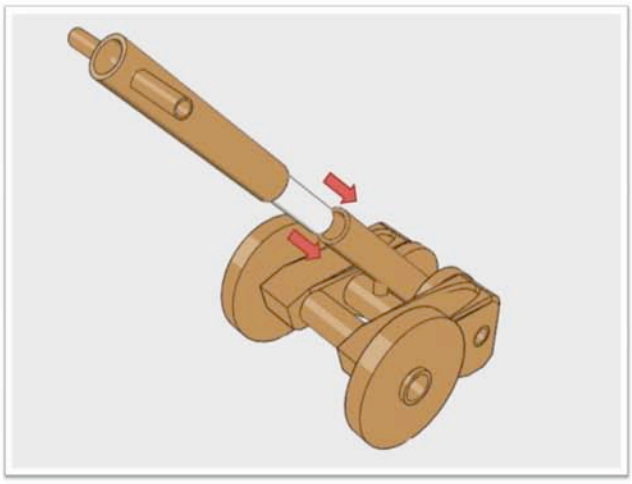
The action ranges for both the rider (red) and the pusher (blue)

Since this product revolves around a two person interaction system, ergonomic aspects cannot be fully analyzed in an individual way. The optimization of the established relations between both users, rider and pusher, become evident when the PB is in action. When the rider pushes, maneuvering has to take place at the same time in order to reach full functionality of the PB.
There are two different ways to push and maneuver the bike:

The first position shows the configuration in which the PB is used when in a resting position or when going in a straight line.
The second shot shows the position used to make tank like turns. This kind of extremely sharp turns must to be avoided when cruising at high speed.
The kneeling posture prepares the player to be ready for action. This posture places the player in a position of a possible frontal projection in case of an abrupt stopping. Therefore a seat belt is considered.
By making more tests it was discovered a certain angle (5º shin angle with respect to the floor) in which the rider is kept stable. This makes the seat belt unnecessary; however as a security redundant system the belt stays.
Handles are useful in case the rider feels insecure about the speed, irregularity of the field or during sharp turns.
Rectangular proportions with the longer side as a base and a lower design makes the player feel near the floor and supported by the rider. In this way security seen from a non cognitive perspective of ergonomics confirms the confidence and the appearance of a stable PB. Functionality and ergonomic aspects of the vehicle encourages its use.

Handle sections are joined with plastic straps.

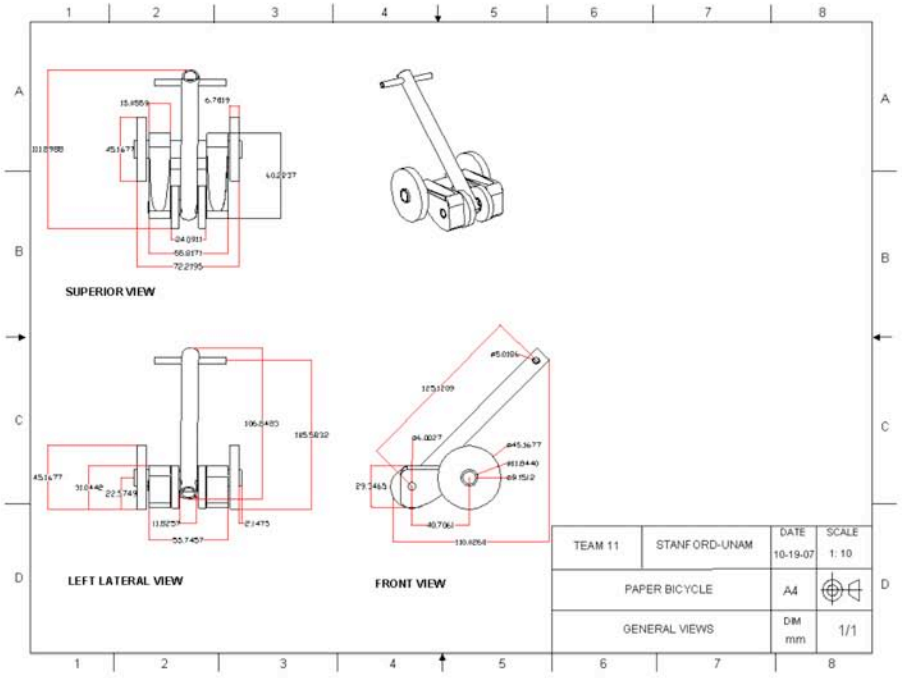


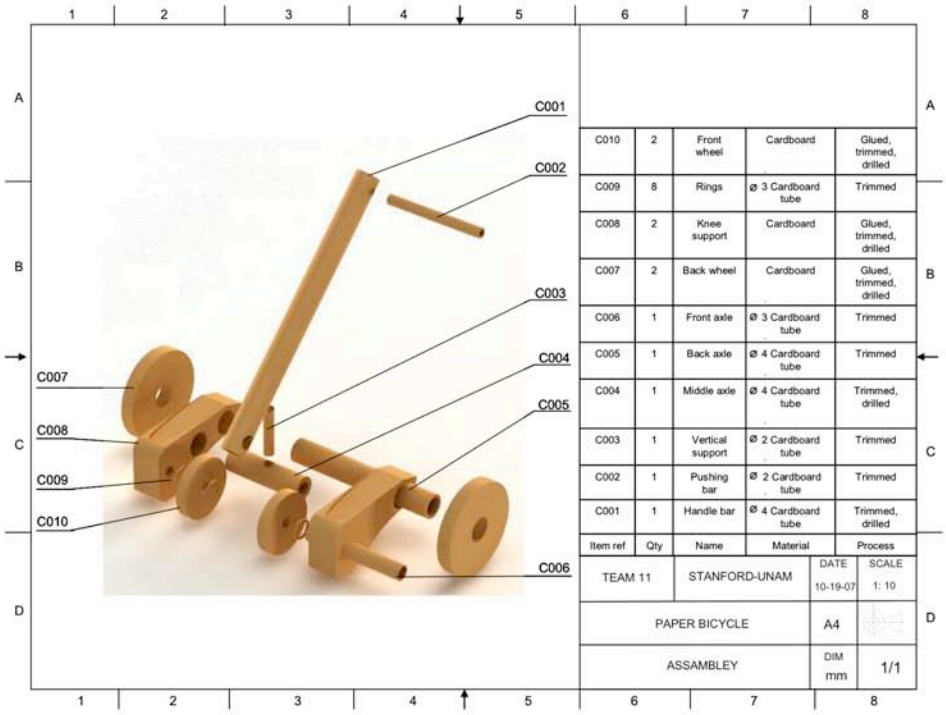


Tube assembly

28

Dimensions





Item ref	Qty	Name	Material	Process
C010	2	Front wheel	Cardboard	Glued, trimmed, drilled
C009	8	Rings	Ø 3 Cardboard tube	Trimmed
C008	2	Knee support	Cardboard	Glued, trimmed, drilled
C007	2	Back wheel	Cardboard	Glued, trimmed, drilled
C006	1	Front axle	Ø 3 Cardboard tube	Trimmed
C005	1	Back axle	Ø 4 Cardboard tube	Trimmed
C004	1	Middle axle	Ø 4 Cardboard tube	Trimmed, drilled
C003	1	Vertical support	Ø 2 Cardboard tube	Trimmed
C002	1	Pushing bar	Ø 2 Cardboard tube	Trimmed
C001	1	Handle bar	Ø 4 Cardboard tube	Trimmed, drilled

TEAM 11	STANFORD-UNAM	DATE 10-19-07	SCALE 1: 10
PAPER BICYCLE		A4	
ASSAMBLEY		DIM mm	1/1

29

Prototype

The bike supports two team members totaling around 150 kg without showing important deformation

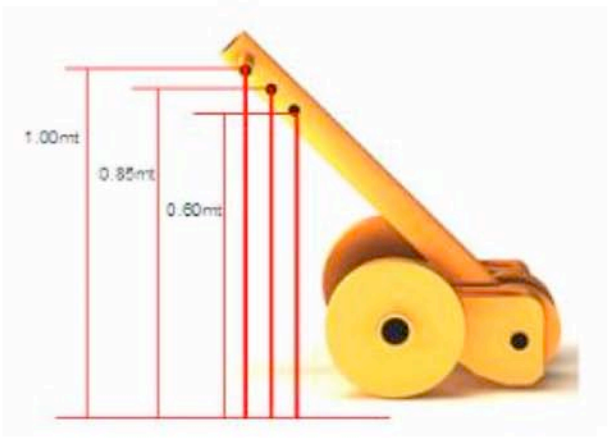
A long the testing game the back axle was broken.

ø

Axle sections are built with a material to work with.

4 inches - wide 1 inch tubes being the stronger

Adjustable handle



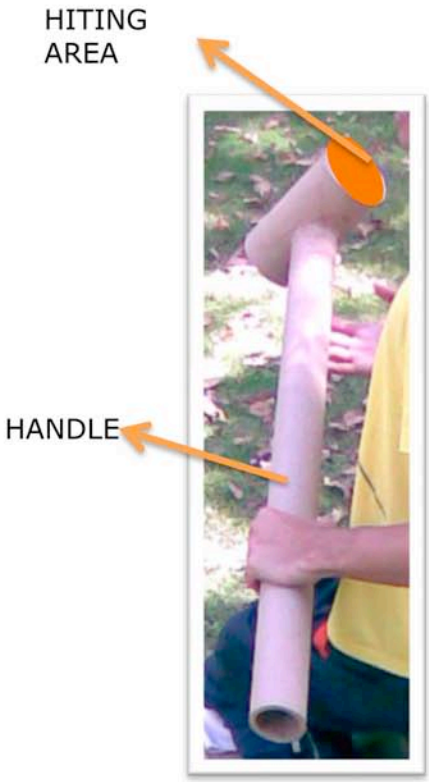
Mallet

The mallet function is to hit the ball when playing.

It has two components. The handle and the hitting tube.

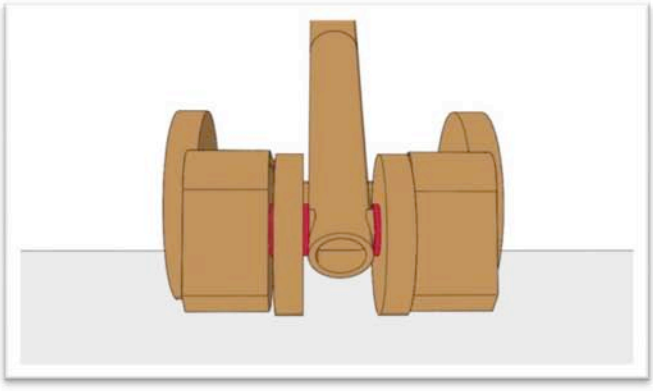
The handle is built with a 2 inches tube for grabbing it comfortably.

The hitting tube is built with a 4 inches section to have a wider area to hit the ball.



Rings

Rings function are to separate the wheels from the knee supports avoiding the friction between them.



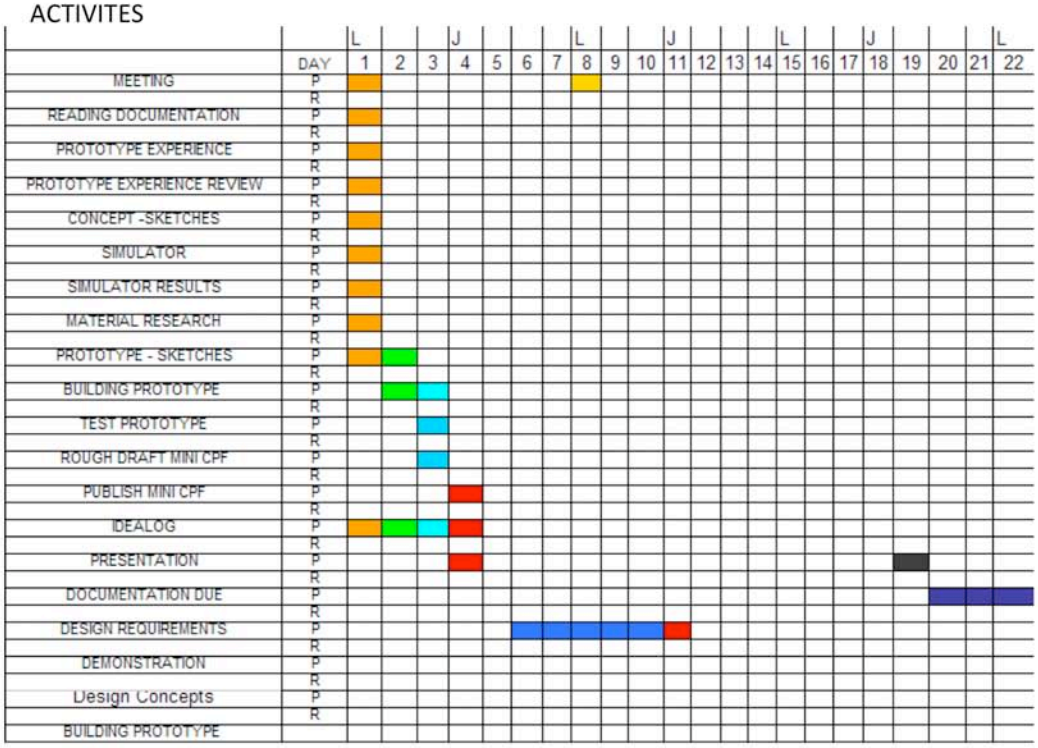
6 Project management

A large variety of disciplines are required for the design and building of the PB. Therefore the team takes advantage of its interdisciplinary knowledge, in which the designer's focus on CAD modeling and sketches related to ergonomics while the engineers study the structural properties and balance of forces through free body diagrams.

The combination of these different points of view improves the design and building of the bike and at the same time all members of the team can teach each other their personal abilities.

The critical function review is a very good example of the interdisciplinary efforts added by the team, where a careful analysis of stability as well as comfort and equilibrium takes place.

ACTIVITES



6.1 Retrospective

An interesting situation occurred during the design and building process. The design team members use a design-based vocabulary, different from the engineering common concepts and symbols, which often cause some confusion or misunderstandings between them. In the end such differences are taken advantage of by explaining every special or specific concept.

Anexo B: Documentación Final del VW Borealis

C O N F I D E N C I A L*

* Para la consulta de este anexo favor de contactar a la Sección de Mecánica de la División de Estudios de Posgrado de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Bibliografía

310 Class 07-08 Student Wiki
http://wikibox.stanford.edu/07-08/index.php/StudentWiki.HomePage
Consultada desde septiembre de 2007 hasta octubre de 2008.

BORJA Ramírez Vicente, *et al*. *A product innovation learning experience based on collaborative multinational team work.* Memorias del XII Congreso Internacional de la SOMIM y Congreso Internacional de Metal Mecánica 2007. Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica, México, 2007.

WILDE Douglas J. *Teamology: The construction and organization of effective teams.* Stanford University, USA, 2007.