



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

**Actividades en el desarrollo
de Li-Fi®**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Raymundo González Balderas

ASESOR DE INFORME

Dr. Adrián Espinosa Bautista



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018

Contenido

Introducción.....	1
Objetivo	1
Descripción de la empresa.....	1
Descripción del puesto	2
Antecedentes.....	3
Definición del problema	4
Metodología	5
Metodologías de software.....	7
Scrum.....	7
Scrum modificado.....	8
Metodologías de diseño mecánico.....	8
Metodologías de Innovación	10
Actividad 1. Programación.....	12
VLC Híbrido	13
Instalación de VLC Híbrido.....	14
VLC Bidireccional	15
Actividad 2. Diseño mecánico.....	21
Manufactura aditiva	28
Diseño para Receptor USB VLC (Manufactura aditiva).....	29
Diseño de Luminaria VLC (Manufactura aditiva)	34
Fabricación de Lote 1.....	40
Fabricación de Lote 2.....	41
Resultados	42
Problemas y observaciones durante el proceso.....	43
Inyección de plástico	43
Diseño para Receptor USB VLC (Inyección de plástico).....	44
Diseño para Luminaria VLC (Inyección de plástico).....	52
Actividad 3. Actividades adicionales.....	61
Conclusiones	66
Bibliografía.....	68
Fuentes	69

Introducción

El trabajo académico contiene las actividades profesionales de ingeniería que desarrollé en la empresa AAA. en el periodo de [REDACTED]. Mis actividades se dividieron en dos, por un lado, la parte de computación y por otra la de diseño mecánico, ambas enfocadas en la innovación y desarrollo de un producto; así mismo, trabajé estas actividades de forma simultánea dentro de la empresa dependiendo del avance, evolución y requerimientos del producto. De igual manera, detallo aspectos generales de metodología y actividades de ingeniería realizadas, es importante señalar que algunos resultados no se mostrarán en el texto por cuestiones de confidencialidad y/o patente.

Mi labor principal dentro de la empresa se enfocó al desarrollo de Li-Fi® (Light Fidelity), participando en el desarrollo de software para su funcionamiento y diseñando las piezas plásticas para contener los circuitos. Adicionalmente, colaboré en propuestas para el área electrónica, cotizaciones, elaboración de manuales, investigación de patente para los desarrollos y avances durante el proyecto, e instalaciones de sistemas VLC (Visible Light Communication).

Objetivo

Mi objetivo en AAA fue resolver problemas del área de software y de diseño mecánico en el proyecto VLC (Visible Light Communication).

Descripción de la empresa

AAA surgió en [REDACTED], desde el inicio la empresa estaba enfocada en el desarrollo de tecnología. A lo largo del tiempo ha incursionado en el desarrollo de aplicaciones móviles y en el desarrollo de la tecnología VLC o mejor conocida como Li-Fi® (Light Fidelity) en referencia al término Wi-Fi® (Wireless Fidelity). Es justo ésta última rama la que ha cobrado relevancia en los últimos años debido a la necesidad de crear un método de comunicación inalámbrico para solucionar los problemas actuales al utilizar radiofrecuencia.

- Misión de la empresa

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

- Visión de la empresa

AAA se ha esforzado por entrar en un segmento atípico en el país: Innovación Tecnológica. Durante el desarrollo de VLC las circunstancias muestran que incorporar productos nuevos, tecnologías nuevas y formas nuevas de resolver los problemas conlleva un cambio que no todas las personas, consumidores, proveedores, inversionistas están dispuestas a realizar. Pese a ello se ha logrado desarrollar un sistema VLC funcional con ventajas drásticas que se detallarán más adelante en este informe.

(f0)

Descripción del puesto

Mi puesto es Ingeniero de Desarrollo. Como mencioné en la introducción, mi participación es en dos áreas: software y diseño mecánico. Para la parte de software, mi labor consistió en desarrollar un sistema que permita el uso de internet mediante VLC, para lo cual utilicé Java, programación Bash, Scripts, modificación y recopilación de drivers, adaptación de programas entre otros. Mi responsabilidad fue que, con los recursos disponibles, se pudiera navegar en internet utilizando la electrónica VLC desarrollada en AAA.

Para la parte de diseño mecánico mi función fue proponer y diseñar un contenedor para los circuitos electrónicos VLC. El diseño incluyó desde “arte conceptual” hasta un diseño pensado para elaborar las piezas tanto en manufactura aditiva como en inyección de plástico. El prototipo lo generé a la par que el departamento de electrónica desarrolló los circuitos, yo mismo mantuve amplia comunicación con ellos con el fin de que el plástico se ajustara a los circuitos, tomando en cuenta precio y tiempo de fabricación de molde, número de piezas plásticas entre otros. Mi responsabilidad fue diseñar (y para ciertos lotes fabricar) contenedores de plástico adecuados para los circuitos VLC.

Tanto en software como en diseño mecánico tuve amplio contacto con el equipo de electrónica para definir el rumbo del desarrollo de VLC, seleccionar prioridades y obtener soluciones a los problemas durante la generación de prototipos.

Antecedentes

El término LiFi fue utilizado en 2011 por Harald Haas en el congreso anual TED Conference (Technology, Entertainment, Design), y es usado para sistemas de comunicación inalámbrica basado en luz visible. Actualmente diversas empresas y centros tecnológicos lo desarrollan: PureLiFi (Reino Unido), Oledcomm (Francia), Instituto de Física Técnica de Shanghai (China).

La creación de VLC surge a partir del incremento exponencial de dispositivos Wi-Fi®, llevando a una saturación de la banda 2.4 GHz, adicionalmente existe un enfoque actual para restringir el uso de radiofrecuencia en zonas vulnerables (Francia - Ley Nº 2015-136) (f1). Por otro lado, la seguridad de comunicación se ve ampliamente beneficiada por el uso de un medio contenido que no atraviesa paredes. Respecto al punto de velocidad existen varias teorías y experimentos mostrando que la velocidad de conexión que se puede alcanzar supera drásticamente las conexiones inalámbricas actuales, los resultados son generalmente alcanzados en laboratorios bajo condiciones ideales. Un punto importante es el energético: existen instalaciones que tienen luces prendidas durante toda la jornada de uso, el reemplazar las lámparas tradicionales por luminarias led representa un ahorro de energía donde además se está transmitiendo internet.

Problema principal: El uso de datos Inalámbricos aumenta exponencialmente comparado a la capacidad del espectro de radiofrecuencia

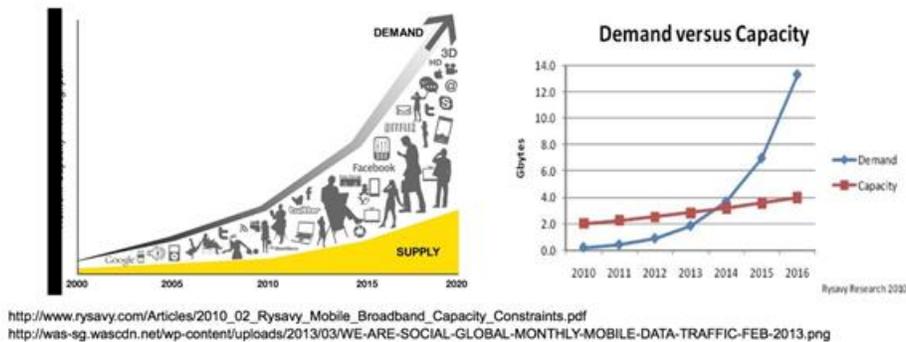


Imagen 1. El aumento de usuarios y dispositivos sobrepasa la capacidad de transmisión Wi-Fi®

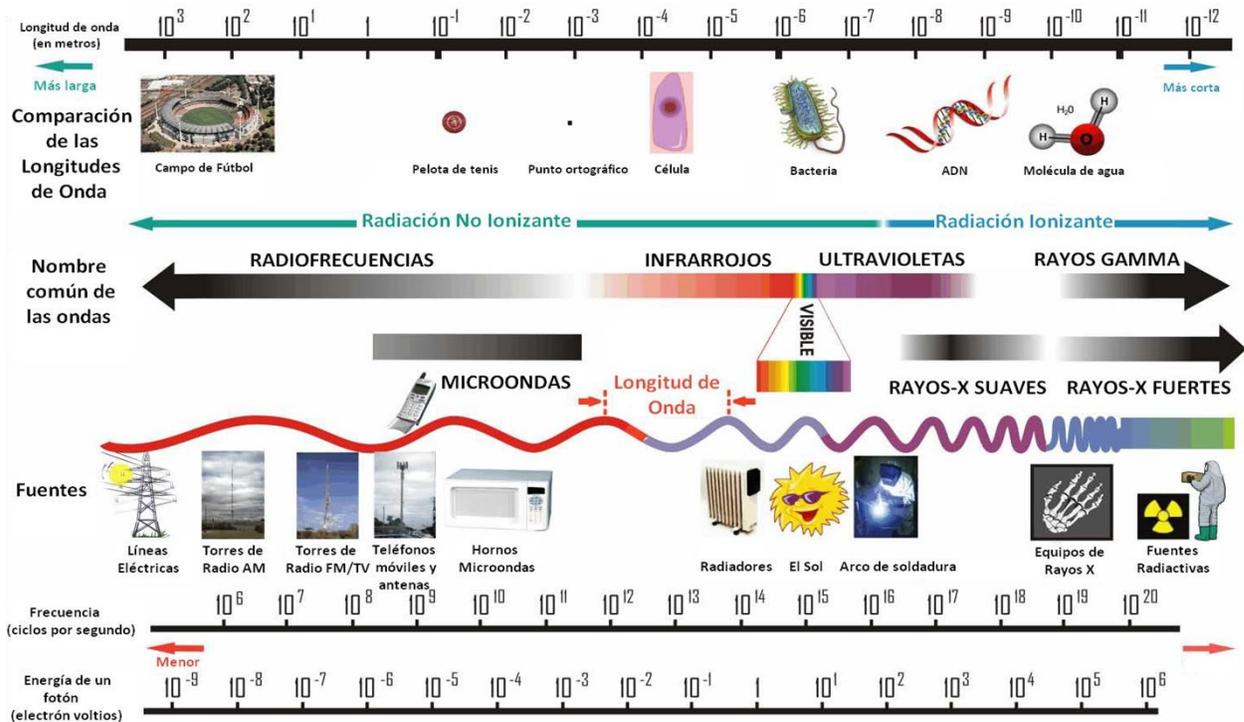


Imagen 2. Espectro de ondas electromagnéticas

AAA se propuso en [] desarrollar un sistema VLC capaz de ser usado de forma comercial (fuera de laboratorio) por equipos comunes de usuarios comunes, es decir, se fijó la meta de crear un sistema VLC capaz de sustituir Wi-Fi® o de trabajar en forma conjunta a él para ofrecer las ventajas de la comunicación por luz visible. Antes de los trabajos VLC para internet, AAA ya había realizado investigación para transmitir música y video mediante luz visible, los resultados fueron presentados en diversas exposiciones, revistas y medios informativos.

Definición del problema

En [], AAA tenía claro el rumbo de la electrónica necesaria para elaborar un Sistema VLC capaz de transmitir datos; sin embargo, el uso de internet requería de un poco más de desarrollo para su funcionamiento, es en dicha fecha en la que me integré al equipo para la solución del problema. Al tratarse de una nueva tecnología no existía un rumbo fijo, es decir, la solución no se encontraba directamente en libros, requería de la investigación, experimentación e integración de diversos conocimientos para ser resuelta.

- Experiencia profesional

En 2011 incursioné en la programación realizando páginas web para la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. En 2013 participé en MOFABI (Unidad de Modelación de Flujos Ambientales y Biológicos) realizando programación en Java para la interfaz gráfica de un Sistema de predicción de liberación de gas. A la par, en 2013, participé en el Instituto Nacional de Cardiología “Ignacio Chávez” realizando un Propulsor hidráulico para evaluar prótesis de válvulas cardiacas y un Sistema de tensión uniaxial para evaluar pericardio bovino, en ambos proyectos apliqué conocimientos del área mecánica, diseño mecánico, programación (LabView®) y electrónica.

Con el fin de acelerar y mejorar el resultado del producto VLC, en [REDACTED], me integré al equipo de AAA que ya contaba con ingenieros electrónicos desarrollando circuitos y programación. Mi labor se centró en crear un programa para permitir el uso de internet mediante VLC, el alcance mínimo era permitir la navegación, mientras que el tope no existía debido a que es una tecnología nueva; en otras palabras, mi función era mejorar el sistema con cada nueva versión agregando características como velocidad, estabilidad, seguridad, simplicidad entre otras. Al finalizar las primeras versiones del software comencé también a encargarme del diseño mecánico (a la par de que el equipo de electrónica continuaba con el desarrollo de los circuitos), en donde propuse un contenedor para los circuitos. En el área mecánica el alcance de mi tarea fue desarrollar una carcasa adecuada para los circuitos electrónicos, generar prototipos, realizar correcciones del contenedor de acuerdo con cambios electrónicos, mejorar el producto con el fin de bajar costo, aumentar velocidad de producción, crear pequeños lotes de piezas y crear planos mecánicos para la producción en serie de las piezas.

Metodología

Durante el transcurso del proyecto VLC apliqué diferentes metodologías dependiendo de la tarea a la que me dedicué, software o diseño mecánico. Para el área de software usualmente requería realizar primero una extensa investigación de protocolos y el funcionamiento en general de internet y conexiones cableadas e inalámbricas, posteriormente trazaba una línea de acción para resolver el problema en la cual investigaba soluciones similares ya aplicadas en el mercado, todas las soluciones eventualmente debían ser modificadas para incorporarse a la nueva tecnología. Una vez teniendo

un plan de acción realicé una variante de la metodología SCRUM en la cual mis compañeros ingenieros electrónicos sugerían cambios en el sistema con el fin de mejorarlo.

En cuestión de diseño mecánico la metodología fue más tradicional, debido a que ya existen productos y soluciones aceptables en el mercado para contener circuitos. En el proceso de diseño mecánico comencé por conocer las restricciones y requerimientos del sistema, posteriormente realicé diversas propuestas, cada una de ellas fue evaluada de acuerdo a ventajas y desventajas. Fabriqué un prototipo de la solución elegida y se realizaban modificaciones y correcciones con el fin de mejorar la pieza. Una vez elegida la pieza final, realicé planos mecánicos con tolerancias y acabado superficial con el fin de que pudiera ser producida por un tercero.

A continuación, describiré a detalle las metodologías aplicadas.

Metodologías de software

Scrum

¿Qué es?

Es una metodología para el desarrollo de software enfocada en maximizar el retorno de inversión debido a que construye primero la funcionalidad de mayor valor para el cliente. Incorpora adaptación (permite cambiar los objetivos de acuerdo a las circunstancias o exigencias del cliente o entorno), autogestión e innovación.

¿Cuándo se utiliza?

Es utilizado cuando los objetivos del programa sufren cambios impredecibles o cuando se desea subdividir el programa en fases y que cada una sea aprovechable sin la necesidad de tener desarrolladas las demás.

Beneficios

Desarrolla primero los aspectos de mayor importancia para el cliente, permitiendo usar dichas funcionalidades de forma independiente al resto del proyecto.

Promueve la innovación, motivación y compromiso del equipo.

Permite adaptar el proyecto a cambios en el objetivo debido a necesidades del cliente o evolución del mercado.

Realiza iteraciones en las cuales se va mejorando el software.

Crea equipos de trabajo que se autogestionan permitiéndolos organizarse de acuerdo a sus cualidades.

Roles

Un equipo de Scrum incluye los siguientes roles:

Scrum master: Verifica que se cumplan las reglas de Scrum. Es un intermediario con gente fuera del grupo, es decir con el cliente real, administradores u otros desarrolladores.

Product owner: Establece las prioridades.

Scrum Team: Desarrollan el software.

Client: Piden funcionalidades extra conforme avanza el desarrollo.

Proceso

El software se desarrolla en varias iteraciones cada una llamada Sprint. Antes de iniciar un Sprint se realiza un Product Backlog, esta es la fase donde se establecen los requisitos del sistema.

Posteriormente se realiza un Sprint Planning, en esta fase el Product Owner establece las prioridades en las características del software que se desarrollarán. Ahora se realiza el Sprint, es la

fase de desarrollo de software. Durante el Sprint se realizan juntas cortas diarias con el fin de revisar el avance y contratiempos. Al finalizar el Sprint se analizan los resultados y se proponen mejoras.

Al finalizar un Sprint debe entregarse una fracción del software que debe ser funcional para el cliente real.

El cliente puede proponer nuevas funcionalidades en el momento que desee, sin embargo, la implementación se realizará hasta el siguiente Sprint. Product Owner debe revisar las funcionalidades requeridas por el cliente para evaluar su aplicación y establecer prioridades, con lo cual se modifican los siguientes Sprints.

(f2)

Scrum modificado

Implementé una variante de Scrum en la cual solo existen dos roles, un Cliente y un Desarrollador, el Desarrollador realiza funciones de Scrum Owner debido a que conoce la capacidad del desarrollo posible, con lo cual establece prioridades. Yo adopté la función de desarrollador, el equipo de electrónica de cliente, con lo cual me realizaban propuestas en cuanto lo que les gustaría que el software realizara. Suprimimos las juntas diarias debido a que teníamos contacto durante todo el día para verificar avances y retroalimentación, para cuestión más formal (elaboración de minutas, documentación e informes ejecutivos), realizamos juntas semanales. Aplicar Scrum modificado permitió realizar pruebas VLC con los módulos que iba desarrollando, lo cual sirvió al equipo de electrónica para ajustar los circuitos durante el desarrollo. Muchas de las propuestas por parte de Cliente requerían de cambios en electrónica, con lo cual tuvimos que ajustarnos los unos a los otros para el desarrollo.

Metodologías de diseño mecánico

El diseño mecánico es un proceso que inicia con el estudio del problema o necesidades y genera especificaciones preliminares, define concretamente el problema y establece límites en la solución del diseño dependiendo de los recursos disponibles. Posteriormente estudia diversas soluciones, la factibilidad y las evalúa dependiendo de las ventajas o desventajas de cada una. Finalmente implementa la solución calificada como más adecuada y estudia el resultado con el fin de mejorar aspectos débiles.

El objetivo es diseñar piezas o sistemas que cumplen una función mecánica requerida a través de un proceso de varios pasos ordenados e iterativos.

Es un proceso iterativo en el cual el resultado se va mejorando a partir de la retroalimentación de los resultados. Si bien es ideal obtener un resultado funcional desde el primer intento, es usual encontrar nuevas necesidades en el producto que no se vislumbraban desde el inicio, tal es el caso de bajar costos de producción, detectar problemas de ensamble entre otros.

Los pasos para efectuar diseño mecánico son:

- **Requerimientos**
Fase donde debe obtenerse la mayor información posible del problema o situación a mejorar. En ocasiones los problemas no son visibles de forma sencilla debido a que los sistemas están habituados a trabajar con los mecanismos actuales. Para plantear los problemas es necesario aplicar razonamientos en la materia en la cual se pretende efectuar una mejora.
Lo más importante de la fase es obtener la mayor cantidad de datos posibles del sistema a estudiar, incluso aquellos datos que no corresponden al área mecánica. Posteriormente se filtrarán y permitirán tener un amplio panorama del problema que se está estudiando.
- **Hipótesis**
Fase en la cual se plantean diferentes problemas y vías de solución, todo de forma general. No está enfocada a obtener una solución final sino a proponer diferentes cualidades de un sistema que se pueden mejorar. Durante la fase es importante el uso de experiencia, información, lógica y experimentación para determinar el problema general a resolver.
- **Factibilidad**
Fase en la que se delimita el problema, se establece un alcance posible máximo dependiendo de los recursos asignados. Se debe tomar en cuenta las entradas y salidas esperadas del sistema, aunque este todavía sea desconocido.
- **Definición**
Fase en la que se establece de forma delimitada y adecuada el problema con los aspectos del sistema que se mejorarán durante el proyecto.
- **Análisis**
Esta fase consta de comprender los parámetros y restricciones presentes, sirve para determinar las variables de entrada y salida del sistema.
- **Síntesis**
Fase para proponer soluciones.
- **Evaluación**
Las propuestas de la fase anterior son calificadas dependiendo de los recursos económicos y tecnológicos disponibles. Deben seleccionarse los criterios para la evaluación dependiendo del objetivo del proyecto.
En la fase debe pronosticarse el uso de las diversas soluciones con el fin de elegir la más adecuada.
- **Anteproyecto**
Las soluciones más prometedoras deben desarrollarse en una primera etapa, es decir, de forma superficial.
- **Estudio de anteproyecto**
El resultado del anteproyecto nos permitirá obtener parámetros críticos, mecanismos del sistema, mejorar las restricciones propuestas y mejorar la predicción. Es importante documentar todo, al final de la fase será posible establecer claramente el rumbo del proyecto.
- **Proyecto**

Fase en la que se desarrollan los planos con información detallada para la fabricación de los modelos.

- Desarrollo de modelo y pruebas

Fase en la que se estudia el modelo desarrollado con el fin de obtener retroalimentación para mejorar el diseño en futuras iteraciones.

Durante la fase se fabrican prototipos con el fin de evaluar el funcionamiento de las soluciones implementadas y de verificar que el resultado genere un cambio positivo respecto al sistemas antes de intervenirlo.

Finalmente, el estudio de resultados permite proponer mejoras en el diseño del producto, por ejemplo, reducir las tolerancias, elegir materiales menos costosos, procesos menos costosos, detectar problemas de montaje, mantenimiento, reparación, empaque, transporte, seguridad, adaptabilidad a instalaciones de la compañía, entre otros.

Un diseño mecánico correcto permite obtener beneficios en el sistema al cual fue aplicado desde la primera iteración (pasando por varios prototipos). Al finalizar, el estudio de resultados, en conjunto con nuevas necesidades del sistema, debe ser aplicado para el diseño de futuras mejoras.

En conclusión, deben seguirse los pasos anteriores y el diseño debe, preferencialmente, solucionar los siguientes aspectos: Función, Producción, Costo y Apariencia

Bibliografía

(B1)

Metodologías de Innovación

Proceso de Innovación

La innovación es un proceso que gestiona ideas con el fin de filtrarlas y aplicarlas a un proyecto o solución. Consta de los siguientes pasos:

1. Identificar problemas. Deben observarse productos, funciones, procesos con el fin de evaluar sus debilidades y restricciones.
2. Proponer ideas. Deben proponerse ideas de forma general, obviamente es importante que tengan que ver con el problema identificado, sin embargo, no deben juzgarse ni evaluarse en esta fase.
3. Evaluación de las ideas. Las ideas antes descritas deben ordenarse de acuerdo al nivel de importancia que presentan al intentar resolver el problema que se pretenden solucionar. La evaluación depende de los recursos disponibles para volver realidad las ideas. El orden de las ideas debe contener en el orden superior aquellas que son más viables, tomando en cuenta la estrategia para implementarlas, el resultado esperado, requisitos de implementación, análisis de beneficios y riesgos.
4. Definición de proyecto. Se seleccionan las ideas a implementar, se establecen los límites concretos de trabajo y se asignan los recursos necesarios.

5. Ejecución. Implementación del proyecto. En el proceso de innovación es usual replantear aspectos del problema inicial o de las ideas para solucionarlo durante la marcha.
6. Seguimiento. Al terminar el proyecto se debe analizar el resultado con el fin de verificar si resuelve el problema planteado de la forma como se esperaba. En general el resultado siempre podrá mejorarse, por lo que el proyecto servirá de base para plantear otros.

El proceso de innovación está ligado al proceso creativo, el cual debe ejercitarse con el fin de obtener resultados productivos. Durante la propuesta de ideas existen alternativas como la lluvia de ideas, en la cual es posible obtener una gran cantidad de propuestas dentro de un grupo de trabajo. La evaluación de ideas necesita de un proceso de calificación donde ventajas y desventajas sean juzgadas de forma única para cada proyecto dependiendo de las necesidades del mismo.

(f3)

Actividad 1. Programación

Recién me incorporé al equipo de AAA mi actividad principal fue plantear un sistema para permitir el uso de internet con los circuitos electrónicos VLC que ya se estaban desarrollando. La primera versión de VLC fue un híbrido que utilizaba tanto transmisión de datos por luz, como por Wi-Fi®, el hecho de tener un sistema híbrido simplificaba la incorporación de circuitos electrónicos (que en aquellas etapa de desarrollo realizaban una transición de analógico al digital) y también debido a que la mayor parte de los usuarios de internet descarga más información de la envía, así pues se planeó un primer sistema en el cual la información de internet es enviada mediante Wi-Fi® y descargada mediante VLC.

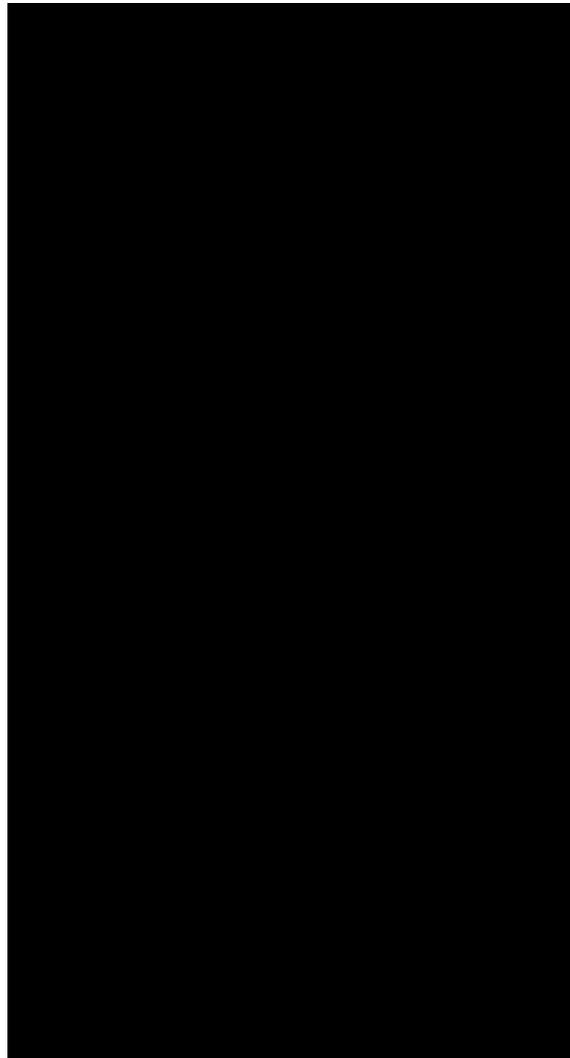


Imagen 3. Cuadro de funcionamiento VLC híbrido

VLC Híbrido

Desarrollé un programa utilizando Java con el cual fue posible realizar el uso híbrido de internet, inicialmente fue muy sencillo y poco optimizado, pero con el paso de unas semanas pulí detalles para dejarlo lo más operativo posible. Para mejorar el programa utilicé una variación de Scrum en la cual mis compañeros de electrónica probaron el sistema para encontrar errores y sugerir cambios, pese a que ellos no se encontraban directamente en el desarrollo del software, su punto de vista como usuarios típicos de internet era adecuado. Además, al planear el sistema utilizando Scrum, pudimos ocupar los módulos ya desarrollados para realizar pruebas de electrónica antes de tener un software 100 % completo.

El tiempo de desarrollo para el programa inicial fue muy corto, en aproximadamente [REDACTED] ya se encontraba esbozada una primera solución al problema. Posteriormente mediante programas independientes fui probando los recursos que necesitaba para elaborar la solución general. Integrar las soluciones también presentó retos que fui solucionando y a partir de la [REDACTED] pude mostrar una primera solución completa. La navegación era lenta y se trababa, requería ser reiniciada constantemente, tenía limitaciones para los sitios web que se podían visitar, ver videos era impráctico debido a la baja calidad de conexión. Debo señalar que la primera solución [REDACTED] fue desarrollada bastante rápido, tanto que los circuitos electrónicos aún no se encontraban listos por lo que simulé la conexión VLC con cableado serial.

Las siguientes semanas las dediqué a mejorar el programa lo cual consistió en integrar de mejor forma los programas que anteriormente habían sido independientes.

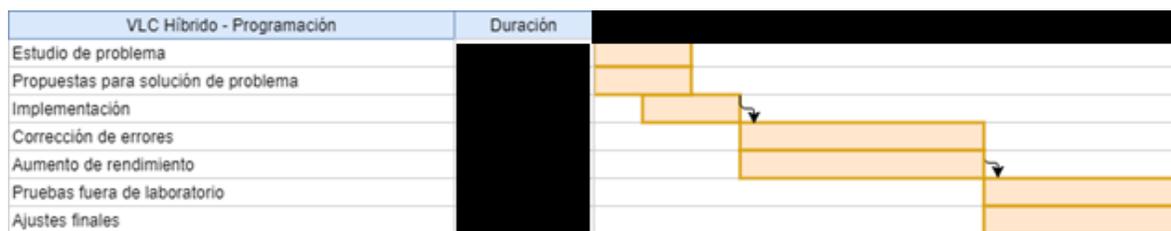


Imagen 4. Línea de tiempo del desarrollo de VLC Híbrido

Si bien utilicé Java para el desarrollo, llevar el programa a otros sistemas operativos requirió de ajustar pequeños detalles debido a que era necesario un controlador para la electrónica. Al final del desarrollo el programa era funcional en [REDACTED]

La versión final de VLC Híbrido permitía conexión a [REDACTED] usuarios utilizando una sola luminaria VLC y tenía una velocidad de transferencia máxima [REDACTED]. El programa siguió un rumbo educativo, permitía la consulta adecuada de páginas web de texto e imágenes (Wikipedia, Google, etc.) y si bien era posible ver videos, la calidad no era “cómoda” por lo que se evitaba el uso de dicho tipo de contenido.

El programa que realicé para la conexión VLC requiere de grandes volúmenes de información escrita en memoria de almacenamiento por lo que cual realicé pruebas de VLC utilizando diferentes tipos de memorias micro SD, el rendimiento de la conexión llegó a ser hasta [REDACTED] veces mejor utilizando tarjeta [REDACTED] comparadas a las [REDACTED]. Probé también con una micro SD [REDACTED] industrial con lo cual conseguí el mejor rendimiento, sin embargo no fue tan drástico como para compensar el alto precio de la memoria.

Instalación de VLC Híbrido

La instalación del sistema VLC Híbrido requería que los usuarios instalaran Java 7 (y superior) y un controlador adecuado dependiendo del sistema operativo y la arquitectura del mismo. Posteriormente debían correr un archivo ejecutable de Java para iniciar el sistema (cliente). La luminaria VLC contaba con un Transmisor que constaba de un [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] en la cual se encontraba un programa también escrito en Java (servidor). El Transmisor se conecta a Ethernet mediante una conexión RJ45, también debe conectarse a corriente eléctrica.

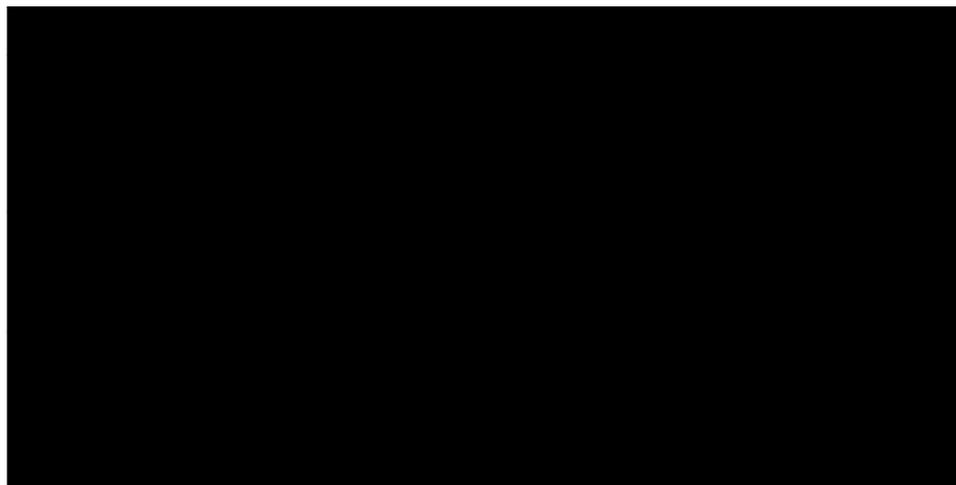


Imagen 5. Cuadro de elementos de VLC Híbrido

Ya con un prototipo listo, realizamos una visita a escuelas representativas de la Secretaría de Educación Pública (SEP) en la Ciudad de México, en ellas conecté una de sus computadoras a VLC Híbrido para garantizar que el sistema funciona. En la mayoría de las escuelas pude realizar la prueba, en las que no la razón fue ajena al sistema VLC, por ejemplo, en una las máquinas estaban protegidas por contraseña y no se podía instalar drivers, en otras no tenían ningún tipo de internet. Las computadoras de la SEP eran en su mayoría Windows Vista de 32 bits, de hecho, el sistema original VLC estaba solo diseñado para 64 bits pero al notar que la mayoría de escuelas de la SEP lo requería, de forma urgente adapté el programa.

Durante la visita a las escuelas de la SEP noté que la instalación física de las luminarias VLC representaba otro reto pues cada escuela tenía una construcción distinta, la altura y tipo de techos, niveles de iluminación, distancia desde el Switch hasta las computadoras y principalmente la forma en cómo deben colocarse o empotrarse las luminarias era distinta. En este punto empecé a planear el diseño mecánico de futuras versiones de VLC para solventar los nuevos problemas y requerimientos.

Otros puntos a mencionar son: pude haber mejorado la navegación en internet sin embargo hubiera requerido cambiar la micro computadora por una de mayor potencia y precio. La velocidad también pudo mejorar, pero se encontraba limitada por los circuitos electrónicos ocupados para el sistema VLC. Bajo condiciones ideales, el sistema VLC Híbrido simula una navegación en internet con la máxima conexión de la micro computadora (████ Megabits/s).

Finalmente, después de reuniones con el equipo de electrónica concluimos que el sistema VLC Híbrido tiene su mejor mercado en el ámbito educativo debido a que maneja muy bien contenidos de texto e imágenes. El consumidor de hogar requería sobre todo de alta velocidad para consumir video, eso y las experiencias y detalles durante la prueba de la SEP nos permitió diseñar la siguiente versión de VLC, una versión bidireccional donde descarga y carga de datos se realicen mediante luz visible.

VLC Bidireccional

Antes de que yo me incorporara al equipo de AAA, ellos habían revisado protocolos de comunicación para desarrollar el internet VLC, retomé esos datos para continuar con la siguiente versión VLC.

No podré comentar a detalle el proceso de conexión debido a motivos de patente y confidencialidad, sin embargo, escribiré parte del proceso. Al inicio tomé bastante tiempo (como se

ve en la línea de tiempo para VLC Bidireccional) para estudiar los protocolos de comunicación porque el objetivo era crear una conexión 100% funcional para los usuarios, es decir una conexión a internet común, poder navegar en cualquier página, utilizar aplicaciones y programas que acceden a la red, descargar archivos, videoconferencias, ver videos, etc. Los puntos anteriores surgieron debido a que la mayor parte de personas que probó la versión Híbrida solicitó poder realizar dichas acciones.

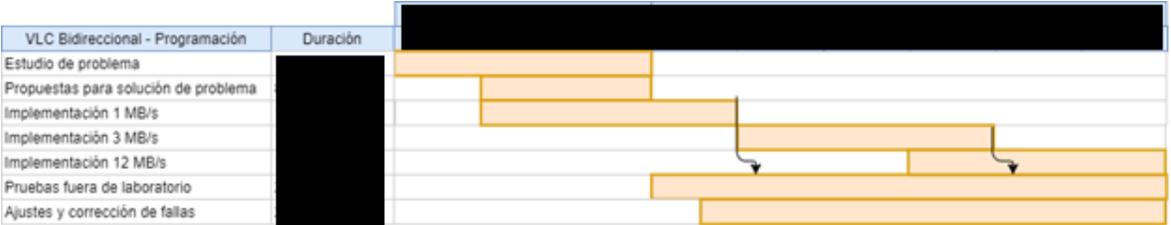


Imagen 6. Línea de tiempo VLC Bidireccional

Si bien revisé diversas fuentes digitales para comprender “internet”, el artículo EE-269 de Analog Devices (A Beginner’s Guide to Ethernet 802.3) presenta un resumen claro para entender como el voltaje eléctrico es utilizado para mandar datos en un cable de red Ethernet, también explica de forma ligera el empaquetamiento de datos y la forma en que los cambios de voltaje son codificados en código binario. Yo considero que éste fue el artículo que más tuvo relevancia para el desarrollo de la versión VLC Bidireccional pues pese a tener un contenido poco profundo respecto a todos los temas, me mostró el panorama completo de forma general y los aspectos que tendría que adaptar del Ethernet para la implementación VLC.

$$((+data) +(+noise))-((-data)-(+noise))=2x data$$

Principio del par trenzado. Muy útil para reducir ruido y alcanzar grandes distancias de cable pero desventajoso para ser compatible con [redacted].

La versión Bidireccional surgió a partir de la versión Híbrida, pero duplicando emisores y receptores para conseguir la carga y descarga por luz, debido al punto anterior pude empezar a trabajar antes de que los circuitos VLC se encontraran finalizados puesto que pude simular la conexión VLC mediante una conexión [redacted].

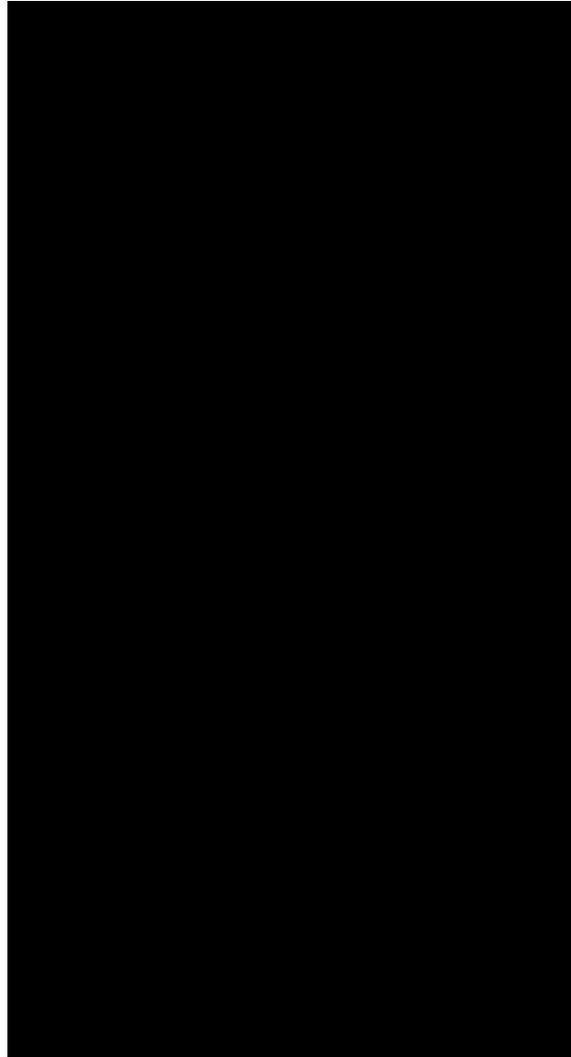


Imagen 7. Cuadro funcionamiento VLC Bidireccional

Nota: Existió una versión intermedia entre la VLC Híbrido y VLC Biderccional, el equipo de electrónica desarrolló un sistema que permitía correr una máquina virtual mediante la conexión VLC a [REDACTED]. Antes de adentrarme a crear una conexión completa, retomé ese proyecto y lo amplié para dar soporte a [REDACTED]. Las pruebas las realicé utilizando una comunicación [REDACTED] y si bien no teníamos una conexión a internet normal, ya estábamos incorporando la bidireccionalidad por lo que nos mostraron que llevábamos el camino correcto.

Posteriormente dediqué tiempo al desarrollo de la conexión total a internet implementada a [REDACTED] para [REDACTED]. Después amplié soporte para [REDACTED]. El siguiente paso

fue aumentar la velocidad a [REDACTED] para todas las plataformas. El último paso para la versión Bidireccional fue alcanzar [REDACTED] para todas las plataformas. En todos los casos la conexión fue del tipo [REDACTED]

La versión VLC Bidireccional consta de una luminaria VLC, un receptor VLC y un transmisor VLC. El transmisor VLC cuenta con una microcomputadora en la cual cargué un programa para la ejecución de VLC, durante el desarrollo de la versión evalué diferentes microcomputadoras para conocer las ventajas y desventajas de cada una, entre las plataformas se encuentran:

- Raspberry Pi 2

El puerto de video simplifica la programación y modificación de scripts, lo cual me resultó particularmente útil cuando realizamos presentaciones de VLC en instalaciones con condiciones de red especiales. El sistema operativo Raspbian actual está muy pulido y la cantidad de recursos y soporte que se encuentra en internet es muy grande.

- Raspberry Pi 3

Ofrece las mismas ventajas de Raspberry Pi 2, adicionalmente tiene conexión de Wi-Fi® lo que permitió realizar demostraciones del funcionamiento VLC aún sin disponer de una conexión cableada de internet

- Intel Galileo gen 2

El puerto mini PCI express permitió conectar una extensión de USB (host) con lo cual la tarjeta de la microcomputadora pudo ser mejor acomodada dentro de la caja de protección del transmisor VLC. El Sistema Operativo principal es Yocto y tiene la ventaja de poder incorporar únicamente los elementos que se ocupan para el proyecto, con lo cual la imagen es considerablemente más pequeña. El precio de la tarjeta es ligeramente superior a Raspberry. Considero que la ventaja principal de la tarjeta es poseer un procesador de arquitectura x86 (Raspberry tiene arquitectura ARM), con lo cual la compilación de drivers que surgieron para dispositivos de escritorio es más directa y sencilla.

- Intel Edison

En tamaño es la más pequeña de las placas que probé pero también es la más alto precio. Es similar a Galileo pero adiciona Bluetooth.

- Orange Pi PC

Es la competencia china de Raspberry y tiene la principal ventaja del precio pues es casi la mitad que la versión original. Durante las pruebas de VLC el funcionamiento fue correcto,

como principal desventaja encontré que el sistema operativo no está tan bien desarrollado como el Raspbian y presenta bugs. Además no cuenta con el soporte ni comunidad con la que cuenta las otras tarjetas.

- Veriscite

Son microcomputadoras de origen israelí, el tamaño de la versión evaluada es similar a una tarjeta de memoria RAM lo cual la hace muy portátil. Para la programación fue necesario utilizar una placa para acceder a los pines de la microcomputadora. El principal sistema operativo es Yocto aunque también cuenta con adaptaciones de Debian y Ubuntu. La página de soporte técnico no ayuda mucho pues no hay gran variedad de temas ni preguntas/respuestas, sin embargo, gracias al vendedor de la tarjeta (BBB) pude ponerme en contacto directo con los fabricantes para resolver mis dudas.

- Arduino Yun

Fue la microcomputadora menos potente que probé para el sistema VLC y en la cual conseguí una conexión correcta. Desafortunadamente el precio de la tarjeta no es tan bajo debido a que incorpora pines de entrada y salida típicos de las placas Arduino. El sistema operativo utilizado fue OpenWRT y aunque no tiene todas las funciones de un sistema Linux Full, permitió la conexión.

- Texas Instruments MSP430G2553

[REDACTED]

[REDACTED]

Como anteriormente mencioné, en varias placas el sistema operativo fue Yocto, el objetivo de utilizarlo es crear un sistema embebido (sistema de computación para realizar una función dedicada f4) con las características que se necesitan, es decir tener la solución exacta para el problema, con lo cual el tamaño de la imagen es considerablemente más pequeña además de que el procesador no tiene que realizar operaciones innecesarias. Como punto a mencionar encontré que cada imagen debe ser creada desde otro sistema Linux y cada cambio en la imagen requiere de volver a generar la imagen, lo cual demora bastante tiempo dependiendo de las capacidades del equipo de cómputo utilizado. Para crear la imagen Yocto de Intel Galileo me basé en el tutorial oficial de Intel sin embargo había pequeños puntos que ya no eran válidos debido a cambios y actualizaciones en Yocto, con lo cual también tuve que estudiar el tutorial oficial del proyecto Yocto. La cantidad de bugs es mínima y permitieron un funcionamiento correcto de VLC. Mencioné que las imágenes son de tamaño reducido, eso también es una ventaja para el Sistema VLC pues es posible incorporar

tarjetas micro SD de menor tamaño, además de que las futuras actualizaciones serán más rápidas de descargar para los usuarios de VLC.

[REDACTED]
[REDACTED]. El funcionamiento es similar bajo condiciones de uso normal (temperatura ambiental, carga de trabajo, vibraciones y factores físicos externos, tipo de router/modem/switch utilizado, tipo de cliente utilizado). Considero que la tarjeta más adecuada en cuestión de precio/tamaño es [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

Adicionalmente realicé pruebas de memorias micro SD para evaluar el rendimiento de la conexión VLC Bidireccional, como resultado encontré que la única mejora ocurre en el arranque del sistema operativo pues en esta versión de VLC la mayor parte de los datos es manejada en [REDACTED]
[REDACTED]. Con una tarjeta [REDACTED] es suficiente para tener un arranque aceptable del sistema y una conexión estable VLC.

Actividad 2. Diseño mecánico

Al terminar la versión definitiva de VLC Híbrido me dediqué a llevar la tecnología a diversas presentaciones, exposiciones y pruebas de la SEP, posteriormente en la oficina comencé con el estudio de información para las siguientes versiones de VLC. Anteriormente el equipo de electrónica le dedicaba tiempo a la generación de piezas plásticas para manufactura aditiva, pero a partir de este punto yo comencé a llevar el desarrollo de dichas piezas. En un inicio el diseño de VLC Bidireccional fue muy conceptual, el circuito electrónico se encontraba en desarrollo temprano, no conocíamos las dimensiones finales, ni los componentes que serían utilizados, incluso las características del sistema VLC Bidireccional no estaban definidas pues estábamos estudiando los temas para poder proponer soluciones. El motivo anterior complicó el poder establecer límites y características para el diseño mecánico, en otras palabras, nos encontrábamos en un proceso muy temprano de desarrollo del producto, teníamos las sugerencias que nos realizaron los clientes durante la versión Híbrida, pero desconocíamos si era posible solventar todos los puntos utilizando los recursos a nuestro alcance. El objetivo principal era crear un Sistema VLC Bidireccional que corrigiera las observaciones de los clientes y que fuera funcional, es decir que pueda ser utilizado por usuarios comunes en conexiones comunes, queríamos un sistema que funcione fuera de laboratorio. Con base a lo anterior propuse diversas ideas para comenzar a visualizar ventajas y desventajas de las geometrías, tipo de fabricación, precios y tiempo de fabricación, entre otros.



Imagen 8. Cuadro del proceso de innovación

Trabajé en conjunto con el equipo de electrónica para saber que rumbo tomaría el producto final, realizamos diversos dummies y prototipos con los cuales fuimos perfeccionando el sistema final. Muchas veces necesitábamos información respecto a VLC pero debido a que es una tecnología nueva no encontramos los datos requeridos, ello nos llevó a realizar pruebas de laboratorio para obtener mediciones. Un ejemplo de lo anterior ocurrió con las ópticas en conjunto con los leds utilizados, pues si bien existe software para obtener la cantidad de luxes, al combinar los elementos con el sistema electrónico se tenían diferentes resultados, para solventarlo creé un sistema de rieles plásticos en los cuales montamos las ópticas y los leds, así pudimos obtener las distancias máximas a la cuales se generaba conexión VLC.



Para el desarrollo de VLC Bidireccional utilizamos componentes de CCC, por lo cual me basé en sus lámparas para realizar las primeras propuestas de luminaria VLC. De igual forma los componentes de CCC sirvieron para realizar los primeros esbozos del Receptor USB VLC, el cual además debía ser similar a las BAM de internet por cuestiones de “familiaridad” en los usuarios.

Realicé algunos renders en DDD a la par que el equipo de electrónica trabajaba en los circuitos electrónicos con lo cual establecimos las geometrías que debían seguirse para el producto final. Adicionalmente a los renders, imprimí en 3d los modelos que más nos agradaron con el fin de tener una idea de la sensación física que tendrían al ser usado. Lo anterior nos permitió descartar los elementos en el Receptor USB VLC que tenían ópticas demasiado grandes, pues si bien el alcance de conexión que teóricamente tendrían sería muy amplio, el uso sería muy complicado debido a las grandes dimensiones del receptor.

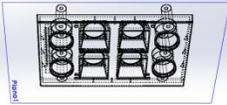
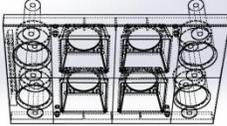
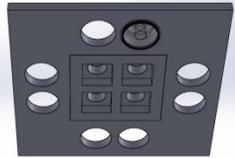
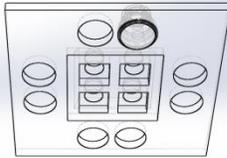
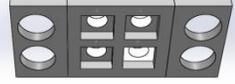
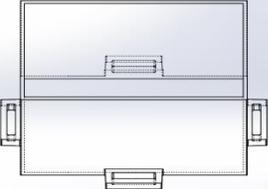
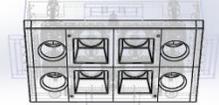
Imagen	Imagen malla	Descripción
		Luminaria basada en modelo CCC, agregando ópticas para sensores
		Luminaria compacta
		Luminaria con panel de ópticas para sensores
		Luminaria basada en modelo CCC, agregando ópticas de alto alcance para sensores
		Caja de protección para luminaria
		Luminaria basada en modelo CCC, agregando ópticas para sensores, con caja

Imagen 9. Cuadro de propuestas iniciales para Luminaria VLC

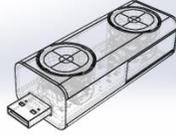
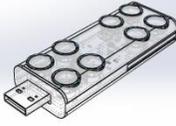
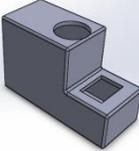
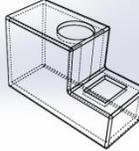
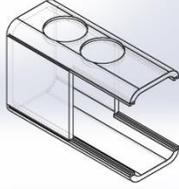
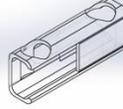
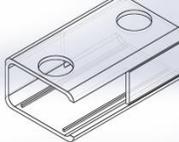
Imagen	Imagen malla	Descripción
		Receptor USB VLC con ópticas de largo alcance
		Receptor USB VLC con ópticas estándar
		Receptor USB VLC con ópticas compactas
		Receptor USB VLC con ópticas a diferente nivel
		Receptor USB VLC con ópticas de bajo costo
		Receptor USB VLC con ópticas de bajo costo. PCB compacto
		Receptor USB VLC con ópticas de bajo costo. PCB ancho

Imagen 10. Cuadro de propuestas iniciales para Receptor USB VLC

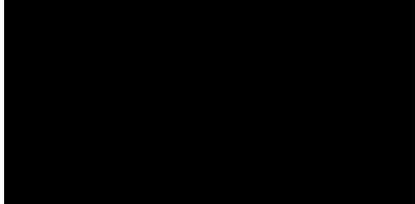
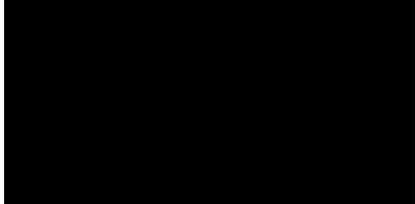
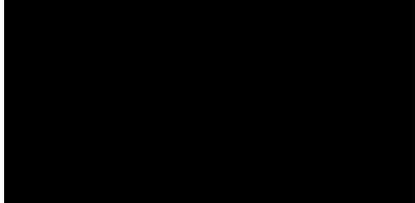
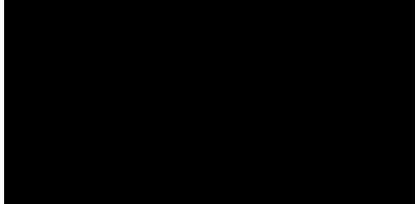
Impresión 3D	Descripción
	Prototipo rápido de luminaria basada en CCC
	Prototipo rápido de luminaria basada en CCC (con leds de muestra)
	Prototipo rápido de luminaria con caja de protección
	Prototipo rápido de luminaria con jaula para empotramiento en concreto
	Prototipo rápido de luminaria con ópticas de largo alcance

Imagen 11. Cuadro con prototipos rápidos creados con manufactura aditiva

Realicé los prototipos rápidos mediante manufactura aditiva, utilizando una máquina Minifab 3d (impresora 3d – Máquina de Manufactura Aditiva) con el programa Repetier. Generé las piezas en DDD, posteriormente exporté como archivos STL a Repetier, en este programa creé el código g para impresora 3d. Los ajustes de Repetier (Velocidad, tipo de filamento, geometrías, etc.) ya se encontraban cargados en el programa debido a que usualmente la empresa Proyectil.mx nos brindó soporte para la impresora 3d. Durante los meses que generé prototipos rápidos fui conociendo la impresora 3d y encontré mejores valores de velocidad para generar piezas de forma más uniforme

(dependiendo de la geometría es posible aumentar a más de 100% la velocidad recomendada, o al contrario, es necesario disminuirla para evitar que la pieza baje de calidad), además me familiaricé con el diseño enfocado a manufactura aditiva. Para todos los prototipos utilicé EEE ([REDACTED] [REDACTED] En las conclusiones de este documento detallaré algunos consejos de manufactura aditiva.

Después de que imprimí algunas propuestas, realizamos una comparativa para elegir la más conveniente. Para el punto anterior también realicé renders foto realistas debido a que la manufactura aditiva no tiene el acabado y calidad de la inyección plástica. Elegimos un modelo final en base a votación y valoración, posteriormente tuvimos una junta con BBB debido a que ellos se encargarían de la producción en masa (entregando un producto completo). En la junta determinamos que para empezar es conveniente tener menor cantidad de piezas plásticas porque con ello se tienen que crear menos moldes y eso baja el precio del producto final, además platicamos acerca de tiempos de fabricación, los moldes se llevarían arriba de [REDACTED] por lo que para comenzar la producción primero mandaríamos a crear un lote de prueba de [REDACTED] impresas en 3d. Inicialmente nosotros (AAA) consideramos crear una PCB para el Receptor USB VLC y otro PCB para la Luminaria VLC, por motivos de costo y tiempo el equipo de electrónica modificó el diseño para que ambas PBC sean compatibles entre sí, con lo cual también cambió la forma final del receptor USB VLC.



Imagen 12 a. Propuestas mejor valoradas para el receptor VLC

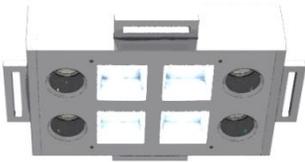
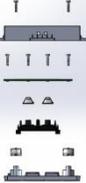
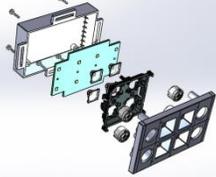
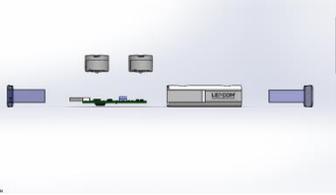
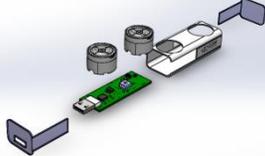
Render	Explosivo	Explosivo
		
		

Imagen 12. Imagen de la pieza final seleccionada antes de la Junta con BBB

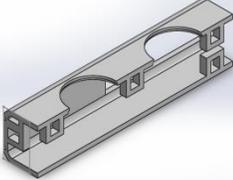
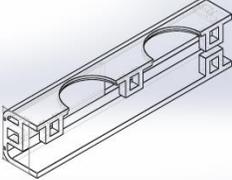
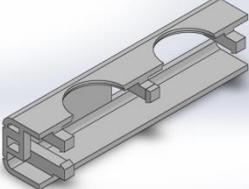
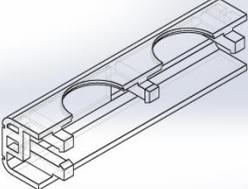
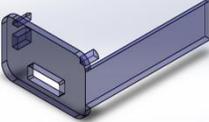
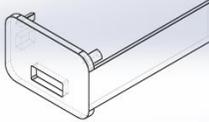
Imagen	Imagen malla	Descripción
		Parte lateral izquierda del Receptor USB VLC
		Parte lateral derecha del Receptor USB VLC
		Tapa del Receptor USB VLC. (Frontal – incluye salida para conector)

Imagen 13. Imagen de elementos de engarce

Propuse varias formas de ensamblar las piezas: Elementos de engarce, pegamento, tornillos. Antes de la junta con BBB establecimos que la forma más adecuada sería Elementos de engarce, con lo cual rediseñé las piezas para incorporar dicho método de ensamble. Posterior a la junta con BBB

optamos por tornillos debido a que era probable ensamblar y desensamblar las piezas para realizar ajustes, y utilizando el sistema de elementos de engarce sería inviable volver a abrir el producto una vez ya estando cerrado.

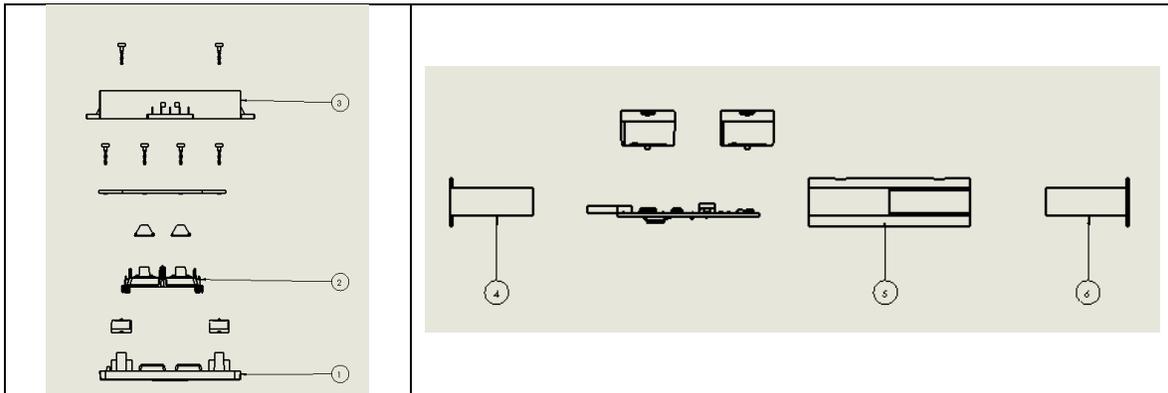


Imagen 14. Cuadro de cambios después de la junta con BBB

En cuestión de diseño mecánico ahora sí teníamos un objetivo y restricciones, con lo cual procedí a realizar un proceso de diseño en el cual generé las piezas finales para el sistema VLC. De la junta con BBB determinamos que primero diseñaría las piezas pensadas para una producción en manufactura aditiva, posteriormente diseñaría las piezas para inyección plástica.

Manufactura aditiva

Comencé con el diseño para manufactura aditiva debido a que el tiempo de fabricación de moldes para inyección es de [REDACTED] meses, mientras que la manufactura aditiva es prácticamente instantánea (Al inicio de lotes muy pequeños por lo que era viable tener la impresora 3d funcionando una semana para producirlos). Si bien la manufactura aditiva tarda mucho en realizar una pieza, a nosotros nos convenía comenzar a tener productos para mostrar la tecnología por lo que esperar los [REDACTED] meses del molde se volvió inviable. Mi primera experiencia con impresora 3d ocurrió en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) para el proyecto de Creatividad pues realicé una pieza plástica, en ese momento mi pieza ocupó material de soporte soluble en agua. En AAA la impresora 3d solo puede colocar un tipo de material, por lo que el material de soporte y el de la pieza son el mismo, lo cual llevó a pensar las piezas para que pudieran ser impresas

con la mejor calidad posible. Durante las primeras impresiones que realicé noté que la calidad de la pieza depende drásticamente de la forma, de los parámetros y de la orientación en que sea impresa.

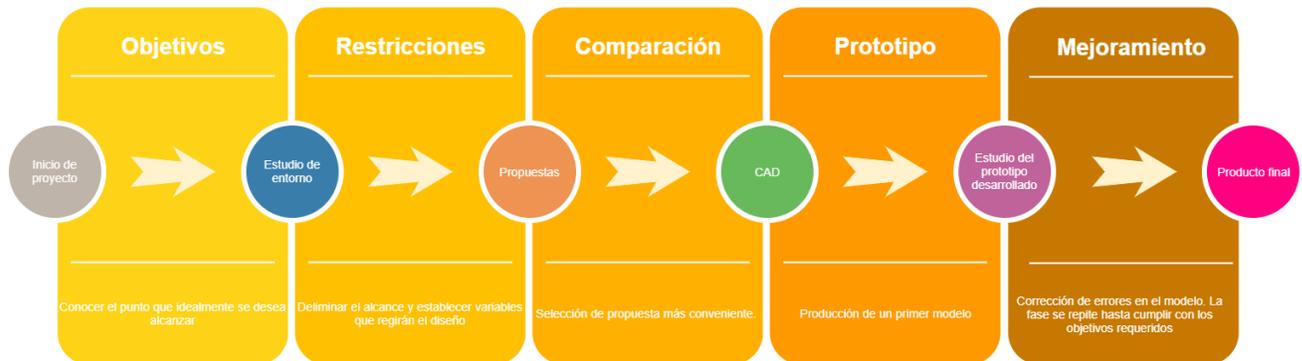


Imagen 15. Cuadro Objetivos – Restricciones – Prototipo – Mejoramiento – Producto Final

Diseño para Receptor USB VLC (Manufactura aditiva)

Objetivos:

- Diseñar una pieza plástica para contener los circuitos electrónicos del Receptor VLC utilizando el proceso de manufactura aditiva.

Restricciones:

- La pieza debe ser pensada para ser generada en impresora 3d debido a que el lote pequeño y se requiere tener en un plazo de tiempo corto y a un relativo bajo precio.
- La pieza debe ser fabricada en [REDACTED] (Por facilidad de uso con la impresora)
- La pieza debe ser compatible con los PCB VLC de Luminaria y Receptor
- La pieza debe proteger los circuitos VLC
- La pieza debe de ser ensamblada fácilmente
- La pieza debe ser montable y desmontable
- La pieza debe ser similar a la pieza ganadora en la votación de propuestas efectuada anteriormente
- El espesor mínimo debe ser [REDACTED] mm (Para realizar una buena impresión)
-

Prototipos – Mejoramiento:

Basado en las restricciones modifiqué la pieza de DDD. Realicé una primera impresión y noté que el PCB no entraba pues el plástico se había encogido. En anteriores impresiones noté encogimiento en las piezas, sin embargo la cantidad del mismo dependía de la geometría y de las condiciones ambientales, por ejemplo la impresión era más uniforme cuando se realizaba en un habitación sin ventanas. Para evitar problemas aumenté ligeramente las dimensiones (██████████ dependiendo de la sección) para dar una mayor tolerancia en el ensamble. Originalmente pensé las piezas para ser unidas por elementos de engarce, sin embargo necesitábamos ensamblar y desensamblar el producto por lo cual el siguiente cambio consistió en agregar tornillos. Inicialmente coloqué postes con cuerda en la cual los tornillos entraban, sin embargo la cuerda no resultaba bien impresa debido a su tamaño por lo que eventualmente reduje el diámetro del barreno en los postes y la cuerda se creaba en el momento de meter el tornillo (pija) a presión. El resultado fue superior a las versiones con cuerda impresa.

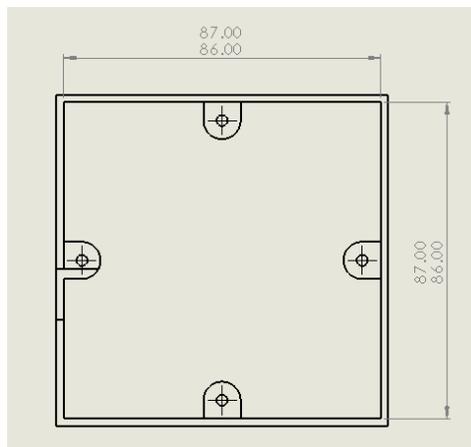


Imagen 16. Imagen de aumento de dimensiones para tolerancias

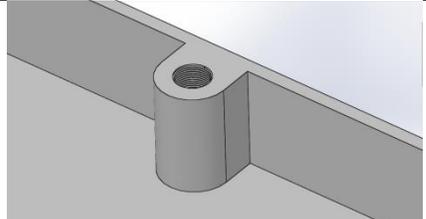
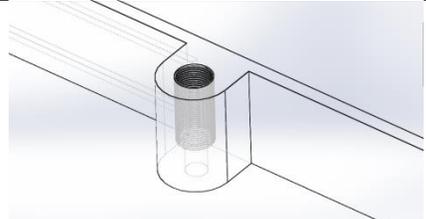
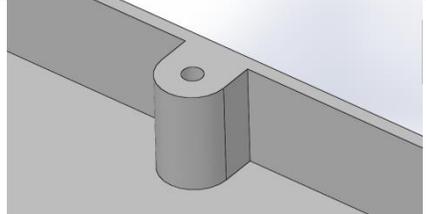
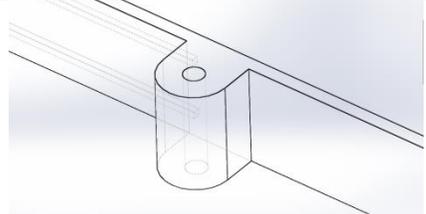
Imagen	Imagen malla	Descripción
		Poste con cuerda
		Poste sin cuerda. El barreno es de diámetro inferior al original

Imagen 17. Imagen de postes con y sin cuerda

La impresora 3d que utilicé en AAA es: Minifab 3D, tiene una resolución máxima de 100 micras y un extrusor de 0.4 mm, con lo cual si el diseño se mantiene en un rango de espesor mínimo de 1 mm el resultado será muy aceptable en calidad. Utilicé un espesor de [REDACTED] en las paredes externas con lo cual obtuve una caja bastante resistente pese a que la impresión no era uniforme en todas las áreas.

En relación a la selección de material, restringí la elección a [REDACTED] debido a que los resultados que obtuve en pruebas anteriores me dieron un buen resultado y la recomendación de una empresa que nos asesoró. La impresora 3d Minifab 3D tiene la capacidad de imprimir ABS, el cual es un polímero con mejores características mecánicas que el PLA, sin embargo, la impresión es más complicada debido a que se debe cuidar en mayor medida la temperatura de la cama y la geometría de la figura por el encogimiento del polímero. Las condiciones ambientales también deben ser más controladas con ABS y como punto adicional ese polímero expide gases tóxicos durante la impresión. Debido a que el Receptor USB VLC no estaría sometido a cargas mecánicas, y a que al tener una caja con espesor de [REDACTED] se tenía una buena protección de los circuitos, opté por seleccionar [REDACTED] desde el inicio del planteamiento del diseño. Cabe señalar que se puede cambiar el polímero por cualquier otro en caso de ser necesario (por cuestiones estéticas, tiempo o facilidad de fabricación, precio) siempre y cuando después del encogimiento las dimensiones internas mantengas una medida mínima para garantizar que entran las placas de circuitos.

Características generales de PLA y ABS		
	PLA	ABS
Nombre oficial	Ácido poliláctico	Acrilonitrilo butadieno estireno
Fórmula molecular	(C ₃ H ₄ O ₂) _n	
Obtenido de:	Recursos renovables: raíz de tapioca, almidón, maicena, papas, caña de azúcar	Compuestos químicos: Acrilonitrilo butadieno estireno
Amigable al ambiente	Sí	No
Degradable	Sí	No
Punto de ebullición	173 a 178 °C	205 °C
Dureza Rockwell	R70 a R90	105 a R110
Calidad superficial	Muy Buena	Buena
Tiempo de enfriamiento	Largo	Corto
Resistencia al calor	110 °C	105 °C
Olor	Bueno	Oloroso
Absorción de humedad	Sí	Sí
Soluble en agua	Insoluble (idealmente)	Insoluble
Densidad	1.23 a 1.25 g/cm ³	1.04 g/cm ³
Elongación a la ruptura	3.80%	20%
Vinculación al acrílico	Muy firme	Buena
Transición vítrea	60 a 65 °C	105 °C
Resistencia a la tracción	57.8 Mpa	44.81 Mpa
Resistencia a la flexión	55.3 Mpa	75.84 Mpa
Resistencia a la compresión	NA	46.54 MPA
Módulo de flexión	2.3 Gpa	2.28 Gpa
Módulo de tensión	3.3 Gpa	2.21 Gpa
Cristalinidad	37 °C	NA
Ejemplos de uso	Vasos, cajas, tapas, cubiertos	Bloques LEGO, mouse de computadora

Imagen 18. Cuadro de propiedades PLA y ABS. Información solo para referencia (f5)

Producto final:

Después de varias impresiones y correcciones, la pieza se encontraba lista. Realicé un plano con las tolerancias de paredes internas para garantizar que el circuito electrónico entrara correctamente. Respecto a las tolerancias de paredes externas no fue necesario ser estricto debido a que no debían embonar con ningún otro componente, además un usuario final no distinguiría si el receptor tiene

longitud de 10 cm o de 10.1 cm. En el plano también especificué el tipo de tornillo con el que se debía ensamblar. Adicionalmente incluí un modelo *explosionado* para mostrar la ubicación de los elementos y la forma en que debe ser ensamblado. Respecto al material especificué que debe ser fabricado en [REDACTED] debido a que es el plástico con el que yo obtuve resultados bastante aceptables dentro de AAA. También especificué color y que la pieza debía realizarse con una impresora 3d de alta resolución, una al menos igual a la Minifab 3D.

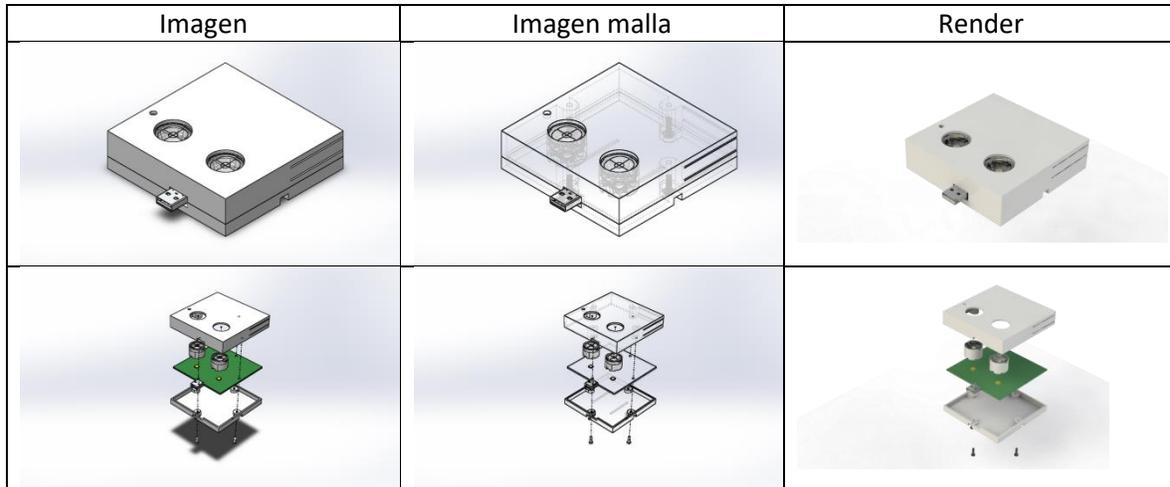


Imagen 19. Imagen de modelo explosionado

Imprimí un par de piezas finales y el resultado fue correcto, la placa de circuitos entra correctamente y queda bien protegida. La impresión debe realizarse en 2 piezas, parte superior y parte inferior. No es necesario utilizar material de soporte, la pieza está pensada para ser impresa sin necesidad de soportes. La calidad final fue buena, dependiendo sobre todo de factores externos por ejemplo no tener ventanas abiertas. El pandeamiento por enfriamiento fue muy bajo siempre y cuando la pieza se despegue de la cama de la impresora 3d una vez que la misma cama se ha enfriado. Las únicas fallas se presentaron cuando el rollo de polímero es de baja calidad pues tiende a romperse durante el proceso de inyección, en dichos casos rescaté las piezas al pausar la máquina y reparar el carrete.

El acabado final fue bueno, no necesitó someterse a baño de cloroformo ni de pintarse. En pruebas notamos que el baño de cloroformo ayuda a eliminar líneas de impresión en partes esféricas, sin embargo, la geometría de nuestra pieza es muy cuadrada con paredes rectas por lo que el baño de cloroformo no nos entregaría un mejor resultado, en cambio nos alteraría las dimensiones finales con lo cual corríamos el riesgo de que los circuitos no entraran correctamente, o que si el proceso

encogía más la parte superior, ésta no embonara correctamente con la parte inferior. Respecto a pintura experimentamos utilizando aerosol pero no fue nada recomendable, el polímero reaccionó y se deformó durante el proceso.

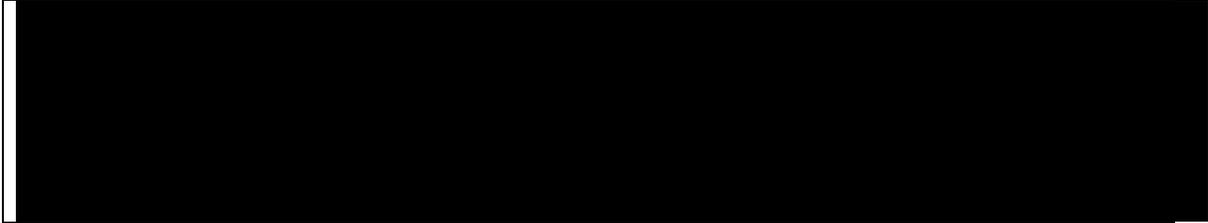


Imagen 20. Imagen de producto final impreso

Diseño de Luminaria VLC (Manufactura aditiva)

Objetivos:

- Diseñar una pieza plástica para contener los circuitos electrónicos de la Luminaria VLC utilizando el proceso de manufactura aditiva.

Restricciones:

- La pieza debe ser pensada para ser impresa en 3d
- La pieza debe ser fabricada en [REDACTED]
- La pieza debe ser compatible con los PCB VLC de Luminaria y Receptor
- La pieza debe proteger los circuitos VLC
- La pieza debe de ser ensamblada fácilmente
- La pieza debe ser montable y desmontable
- La pieza debe ser similar a la pieza ganadora en la votación de propuestas efectuada anteriormente
- El espesor mínimo debe ser [REDACTED] mm

Prototipos – Mejoramiento:

De igual que forma que con el receptor, adapté la pieza de la Luminaria VLC a las restricciones impuestas. Considerando el encogimiento aumenté las dimensiones de la pieza para garantizar que los elementos entraran correctamente. Esta pieza, a diferencia del Receptor VLC, estaría sometida a una carga mecánica pues la función de la pieza es sostener y empotrar en el techo los elementos necesarios para la conexión VLC. Una Luminaria VLC consta de:

los elementos anteriores tienen un peso de aproximadamente kilo y medio, con base en eso y a que están simétricamente distribuidos sobre el plástico, continué con la modificación de la pieza para que sea funcional en el mercado. A diferencia de la inyección de plástico, en la manufactura aditiva (PLA) es posible tener volúmenes de plástico sin sufrir grandes deformaciones durante el enfriamiento, con lo cual aproveché el ancho máximo de la pieza para establecer el grosor de las pestañas de empotramiento, es decir de ancho. Nota: en manufactura aditiva la deformación durante el enfriamiento es menor debido a que la mayor parte ocurre puntualmente en el extrusor al contacto con la superficie.

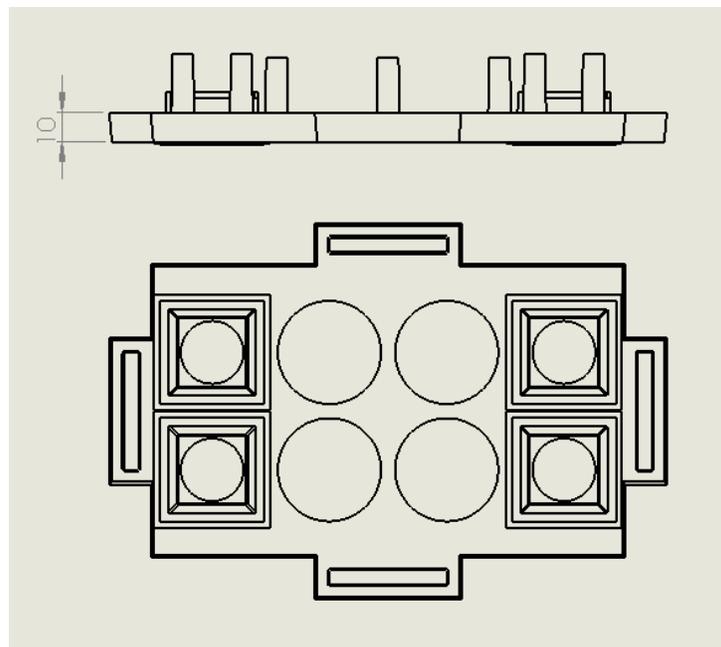


Imagen 21. Imagen de máximo ancho de pestañas de empotramiento

Debido a que la pieza es más larga y propensa a sufrir palanca durante la manipulación de los usuarios finales, agregué cartabones para aumentar la resistencia de la pieza. Los cartabones los

coloqué en las caras interiores uniendo la base con las paredes laterales. Para el diseño de los cartabones me basé en una Luminaria de CCC, de forma similar seleccioné el espesor de las paredes en base a dicha luminaria.

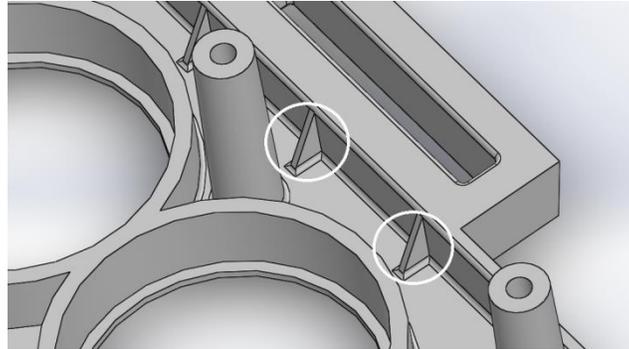


Imagen 22. Imagen de cartabones

Aproveché la base inferior para colocar postes que sostendrían todas las piezas a lo largo de un eje vertical, en los postes coloqué cuerdas que, al igual que en el receptor USB, posteriormente cambié por barrenos. Para el desarrollo de VLC utilizamos elementos de CCC por lo cual basé el diseño para ser compatible con sus piezas sin necesidad de tornillos adicionales.

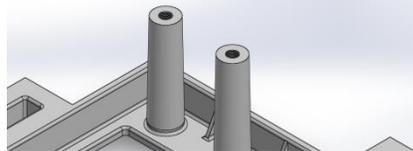
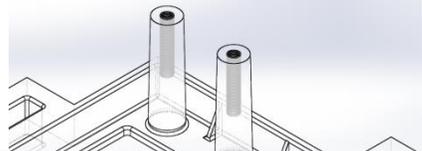
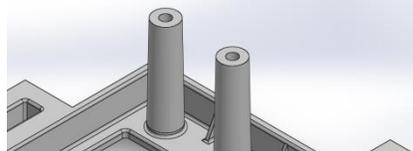
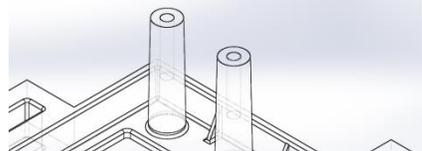
Imagen	Imagen malla	Descripción
		Poste con cuerda
		Poste sin cuerda. El barreno es de diámetro inferior al original

Imagen 23. Imagen de postes con barrenos

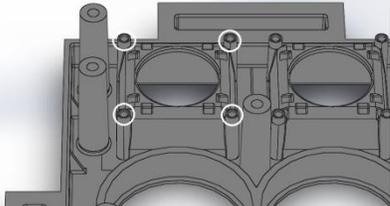
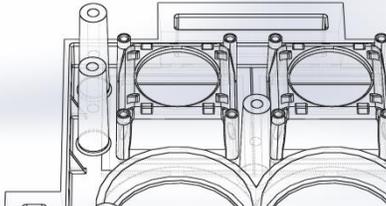
Imagen	Imagen malla	Descripción
		<p>Los círculos blancos de la imagen muestran los barrenos para conectar la pieza con los elementos de CCC</p>

Imagen 24. Imagen de partes compatibles con CCC

Debido a que llevé el desarrollo de la pieza a la par que el equipo de electrónica desarrolló los circuitos, hubo cambios en el PCB que afectaron al desarrollo, el principal fue un cambio en la ubicación de las ópticas que requirió re ajustar la pieza. Durante el desarrollo del Receptor USB VLC y de la Luminaria VLC traté de dibujar en DDD dejando variables modificables, con lo cual era mucho más rápido y sencillo realizar ajustes, también aproveché la opción de crear diversas configuraciones con lo cual podíamos ver los cambios en los ensambles de manera directa y sin tener que redibujar las piezas. Sin embargo, durante el proceso de desarrollo del producto ocurrieron cambios grandes que me obligaron a volver a crear la pieza, tal fue el caso de la ubicación de las ópticas.

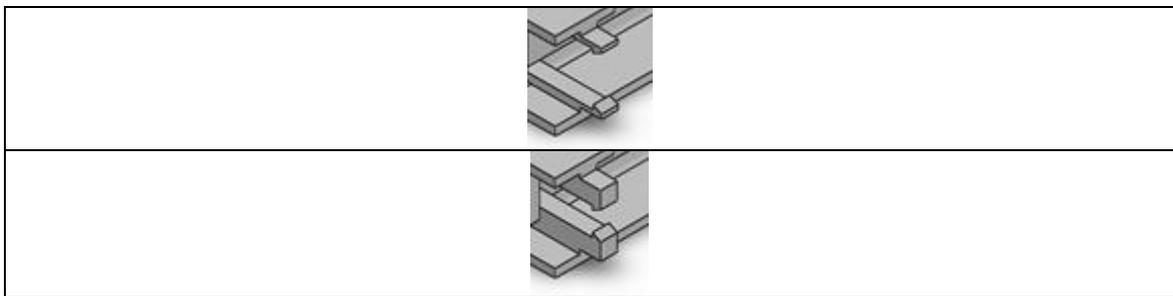


Imagen 25. Imagen de configuraciones DDD ilustrando el cambio en las dimensiones de los elementos de engarce



Imagen 26. Imagen de variables en las medidas para facilitar la modificación

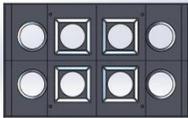
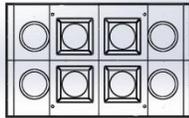
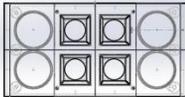
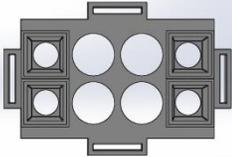
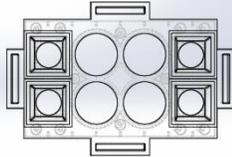
Imagen	Imagen malla	Descripción
		<p>Luminaria original. Las ópticas para sensores se ubican a los costados</p>
		<p>Luminaria con ópticas de largo alcance</p>
		<p>Luminaria con ópticas de largo alcance ubicadas al centro.</p>

Imagen 27. Imagen del cambio de ubicación de ópticas

Cabe mencionar que el problema de ubicación de las ópticas fue complicado a nivel electrónica. Inicialmente la propuesta era tener un único circuito en el cual colocar la tecnología VLC, sin embargo, por complicaciones y tiempo de desarrollo se optó por colocar [REDACTED] diferentes circuitos independientes, lo cual me llevó a ajustar la pieza.

Como mencioné anteriormente trabajé con el área de electrónica para realizar pruebas de laboratorio, uno de esos ensayos cambiamos las ópticas seleccionadas pues evaluamos la [REDACTED] [REDACTED] y a partir de dicha decisión ajusté la pieza para ser compatible, afortunadamente solo requerí cambiar el valor de una circunferencia (debido a dejar las medidas con variables).

Producto final:

Después de que realicé otros ajustes menores para facilitar la impresión, quedó listo el modelo final. Esta pieza, a diferencia del receptor usb vlc, constó de un solo elemento, lo cual significó que para poder imprimirse le tuviera que colocar material de soporte. Experimenté con diferentes geometrías y espesores en el material de soporte para encontrar el adecuado, pues cuando lo hacía muy ancho era difícil de retirar y dañaba la pieza impresa, y por el contrario cuando lo hacía demasiado delgado no brindaba el soporte necesario y la impresión fallaba. Considero que lo más difícil del producto final fue batallar con la calidad del filamento 3d, pues requería de que estuviera cuidando que no se rompiera (La impresión se demoraba [REDACTED], dependiendo de los parámetros de velocidad y tipo de trayectoria del extrusor).

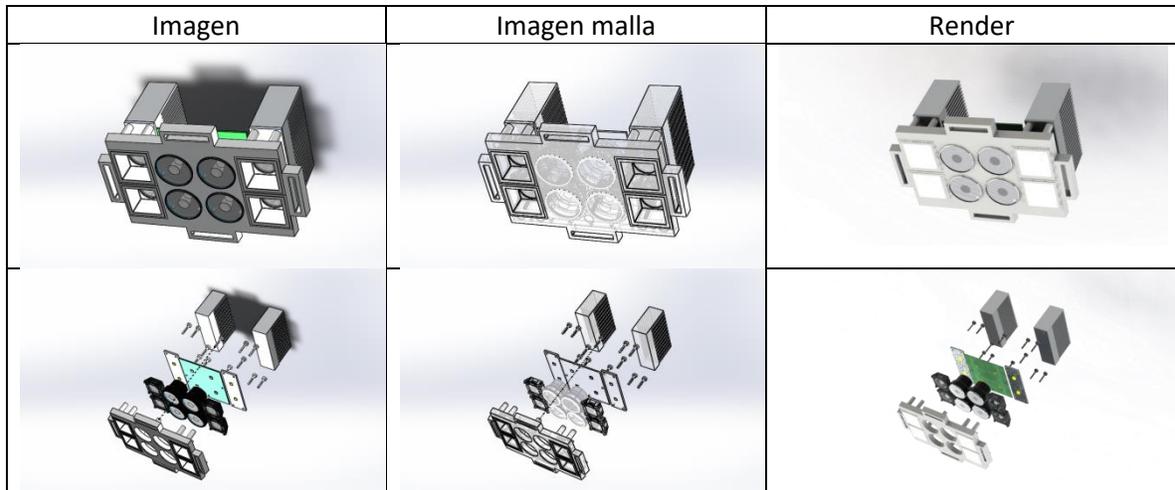


Imagen 28. Imagen de explosivo

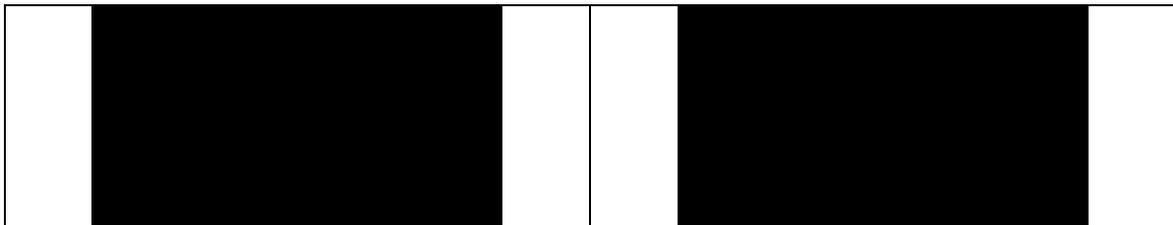


Imagen 29. Imagen de producto impreso

Fabricación de Lote 1

Para iniciar con la producción de la tecnología VLC, imprimí [REDACTED] juegos de plásticos para crear Receptores USB VLC y Luminarias VLC. Demoré aproximadamente [REDACTED] en terminar las impresiones, en algunas ocasiones dejé la impresora 3d en la noche funcionando, pero no resultó debido a la baja calidad del filamento de impresión. Finalmente opté por cuidar las impresiones (mientras realizaba otras actividades) y en caso de que se rompiera el filamento pudiera pausar la impresión para recolocararlo. Los kits resultantes sirvieron para mostrar la tecnología y para pulir detalles antes de crear una producción más grande.



Imagen 30. Foto lote 1

Fabricación de Lote 2

Para una producción mayor de piezas no es suficiente con la impresora 3d Minifab 3d, por lo que acordamos con BBB que ellos nos produzcan [redacted] adicionales para continuar con pruebas, mostrar tecnología, pulir detalles, ajustar procesos. Acordamos que los plásticos para esas [redacted] unidades sean impresos en 3d debido a que sería más rápido y barato que mandar a realizar moldes, ante lo cual preparé planos mecánicos con tolerancias mínimas, tipo de material, explosivo para mostrar modo de ensamble y tipo de tornillos tanto para Receptor USB VLC como para Luminaria VLC. Estuve en contacto directo con BBB para garantizar que las piezas fueran correctamente impresas y embonaran con los circuitos electrónicos.

En calidad de materiales, el resultado fue muy satisfactorio, las piezas presentaban un acabado muy bueno, superior a la que nos entregó la Minifab 3d. El equipo de electrónica realizó cambios finales a los circuitos (posteriormente a que yo enviara planos finales a BBB), pero los cambios no fueron drásticos, bastó con una pequeña modificación al plástico para conseguir un cierre perfecto. De [redacted] piezas solo [redacted] presentaban ligero pandeamiento, a mi parecer las retiraron de la cama de la impresora 3d cuando ésta aún estaba caliente.

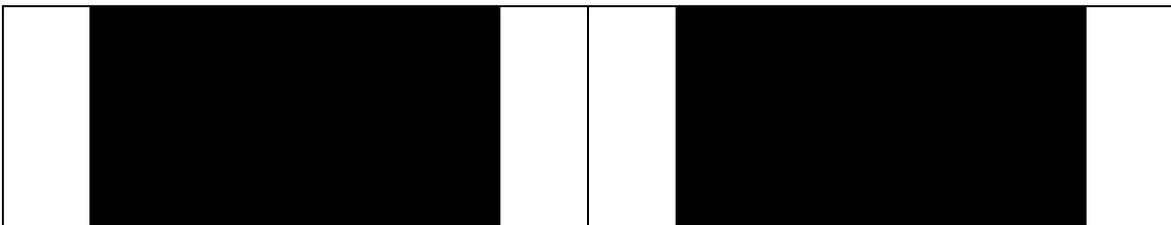


Imagen 31. Foto lote 2

Resultados

El diseño mecánico me permitió entregar piezas y planos para la fabricación de las mismas. Las piezas fueron perfectamente adaptadas a las necesidades de la placa de circuitos, el Receptor USB VLC tiene buena protección de los elementos internos y es fácil de montar y desmontar. La Luminaria VLC tiene cartabones y espesores que le dan resistencia para soportar los elementos que carga, también es de fácil montaje y desmontaje pues todos los componentes van alineados en un eje vertical.

Visualmente, Receptor y Luminaria, surgieron a partir de varias propuestas que fueron evaluadas, posteriormente modifiqué la pieza seleccionada para adaptarse a las restricciones del proyecto.

La producción de piezas dentro de AAA es viable a nivel prototipo, para un pedido de mayor cantidad y para venta es necesario realizar la producción con una compañía exterior. Las piezas 3d pueden imprimirse en un tiempo aceptable cuando se trata de pequeños volúmenes (pruebas piloto, inicio de ventas), pero para realizar una producción en masa es necesario realizar otro proceso de mayor velocidad, en nuestro caso inyección de plástico para los siguientes lotes.

Los kits producidos han sido mostrados en diversas exposiciones y convenciones. Algunos han sido colocados como demos en compañías y lugares estratégicos. Después de varias semanas se usó, el plástico [REDACTED] ha mantenido sus propiedades pese a ver sido sometido a una manipulación excesiva (Superior al de un usuario final de la tecnología). El siguiente paso consta en bajar el precio del plástico y aumentar la velocidad de producción.

El haber diseñado las piezas en base a elementos de CCC, y mantener el ensamblaje de forma simple, nos permitió realizar correcciones y pruebas adicionales sin necesidad de realizar grandes cambios al plástico. Por ejemplo, en la Luminaria, podemos ocupar diferentes tipos de disipadores gracias a que la ubicación de estos no interfiere con las placas de circuitos. También el haber dejado una amplia tolerancia para los PCB permitió que el ensamblaje sea más rápido (No todos los PCB de producción tienen el mismo tamaño debido a la herramienta con la que son cortados durante su manufactura, antes de aumentar las tolerancias era necesario lijar el excedente del PCB).

Receptor y Luminaria VLC tienen secciones transversales sobradas lo cual fue muy útil en los momentos que se rompía el filamento durante la impresión, pues me daba tiempo de pausar y volver a conectar el carrete. El proceso de reconexión anterior dañaba ciertas partes de la pieza, en

unas caras se perdía material mientras que en otras sobraba, pero debido a que las secciones transversales estaban sobradas no se comprometía la rigidez de la pieza final.

Problemas y observaciones durante el proceso

Durante el desarrollo de la pieza encontré dos principales problemas o detalles que aumentaron el tiempo de diseño: la falta de consistencia en la manufactura aditiva y los cambios en la electrónica. Como mencioné anteriormente la calidad de la manufactura aditiva depende tanto de la geometría de la pieza, como de las variables del proceso (velocidad, temperatura, etc.), a esas tuve que agregar el problema de ruptura de filamento, por lo que terminé cuidando cada impresión para conseguir que el resultado sea correcto. Respecto al punto de cambios en la electrónica, era normal debido a que el diseño de las piezas plásticas se llevó a la par del desarrollo de la electrónica, y si bien ocasiones generó incompatibilidad y necesidad de reajustar los elementos, en la mayoría de las veces fue benéfico pues el equipo de electrónica podía preguntarme sobre cambios y a su vez yo también les consulté sobre realizar modificaciones, con lo cual el producto final se desarrolló de forma paralela.

Inyección de plástico

El siguiente objetivo en el proyecto Bidireccional VLC consiste en fabricar en masa los productos para que puedan ser vendidos al público en general, por lo cual debí re diseñar las piezas plásticas para poder ser inyectadas. El diseño de manufactura aditiva y el de inyección es incompatible, mientras en impresión se busca tener una geometría que se soporte a sí misma durante el proceso, en inyección existen otros factores para conseguir buena calidad, tal es el caso de mantener una sección transversal delgada, minimizar los cambios de sección transversal, no colocar grandes masas de plástico pues generan marcas de hundimiento, entre otras. En la sección pasada fue muy importante diseñar primero las piezas en manufactura aditiva para obtener prototipos y para crear los primeros lotes de prueba de forma rápida, ahora en este siguiente paso el punto principal se centrará en diseñar correctamente las piezas para inyección y crear los planos mecánicos para que pueda ser fabricada por una empresa externa. A lo largo del desarrollo de esta fase tuve contacto con BBB, quienes a su vez tuvieron comunicación con la empresa que se encargaría de fabricar los moldes e inyectar las piezas, realizamos llamadas telefónicas y contacto por correo electrónico para ir ajustando puntos que la empresa fabricante consideró importantes y que detallaré a continuación.

Diseño para Receptor USB VLC (Inyección de plástico)

Comencé por el Receptor USB VLC, inicialmente me basé en la pieza de manufactura aditiva final, le realicé pequeñas modificaciones tratando de ajustar el modelo para ser inyectado, sin embargo, no pude cambiar las variables para crear un producto adecuado. En inyección debí crear chaflanes y ángulos de salida para todas las caras, modificar cartabones, cambiar los postes que anteriormente tenían mucho material y básicamente volver a dibujar la pieza, por lo que finalmente terminé por eso, empezar la pieza de cero para cumplir correctamente (y no parchado) con los requerimientos de inyección.

Realicé el mismo proceso de diseño mecánico, ahora enfocándome en inyección. Debido a que En AAA no podemos crear moldes y tampoco podemos inyectar, el proceso de diseño fue diferente, ahora los prototipos fueron sustituidos para modelos CAD los cuales envié a BBB, posteriormente ellos reenviaron a la empresa externa para evaluación. Me enviaron los resultados de las evaluaciones y los comentarios con lo cual yo corregí los puntos señalados en cada iteración.

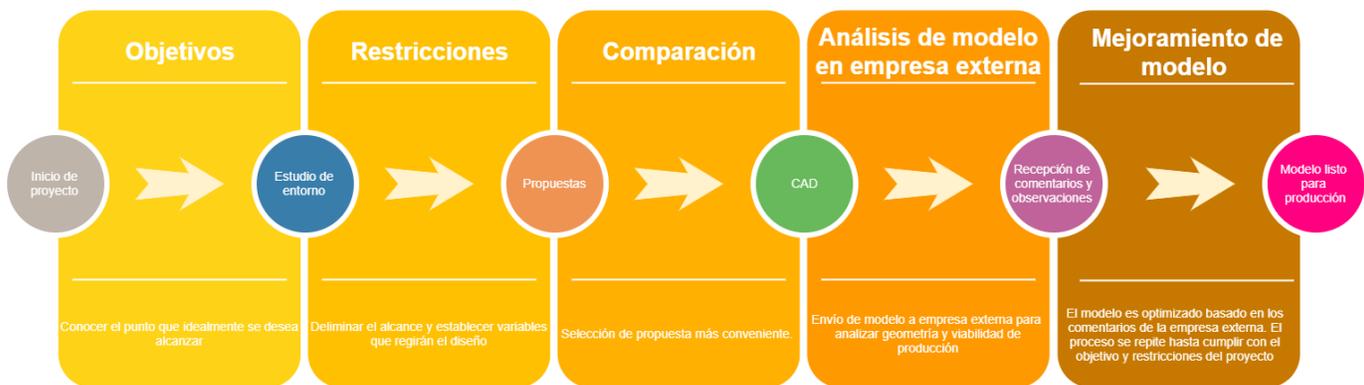


Imagen 32. Imagen con estructura de diseño mecánico aplicado

Objetivos:

- Diseñar una pieza plástica para contener los circuitos electrónicos del Receptor VLC utilizando el proceso de inyección.

Restricciones:

- La pieza debe ser pensada para ser inyectada
- El material debe ser elegido en base a propiedades mecánicas para resistir las cargas
- El material debe presentar buen acabado superficial, agradable al usuario

- La pieza debe ser compatible con los PCB VLC de Luminaria y Receptor
- La pieza debe proteger los circuitos VLC
- La pieza debe de ser ensamblada fácilmente
- La pieza debe ser montable y desmontable
- La pieza debe ser similar a la pieza impresa 3d

Diseño:

Debido a que la pieza debía ser pensada para inyección de plástico revisé documentación para conocer los puntos importantes en este tipo de diseño y producción. En las principales características encontré:

1. El espesor de la pieza (sección transversal) debe ser delgada y mantenerse lo más constante a lo largo de todo el elemento.
2. Los cambios de espesores deben realizarse en forma gradual.
3. En caso de realizar transiciones de espesor no graduales, se pueden presentar rechupes y pandeamiento en la pieza final.
4. El espesor permitido máximo es de 4 mm. El espesor mínimo de 0.5.
5. Los postes deben tener la menor cantidad de material posible pues rompen con la primera regla mencionada.
6. Los postes deben generarse con un máximo de altura en función a la circunferencia de los mismos.
7. Los barrenos y salidas deben colocarse a una distancia mínima de los bordes (el doble de su diámetro).
8. Todas las paredes deben llevar ángulo de desmoldeo de mínimo 1° (Siempre y cuando la pared sea lisa, en caso contrario aumenta el ángulo)
9. La profundidad de un agujero ciego debe ser menor al triple del diámetro del mismo.
10. La profundidad de un agujero pasante debe ser menor a seis veces el diámetro del mismo.
11. Las roscas deben ser evitadas pues elevan el precio de producción de la pieza. Se sugiere disminuir el barreno y que el tornillo entre a presión realizando la rosca.
12. Los cartabones en postes deben tener una altura de máximo 3 veces el espesor de la sección transversal de la pieza. El ancho del nervio debe ser máximo la mitad de la sección transversal de la pieza.

13. Los cartabones en paredes deben tener un máximo de ancho del 0.7 de la sección transversal y una longitud de mínimo el doble de la sección transversal.
14. Los cartabones deben espaciarse entre sí mínimo el doble del ancho del nervio.
15. Deben evitarse las esquinas, es decir redondear los bordes de la pieza. Esto permite un llenado uniforme del molde, menos pandeamiento durante el enfriamiento, enfriamiento uniforme, mejores propiedades mecánicas de la pieza, mejor acabado superficial.

He listado las que considero más relevantes y en las cuales me basé para realizar la pieza. En diversas fuentes encontré que el no seguir las reglas anteriores conlleva problemas, desde tener un mal acabado superficial y pandeamiento hasta tener una pieza imposible de inyectar.

Considerando la aplicación, me basé en dos materiales posibles para la elaboración de las piezas, por un lado, el policarbonato y por otro ABS. Ambos son utilizados en aplicaciones similares y los resultados al tacto son muy agradables para los usuarios. Las piezas no van a estar sometidas a grandes cargas mecánicas sin embargo como ahora el espesor de las piezas (arrea transversal) debe ser bajo, mantuve precaución de que el resultado final sea correcto.

Características generales del policarbonato						
	ASTM	UNIDAD	VALOR	DIN	UNIT	VALOR
Peso específico	D-792	g/cm ³	1.2	53479	g/cm ³	1.2
Resistencia a la tracción	D-688	PSI	9000	53455	N/mm ²	>60
Resistencia a la tracción (ruptura)	D-638	PSI	9500	53455	N/mm ²	>70
Elongación	D-638	%	6 - 8	53455	%	6 - 8
Elongación (ruptura)	D-638	%	>100	53455	%	>100
Módulo de elasticidad	D-638	PSI	340	53457	N/mm ²	2400
Resistencia a flexión	D-790	PSI	14	53452	N/mm ²	100
Resistencia a compresión	D-695	PSI	12.5		kg/cm ²	850
Dureza Rockwell	D-785		M70/r118			
Absorción de agua	D-570	%	0.25	53495	23°C 24h mg	10
Índice de refractividad	D-542A		1.586	53491		1.585
Temperatura de deflexión térmica (bajo carga de 1.81N/mm)	D-648	°F	275	53461	°C	135
Bajo carga de 0.45 N/mm				53461	°C	145
Coefficiente de expansión térmica	D696	in/in/°F	3.8×10^{-5}	(VDE0304/1)	1/°C	6.7×10^{-5}
Conductividad térmica	C-177	cal/cec/°C/cm	4.6×10^{-4}	52612	W/m.k	0.21
Calor específico		k/cal/°C/cm ³	0.3			
Resistencia dieléctrica 23 °C				53481	kV/mm	>30
Resistividad de volumen 23 °C				53482	OHM/cm	>10 ¹⁶
Resistividad de superficie 23 °C				53482	OHM	>10 ¹⁵
Constante dieléctrica a 10 kHz	D-150		2.9	53483		3
Constante dieléctrica a 100 MHz	D-150		2.9	53483		2.9

Imagen 33. Cuadro características policarbonato. Información solo para referencia (f6)

En este punto todavía no podían cotizarnos la pieza debido a que no tenía un diseño listo por lo que me basé en las propiedades del material menos resistente para continuar con el proceso. Sin embargo, si más adelante se optaba por el otro material, no habría problema pues las propiedades mecánicas serían superiores.

Redibujé la pieza considerando las restricciones de inyección 3d, en la mayor parte de puntos conseguí cumplirlos sin embargo en algunas secciones al realizar los cambios el resultado era una pieza que no se parecía a los productos impresos en 3d o bien era una pieza con “huecos” raros para mantener la sección transversal uniforme.

Agregué los cartabones en paredes laterales, coloqué ángulos de salida en las caras y cuidé el espesor transversal en general.

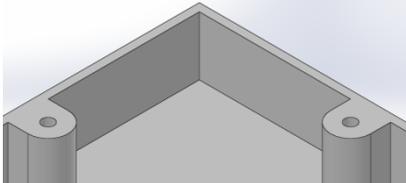
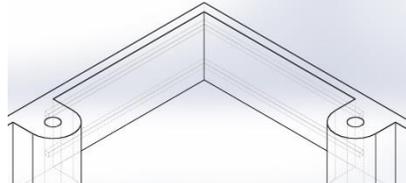
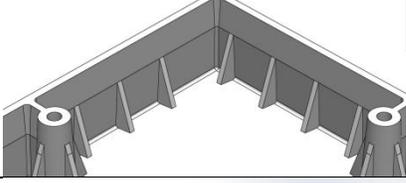
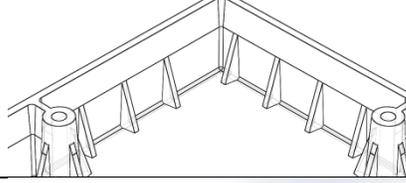
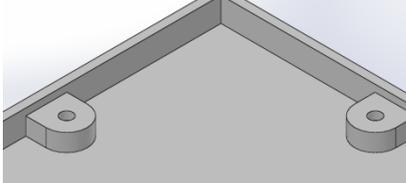
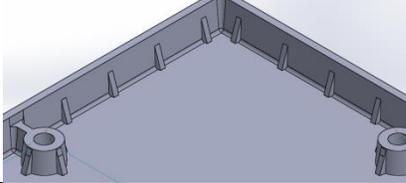
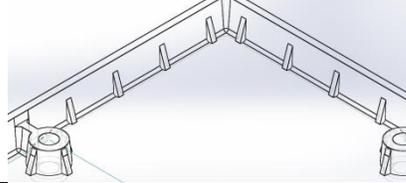
Imagen	Imagen malla	Descripción
		<p>Parte superior de receptor para impresión 3D. No tiene cartabones</p>
		<p>Parte superior de receptor diseñado para inyección de plástico. Cartabones incorporados</p>
		<p>Parte inferior de receptor para impresión 3D. No tiene cartabones</p>
		<p>Parte inferior de receptor diseñado para inyección de plástico. Cartabones incorporados</p>

Imagen 34. Imagen de cartabones

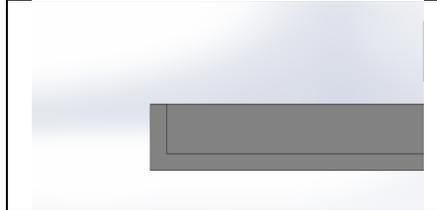
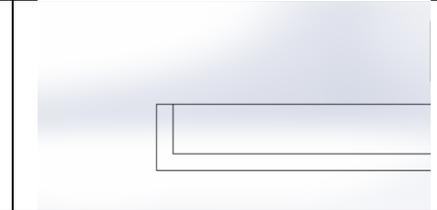
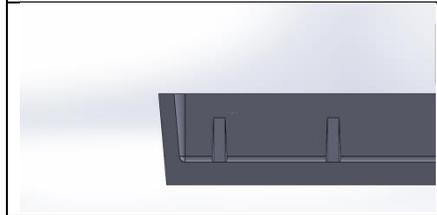
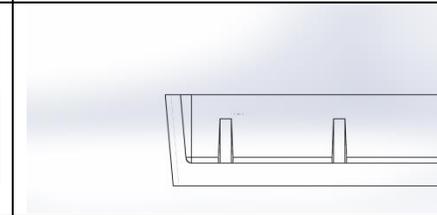
Imagen	Imagen malla	Descripción
		Parte inferior del Receptor USB VLC para impresión 3D. Las paredes tienen ángulos de 90°.
		Parte inferior del Receptor USB VLC para inyección de plástico. Las paredes tienen ángulos de salida.

Imagen 35. Imagen de ángulos de salida

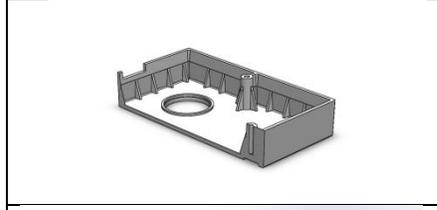
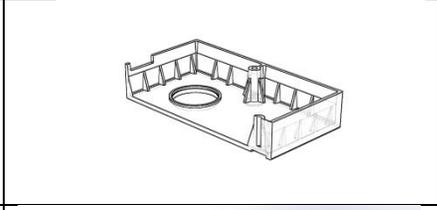
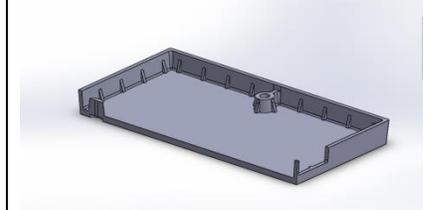
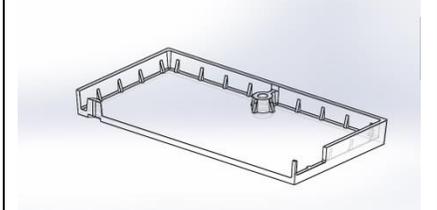
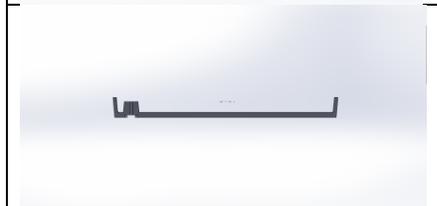
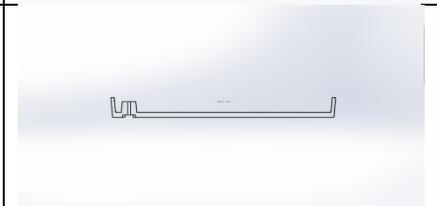
Imagen	Imagen malla	Descripción
		Corte transversal de la parte superior del Receptor USB VLC
		Corte transversal de la parte inferior del Receptor USB VLC
		Vista lateral del corte transversal de la parte superior del Receptor USB VLC

Imagen 36. Imagen de espesor (área transversal)

Envié el primer diseño a BBB, al recibir los comentarios me recomendaron bajar la cantidad de material en los postes, lo realicé y para evitar que perdieran fuerza les coloqué cartabones. Me recomendaron eliminar unas salientes en los costados pues reduciría el precio de fabricación así que lo realicé.

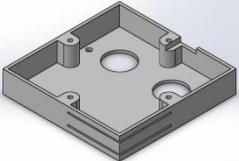
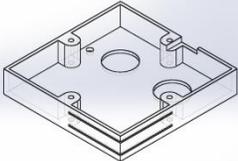
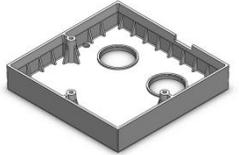
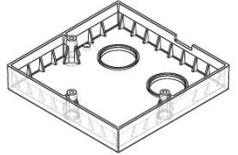
Imagen	Imagen malla	Descripción
		Parte superior del Receptor para impresión 3D. Tiene cortes laterales.
		Parte superior del Receptor para inyección de plástico. Se han eliminado los cortes laterales.

Imagen 37. Imagen del costado con salientes eliminadas

Adicionalmente quité uno de los postes pues interfería con una última modificación a la placa de circuitos realizada por el equipo de electrónica. Pulí un poco más el diseño agregando soportes internos para mantener las ópticas en su lugar (anteriormente se sujetaban por pegamento a la placa de circuitos).

Finalmente coloqué dos agujeros ciegos en la parte superior, justo debajo de donde van ubicados los postes, con el fin de disimular posibles rechupes en la pieza final. Si bien mantuve los valores de sección transversal lo más constante posibles y bajé la cantidad de material dentro de los postes, no quería arriesgarme a tener un producto final con rechupes o mal acabado superficial. El Receptor USB VLC se manipula por el usuario final, en dimensiones es similar a una BAM de internet o a una memoria de almacenamiento USB, cualquier pequeño desperfecto en la superficie sería notado por los usuarios.

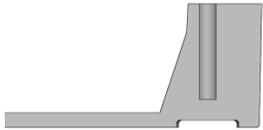
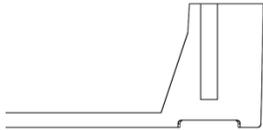
Imagen	Imagen malla	Descripción
		Vista lateral de agujero ciego en poste. Se ha incorporado un agujero ciego en la cara contraria para disimular posibles fallas del acabado final (marcas de hundimiento).

Imagen 38. Imagen de los agujeros ciegos

Envié la versión final del Receptor USB VLC a BBB y ellos reenviaron a la empresa externa donde realizaron simulación de inyección y nos compartieron los resultados. El pandeamiento máximo en las esquinas era de [REDACTED] además se generaban líneas de soldadura en la base de los postes y en un borde la pieza. La simulación de inyección llenó la pieza en [REDACTED] con material [REDACTED] utilizando un único punto de inyección. Finalmente me recomendaron aumentar el diámetro de un agujero pasante y me pidieron exactamente el acabado superficial y el color pantone para la pieza.

Corregí la pieza, realicé planos mecánicos con las tolerancias necesarias para que los circuitos electrónicos entraran correctamente en el plástico, agregué el acabado superficial y el color pantone en dichos planos e incluí explosivos con los elementos que forman al Receptor USB VLC y la forma en cómo debe ensamblarse. Reenvié la información, actualmente estamos en espera de iniciar la fabricación del molde.

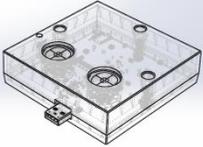
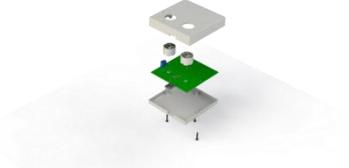
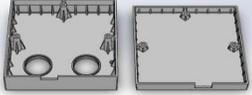
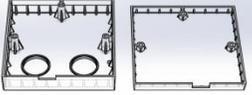
Imagen	Imagen malla	Render
		
		
		

Imagen 39. Imagen de explosivo final

Diseño para Luminaria VLC (Inyección de plástico)

Al igual que con el Receptor USB VLC, primero me basé en la pieza de manufactura aditiva y la modifiqué para adecuar a las restricciones de inyección; sin embargo, los cambios eran muy drásticos por lo que terminé por redibujar la pieza desde cero. De todos los diseños (manufactura aditiva e inyección), es este en el que dediqué mayor cuidado pues la restricción de tener un área transversal baja podía comprometer la estructura. La luminaria VLC debe sostener un peso aproximado de kilo y medio, si bien no es mucho y las impresiones 3d han resistido todas las pruebas correctamente, debía reducir el área transversal hasta 4 veces por lo que durante el diseño opté por realizar simulaciones CAD para garantizar la resistencia de la pieza.

Objetivos:

- Diseñar una pieza plástica para contener los circuitos electrónicos de la Luminaria VLC utilizando el proceso de inyección.

Restricciones:

- La pieza debe ser pensada para ser inyectada
- El material debe ser elegido en base a propiedades mecánicas para resistir las cargas
- El material debe presentar buen acabado superficial, agradable al usuario
- La pieza debe ser compatible con los PCB VLC de Luminaria y Receptor
- La pieza debe proteger los circuitos VLC
- La pieza debe de ser ensamblada fácilmente
- La pieza debe ser montable y desmontable
- La pieza debe ser similar a la pieza impresa 3d
- El diseño debe ser seguro para el usuario

Diseño:

Aplicando el mismo método que con el Receptor USB VLC, no generé prototipos físicos sino que envié modelos CAD a BBB para que a su vez ellos reenviaran a una empresa externa para la evaluación de la pieza, posteriormente me enviaban los resultados para que yo realizara los cambios pertinentes al modelo.

Utilicé las mismas restricciones y consejos para la inyección de plástico que cité en la sección pasada, agregué cartabones en las paredes laterales, bajé el diámetro de los postes y les coloqué cartabones para mantener firmeza, cuidé el área transversal de toda la pieza, agregué ángulos de salida en todas las caras.

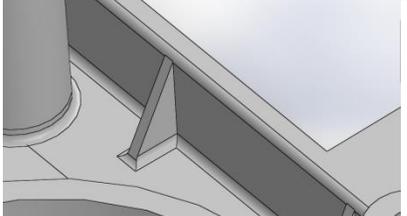
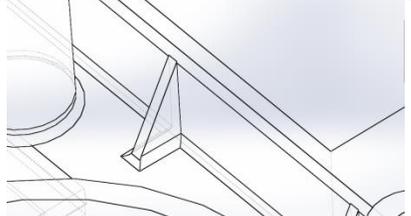
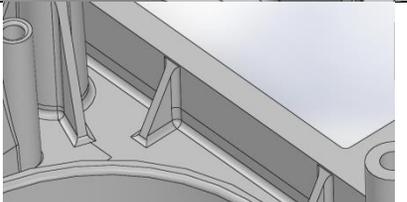
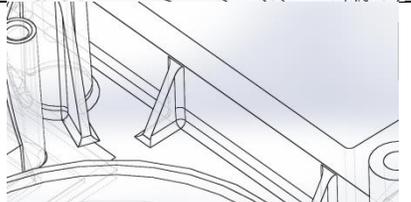
Imagen	Imagen malla	Descripción
		Cartabones en las paredes de luminaria para impresión 3D
		Cartabones en las paredes de luminaria para inyección de plástico

Imagen 40. Imagen de cartabones en paredes

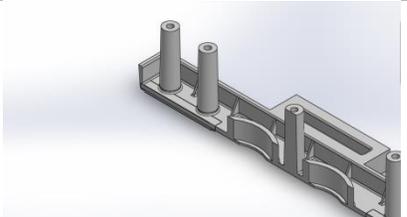
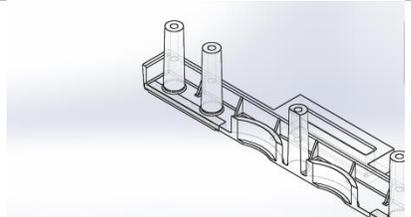
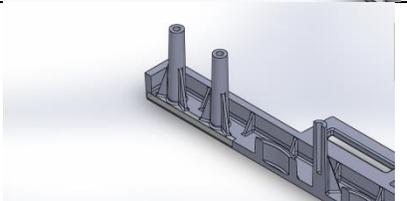
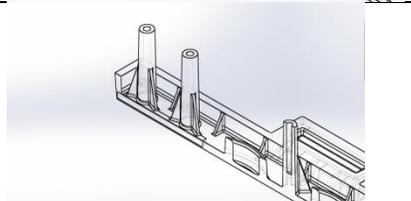
Imagen	Imagen malla	Descripción
		Cartabones en los postes de luminaria para impresión 3D
		Cartabones en los postes de luminaria para inyección de plástico

Imagen 41. Imagen de cartabones en postes

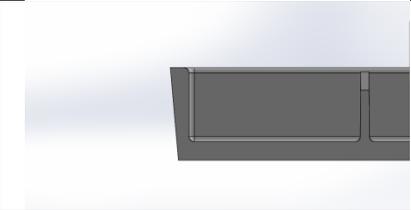
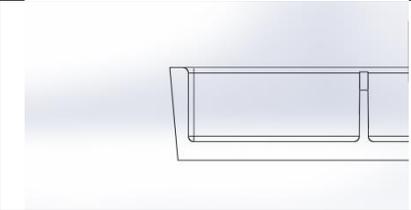
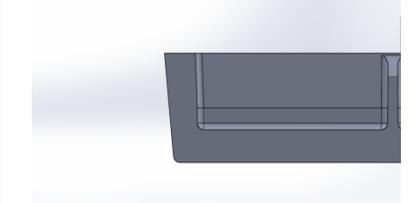
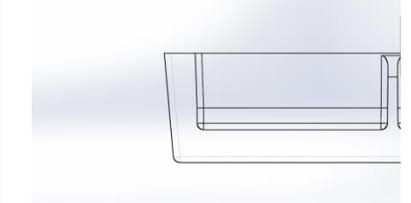
Imagen	Imagen malla	Descripción
		Luminaria para impresión 3D. Inclinación de la pared por motivos estéticos.
		Luminaria para inyección de plástico. Presenta ángulos de salida y paredes redondeadas

Imagen 42. Imagen ángulos de salida

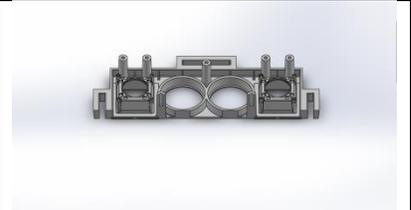
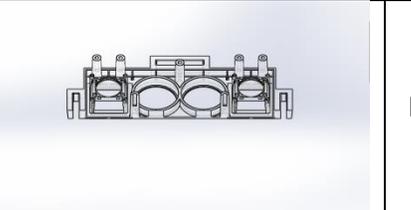
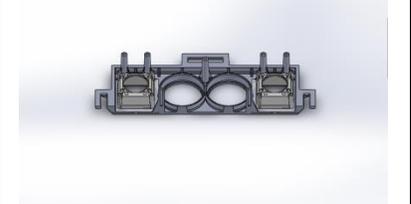
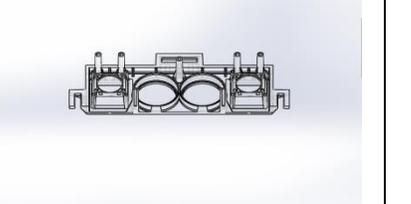
Imagen	Imagen malla	Descripción
		Área transversal de luminaria para impresión 3D.
		Área transversal de luminaria para inyección de plástico.

Imagen 43. Imagen área transversal

Bajé lo más posible la sección transversal de las asas; sin embargo, temía que no fueran los suficientemente resistentes para mantener la Luminaria empotrada en el techo por lo que evalué agregar más asas con el fin de distribuir la carga. Realicé un par de propuestas pero no me agradaron visualmente, por lo que opté por colocar cartabones en las asas originales, cuidando de tener ángulos de salida en todas las caras.

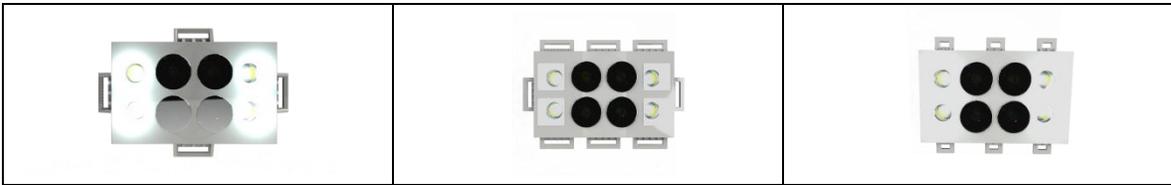


Imagen 44. Imagen de propuesta de asas

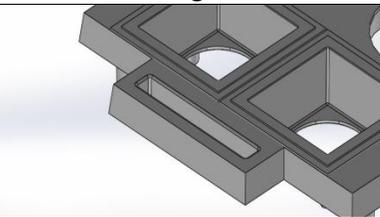
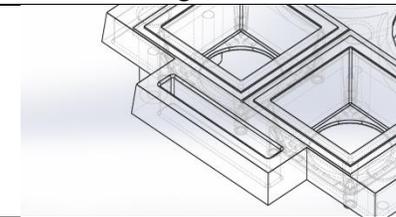
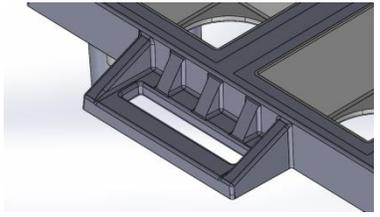
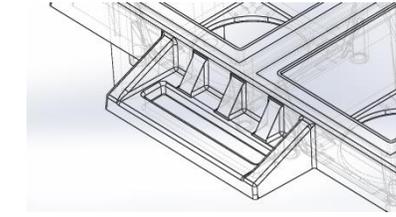
Imagen	Imagen malla	Descripción
		Luminaria para impresión 3D. Las asas son sólidas
		Luminaria para inyección de plástico. Las asas son delgadas para mantener constante el área transversal. Los cartabones mejoran la rigidez de las asas.

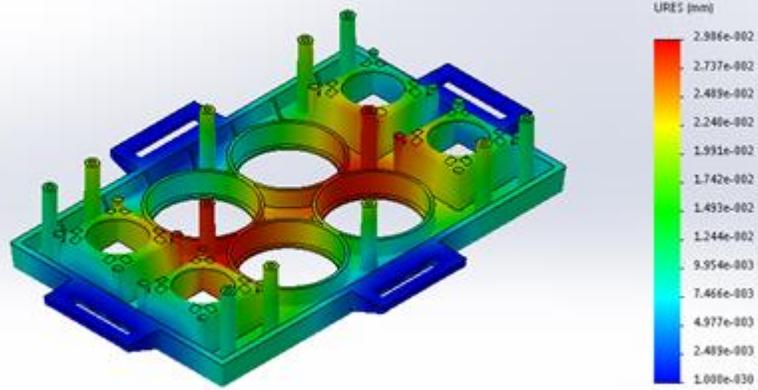
Imagen 45. Imagen de asas con cartabones

Utilizando DDD realicé simulaciones de carga para garantizar que la pieza resiste los componentes de la Luminaria VLC (aproximadamente kilo y medio). Para las simulaciones empotré cada asa y coloqué una carga central de kilo y medio, simulé ABS y Policarbonato.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.394	N/D
Módulo cortante	318,9	N/mm ²
Densidad de masa	1020	kg/m ³
Límite de tracción	30	N/mm ²

Imagen 45. Tabla de propiedades y características de la simulación ABS

Nombre de estudio: Análisis estático 1j-Predefinido-1
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1



Nombre de estudio: Análisis estático 1j-Predefinido-1
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1

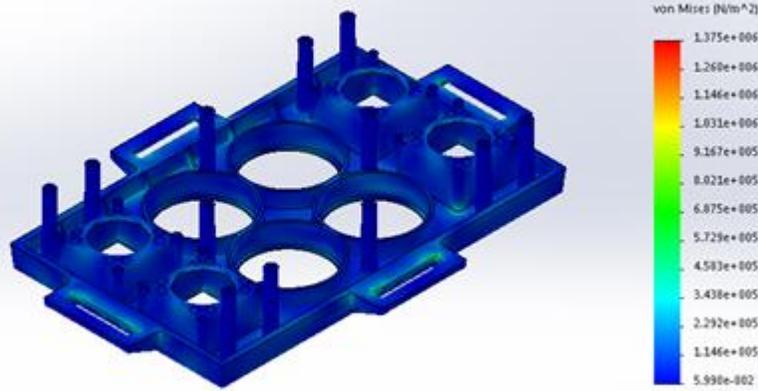
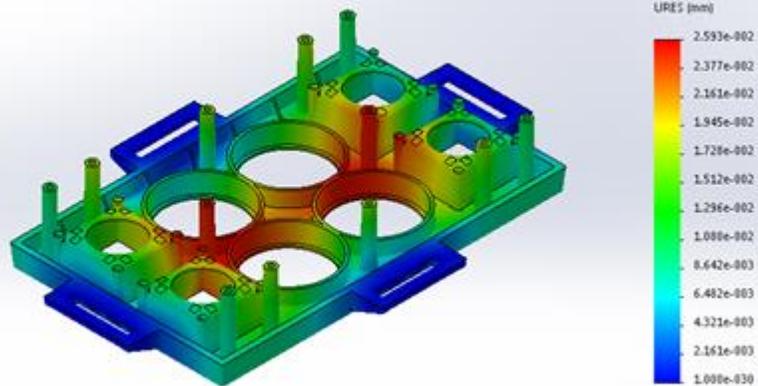


Imagen 46. Imagen de resultados DDD ABS

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2320	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.3912	N/D
Módulo cortante	829.1	N/mm ²
Densidad de masa	1190	kg/m ³
Límite de tracción	62.7	N/mm ²

Imagen 47. Tabla de propiedades y características de la simulación Policarbonato

Nombre de estudio: Análisis estático 1j-Predefinido-1
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1



Nombre de estudio: Análisis estático 1j-Predefinido-1
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1

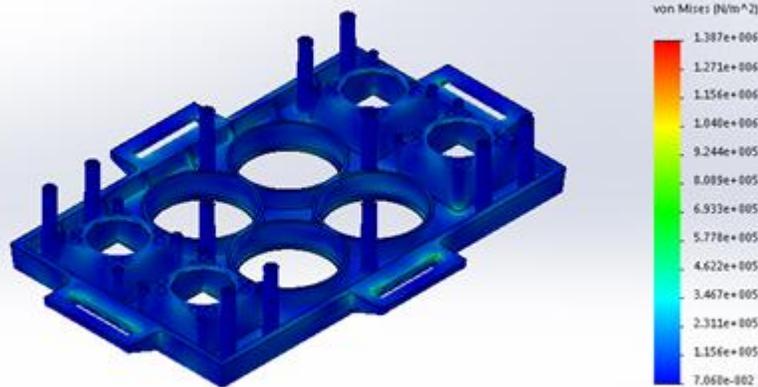


Imagen 48. Imagen de resultados DDD Policarbonato

Resultados de las simulaciones:

Para ABS el límite de tracción es $30 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ y el resultado de la prueba entrega un esfuerzo máximo (Von Mises) de $1.375 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, por lo que tenemos un factor de seguridad de 21. El desplazamiento máximo es de $2.986 \times 10^{-2} \text{ mm}$.

Para policarbonato el límite de tracción es $62.7 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ y el resultado de la prueba entrega un esfuerzo máximo (Von Mises) de $1.387 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, por lo que tenemos un factor de seguridad de 45. El desplazamiento máximo es de $2.593 \times 10^{-2} \text{ mm}$.

En ambos materiales los desplazamientos se encuentran en el orden de micras (prueba estática). Seguramente la pieza llegue a presentar ligero pandemiento durante su vida útil debido a la carga constante y degradación del plástico, sin embargo, considerando el bajo desplazamiento máximo que observamos en la prueba, el alto factor de seguridad, el hecho de que la pieza una vez que es instalada no requiere manipulación, el tener la pieza bajo condiciones de temperatura ambiente controlada ($\sim 25 \text{ }^\circ\text{C}$), el no someter la pieza directamente a la luz solar (██████████) podemos concluir que la pieza no fallará.

Respecto al factor de seguridad (para ambos materiales), es sin duda alto considerando que la pieza no está sometida a altos requerimientos mecánicos. Diseños futuros podrán tener en cuenta el resultado de las pruebas realizadas para bajar la cantidad de material o cantidad de asas. Actualmente resulta extremadamente útil tener un factor de seguridad tan alto pues permite tener certeza de que la pieza no fallará incluso si hay una instalación deficiente (por ejemplo, colocar únicamente 3 tornillos y no 4), o si aumenta ligeramente la carga del sistema LiFi (por ejemplo colocar ópticas o disipadores 100 gramos más pesadas).

Adicionalmente imprimí en 3d la pieza para garantizar que las placas de circuitos, disipadores y demás elementos se puedan ensamblar correctamente. Desafortunadamente la pieza impresa tuvo alta calidad debido a que no fue diseñada para ser creada en manufactura aditiva, pese a eso sirvió para garantizar los puntos anteriores y para darnos una idea del producto final.

Envié el modelo CAD a BBB y ellos reenviaron a la empresa externa, me recomendaron bajar a un más el diámetro de los soportes para evitar rechupes en la parte inferior de la Luminaria (que sería la cara visible para los usuarios), procedí a bajar el diámetro, mecánicamente no afectaba debido a que en dichos postes la carga se realiza en forma vertical sometiendo los postes a compresión. Aumenté ligeramente los cartabones de los postes para evitar que se rompan durante el armado y ensamble de la Luminaria VLC.

Finalmente generé planos mecánicos con tolerancias mínimas y máximas para que encajen los circuitos electrónicos, acabado superficial, color y explosivo de ensamblado incluyendo los demás elementos de la Luminaria VLC (██████████).

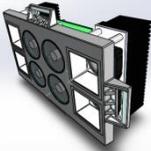
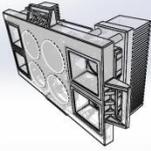
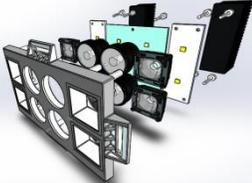
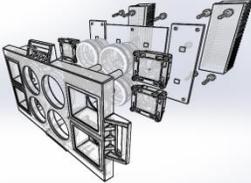
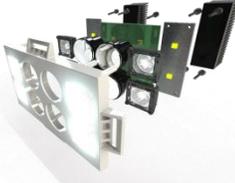
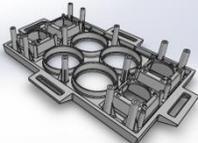
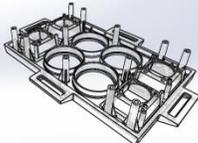
Imagen	Imagen malla	Render
		
		
		

Imagen 49. Imagen de explosivo Luminaria final

Actividad 3. Actividades adicionales

Adicionalmente a las actividades de programación y de diseño mecánico, usualmente desarrollé un par de funciones extra dentro de la empresa. Estas actividades las trabajé de forma paralela, aprovechando pequeños espacios de tiempo (Por ejemplo durante la manufactura aditiva del lote 2, o mientras esperaba a que terminara la compilación de Yocto para las microcomputadoras, o mientras se realizaba un render pesado, entre otras) y usualmente las terminaba al instante. Otras de estas actividades tomaron días o semanas y aplazaron mis actividades regulares, como es el caso de las pruebas de la SEP, o de instalación y demostración de la tecnología en convenciones.

Listaré un par de actividades extra realizadas y daré un breve resumen del objetivo y resultado obtenido.

1. Embalaje

Una vez terminado el proceso de diseño mecánico para manufactura aditiva, BBB nos pidió la propuesta de la caja para contener todos los elementos de un kit VLC ([REDACTED] [REDACTED]) por lo que realicé dicha actividad. Propuse una caja con dimensiones en base a nuestros elementos, que a su vez debían venir empacados en bolsas de poliburbuja. Para protección agregué barras de poliestireno. La diseñadora gráfica creó el archivo de imágenes para dicha caja.

Obtuvimos respuesta de BBB, nos sugirieron utilizar barras de protección de polietileno [REDACTED] de [REDACTED] mm de espesor, ante lo cual cambié el diseño de la caja para ajustarla a ese tipo de barras. Propuse cartón [REDACTED] con Flauta tipo [REDACTED] con corrugado [REDACTED], especificué las medidas internas de la caja y dejé como variables las medidas externas para que el diseñador industrial pueda ajustar correctamente las medidas de uniones entre caras.

Envié un plano con la información antes mostrada para producción de las cajas.

2. Diseño de la caja del Transmisor VLC

La microcomputadora donde cargo el sistema VLC necesitaba una caja de protección por lo que BBB nos acercó a una empresa externa para la fabricación de la misma (FFF). Me mostraron una de sus cajas para componentes electrónicos, están diseñadas para armarse y cerrarse con solo 2 tornillos por lo que eran bastante prácticas. A la caja demo que me

prestaron le realicé las salidas y barrenos necesarios para fijar la microcomputadora y para poder empotrarse en la pared, además de las salidas para conexiones de Ethernet, corriente eléctrica y USB. Generé los planos de la caja con la información necesaria.

3. Temas relacionados a patente

Para el desarrollo de la patente trabajamos con un grupo de abogados, ellos se encargaron del asunto, sin embargo, durante un par de semanas trabajamos en conjunto (abogados, equipo de electrónica y yo) pues necesitaban conocer los aspectos y características del sistema VLC. Nos explicaron el funcionamiento de la patente, las restricciones y los recursos necesarios para darla de alta. Yo por mi parte les mostré el funcionamiento de la conexión, recursos utilizados y forma de realizar el enlace, ventajas y desventajas.

Revisamos patentes activas con el fin de establecer si interferían o no con nuestro sistema.

4. Renders para publicidad

Regularmente realicé renders para publicidad ocupando los nuevos diseños CAD. Las imágenes se las enviaba a la diseñadora gráfica quién se encargaba de adecuar dependiendo del objetivo (redes sociales, publicidad, trípticos, etc.).

Usé dos computadoras a lo largo del desarrollo de los proyectos, con lo cual pude dejar una renderizando mientras continuaba mi trabajo en la otra.

5. Instalación SEP

Al terminar la fase de VLC Híbrido realizamos una prueba masiva en diversas escuelas de la SEP para garantizar que el producto funcionara. La primera escuela la probamos utilizando nuestro equipo de cómputo sin embargo notamos que la prueba necesitaba ser probada usando sus propias computadoras. Ajusté el programa para poder utilizado en sus equipos y continuamos con las pruebas. Un detalle importante es que las escuelas eran representativas de la diversidad de instalaciones de la SEP, por lo que nos encontramos con una gran variedad de tipos de configuraciones. En prácticamente todos pudimos realizar la prueba exitosamente, utilizando incluso niños para la demostración, en las escuelas que no pudimos realizar la prueba fue debido a que o no tenían internet, o los equipos se encontraban bloqueados y no se podía instalar drivers necesarios.

6. Instalación de kits demo

Al terminar la fase de VLC Bidireccional mostramos la tecnología en diversas empresas, para ello yo fui y les instalé un kit demo. Monté la Luminaria VLC y les cargué en sus equipos el programa necesario para ejecutar la conexión VLC. Usualmente durante la instalación resolví dudas respecto a las características de VLC, las ventajas y los requisitos para la misma instalación.

7. Cotizaciones

En unas cuatro o cinco ocasiones realicé la cotización de la cantidad de Transmisores VLC, Luminarias VLC y Receptores USB VLC necesarios para habilitar un salón u oficina. El cálculo dependía de [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED].

8. Programación adicional

Realicé programas adicionales en Java para la evaluación de VLC (Híbrido y Bidireccional)

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED], con dicho programa fue posible calibrar los componentes

electrónicos para obtener una conexión estable. El programa también sirvió para probar las mejoras en los circuitos electrónicos y los lotes de fabricación.

El programa fue utilizado para medir la distancia máxima de conexión VLC.

Los programas surgieron a partir de módulos del programa original de VLC, y los pudimos ocupar antes de tener el software completo al 100% debido a que trabajamos con una variación de Scrum.

9. Impresiones 3d adicionales

Diseñé e imprimí rieles para alinear ópticas y sensores VLC con lo cual obtuvimos la distancia máxima de conexión, dummies del Receptor USB VLC y de la Luminaria, adaptadores para luminarias externas, soportes para dispositivos, porta ópticas y otros diversos elementos para pruebas y experimentación.

10. Sistemas embebidos adicionales

Coloqué una microcomputadora como servidor interno de AAA para compartir contenido.

Otra microcomputadora la utilicé para desarrollar un sistema VLC para TV.

11. Manuales de usuario
Creé manuales de usuario del sistema VLC Bidireccional para Instaladores y para un usuario final. El manual incluía texto y videos demostrativos.
12. Contenido para página web
Creé diagramas del funcionamiento, conexión y características VLC para la página web.
13. Contenido para catálogos y demostraciones
Creé diagramas y tablas comparativas para catálogos y presentaciones de VLC. En las tablas comparé el funcionamiento y características.
14. Demostraciones de tecnología VLC
Acudí a un par de demostraciones de la tecnología VLC en la cual presentamos los componentes. Entre las demostraciones se encuentra: FES Acatlán, Club Rotario Metropolitano, SEP, UNAM Rectoría, Empresas privadas.
15. Montaje y desmontaje de Luminarias dentro de AAA
Al inicio del Lote 1 de manufactura aditiva, teníamos pocos kits VLC funcionales por lo que para realizar demostraciones fuera de AAA era necesario desmontar todo el equipo, al regresar era necesario volver a montar para continuar con pruebas internas.
16. Colaboración con equipo de electrónica
Realizamos algunas actividades en conjunto, por ejemplo inventarios, actividades de patente, reuniones con proveedores, reuniones con BBB, videoconferencias con empresas externas, entre otros.
17. Sugerencias para problemas de electrónica
El equipo de electrónica y yo realizamos juntas semanales para revisar avances y puntos a solucionar. En algunas ocasiones sugerí soluciones a problemas de electrónica desde mi punto de vista, es decir, modelando el sistema les propuse diversas soluciones que posteriormente ellos tradujeron a soluciones electrónicas.

18. Propuestas para uso de la tecnología VLC

Realizamos juntas habituales para proponer nuevas ideas y aplicaciones para la tecnología VLC. Las ideas iban desde las típicas (audio, video, etc) hasta las actualmente imposibles de desarrollar. Las ideas nos permitían ir seleccionando el camino por el que llevaríamos la evolución de VLC.

Conclusiones

Desarrollar una tecnología nueva presenta retos en diversas ramas de estudio. Los resultados, si bien no siempre son “positivos”, generan conocimientos que permite determinar las líneas de acción para los siguientes desarrollos. Es vital documentar de forma ordenada los resultados pues evita “retrabajo” en el grupo de desarrollo y permite realizar comparaciones y predicciones fiables.

Respecto al software de LiFi, implementé una conexión (estable y a diferentes velocidades) a internet utilizando los circuitos VLC desarrollados. Es importante pulir los aspectos actuales de LiFi para entregar una tecnología sobresaliente que compita y supere a los métodos tradicionales de conexión.

Para desarrollar la sección anterior apliqué conocimientos adquiridos en las materias Computación para ingenieros y Métodos numéricos: Análisis del problema, Estructuras de control, Implementación.

De las materias Instrumentación y Control y Robótica apliqué conocimientos referidos a lectura de sensores y control de actuadores.

Respecto a las piezas plásticas, diseñé un contenedor (Receptor y lámpara) funcional para la protección y ensamble de los circuitos y componentes VLC. Después de varias iteraciones conseguí que fuera funcional, de fácil armado, fácil producción y diseñado específicamente para el tipo de fabricación. En cuestión de manufactura aditiva, además de cuidar la geometría, trayectorias y temperaturas, recomiendo ampliamente cuidar el ambiente externo de la impresora 3d y la calidad del carrete. Cambios bruscos de temperatura (ventanas o puertas) arruinan los aspectos finos de la pieza. Invertir en un buen carrete permite confiar en que la impresión no va a fallar y por lo tanto dedicar tiempo a otras actividades. Actualmente es complicado establecer cual sí y cual no es un buen carrete, depende del lote, espero que conforme la tecnología de manufactura aditiva mejore, sea más predecible la elección.

Para desarrollar la sección anterior apliqué principalmente conocimientos adquiridos en la materia Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora para el dibujo y simulaciones de resistencia de la pieza. A su vez, requerí de Ciencia de materiales y Materiales no metálicos para las simulaciones.

Las materias Creatividad y Proyecto de Ingeniería me permitieron elaborar de mejor forma los proyectos y adaptar las metodologías de acuerdo con las necesidades y recursos.

Para las actividades adicionales apliqué conocimientos de Electrónica Básica, Análisis de circuitos, Electricidad y magnetismo, Robótica e Instrumentación y Control debido a que tuve mucho contacto con el área de electrónica de la empresa.

Durante todo el proceso apliqué cálculos con conocimientos del área de ciencias básicas.

Últimamente he visto de moda *start-ups*, recomiendo que en caso de crear una empresa de innovación se piense también en un servicio que permita el sustento y generación de recursos cuando los proyectos de innovación se estén madurando. Adicionalmente les recomiendo a las

start-ups aprovechar sus cualidades de ser pequeños en lugar de esforzarse por ser grandes, todo son pasos que se van dando. Una empresa chica puede cambiar protocolos, objetivos, productos y servicios de forma muy rápida para ajustarse a un mercado cambiante.

Finalmente menciono que durante el desarrollo de una tecnología nueva hay fases de creatividad y fases de ingeniería “estricta”. Cada etapa requiere de diferentes formas de trabajo para obtener los máximos beneficios posibles. En el caso de innovación tecnológica les recomiendo pasatiempos relacionados a la ingeniería: robótica, IoT, realidad aumentada, reparación de dispositivos, etc. Por otro lado, también actividades y entornos ajenos al tema porque problemas existen y se resuelven en todas las áreas, relacionar dichas soluciones a la ingeniería es de gran ayuda cuando hay limitantes de recursos, técnicas o físicas.

Bibliografía

Dixon. John R. Diseño en Ingeniería. Primera edición. Editorial Limusa. México. 1979.

Krick. Edward V. Introducción a la Ingeniería y al Proyecto en la Ingeniería. Primera edición. Editorial Limusa-Wiley S.A.. 1969.

Asimow. Morris. Introducción al Proyecto. Segunda edición. Editorial Herrero Hnos..S.A.. 1970.

Fuentes

F0

F1 <http://www.avaate.org/spip.php?article2590>

F2 <https://www.softeng.es/es-es/empresa/metodologias-de-trabajo/metodologia-scrum.html>

F3 <http://www.innovamanagement.net/elproceso.htm>

F4 <https://barrgroup.com/Embedded-Systems/Glossary-A>

F5 http://www.3digiprints.com/images/materials_images/pla_vs_abs.png

F6 <http://www.polyfluo.com/product/engineering-plastics/>

<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/EE-269.pdf>

<https://www.minifab3d.net/>