

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)

Tecnología Apropriada Para la Generación de Sistemas Constructivos



1F04: Programa de Edificación y Vivienda

Algoritmos evolutivos para el diseño de vivienda transicional

PRESENTAN

Programas educativos y Estudiantes

Ximena Aranguren González Luna

Javier Petersen Fuentes

Profesores PAP: Dr. Nayar Cuitláhuac Gutiérrez Astudillo.

Mtra. Melissa Selene Carrillo Rubio

Tlaquepaque, Jalisco, mayo de 2017

ÍNDICE

Índice

| | |
|--|----|
| REPORTE PAP | 4 |
| Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional | 4 |
| Abstract..... | 5 |
| Introducción..... | 6 |
| Justificación | 6 |
| 1. Identificación del origen del proyecto y de los involucrados | 7 |
| 1.1 Antecedentes del proyecto | 7 |
| 1.2 Identificación del problema. Problemática atendida. | 11 |
| 1.3 Identificación de las organizaciones o actores que influyen o son beneficiarios del proyecto. | 13 |
| 2. Marco conceptual. | 14 |
| 2.1 Refugios..... | 14 |
| 2.2 Algoritmos evolutivos. | 15 |
| 2.3 Confort..... | 17 |
| 2.4 Geometría | 17 |
| 2.5 Madera | 17 |
| 3. Diseño de la propuesta de mejora..... | 17 |
| 3.1 Enunciado del proyecto. | 17 |
| 3.2 Objetivos del proyecto..... | 18 |
| 3.3 Metodología..... | 19 |
| 3.4 Cronograma de trabajo. | 19 |
| 4. Desarrollo de la propuesta de mejora. | 20 |
| 4.1 Definición del refugio óptimo. | 20 |
| 4.2 Elementos arquitectónicos..... | 20 |
| 4.3 Elementos estructurales. | 22 |
| 4.3 Traducción a algoritmo..... | 23 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.3.1 | Diseño del algoritmo..... | 23 |
| 4.3.1 | Funciones de prueba. | 24 |
| 5. | Resultados del trabajo profesional..... | 27 |
| 5.1 | Funciones objetivo para la optimización del refugio..... | 28 |
| 5.1.1 | Área..... | 28 |
| 5.1.2 | Altura. | 28 |
| 5.1.3 | Volumen. | 29 |
| 5.1.4 | Proporción de la planta. | 29 |
| 5.1.5 | Subdivisiones en la planta. | 30 |
| 5.1.6 | Masa del sistema estructural..... | 30 |
| 5.1.7 | Desplazamientos laterales..... | 31 |
| 5.2 | Visualización de la estructura. | 33 |
| 5.3 | Visualización de los frentes. | 34 |
| 5.4 | Aplicación del programa a un sitio específico..... | 37 |
| 6. | Productos obtenidos..... | 39 |
| 6.1. | Resultados..... | 40 |
| 6.2 | Aplicaciones del algoritmo. | 46 |
| 6.3 | Impacto generado..... | 47 |
| 7. | Aprendizajes individuales y grupales. | 48 |
| 8. | Conclusiones y recomendaciones..... | 50 |
| 8.1 | Conclusiones..... | 50 |
| 8.2 | Recomendaciones. | 51 |
| 8.3 | Retroalimentación por parte de la organización. | 51 |
| 9. | Referencias bibliográficas. | 52 |
| 10. | Anexos..... | 58 |
| 10.1 | Volumen generado por un marco recíproco. | 59 |
| 10.2 | Artículo IASS. | 64 |
| 10.3 | Algoritmo para optimización de escalera. | 70 |
| 10.4 | Evaluación de cargas para NSGA-II..... | 73 |
| 10.5 | Estructura grupal..... | 78 |

| | |
|---|----|
| 10.6 Parámetros de Proporciones. | 83 |
| 10.7 Pasos para el Análisis de Alturas..... | 87 |
| 10.8 Design Brief Plantilla IFRC..... | 89 |
| 10.9 Protocolo..... | 92 |

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son una modalidad educativa del ITESO en la que el estudiante aplica sus saberes y competencias socio-profesionales para el desarrollo de un proyecto que plantea soluciones a problemas de entornos reales. Su espíritu está dirigido para que el estudiante ejerza su profesión mediante una perspectiva ética y socialmente responsable.

A través de las actividades realizadas en el PAP, se acreditan el servicio social y la opción terminal. Así, en este reporte se documentan las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo del proyecto, sus incidencias en el entorno, y las reflexiones y aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.

Abstract

El presente documento expone el desarrollo de un algoritmo evolutivo diseñado para resolver una problemática de vivienda de emergencia en un lugar determinado. En este caso se aplicó el algoritmo para resolver la problemática de vivienda en Chamela, Jalisco, que resultó muy afectada por el huracán Patricia en 2015. Se propone utilizar madera para la estructura a diseñar e implementar conceptos de geometría, proporción y confort en el algoritmo además de estructura segura y eficiente.

Se presentan en primer lugar la problemática a la que nos enfrentamos, después los investigaciones y antecedentes en los que nos basamos para formar la definición del refugio óptimo. En seguida se detalla el desarrollo del proyecto desde la etapa listados e información a la creación del algoritmo Por último se exponen los resultados obtenidos del algoritmo y las conclusiones a las que se llegaron.

Palabras clave: Algoritmo evolutivo, optimización multiobjetivo, refugio, madera, huracán, Chamela

The present paper documents the development of a genetic algorithm designed to solve emergency housing needs in a specific location. For this document, the algorithm was addressed to Chamela, Jalisco and its housing conflicts after hurricane Patricia in 2015. Timber is proposed for the structure's design. The algorithm implements geometry, proportion and comfort along with a secure and efficient structure.

The problematic we are facing is explained at first, then the theoretical framework used to create our definition of the optimal shelter. Followed by the process brief that comprehends from initial data to the algorithm creation. The results obtained from the algorithm are discussed at the end of the paper as well as the conclusions they lead us to.

Keywords: genetic algorithm, multi-objective optimization, shelter, timber, hurricane, Chamela

Introducción

La zona de la Bahía de Chamela fue afectada en 2015 por el huracán Patricia, el saldo fue de 55 familias sin vivienda (Milenio, sin fecha). Este escrito atiende a esta necesidad de refugios desarrollando una propuesta de diseño para esta zona. Se documentó y se presenta a continuación, todo el proceso que se llevó a cabo para la realización de esta propuesta.

La propuesta se trata de una búsqueda formal de tipologías antifrágiles y de confort bioclimático por medio de un algoritmo evolutivo. También busca implementar en su diseño a la madera como material alternativo para la construcción

Se siguió una metodología de investigación, desarrollo de algoritmo, obtención de un modelo a partir del algoritmo y finalmente las conclusiones a las que nos lleva.

Justificación

Este proyecto puede ser importante debido a que puede ayudar a mejorar y agilizar el desarrollo de viviendas dignas cuando se pierden casas en zonas de huracanes. Esto puede ayudar a que las personas puedan desarrollar su vivienda de manera rápida, pero teniendo una vivienda cómoda y que además se pueda modificar de manera fácil cuando sea requerido.

La investigación se planteó para la zona de Chamela, Jalisco, donde una cantidad importante de viviendas fueron destruidas por el huracán Patricia.

Se busca desarrollar un algoritmo evolutivo que pueda realizar optimización multi-objetivo para generar conceptos de solución para vivienda temporal en zonas de desastres por huracanes. Los objetivos que debe considerar el algoritmo serían estructurales (minimizar la cantidad de material para la construcción en función de las cargas gravitacionales y por viento) y arquitectónicas (maximizar el confort para el usuario, buscar mejoras en las plantas, dimensiones y ubicación de recámaras, etc.).

El algoritmo deberá desarrollar un concepto vivienda transicional realizada a base de elementos de madera de la zona y lonas. Se pretende realizar con diferentes plantas para evaluar las cargas de viento en diferentes topologías. La estructuración consistirá en elementos verticales de madera (generados en los vértices de polígonos regulares) y riostras entre ellos, de tal manera que se genere un polígono regular como marco rígido para fijar las lonas o el textil seleccionado de manera simple.

Se espera que el desarrollo de este algoritmo (y su implementación, eventualmente, con diferentes topologías y materiales) pueda ayudar a explorar diferentes propuestas para refugios.

1. Identificación del origen del proyecto y de los involucrados

1.1 Antecedentes del proyecto

Uso de los algoritmos evolutivos para diseño de refugios.

Los algoritmos de optimización se han utilizado repetidas veces en la búsqueda de formas, geometrías y topologías para el desarrollo de estructuras. Estos ayudan a utilizar espacios de búsqueda amplios para poder evaluar diferentes formas y combinaciones que luego se pueden revisar, mejorar e implementar en una vivienda.

Para el caso del diseño y evaluación de refugios, se tienen algunos ejemplos con optimización por medio de computación evolutiva. Uno es el caso de: *Scenario-Based Multi-Objective Optimum Allocation Model for Earthquake Emergency Shelters Using a Modified Particle Swarm Optimization Algorithm: A Case Study in Chaoyang District, Beijing, China* (Zhao, et. Al. 2015).

En este artículo se realizó la optimización de los diferentes parámetros de un refugio para el uso en terremotos. En esta prueba, se consideraron factores como la ubicación, tiempos de evacuación, áreas, etc. Se utilizó un algoritmo MPSOA para la optimización de la ubicación del refugio para su implementación durante la recuperación en terremotos.

Un problema importante con el que se toparon los autores fue la selección del tipo de algoritmo y si el algoritmo sería multi-objetivo o con un solo objetivo realizando ponderaciones de las funciones. *However, single-objective models are too simple to cover the complexity of the actual situation in the shelter location problem, which makes the development of multi-objective models necessary* (Zhao, et. Al. 2015).

Un antecedente del uso de Geometría Evolutiva y Algoritmos en la Arquitectura es el Parametric Party House. Un Pabellón móvil paramérico diseñado para “Copenhagen Distortion”. Construido con triplay con un termiando de cobre reflejante. Este pabellón fue diseñado y construido con tecnología experimental y programas acústicos de 3 Universidades. Se mueve y rota como un material textil (Rogers, 2014).

Propuestas de refugios.

Se consultó la página ShelterCaseStudies.org que tiene muchos ejemplos de refugios ya se han construido. En distintas páginas de internet se encontraron estos 2 ejemplos.

El prototipo para vivienda transitoria en Nepal desarrollada por Charles Lai de Hong Kong y Takehiko Suzuki de Tokio. Está diseñada para que cualquiera pueda construirla a partir de un manual que se descarga de internet y se puede construir en 3 días (Frearson, 2015).

En la descripción del proyecto en el sitio Archdaily aparecen las siguientes especificaciones de la vivienda. Mide 18 m2 y se hizo por parte del grupo One Village Focus Fund en 2015 y patrocinado por Expedia Hong Kong.

Se realizó por un equipo de 10 voluntarios y 4 trabajadores remunerados construyeron el prototipo en 2 días. Madera y hojas metal de las casas dañadas fueron reutilizadas para la construcción de la envolvente de la vivienda. El costo del refugio de 6m x 3m es de alrededor de US \$ 400 - \$ 500 (Uribe, 2015).

El segundo es el refugio BVN creado por la firma de arquitectura australiana BVN. (Figura 1) Desarrollado con el objetivo de proporcionar un entorno comfortable para sus ocupantes,

la estructura temporal se asemeja a un rompecabezas en 3D y se dice que montar mucho a un armario de Ikea. (Gadgetmania, sf)



Figura 1



Figura 2

Por último, se analizó en refugio T-Shelter construido en Haití en 2010. Figuras 2 a 5) La información completa de este refugio está en el artículo Ten Designs de IFRC. Mide 21m², se utilizó madera para estructura con un sistema de poste-viga. Se construyó en 2-3 días. Excelente desempeño ante vientos fuertes y actividad sísmica. Resistencia a Inundaciones. Tiempo de vida 3 a 5 años. Tiene una puerta y una ventana. (IFRC, 2013)

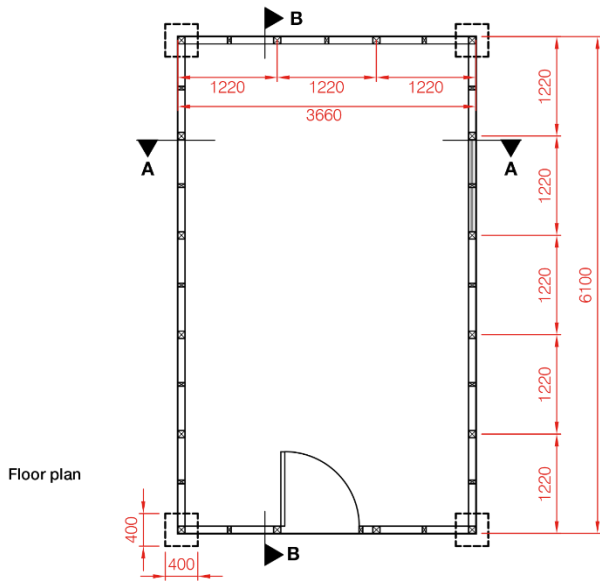


Figura 3

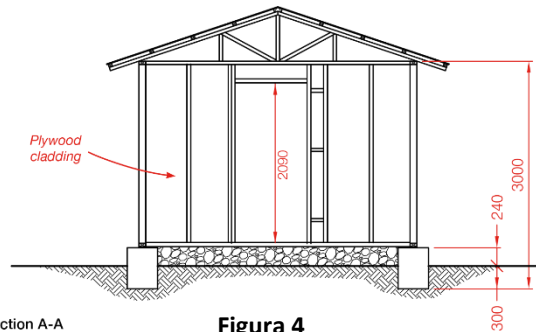


Figura 4

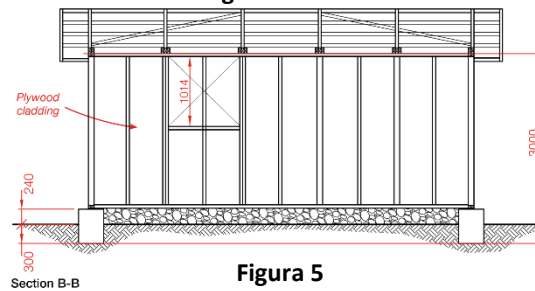


Figura 5

La madera como material para construcción

Se tomó el trabajo de investigación de PAPs anteriores como antecedente de investigación de la madera como material de construcción

Madera en México.

Especies comerciales en México (Peña, 2015):

- Madera maciza: Pino, Caoba, Cedro, Arce, Poplar, Jocha, Mascarei (Ecu), Caobilla, Sande (Col), Roble, Encino, Okume, Banak.
- Peruanas: Cumala, Lupuna, Utucaro, Requia, Meranti.
- Triplay: Pino blanco nacional, Pino amarillo, Caobilla, Abedul, Cedro rojo, Arauco chileno, Encino, Ceiba, Jocha, Sande, OSB (Oriented strand borde).
- MDF: Natural, Okume, Encino, Maple, Melaminizado.
- Aglomerado.

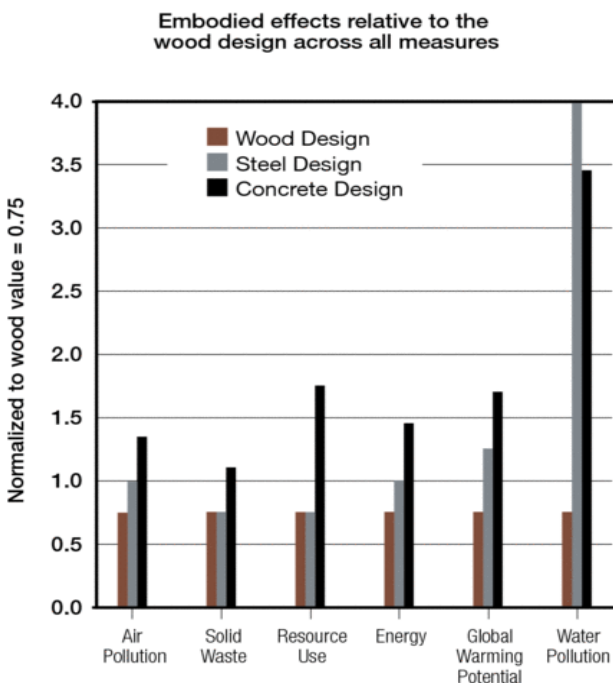


Figura 6

Categoría de Marginación 1995-2005
Imagen de CONAPO

En la región que estamos analizando podemos encontrar las especies cedro *Cedrela dugesii* (cedro) sin embargo se encuentra protegida por la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-1994) y la caoba de acuerdo al catálogo de Flora de la UdeG. (UdeG, 1998)

El uso de la madera presenta varias ventajas contra los materiales para construcción convencionales. Estos van desde el impacto ambiental, hasta la facilidad y velocidad con la que se puede realizar una vivienda. Las emisiones de CO₂ se reducen al utilizar madera, en lugar de acero o concreto.

Del total de emisiones de CO2 en México, el sector residencial es responsable del 7% de ellas, mientras que las industrias de acero, cemento y hierro equivalen a 8.9% de estas.

En la tabla de la Figura 6 podemos comparar la huella ecológica de la madera (en la imagen con color rojo) con la del acero y el concreto. La madera se mantiene en un mismo nivel (O Farril M, Gonzales M, Sin fecha).

La madera es que mantienen el CO2 absorbido por el árbol, esto ayuda a mitigar la huella de carbón asociada con la construcción (O Farril M, Gonzales M, Sin Fecha).

Es “el único recurso natural renovable dotado de propiedades estructurales y el único elemento vivo empleado en la construcción, es reciclable y las existencias se reponen de modo natural, es un material de baja incorporación de energía, su producción incluso puede beneficiar al medio ambiente.” (Peña 2015).

1.2 Identificación del problema. Problemática atendida.

Se eligió atender al poblado de Chamela, que se encuentra en el municipio La Huerta, en el estado de Jalisco, porque se considera un sitio de alto riesgo. Esto significa que es propenso a sufrir desastres de gran magnitud.¹ Jalisco está en el número 5 nacional en frecuencia de recibir huracanes históricamente y los que lo han afectado históricamente han sido en algunos casos gran magnitud. (CONAGUA,2012)

Este huracán fue muy sonado por su magnitud. Incluso antes de tocar tierra ya presentaba récord en vientos, como apareció en el titular del Universal. Y en la misma publicación advierte que en estado de Jalisco, Patricia provocaría lluvias intensas a puntuales torrenciales, vientos de 60km/h con rachas de 90km/h y oleaje de 4 m a 6 m. Toda esta información proporcionada por el servicio Meteorológico Nacional (SMN).

En otra nota de SPD Noticias, El Instituto de Astronomía y Meteorología de la UdeG define a Patricia como “el huracán más peligroso para Jalisco en 50 años” de acuerdo a publica también que los vientos previstos serían de 200 kilómetros por hora. (SPDNoticias.com,2015)

Según la Secretaría General de Gobierno, y publicado en el diario El Norte, hubo 4 mil evacuados y 71 albergues instalados solamente en Jalisco (Reforma 2015). Y de acuerdo a El debate, El poblado más afectado en Jalisco hasta ese momento era Chamela. Escribe también que decenas de casas quedaron sin techo y algunas totalmente destruidas. (El Debate 2015).

Chamela también cuenta con una problemática social tiene muy altos índices de marginación y rezago social alto. (Figura 7). En términos de emigración ha aumentado la expulsión de habitantes en los últimos 5 años. (Figura 8 y 9).

| Año | 2005 | | | 2010 | | |
|---|------------|---------|-------|----------|---------|-------|
| Datos demográficos | Hombres | Mujeres | Total | Hombres | Mujeres | Total |
| Total de población en la localidad | 6 | 3 | 9 | 8 | 7 | 15 |
| Viviendas particulares habitadas | 3 | | | 5 | | |
| Grado de marginación de la localidad <i>(Ver indicadores)</i> | Muy alto | | | Muy alto | | |
| Grado de rezago social localidad <i>(Ver indicadores)</i> | 5 muy alto | | | Alto | | |

Figura 7

Estadísticas poblado de Chamela, (PDZP, 2013)¹

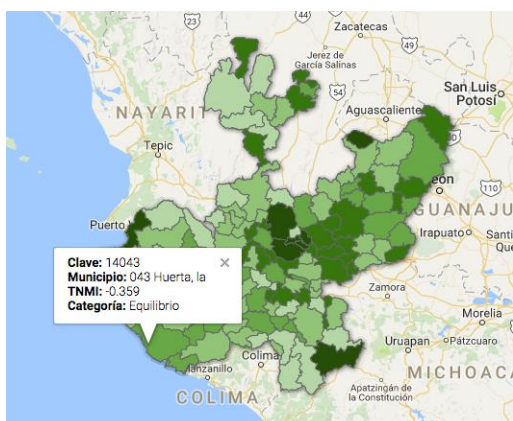


Figura 8

Categoría de Marginación 1995-2005
Imagen de CONAPO

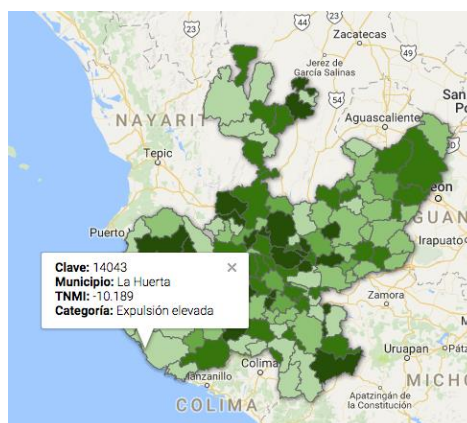


Figura 9

Categoría de Marginación 2005-2010
Imagen de CONAPO

Chamela ocupa el lugar 6.619 de marginación en el contexto nacional. En aspectos educativos, aumentó sus índices de analfabetismo y de rezago social de 2005 a 2010, así como el porcentaje de personas con acceso a servicios de salud. Al año 2010 la totalidad de sus viviendas no cuentan con agua entubada, energía eléctrica ni refrigerador y sólo el 60% tienen excusado. (PDZP, 2013)¹

1.3 Identificación de las organizaciones o actores que influyen o son beneficiarios del proyecto.

Nuestro usuario y beneficiario es la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja IFRC, es la parte de la Cruz Roja que interviene en desastres y refugios.

La ideología de nuestro usuario es introducir la resiliencia y la antifragilidad de las comunidades a las que apoya. En su página web definen su definición de refugio de la siguiente manera:

El refugio juega un rol esencial en la reducción de vulnerabilidad y la resiliencia de las comunidades.

La IFRC apoya a las áreas de riesgo por medio de prácticas de construcción más seguras y la construcción sustentable de asentamientos humanos, antes y después de desastres.

Consideramos que un refugio no es solamente la construcción de un producto sino un proceso en el cual las persona pueden mejorar sus propias casas e involucrarse en la creación de un ambiente seguro.

(IFRC, sf)

2. Marco conceptual.

El marco teórico se presenta por partes definidas a partir de los distintos enfoques y filosofías que implementamos en nuestra propuesta de refugio. Decidimos separarlo en 6 y son: Algoritmos, refugios, confort, geometría, y madera.

2.1 Refugios.

La referencia que se utilizó para definir las características de un refugio es el documento de IFRC. Resumimos los conceptos que implementamos en nuestro refugio a continuación:

Post-disaster shelter: Ten designs

“T-shelters” (Refugio-T):

Término usado comúnmente para referirse a Refugios Temporales o Transicionales.

Refugio Transicional

Refugios habitacionales post desastre de rápida construcción, hechos de material que pueden ser mejorados o reutilizados en estructuras más permanentes, o bien pueden ser reubicados de sitios temporales a ubicaciones permanentes. Están diseñados para facilitar la transición de personas afectadas a refugios más durables.

Los refugios transicionales responden al hecho de que la vivienda post desastre a menudo es llevado a cabo por la población afectada misma, de allí la necesidad de apoyar en esta búsqueda de recursos y auto-gestión.

Refugios Progresivos

Refugios habitacionales post desastre de rápida construcción planeados y diseñados para poder ser mejorados a un estatus más permanente.

Esto se logra integrando la transformación futura y posibilidades de alteración en la base estructural del modelo.

Refugio permanente / Refugio de una habitación

Refugios habitacionales post desastres planeados y diseñados como estancias permanentes. Como parte de la vivienda permanente futura, permitiendo y facilitando la extensión por parte de cada usuario a medida que sus recursos y medios lo permitan.

El objetivo de la vivienda permanente es la creación de 1 o 2 recámaras, proporcionando un refugio post desastre seguro, y al mismo tiempo empate los estándares de una vivienda temporal, facilite el desarrollo de cada módulo sin llegar a completar una casa permanente completa y terminada.

“Apropiatness” (Apropiado)

Un diseño de refugio es apropiado cuando refleja las necesidades, cultura local, vulnerabilidad y capacidades de la comunidad afectada, así como los recursos disponibles en el sitio.

2.2 Algoritmos evolutivos.

La aplicación de algoritmos de optimización en el diseño de estructuras puede presentar varias ventajas, ya que se puede minimizar el consumo de los materiales constructivos mientras se mantiene la seguridad en la estructura. Existen diferentes técnicas para la optimización; una de las más utilizadas es la programación evolutiva (particularmente los algoritmos genéticos).

La programación genética es una manera efectiva de búsqueda de soluciones basada en el principio de la evolución. La idea básica es combinar buenas soluciones a un problema por muchas generaciones tratando de mejorar la solución (Hultman, 2010). La ventaja que proporciona este tipo de algoritmos, es que se pueden tener espacios de búsqueda muy amplios; todas las soluciones iniciales de la población se pueden generar de manera aleatoria y se mejoran con el tiempo.

Optimización multi-objetivo.

Existen algunos problemas cuya solución depende de varios factores. La optimización de dichos factores puede generar que otros no tengan una solución óptima y puede que se tenga que sacrificar el valor óptimo de algún objetivo en lugar de otro. En la optimización multi-objetivo no existe el concepto de solución única; en su lugar se utiliza el de no-inferioridad (también conocido como Frente de Pareto). Una solución no inferior es una solución tal que al mejorar uno de los objetivos se degrada otro (u otros). En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de un frente de Pareto para un problema de optimización de dos objetivos.

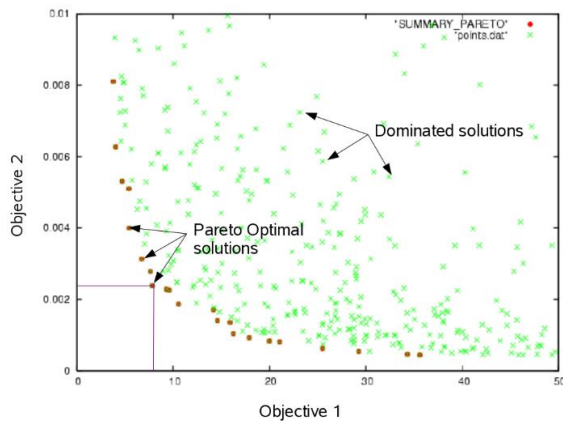


Figura 10.

Frente de Pareto (Cenaero, Sin fecha).

Frentes de Pareto

Los frentes de Pareto son un marco de referencia para la evaluación parcial de acciones con salidas multidimensionales, que realiza un ordenamiento parcial en función de la mejora de cada uno de los elementos (Stacey, 2011). El ordenamiento de este tipo de elementos se realiza por medio de una búsqueda de mejores elementos, pero debido

a que es probable que la mejora de un elemento afecte (o empeore) a otros, el frente se toma en los mejores elementos que no afecten a los demás. Esto garantiza que el elemento es uno de los mejores y permite seleccionar cual es la mejor de las soluciones, asumiendo que las mejores soluciones se encuentran en el frente.

Los frentes de Pareto son particularmente útiles ya que muestran las soluciones no dominadas; estas deberían de ser las mejores soluciones posibles ya que no se pueden mejorar sus elementos sin empeorar otros. Es por esto que con el frente de Pareto se tiene el conjunto de soluciones que permite seleccionar la mejor en función de los posibles mejores candidatos para cada punto.

2.3 Confort

Para fijar los parámetros de confort utilizamos las estrategias para bioclimática en el diseño de casas y el estudio de las viviendas de interés social en Argentina publicadas en el libro de Beatriz Gascón sobre bioclimática.

Lo resume en morfología, agrupamiento, orientación, materiales, colores, tamaño de aberturas. (Garzón, 2009)

2.4 Geometría

El marco teórico que se utilizó para definir las proporciones, medidas mínimas y geometrías se tomó del libro Neufert que describe las medidas y estándares que debe seguir la arquitectura y la construcción. (Neufert, 2014)

2.5 Madera

En la guía de la utilización de madera para autoconstrucción de UNOCHA, se describen las siguientes ventajas de la utilización de la madera. (UNOCHA,2009)

Es ligero y rígido. Es un material renovable, tiene larga duración, es un material natural.

Es un material utilizado alrededor del mundo y comúnmente accesible. Los conocimientos técnicos y material para trabajarlo suelen estar disponible localmente.

3. Diseño de la propuesta de mejora.

3.1 Enunciado del proyecto.

El proyecto consiste en realizar un algoritmo de optimización que pueda realizar optimización multi-objetivo con el fin de generar conceptos de solución y buscar geometrías en función de las cargas de viento de la zona, considerando factores arquitectónicos como el confort de los habitantes y las proporciones de la vivienda.

Este algoritmo debe generar las dimensiones de las plantas, las dimensiones y geometría de la estructura.

El tipo de vivienda que se generará es de tipo progresiva (diseñada para una duración de 3 a 5 años) que puede llegar a mejorarse por el usuario a permanente (duración de mínimo 5 a 10 años) (IFRC, 2013).

3.2 Objetivos del proyecto.

El objetivo general es desarrollar un algoritmo que permita evaluar elementos estructurales y arquitectónicos en una vivienda temporal de madera para poder optimizar el uso del material y al mismo tiempo, maximizar el confort de los usuarios con el fin de reducir el tiempo de construcción de las viviendas en los momentos de desastres por huracanes en la zona de Costa Alegre, Jalisco.

El algoritmo deberá generar un concepto de solución que permita desarrollar un prototipo de vivienda transicional a base de elementos de madera y lona (o algún textil de la zona) que soporte las condiciones climatológicas de la zona de Cihuatlán, Jalisco. Esta vivienda se planea para poder tener una rápida recuperación de las viviendas en algún evento de un huracán, para poder tener una rápida reconstrucción de la zona.

Además, se pretende que el algoritmo pueda incrementar el confort de los usuarios, ya que es uno de los principales problemas en los refugios temporales y viviendas transicionales, ya que la principal intención de estas viviendas es la rápida recuperación de las viviendas, pero en algunos casos sin considerar al usuario.

Los objetivos específicos que se buscan al realizar este proyecto son:

- Introducir la madera como material alternativo en la autoconstrucción y producción de vivienda de emergencia y que eventualmente pueda permear a la vivienda social.
- Reducir los problemas relacionados con la vivienda temporal en zonas de huracanes, como: baja calidad en la construcción, materiales deficientes y dificultad en la construcción.
- Reducir el tiempo de desarrollo de la vivienda.
- Proponer una metodología para análisis y selección de geometrías para la optimización de refugios en diferentes situaciones de desastre (en este caso, huracanes).

3.3 Metodología.

La metodología del proyecto fue una primera parte de investigación y conferencias sobre materiales alternativos y filosofías de sustentabilidad en el diseño.

Después la definición de una problemática y un usuario, así como el material a utilizar.

El siguiente paso fue presentar una propuesta conceptual de solución para esta problemática y finalmente el desarrollo de esta propuesta y los resultados a los que se llegaron:

El desarrollo de la propuesta implicó indagar sobre conceptos y disciplinas muy distintos entre sí (programación, proporción, confort, problemáticas sociales, clima, cargas, etc.) y tuvieron consultarse autores diversos.

Para facilitar este proceso, dividimos en proyecto en 4 líneas de acción, que desarrollamos simultáneamente: Definición de refugio, Diseño de Algoritmo y finalmente aplicar el algoritmo a un caso real. Se explica cada apartado más adelante.

3.4 Cronograma de trabajo.

Se realizó un plan de trabajo al inicio del proyecto con los productos que se esperaban en las diferentes etapas del programa. En resumen se hizo primero trabajo de investigación, la segunda etapa fue el desarrollo del programa y la entrega del artículo de IASS, finalmente el reporte PAP y la presentación al usuario. (Anexo 10.9).

4. Desarrollo de la propuesta de mejora.

4.1 Definición del refugio óptimo.

La primera característica que debe considerar nuestro refugio es la seguridad. Debe soportar las condiciones climatológicas de la zona de Chamela, Jalisco, y su geometría debe ser en función de ellas. El material debe ser de madera y lona (o algún textil de la zona). Debe ser de rápida construcción.

Debe incrementar el confort de los usuarios. Es necesario que se pueda modificar y/o reutilizar fácilmente, así como pensada para poder mejorarla fácilmente a corto y largo plazo.

Para esto, se toman en cuenta varios elementos; se busca que la estructura tenga la capacidad suficiente por si eventualmente se decide cambiar el material del techo, o que el área de la planta y las proporciones permitan eventualmente modificar o mejorar la parte interna, por ejemplo: para construir un cuarto. Estos factores podrían ir ayudando a realizar mejoras poco a poco a la vivienda, de tal manera que sea viable económicamente para los habitantes.

Nuestra definición de un refugio óptimo abarca 2 bloques:

- Elementos Arquitectónicos
- Elementos Estructurales.

El bloque Arquitectónico define superficie, proporción en planta, altura local, capacidad de subdividir, maximizar área interior.

El bloque estructural define 2 cargas: viento y masa total del material.

4.2 Elementos arquitectónicos.

Área.

El área de desplante óptima la tomamos la medida de 18 m² como área mínima establecida por sphere para una familia de 5 personas. establecido por Shpere considerando 3.5 m² por

persona. (IFRC, 2013) y el máximo de 35 m² obtenido del libro de Neufert resultado de la suma de las medidas mínimas para: 1 baño con ducha, cocina con un pequeño comedor integrado y 2 recámaras. (Neufert, 2014)

Proporción de la planta.

Se tomó la proporción del largo equivale al doble del ancho a partir del libro Neufert (Figura 11).

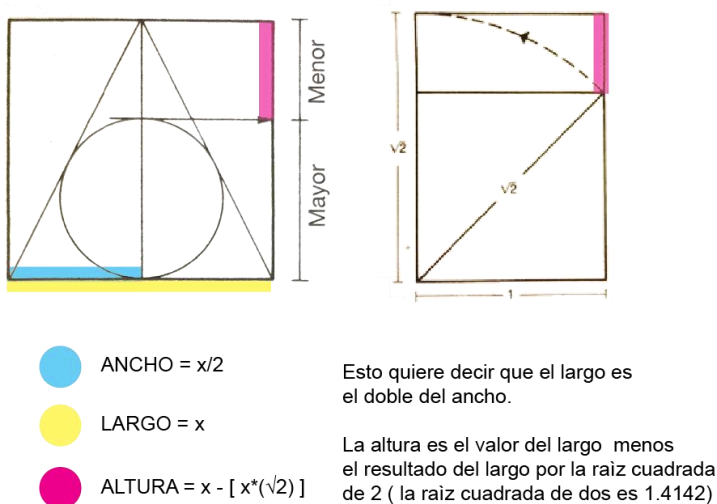


Figura 11

Gráficos originales de Neufert, colores y texto en la parte inferior por Ximena Aranguren (Neufert, 2014)

Altura libre en el refugio.

Para obtener el valor de altura se tomaron en cuenta 2 aspectos. Primero la altura local se debe obtener en sitio o bien a partir de un mapeo y levantamiento de fachadas de la zona. En el caso de ese proyecto se obtuvo a partir de la creación de largueros, calcular la altura de cada vivienda y la media entre todas. El proceso de como se hace este análisis de alturas aparece de manera más detallada en el anexo 10.6. El segundo parámetro que utilizamos es el de la figura 11.

Posibilidad de subdividir.

Para asegurar que el área pueda ser asegurada más adelante se partió de la medida mínima de refugio; 18 m² y se le restó la medida de una recámara, 8.25 de acuerdo a Neufert, Se eligieron las medidas de una recámara porque en México se acostumbra en ser el primer tipo de espacio que se subdivide. La medida resultante debe tener una superficie mínima de 13.29 m² que en promedio abarca la medida de cocina y baño completo establecidas por Neufert, (Neufert, 2014).

Volumen.

Se definió que entre más alto es el techo y más amplio es el volumen interior, será mayor el confort del usuario.

4.3 Elementos estructurales.

En el apartado de consideraciones para elementos estructurales del refugio se utilizaron 2 cargas principales: La masa total de los elementos estructurales y el análisis de cargas por viento. Las fórmulas para calcular cada uno se explican en el siguiente capítulo.

4.3 Traducción al algoritmo.

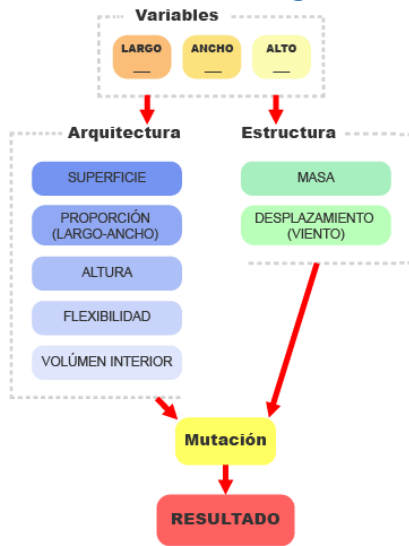


Figura 12
Metodología Propuesta para
Algoritmo Gráfico: Ximena Aranguren

El algoritmo debe forzosamente tener 2 características para tener un carácter genético o evolutivo. En la Figura 12 aparecen de color amarillo.

Primero debe tener cierta flexibilidad y carácter dinámico, es decir que para un mismo parámetro y función se pueda probar distintos valores. Esto permite que el algoritmo pueda evaluar distintas opciones de solución para de una misma instrucción. Para lograr esto se decidió iniciar el programa insertando manualmente 3 valores para 3 variables.

El algoritmo podrá jugar con los valores de las variables

cambiándolas y ajustándolas mientras corre.

Estas 3 variables son: los valores que se deseen para el largo, ancho y altura del refugio.

La segunda característica de un algoritmo evolutivo es que es la última función que realiza debe seguir una lógica de mutación y elitismo. Se explica más a fondo qué es y cómo funciona esta función en el siguiente apartado.

4.3.1 Diseño del algoritmo.

Dado que lo que se buscó en este proyecto es tener una forma de evaluar los cambios que se generan en una edificación al modificar su geometría, fue necesario tener una manera de revisar y visualizar estas interacciones. Para la solución del problema se decidió utilizar un algoritmo NSGA-II, que permitiera evaluar todas las funciones objetivo necesarias que se plantearon para la optimización de la estructura y sus dimensiones. Con este tipo de algoritmos se pueden maximizar o minimizar cualquier cantidad de funciones. Para la selección del algoritmo a implementar se tomaron en cuenta varios factores:

- Eficiencia del algoritmo.
- Referencias de trabajos previos con el mismo.
- Dificultad de desarrollo.
- Cantidad de funciones objetivo.

Los dos factores que definieron la decisión del tipo de algoritmo a implementar fueron la dificultad del desarrollo y la cantidad de funciones objetivo que se pueden manejar simultáneamente. La cuestión de la decisión por la complejidad se decidió por que al estar realizando pruebas con diferentes algoritmos se encontró un algoritmo NSGA-II desarrollado por Aravind Seshadri, el cual era código abierto y se puede modificar y redistribuir. A pesar de que fue necesario modificar varias de las funciones y la forma en la que se utiliza ese algoritmo, esto simplificó el desarrollo ya que hubo funciones que si se pudieron utilizar.

El otro factor determinante fue la cantidad de funciones a utilizar. Una de las pruebas que se realizaron antes de comenzar el desarrollo del problema fue la escalarización de varias funciones objetivo para intentar utilizar un algoritmo para optimizar una sola función pero que tuviera las consideraciones de las siete funciones consideradas. Esto se realiza con una suma de todas las funciones objetivo para llegar a un solo valor. Se pueden realizar ponderaciones de cada una para buscar diferentes valores para la optimización, pero se decidió que esto no era conveniente ya que esta solución no presentaría los cambios que se tienen entre las funciones objetivo.

4.3.1 Funciones de prueba.

Las funciones de prueba son funciones para las cuales se conocen los valores óptimos. Se implementan en algoritmos para evaluar su eficiencia con valores conocidos. Para la decisión del algoritmo se utilizaron funciones objetivo conocidas. Se realizaron dos pruebas con las mismas funciones para evaluar resultados, eficiencia y calidad de la visualización. Las pruebas se realizaron con la función de Schaffer N. 1:

$$\text{minimizar} \begin{cases} f(x) = x^2 \\ g(x) = (x - 2)^2 \end{cases}$$

Para el algoritmo NSGA-II, $f(x)$ y $g(x)$ fueron los dos objetivos utilizados, teniendo una variable de decisión que fue en el rango $[-10, 10]$. La escalarización se realizó de la siguiente manera:

$$f_{obj} = a f(x) + g(x)$$

El valor de la variable a se utilizó como una ponderación para modificar los valores. Dado que al realizar la escalarización se obtiene un solo valor, al modificar la variable a para diferentes corridas, se encontró que los valores que encontraba el algoritmo si pertenecían al frente, pero no es posible generarlo con un solo punto, de tal forma que se pierde la posibilidad de observar las interacciones entre funciones objetivo.

El algoritmo utilizado para la escalarización fue un algoritmo genético implementado en el PAP: en el periodo de otoño 2016. Ese algoritmo fue implementado con el fin de encontrar geometrías válidas para marcos recíprocos de un solo núcleo. El motivo por el cual se realizó con un algoritmo realizado previamente fue porque no era necesaria la evaluación de la velocidad y eficiencia del algoritmo, sino las posibilidades de generación de resultados con la escalarización de las funciones objetivo.

El principal problema con esta metodología fue que, para encontrar diferentes valores, era necesario modificar el valor de la variable a , de tal forma que al ponderar con un mayor o menor peso cada una de las variables, se generaban los puntos del frente de Pareto para la función de Shaffer N.1. Esta metodología funcionó de manera correcta y si ayudó a encontrar los mínimos de las funciones, pero solo se encuentra el valor en un punto, lo cual impide observar las interacciones entre las variables.

El algoritmo NSGA-II se implementó con la misma función de prueba para observar las diferencias entre ambas metodologías. En la siguiente gráfica se puede observar el

resultado obtenido de minimizar la función de Shaffer N.1. Los resultados fueron los esperados.

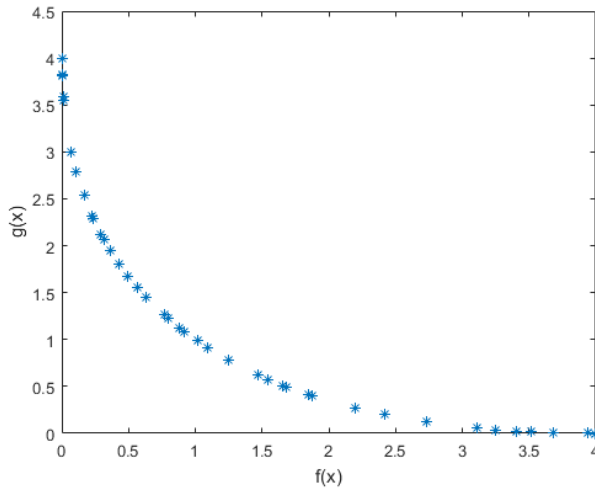


Figura 5
Resultados de función Shaffer N.1 con NSGA-II

Debido a que la representación del frente de Pareto se realiza en con los resultados de las evaluaciones de las funciones objetivo, solo se pueden realizar representaciones de hasta tres funciones objetivo debido a que no se pueden graficar más ejes. Esto presenta un problema en el caso de problemas que tienen más de tres. Dado que este problema cuenta con 7

funciones objetivo, se decidió realizar representaciones por separado de los elementos. De esta manera se pudo observar la interacción de los elementos con las diferentes funciones objetivo, a pesar de que no fuera en un solo gráfico.

Además de los gráficos anteriores, se decidió crear dos funciones objetivo que representarían la parte estructural y la parte arquitectónica. Esto se realizó con el fin de tener una sola función objetivo para cada parte y observar la información obtenida de manera más general. Para esto, se realizó la escalarización de las funciones objetivo arquitectónicas y estructurales, es decir:

$$f_{arq} = f_{area}(L, A, h) + f_{voi}(L, A, h) + f_{prop}(L, A, h) + f_{subdiv}(L, A, h) + f_h(L, A, h)$$

$$f_{est} = f_{masa}(L, A, h) + f_{viento}(L, A, h)$$

Donde cada una de las funciones $f_k(L, A, h)$ representan una función objetivo. De esta manera de que se pudieron graficar las interacciones entre la cuestión arquitectónica contra los resultados de las funciones estructurales.

5. Resultados del trabajo profesional.

Los productos principales que se realizaron en este proyecto fueron las funciones necesarias para evaluar la calidad de un refugio en función de su geometría para poder comparar entre dos o más propuestas de refugio (mientras tengan la misma topología). Además de estas funciones (que fueron las principales) se tuvieron que realizar otras para revisar y generar diferentes elementos para que el programa funcionara correctamente. Algunas de estas fueron:

- Funciones para generar y visualizar los resultados generados por el programa.
 - o Generar diagramas de la estructura.
 - o Generar frentes de Pareto para diferentes combinaciones de funciones objetivo.
- Funciones para generar matrices de rigidez.
 - o Generación de índices para ubicación de barras.
 - o Generación de coordenadas en función de geometría de la vivienda.
 - o Ensamblado de la matriz de rigidez (proporcionado por Nayar)
 - o Generar cargas de viento con NTC-DF para cualquier geometría (manteniendo la topología propuesta).

Las funciones objetivo que se desarrollaron constan principalmente de dos partes, las que buscan optimizar (o mejorar) los elementos arquitectónicos y los que buscan optimizar la seguridad y los elementos estructurales. En ambos casos, las funciones buscan mejorar los objetivos, pero el mejorar una, suele reducir la calidad de otra. Un ejemplo es el del incremento de la altura del refugio, que al incrementar mejora el confort de la edificación al incrementar el volumen y reducir la temperatura en la misma, pero esto incrementa los

esfuerzos que debe soportar la estructura debido a las cargas de viento; además de incrementar la masa total de los elementos de madera.

Las funciones objetivo arquitectónicas buscan mejorar la parte estética de la estructura y el confort del usuario una vez que esté en uso. A continuación, se explica brevemente cada una de ellas.

5.1 Funciones objetivo para la optimización del refugio.

5.1.1 Área.

$$f_1(L, A, h) = LA$$

La función objetivo del área es una función bastante simple. Se busca que el algoritmo maximice esta función, ya que, al incrementarla, se tendrá un mayor confort para el usuario y más espacios para utilizarse en lo que se requiera. Siendo estrictos, la función objetivo fue:

$$f_1(L, A, h) = -LA$$

Esto fue debido a que el algoritmo busca minimizar la función; por lo tanto, en las funciones que se buscó maximizar, se cambió el signo. Una vez terminada la optimización, se cambian todos los signos de cada elemento de la función objetivo que se maximizó.

5.1.2 Altura.

$$f_2(L, A, h) = -h$$

Esta función fue bastante simple, ya que se buscó simplemente maximizar la altura del refugio. Esto con el fin de incrementar el confort y la sensación de amplitud de la parte interna del refugio. Algo interesante en este caso es que, a pesar de que la altura h sea una variable, se buscó directamente maximizarla, lo que va en contra de las otras funciones

objetivo estructurales. Este es un buen ejemplo de variables que al maximizarlas o minimizarlas, modifican de manera negativa otras funciones objetivo.

5.1.3 Volumen.

$$f_3(L, A, h) = -LAh$$

La función objetivo del volumen tiene como fin lo mismo que las anteriores, incrementar la sensación de amplitud, pero además funciona para mantener una temperatura más cómoda dentro de la vivienda, ya que para cambiar la temperatura de una mayor masa de aire se requiere más tiempo. De esta manera se puede tener una edificación que tendrá menos cambios en la temperatura interna. En el caso de zonas costeras (como lo es el de la bahía de Chamela) este aspecto es importante para reducir las fluctuaciones de temperatura a lo largo del día.

5.1.4 Proporción de la planta.

$$k = \max(f_1, f_2) / \max(f_1, f_2)$$

$$f_4(L, A, h) = -bf_4 + c \rightarrow \text{si } k < 2$$

$$f_4(L, A, h) = bf_4 - c \rightarrow \text{si } k > 2$$

Donde b y c son coeficientes para amplificar y modificar las pendientes de las dos rectas de la función. Estos coeficientes se utilizaron para ponderar un poco los valores de esta función objetivo y que fueran similares en magnitud a los demás de las funciones objetivo arquitectónicas. Esto se realizó con el fin de tener unos valores similares entre ellas.

La decisión de la magnitud de la proporción de la planta, es decir, del cociente entre sus lados, se tomó para buscar plantas que fueran un tanto regulares para que no hubiera gran diferencia entre sus lados. Además, de esta manera se limita el hecho de que se tengan plantas muy irregulares debido al análisis por viento, el cual tendrá mejores candidatos si se tiene un lado muy angosto (en la dirección del viento).

5.1.5 Subdivisiones en la planta.

$$f_5(L, A, h) = -Af_1 \rightarrow \text{si } f_1 - 3.5 > 14.5$$

$$f_5(L, A, h) = Af_1 \rightarrow \text{si } f_1 - 3.5 < 14.5$$

La búsqueda de subdivisiones en la planta permite saber si es posible la construcción de cuartos u otras recámaras en la parte interna del refugio. De esta manera se tiene la certeza de que, si se desea realizar una modificación como agregar un cuarto para alguien, se seguirán teniendo áreas con unas dimensiones mínimas. Con esto, se puede garantizar que se puede ir modificando la vivienda conforme se tengan los recursos o materiales.

Funciones objetivo estructurales.

Las funciones objetivo estructurales buscan mejorar la calidad de la edificación en el aspecto de la seguridad estructural y el uso del material. Estas buscan reducir los desplazamientos laterales de la estructura bajo las cargas de viento que se suelen dar en las zonas afectadas por los huracanes. Además, se busca que el material requerido para cumplir con la seguridad sea el menor posible. Ambas funciones se explican a continuación.

5.1.6 Masa del sistema estructural.

$$f_6(L, A, h) = \rho a \sum_{i=1}^n l_i$$

Donde n es el número de barras, l es la longitud de la barra, p es la densidad específica de la madera de la zona y a el área de la sección transversal de la barra.

El cálculo de la masa se realiza de la siguiente manera:

- Generar matriz de rigidez de la estructura con un área supuesta.
- Calcular momento y carga axial máxima.
- Estimar el área requerida en función de las cargas.

- Realizar la suma de la masa de todas las barras.

5.1.7 Desplazamientos laterales.

$$f_7(L, A, h) = \delta_{max}$$

La función objetivo de los desplazamientos se tomó (de manera simple) con el desplazamiento máximo en uno de los nodos. Esto se realizó de manera directa por simplificar la estimación del valor del desplazamiento máximo en función de la altura. De manera formal, se debió penalizar cada uno de los desplazamientos considerando la altura a la que se encuentra el nodo, pero ya que el refugio se pensó de un solo nivel, la diferencia en las restricciones será muy pequeña. El desplazamiento máximo por nodo de podría limitar a:

$$\delta_{max} = 0.012h$$

Aunque utilizando la fórmula anterior, se restringirán de la misma manera todos los desplazamientos. Por este motivo sólo se tomó el desplazamiento máximo.

Debido a que la revisión de ambas funciones objetivo se realiza de manera simultánea, a continuación, se muestra el código de Matlab que se utilizó para el cálculo de la revisión estructural esto se realizó por medio de tres funciones. Para revisar el resto de las funciones, ver anexos.

```
function [ masa,d_max ] = revision_estructura( L, A, h )
    nodeCoordinates=zeros(12,3);
    nodeCoordinates(2,:)= [A,0,0];
    nodeCoordinates(3,:)= [0,L,0];
    nodeCoordinates(4,:)= [A,L,0];
    nodeCoordinates(5,:)= [0,0,h];
    nodeCoordinates(6,:)= [A,0,h];
    nodeCoordinates(7,:)= [0,L,h];
    nodeCoordinates(8,:)= [A,L,h];
    nodeCoordinates(9,:)= [A/2,L/2,h+(0.08*L/2)];
    nodeCoordinates(10,:)= [A-1,0,0];
    nodeCoordinates(11,:)= [A-1,0,2.1];
    nodeCoordinates(12,:)= [A,0,2.1];
    elementNodes=[1,5;2,12;3,7;4,8;5,6;6,8;5,7;7,8;5,9;6,9;7,9;8,9;...
```



```

    2,8;4,6;1,7;3,5;3,8;4,7;12,6;10,11;11,12;1,11;10,5];
numberElements=length(elementNodes);
GDof=6*length(nodeCoordinates);
%Cambiar a elemento de punto medio de base de datos.
E=14000*100;
A=0.1*100;
ly=(sqrt(A)*(sqrt(A)^3))/12;
lz=ly;
G=E/12;
J=100;
[K,len] = formStiffness3Dframe(GDof,numberElements,...
    elementNodes,nodeCoordinates,E,A,lz,ly,G,J);

%Eliminar apoyos de la matriz K (elementos del 1 al 4)
K(1:(4*6),:)=[];
K(:,1:(4*6))=[];

[V_fuerzas]=generar_cargas_viento(L,A,h,GDof);
desplazamientos=K\V_fuerzas;

P=K*desplazamientos;
P=P+V_fuerzas; %Vector de cargas final.
% Buscar momento y carga axial máxima en los elementos
M=[];
C=[];
for i=1:6:length(P)
    C(i)=P(i);
    C(i+1)=P(i+1);
    C(i+2)=P(i+2);
    M(i+3)=P(i+3);
    M(i+4)=P(i+4);
    M(i+5)=P(i+5);
end

% Estimación de la masa total de la estructura
% Por el momento asume un esfuerzo máximo de 13MPa
Asecc=max(C)/(100*13*10.51/0.5);
masa=len*Asecc*850;
%Es necesario recalculer los desplazamientos máximos con el
%area real de los elementos.
A=Asecc*100;
ly=(sqrt(A)*(sqrt(A)^3))/12;
lz=ly;
[K,~] = formStiffness3Dframe(GDof,numberElements,...
    elementNodes,nodeCoordinates,E,A,lz,ly,G,J);

%Eliminar apoyos de la matriz K (elementos del 1 al 4)

```

```
K(1:(4*6),:)=[];  
K(:,1:(4*6))=[];  
  
desplazamientos=K\V_fuerzas;  
d_max=max(desplazamientos)*100;  
end
```

Además de las funciones objetivo, otras funciones importantes que se realizaron fueron las de la visualización de elementos y resultados. Los resultados se observaron generando las gráficas para observar los frentes de Pareto con las diferentes interacciones y se creó otra función para observar la estructura generada.

5.2 Visualización de la estructura.

Debido a que el algoritmo está pensado para evaluar estructuras con topología fija variando las geometrías, en este momento el algoritmo solo evalúa un tipo de estructura (esto es posible cambiarlo al generar diferentes topologías, pero es necesario ingresar al algoritmo las coordenadas de los nodos en función de la variación geométrica y una matriz de índices para las barras) esta función no es completamente útil, aunque, poco a poco, conforme se expanda la cantidad y formas que pueda evaluar el algoritmo, esta será de gran importancia.

Esta función ayuda a dos partes, visualizar los candidatos y a evaluar que se ingresen los valores correctos en la matriz de índices de las barras. Esto ayuda a eliminar errores debido a que generar una estructura con más de 10 barras utilizando solo las coordenadas de los nodos y los índices de las barras se presta a errores. Con esto se puede observar la estructura final y corregirla de ser necesario.

Además, una vez que el algoritmo se extienda a diferentes topologías, con esta función se podrá observar la geometría y ubicación final de las barras del elemento. Esto es de particular utilidad en la propuesta de soluciones ya que con esto se puede observar y seleccionar el refugio más conveniente para el caso que se busque. A continuación, se muestra la función que genera los elementos en 3D.

```

function generar_armadura( L,A,h )
    nodeCoordinates=zeros(9,3);
    nodeCoordinates(2,:)= [A,0,0];
    nodeCoordinates(3,:)= [0,L,0];
    nodeCoordinates(4,:)= [A,L,0];
    nodeCoordinates(5,:)= [0,0,h];
    nodeCoordinates(6,:)= [A,0,h];
    nodeCoordinates(7,:)= [0,L,h];
    nodeCoordinates(8,:)= [A,L,h];
    nodeCoordinates(9,:)= [A/2,L/2,h+(0.08*L/2)];
    nodeCoordinates(10,:)= [A-1,0,0];
    nodeCoordinates(11,:)= [A-1,0,2.1];
    nodeCoordinates(12,:)= [A,0,2.1];
    elementNodes=[1,5;2,12;3,7;4,8;5,6;6,8;5,7;7,8;5,9;6,9;7,9;8,9;...
        2,8;4,6;1,7;3,5;3,8;4,7;12,6;10,11;11,12;1,11;10,5];

    for i=1:length(elementNodes)
        nodo_i=elementNodes(i,1);
        nodo_f=elementNodes(i,2);
        plot3([nodeCoordinates(nodo_i,1),nodeCoordinates(nodo_f,1)]...
            ,[nodeCoordinates(nodo_i,2),nodeCoordinates(nodo_f,2)]...
            ,[nodeCoordinates(nodo_i,3),nodeCoordinates(nodo_f,3)],'-k',...
            'LineWidth',4);
        hold on;
    end
    plot3(max(L,A),max(L,A),max(L,A));
end

```

Como se puede observar, por el momento, esta función solo funciona para el caso propuesto, pero es muy fácil modificarla para generar cualquier estructura reticular conociendo las coordenadas de sus nodos y los índices a los que va cada barra.

5.3 Visualización de los frentes.

La otra función para las visualizaciones que se desarrolló fue la encargada de generar las gráficas de las interacciones entre funciones objetivo, para poder observar los frentes. Estas interacciones ayudan a conocer el sacrificio en la función objetivo de una variable que se tiene cuando se modifican otra(s) de las variables.

Debido a que realizar la gráfica de cada interacción para cada vez que se corre el programa era complicado e innecesario, fue más simple realizar la siguiente función.

```
function mostrar_graf( chromosome, ref )
V=3;
if ref==1
    figure
    plot(chromosome(:,V + 1),chromosome(:,V + 4), '*');
    xlabel('Area (m^2)');
    ylabel('Proporción de la planta');
elseif ref==2
    figure
    plot(chromosome(:,V + 3),chromosome(:,V + 6), '*');
    xlabel('Volumen (m^3)');
    ylabel('Masa (kg)');
elseif ref==3
    figure
    plot(chromosome(:,V + 3),chromosome(:,V + 7), '*');
    xlabel('Volumen (m^3)');
    ylabel('Desplazamientos (cm)');
elseif ref==4
    figure
    plot(chromosome(:,V + 6),chromosome(:,V + 7), '*');
    xlabel('Masa (kg)');
    ylabel('Desplazamientos (cm)');
elseif ref==5
    figure
    plot3(chromosome(:,V+1),chromosome(:,V + 6),chromosome(:,V + 7), '*');
    xlabel('Área (m^2)');
    ylabel('Masa (kg)');
    zlabel('Desplazamientos (cm)');
elseif ref==6
    figure
    plot3(chromosome(:,V+2),chromosome(:,V + 4),chromosome(:,V + 7), '*');
    xlabel('Área (m^2)');
    ylabel('Altura (m)');
    zlabel('Volumen (m^3)');
elseif ref==7
    figure
    plot(chromosome(:,V + 4),chromosome(:,V + 7), '*');
    xlabel('Proporción de la planta');
    ylabel('Desplazamientos (cm)');
elseif ref==8
    figure
    plot3(chromosome(:,V+1),chromosome(:,V + 4),chromosome(:,V + 7), '*');
```

FO-DGA-CPAP-001

```
xlabel('Área (m^3)');  
ylabel('Proporción de la planta');  
zlabel('Desplazamientos (cm)');  
end  
end
```

Una vez que se terminaron las funciones anteriores y se depuraron el resto de las funciones necesarias para utilizar el algoritmo, se introdujeron los valores necesarios para probar el diseño con un refugio planteado en la bahía de Chamela. Los elementos que fueron necesarios introducir se enlistan a continuación:

- Propiedades de la madera de la zona.
- Módulo elástico.
- Constante torsional.
- Módulo de cortante.
- Propiedades para diseño por viento.
- Velocidad de ráfaga.
- Velocidad de diseño.
- Coeficiente por topografía.

Con estos valores de realizaron pruebas con el algoritmo, utilizando diferentes valores para la población (cantidad de elementos a probar) y el número de generaciones (cantidad de veces que se repetiría el ciclo). Con las pruebas se pudieron observar algunas ventajas de cada uno.

Al incrementar la cantidad de elementos, el tiempo de ejecución crece considerablemente, ya que el algoritmo genera la matriz de rigidez, resuelve el sistema, etc. Por lo que, con un incremento en la población, crece el tiempo de ejecución (parece ser de manera lineal, quizá porque es necesario evaluar la matriz de rigidez dos veces por elemento). A pesar del incremento en tiempo, el tener una mayor cantidad de candidatos permite observar de manera más simple y evidente los gráficos de los frentes de Pareto.

El número de generaciones determina qué tan definido se puede observar el frente. Esto puede deberse a que, generación tras generación, se van depurando las soluciones y se genera de manera más clara la interacción entre variables y funciones objetivo. A continuación, se muestran algunas de las gráficas más interesantes que se observaron al evaluar el refugio propuesto con una población de 250 elementos y durante 2500 generaciones (alrededor de 40 minutos de tiempo de ejecución).

5.4 Aplicación del programa a un sitio específico.

El poblado de Chamela, se encuentra en el municipio La Huerta, en el estado de Jalisco.

Se localiza en las coordenadas 19°31'36.35" N 105°04'14.85" O.(Fig.13)

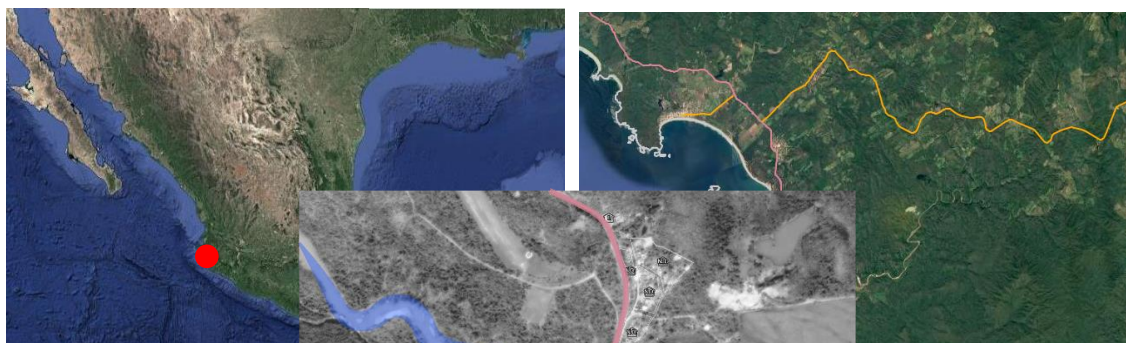


Figura 13
Ubicación Chamela,

Figura 14
Carreteras Chamela, Fotografía: INEGI

Al 2010 contaba con

habitantes. Tiene buena accesibilidad al estar conectada a carreteras libres y de peaje. (Fig.

14) La cruzan una carretera y un pequeño río. (Fig.15)

La media de altura de las casas de Chamela es de 2.6 mts. se obtuvo a partir de analizar las siguientes imágenes Google Earth, se calculó aproximadamente la altura de cada casa y a partir de esos valores se obtuvo la altura promedio (Fig 16 y 17).



Figura 16
Fotografías del Sitio

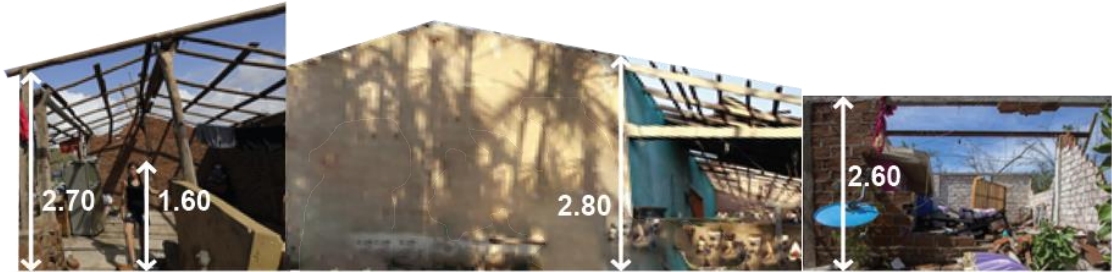


Figura 17
Análisis de alturas a partir de fotografías

El sistema constructivo y el material también se definieron a partir de las fotos anteriores. El sistema más utilizado en el sitio son los marcos estructurales tanto de madera como de concreto. También el sistema de muros de mampostería se identificó como constante en las casas de las zonas.



Se identificaron madera, ladrillo, lámina, palma y concreto como los principales materiales que se utilizan en la construcción en Chamela.



6. Productos obtenidos.

El producto obtenido es el algoritmo en sí, que ya se explicó en los puntos anteriores. El producto del algoritmo tiene posibilidades virtualmente infinitas dependiendo de los valores que se le ingresen. A pesar de que se planea ampliar para diferentes topologías y tipos de desastres, por el momento parece funcionar de manera correcta para lo planteado anteriormente.

El producto resultante de nuestro algoritmo se representó de 2 maneras distintas: Frentes de Pareto y modelo geométrico.

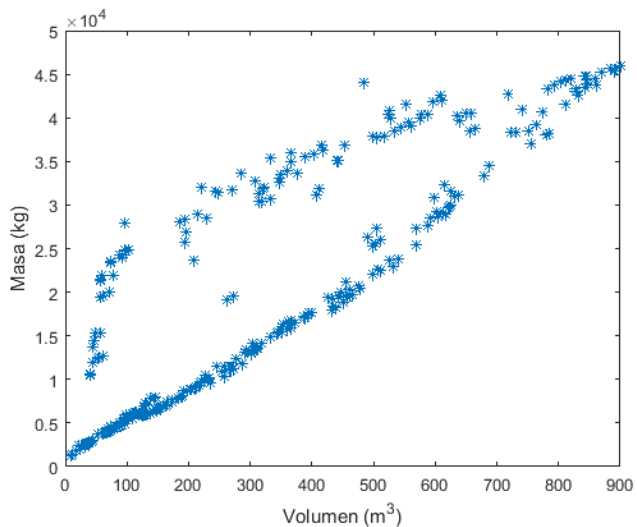


Figura 18

Figura 1: Volumen vs Masa de la vivienda.

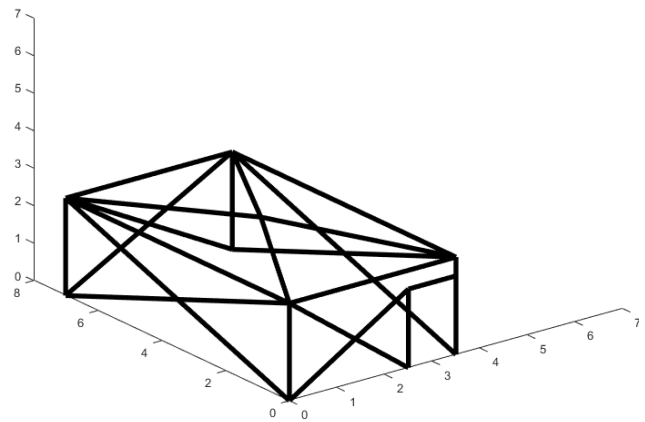


Figura 19

Vista del refugio generada por el algoritmo.

6.1. Resultados

Las figuras siguientes son los resultados que obtuvimos del algoritmo y están representadas de maneras distintas.

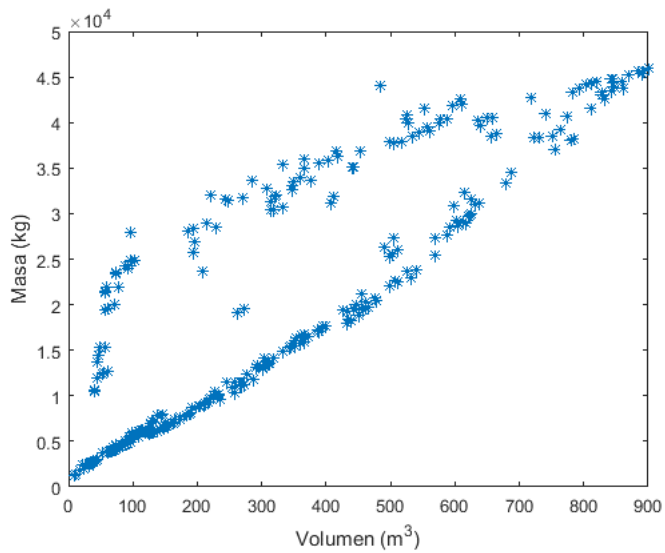


Figura 20: Volumen vs Masa de la vivienda.

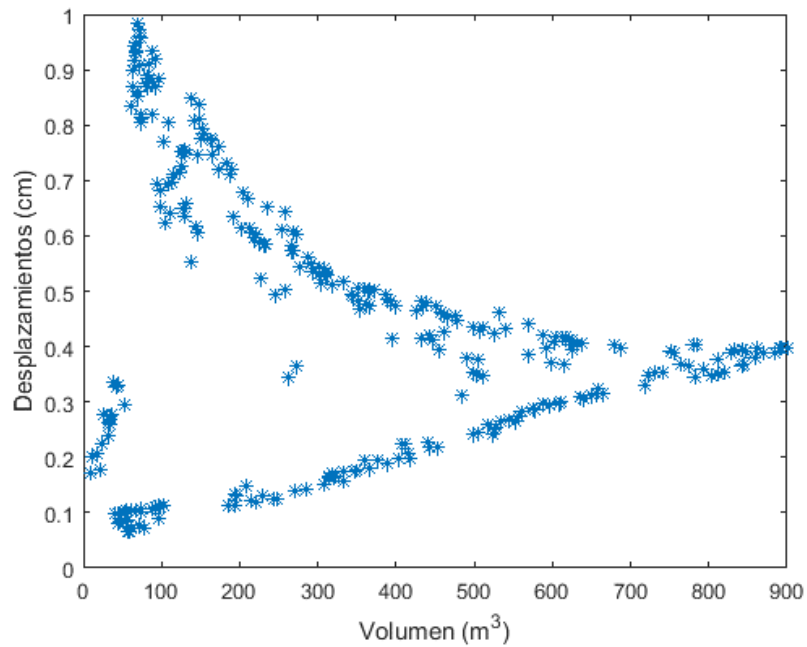


Figura 21: Volumen vs Desplazamiento máximo.

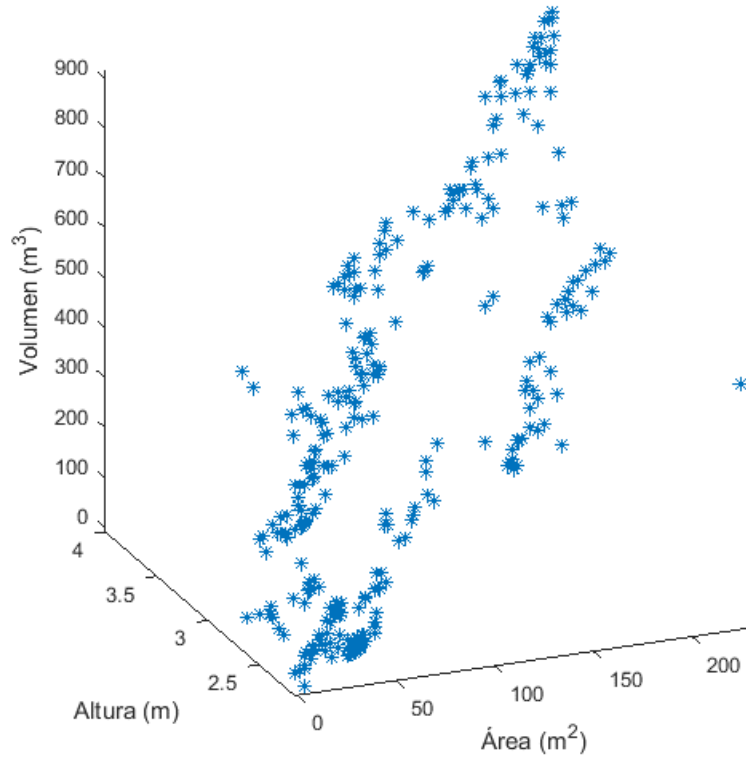


Figura 22: Área vs Altura vs Volumen.

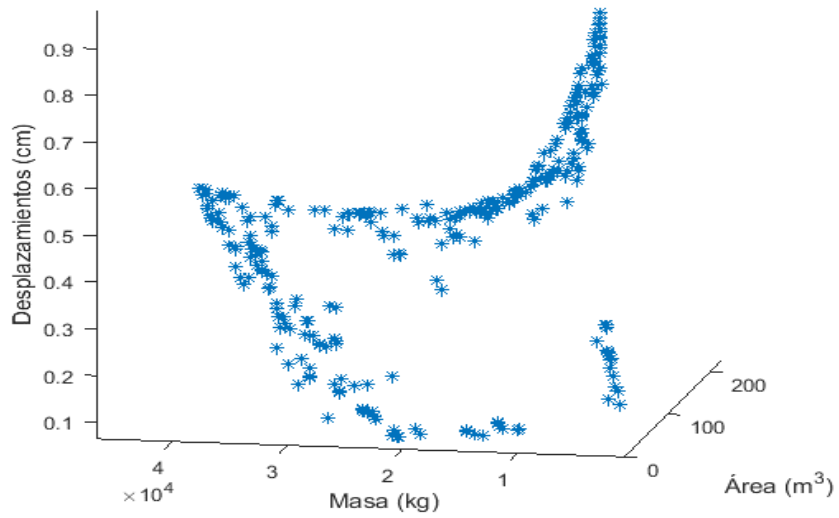


Figura 23: Área vs Altura vs Desplazamientos.

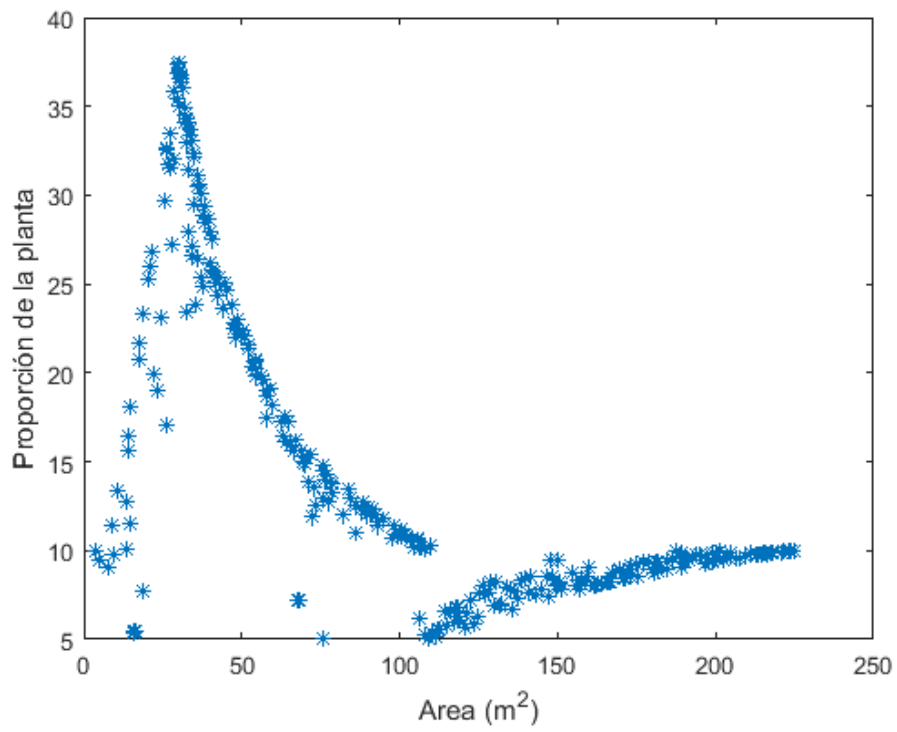


Figura 24: Área vs proporción de la planta.

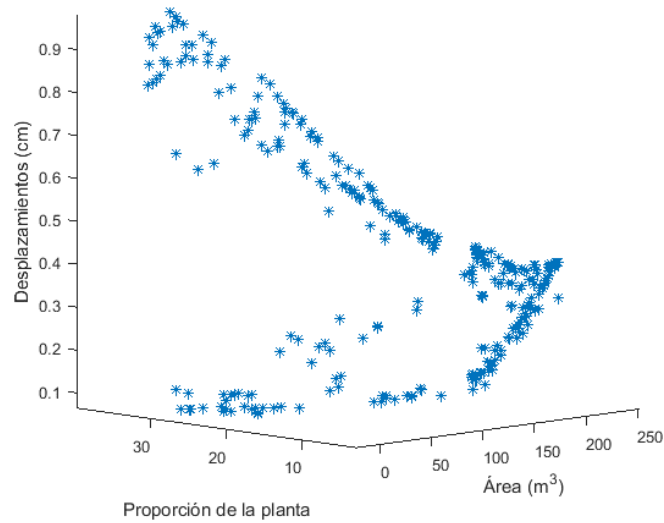


Figura 25: Área vs Proporción vs Desplazamientos.

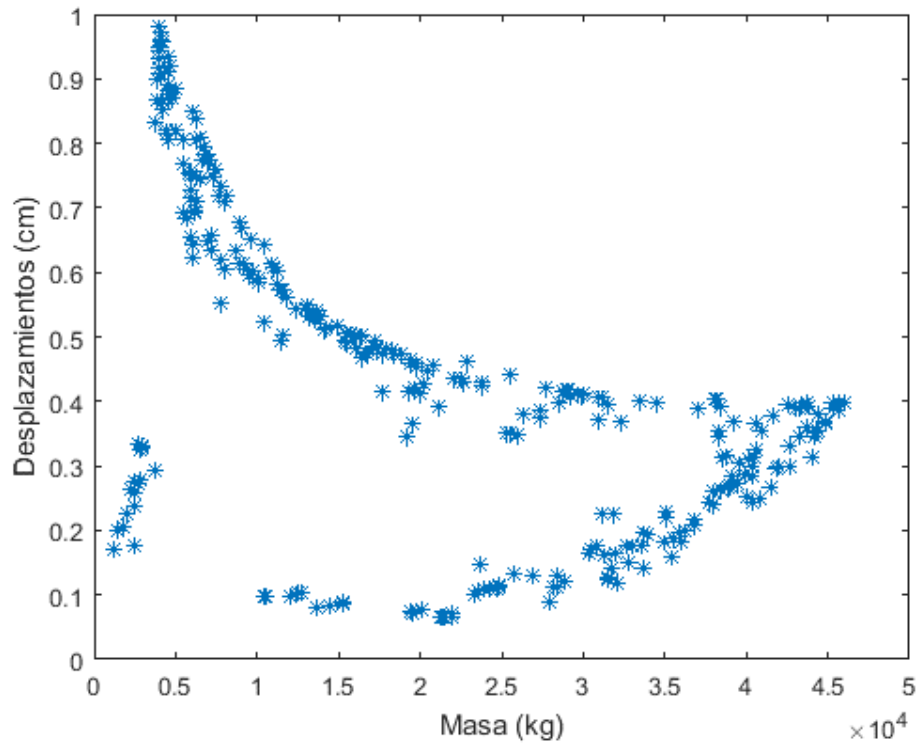


Figura 26: Masa vs Desplazamientos.

Como se comentó anteriormente, una cuestión importante es la visualización de la estructura generada, ya que el observar los índices de la matriz y la ubicación de los nodos no dice mucho sobre la estructura. En las siguientes imágenes se pueden observar las estructuras generadas por el algoritmo y algunas editadas, de tal manera que fuera más fácil su interpretación.

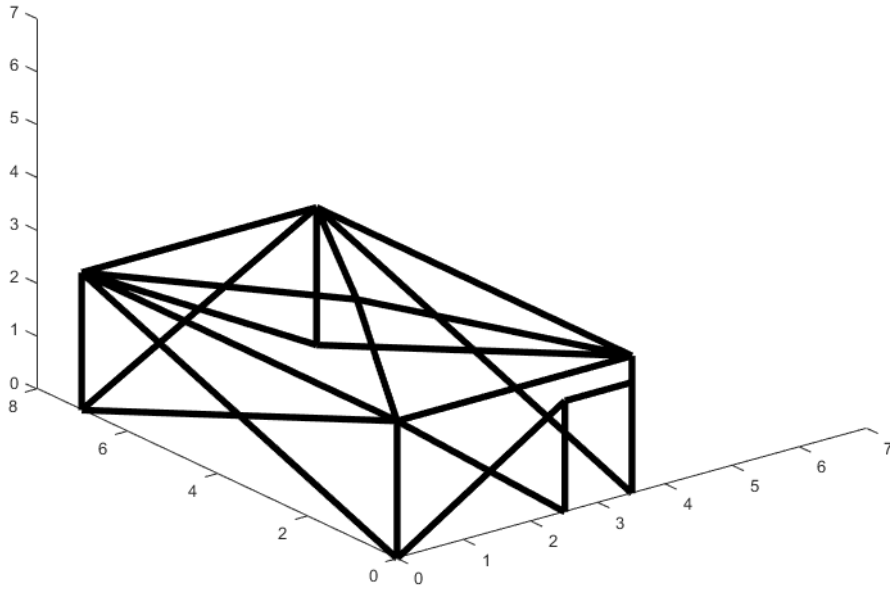


Figura 27: Vista del refugio generada por el algoritmo.

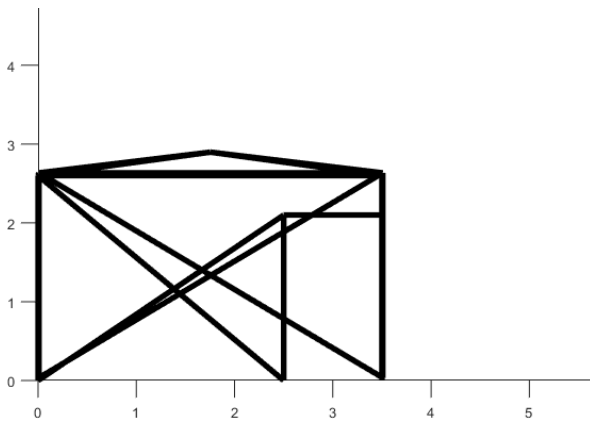


Figura 28: : Vista frontal generada por el algoritmo.

Las figuras que se muestran a continuación, fueron generadas con programas externos, con el fin de facilitar la comprensión de la estructura.

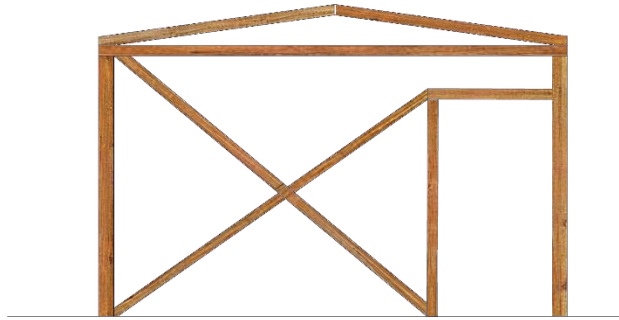


Figura 29: Vista frontal editada en Photoshop con texturas

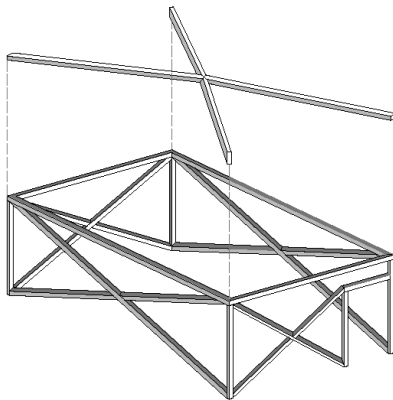


Figura 30: Vista en Isométrico explotado trazada en Autocad a partir de la figura obtenida por el programa (Fig 27)

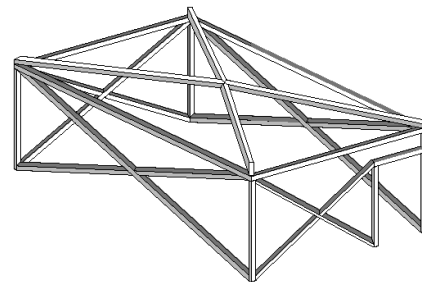


Figura 31: Vista en Isométrico trazada en Autocad a partir de la figura obtenida por el programa (Fig 27)

Como se puede observar en las imágenes anteriores, los diagramas proporcionados por el algoritmo son relativamente simples, pero ayudan a visualizar los conceptos de solución que propone. Con estos, es relativamente fácil desarrollar una estructura funcional con las medidas que entregue.

6.2 Aplicaciones del algoritmo.

Dado que la idea del desarrollo de esta herramienta es la utilización del mismo para otros usuarios, a continuación, se explicará la forma en la que se podrían introducir nuevas topologías para revisarlas y considerarlas en el mismo.

El algoritmo genera la matriz de rigidez de la estructura por medio de una matriz que contiene las coordenadas de los nodos y una matriz indexadora que almacena los índices inicial y final de cada una de las barras. La matriz que contiene las coordenadas de los nodos será de $nx3$, donde n es la cantidad de barras. Las dimensiones de la matriz indexadora serán $Nx2$, donde N es el número de barras. Estos elementos deben ensamblarse de manera que la geometría del refugio quede como una variable que se pueda modificar en la matriz de coordenadas. Como ejemplo, se muestra la forma en la que se ensambló la matriz de coordenadas en función del largo, ancho y alto para en refugio propuesto.

```
nodeCoordinates=zeros(12,3);
nodeCoordinates(2,:)= [A,0,0];
nodeCoordinates(3,:)= [0,L,0];
nodeCoordinates(4,:)= [A,L,0];
nodeCoordinates(5,:)= [0,0,h];
nodeCoordinates(6,:)= [A,0,h];
nodeCoordinates(7,:)= [0,L,h];
nodeCoordinates(8,:)= [A,L,h];
nodeCoordinates(9,:)= [A/2,L/2,h+(0.08*L/2)];
nodeCoordinates(10,:)= [A-1,0,0];
nodeCoordinates(11,:)= [A-1,0,2.1];
nodeCoordinates(12,:)= [A,0,2.1];

elementNodes=[1,5;2,12;3,7;4,8;5,6;6,8;5,7;7,8;5,9;6,9;7,9;8,9;...
2,8;4,6;1,7;3,5;3,8;4,7;12,6;10,11;11,12;1,11;10,5];
```

Como se puede observar en los arreglos anteriores, *nodeCoordinates* contiene las coordenadas de los nodos y estos están en función de la altura (h), la longitud (L) y el ancho (A). El arreglo *elementNodes* contiene los índices requeridos para el ensamble de la topología del refugio.

Además del ensamble de estas matrices, es necesario insertar los valores (o metodología de análisis) para las cargas por viento. Por el momento, el vector de cargas se genera utilizando las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal. Esto se hace utilizando los coeficientes expuestos anteriormente para generar un vector de la siguiente manera:

```
vector_cargas=zeros(GDoF-4*6,1);
Cp=0.8;
Pz=0.47*Cp*(Vd^2);
vector_cargas(1)=-areas(2)*Pz; %x
vector_cargas(2)=areas(3)*Pz; %y
vector_cargas(3)=areas(1)*Pz; %z
vector_cargas(7)=areas(2)*Pz;
vector_cargas(8)=areas(3)*Pz;
vector_cargas(9)=areas(1)*Pz;
vector_cargas(13)=-areas(1)*Pz;
vector_cargas(14)=areas(2)*Pz;
vector_cargas(19)=areas(1)*Pz;
vector_cargas(20)=areas(2)*Pz;
vector_cargas(27)=areas(3)*Pz/5;
Cp=0.4;
Pz=0.47*Cp*(Vd^2);
vector_cargas(15)=areas(1)*Pz;
vector_cargas(21)=areas(1)*Pz;
```

En este caso, el arreglo áreas es calculado únicamente para la topología propuesta. En este aspecto, sería necesario ingresar los valores de las cargas en los nodos según la geometría del refugio para que el algoritmo evalúe las mismas.

Teniendo estos dos puntos ingresados al programa, la evaluación se realiza de manera automática y se podrá revisar cualquier elemento que cumpla con las restricciones anteriores. Con esto, es posible ingresar diferentes topologías al algoritmo, de manera que se puedan valorar refugios con diferentes características según se desee.

6.3 Impacto generado.

El primer impacto es la interdisciplinariedad, esto quiere decir que varias disciplinas, en este caso ingeniería civil y arquitectura trabajen más allá de trabajar juntas logren un intercambio y una fusión. El algoritmo permite esta fusión gracias a que evalúa todos los

parámetros a la par, el diseño no sigue la función ni viceversa, sino que funcionan como un todo. Otro impacto es que la calidad espacial y el confort de los refugios puede mejorar la calidad de vida de los damnificados.

La universalidad es otro, el que el proyecto pueda ser útil y que pueda llegar al mayor número de manos posible. La elección de utilizar un programa como MATLAB que puede descargarse de internet y utilizar lenguaje de programación JAVA y Matlab, que se utiliza globalmente, es que cualquier persona lo utilizar sin importar en qué lugar se encuentre. De la misma manera el programa puede proponer soluciones para cualquier sitio del mundo en el que se desee trabajar simplemente cambiando algunos números y expresiones.

El impacto más significativo es la reducción de tiempo. El programa es más rápido que una persona, es más eficiente porque llega a resultados más óptimos y puede dar muchas soluciones en muy poco tiempo.

El segundo aspecto donde se ganaría tiempo es el que se pueda realizar de manera no presencial. Idealmente lo puede realizar una persona que se encuentra lejos del sitio afectado y simplemente mandar resultados y recibir retroalimentación de quien está en la zona de desastre. Finalmente, el que pueda actualizarse fácilmente, lo que agilizaría enormemente la parte del diseño.

7. Aprendizajes individuales y grupales.

Ximena Aranguren González Luna.

Profesionalmente adquiriré conocimientos sobre programación que puedo aplicar para la creación de mis proyectos. De mi disciplina practiqué conceptos de confort y medidas óptimas que no había consultado desde los primeros semestres

Me ayudó a trabajar mi creatividad en otras disciplinas.

Me parece que es una propuesta que a futuro puede tener un gran impacto social.

Javier Petersen Fuentes.

Al haber realizado este proyecto pude obtener conocimientos y aprendizajes en varios aspectos. En particular hubo tres cuestiones que pude observar. La primera fue la observación de las ventajas que puede presentar el desarrollo de un algoritmo de esta índole. Estos pueden servir para buscar soluciones en aspectos que pueden no ser tan evidentes en la programación. Dado que no es común el uso de este tipo de herramientas para la optimización de geometrías de viviendas, fue útil el poder observar que si se pueden implementar algoritmos para la optimización de las mismas.

A pesar de que en este caso se utilizó una topología bastante simple para las pruebas, se pudo observar que este tipo de herramientas se podrían implementar para la búsqueda de soluciones en problemas más complejos. En el estado en el cual se encuentra el algoritmo, es posible simplemente ir introduciendo diferentes topologías para la búsqueda de refugios con diferentes características, además de que también es posible cambiar el material de manera simple, por lo que será fácil ir modificando esta herramienta para otros casos.

Otra cuestión importante que se pudo notar fue la delimitación del problema. Esto suele ser importante dado que acota la solución que se busca. Dado que inicialmente se buscó que el algoritmo se pudiera implementar en diferentes situaciones, los primeros acercamientos a la solución no eran realmente viables (al menos para el tiempo determinado para este proyecto). Una vez definida la zona en la que se probaría (las características de los materiales, tipo de desastres que suelen atacarla, condiciones climatológicas, etc.) se pudo proponer una solución que se pudo realizar en el tiempo determinado para este proyecto.

Por último, la fundamentación técnica y el cronograma de actividades fueron dos aspectos importantes que se dejaron de lado inicialmente, pero fue necesario retomarlos debido a que son dos puntos que determinan los pasos a seguir durante el desarrollo del proyecto. El tener un fundamento previo ayuda a determinar las posibles soluciones; en este caso, un

ejemplo fue el de la determinación del tipo de algoritmo a implementar y la forma, lo cual no se decidió hasta realizar pruebas con algunas funciones y diferentes algoritmos.

8. Conclusiones y recomendaciones.

8.1 Conclusiones.

Al haber realizado este proyecto se pudo notar que la implementación de algoritmos evolutivos para la optimización de geometrías para la estructura de viviendas temporales puede ser de gran utilidad para las personas que desarrollan refugios. Esto se debe a la posibilidad de búsqueda de soluciones en espacios más grandes y sin tener cierta preferencia por ciertas soluciones. Además, se pueden observar las interacciones entre las funciones que se desean optimizar.

El hecho de poder observar la interacción entre variables puede ayudar a seleccionar mejores elementos, ya que se puede conocer el sacrificio que se hace en una al mejorar otra. Esto puede ser de gran utilidad al tener objetivos que no se pueden optimizar de manera simultánea. De esta manera se conoce y observa qué se está sacrificando en cada decisión y se puede tomar un elemento que cumpla mejor con las condiciones requeridas.

Un ejemplo sería la selección de un refugio en función de sus dimensiones contra la masa, que, al incrementar las dimensiones, la cantidad requerida de material sería mayor. En algunos casos, si se tiene el material disponible, podría ser una mejor decisión construir una vivienda más cómoda, pero si no es posible, sería mejor hacerla más pequeña. Esta decisión se podría evaluar con uno de los frentes de Pareto generados con este algoritmo (para el caso desarrollado).

A pesar de que este tipo de algoritmos no proponen una solución completa (sería posible desarrollarlo, pero el tiempo sería muy grande) funcionan muy bien para poder generar conceptos como el que se generó en este caso. Estos conceptos se pueden observar, seleccionar y modificar para cumplir con el resto de las cuestiones que no considere el algoritmo, como diseño de conexiones.

El Proyecto resultó ser un ejercicio interdisciplinario de ingeniería industrial y arquitectura que tienden a ser prácticas aisladas,

El programa también es un ejemplo de que un valor agregado al usuario de confort

8.2 Recomendaciones.

El algoritmo puede ser utilizado como. Se recomienda que se agreguen más líneas y funciones si se va a aplicar a un o sitio cliente específico con requerimientos distintos.

La utilización del programa y el algoritmo sí requiere un conocimiento de programación por lo que se recomienda desarrollar un tutorial para el manejo del programa, así como un manual de utilización y funcionamiento del algoritmo.

8.3 Retroalimentación por parte de la organización.

La herramienta que se desarrolló en este semestre estaba pensada para que alguna persona que requiriera de la revisión de refugios por viento pudiera utilizarse. Para esto, se envió este reporte, junto con el código de MatLab a Santiago Luengo, para tener una referencia de una persona que se encuentra en el medio y para conocer la viabilidad o veracidad de lo expuesto aquí. Dado que se envió con el tiempo un poco justo, no se tuvo respuesta del mismo.

A pesar de que no se obtuvo una retroalimentación por parte de la organización para la que se pensó el refugio, se realizó un artículo que se envió para un concurso en el IASS. Esto se realizó, en parte, con el fin de validar la metodología propuesta para la evaluación de refugios ante una institución que pudiera ayudar a verificar la veracidad de los datos encontrados y la calidad de la solución. En el anexo 10.2 se muestra el resto de la información respecto a este artículo.

9. Referencias bibliográficas.

1. AMY FREARSON (2015, July 11). Shelter for earthquake victims could be built in three days. Retrieved February 22, 2017, from https://www.dezeen.com/2015/07/11/prototype-bamboo-shelter-nepal-earthquake-victims-built-by-unskilled-workers-three-days/?li_source=LI&li_medium=bottom_block_1
2. BEGOÑA. URIBE (2015, July 21). Refugio Temporal en Nepal / Charles Lai Takehiko Suzuki. Retrieved February 22, 2017, from <http://www.archdaily.mx/mx/770344/refugio-temporal-en-nepal-charles-lai-plus-takehiko-suzuki/>
3. CENAERO (Sin fecha). *Pareto Front*. Obtenido de: <http://www.cenaero.be/Page.asp?docid=27103&>.
4. CHEN, CHIOU (2013). *Structural topology optimization using genetic algorithms*. Obtenido de: http://www.iaeng.org/publication/WCE2013/WCE2013_pp1933-1937.pdf.
5. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, CONAGUA (2012). *Análisis de las temporadas de huracanes de los años 2009, 2010 y 2011 en México* [PDF]. Retrieved: April 29, 2017 from: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/CGSMN-2-12.pdf>
6. CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN CONAPO (n.d.). *Categoría Migratoria de los Municipios*. Retrieved April 28, 2017, from: http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Categoria_migratoria_de_los_municipios_1995-2000_JL
7. CROCE, ET. AL (sin fecha). *A genetic algorithm for structural optimization of steel truss roofs*. Obtenido de: [http://www.lncc.br/~hcbm/artigo\(567\).pdf](http://www.lncc.br/~hcbm/artigo(567).pdf).
8. DEBARATI G. S., LEANING J (2013). *Natural Disasters, Armed Conflict, and Public Health - NEJM*. (2013, November 7). Retrieved April 29, 2017, from

- http://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMra1109877?query=featured_home&
9. EL DEBATE (octubre, 2015) Chamela: el pueblo más afectado por el huracán Patricia, El Debate Consultado el 6 de Mayo 2017 del sitio: <https://www.debate.com.mx/mexico/Chamela-el-pueblo-mas-afectado-por-el-Huracan-Patricia-20151024-0150.html>
 10. GADGETMANIA. *Prototipo de refugio de emergencia ensambla como un armario de Ikea.* (n.d.). Retrieved February 22, 2017, from <http://gadgetdemagia.ru/arquitectura/1312-prototipo-de-refugio-de-emergencia-ensambla-como.html>
 11. GARZÓN, BEATRIZ. *Arquitectura bioclimática.* (2009). Buenos Aires, AR: Editorial Nobuko. Retrieved from <http://site.ebrary.com.ezproxy.iteso.mx/lib/biblioitesosp/reader.action?docID=10504985>
 12. HORNBY, GLOBUS (Sin fecha). *Automated antenna design with evolutionary algorithms.* Obtenido de: [https://ti.arc.nasa.gov/m/pub-archive/1244h/1244%20\(Hornby\).pdf](https://ti.arc.nasa.gov/m/pub-archive/1244h/1244%20(Hornby).pdf).
 13. HULTMAN, M. (2010). *Weight Optimization of Steel trusses by a genetic algorithm.* Obtenido de: http://www.kstr.lth.se/fileadmin/kstr/pdf_files/Exjobb/TVBK-5000_pdf/TVBK-5176MH.pdf.
 14. INTERNATIONAL FEDERATION OF RED CROSS AND RED CRESCENT SOCIETIES IFRC (2013). *Post-disaster shelter: Ten Designs.* Retrieved: April 30, 2017 from: https://iteso01-my.sharepoint.com/personal/nayar_iteso_mx/Documents/Forms/All.aspx?FolderCTID=0x012000AF5630A8DB780A4C9C4FFA3C005BD4F2&id=%2Fpersonal%2Fnayar_iteso_mx%2FDocuments%2FITESO%2FT-Shelter%2F2013-10-28-Post-disaster-shelter-ten-designs-IFRC-iores%2Epdf&parent=%2Fpersonal%2Fnayar_iteso_mx%2FDocuments%2FITESO%2FT-Shelter

15. IFRC, sin fecha, *Shelters and Human Settlements*, International Red Cross and Red Crescent Societies, Consultado el 9 de mayo del 2017 del sitio: <http://www.ifrc.org/es/introduccion/disaster-management/-respondiendo-a-desastres-/services-for-the-disaster-affected/shelter-and-settlement/>
16. MILENIO (sin Fecha). *Familias quedan sin hogar en Chamela tras el huracán "Patricia"*. Consultado: 16 de abril de 2017. Obtenido de: http://www.milenio.com/region/Familias-quedan-Chamela-La_Huerta-Afectaciones-Danos-Huracan-Patricia_5_615588439.html
17. NEUFERT, E. (2014). *Arte de proyectar en arquitectura*. Barcelona: Gustavo Gili.
18. NOTIMEX (20 octubre 2015) Huracán "Patricia" registra récords de vientos. El Universal. Consultado el 5 de Mayo 2017 del sitio: <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/estados/2015/10/23/huracan-patricia-registra-record-de-vientos>
19. REDDY, M. (2015). *Elitist-mutated Multi-Objective Particle Swarm Optimization for Engineering Design*. Retrieved: April 30, 2017 from: <http://www.igi-global.com/dictionary/pareto-front/21878>
20. REFORMA (octubre 2015) *Daña 'Patricia' a 41 municipios*, El Norte, Consultado el 5 de Mayo 2017 del sitio: <http://www.elnorte.com/aplicacioneslibre/articulo/default.aspx?id=677023&md5=1ac498715ef0500d93d4d9a5c5f604f4&ta=0dfdbac11765226904c16cb9ad1b2efe>
21. SIEPMAN, DANIEL (2017). *Reciprocal roof: Simple calculations on a reciprocal roof*. Consultado: 16 de abril de 2017. Obtenido de: https://www.goodnewsfirst.org/?page_id=884&lang=en
22. SISTEMA DE APOYO PARA LA PLANEACIÓN DEL PDZP (2013). *Catálogo de Localidades*. Obtenido: April 28, 2017, de: <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=140430259>
23. SPDNOTICIAS.COM (octubre 2015) *Es 'Patricia' el huracán más peligroso para Jalisco en los últimos 50 años*. SPDNoticias Consultado el 5 de Mayo 2017 del sitio:

<http://www.sdponoticias.com/local/jalisco/2015/10/22/es-patricia-el-huracan-mas-peligroso-para-jalisco-en-los-ultimos-50-anos>

24. STACEY, A. (2011). *Pareto Front*. Obtenido de:
<http://www.azimuthproject.org/azimuth/show/Pareto+front>.
25. TABARES, AMÉRICO (2011). *Volume of a pyramid using an integral*. Fecha de consulta: 24 de abril de 2016. Consultado de:
<https://math.stackexchange.com/questions/59284/volume-of-a-pyramid-using-an-integral>.
26. UNHABITAT, IFRC, UNHCR, ShelterCaseStudies.org
Shelter Projects 2011-2012, Shelter Projects 2010, Shelter Projects 2009, Shelter Projects 2008
Over 100 case studies of shelter projects in humanitarian responses. Includes many different approaches to shelter provision.
<http://www.ShelterCaseStudies.org>
27. UNOCHA / IFRC / CARE International, Timber
Timber as a Construction Material in Humanitarian Operations, 2009,
An illustrated booklet on how to source and use timber for the construction of basic structures.
www.humanitarian timber.org
28. ZHAO, et.al (2015). *Scenario-Based Multi-Objective Optimum Allocation for Earthquake Emergency Shelters Using a Modified Particle Swarm Optimization Algorithm*. Consultado: 3 de mayo de 2017. Obtenido de:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4671626/>.

Referencias Imágenes

1. CARLOS ÁNGEL ARRIETA (2015, Octubre 26) *Mujer en casa destruída*. Descargada el 3-05-17, del sitio:

- <https://esus-latam-news-yahoopartner.tumblr.com/post/131958881785/los-efectos-de-patricia> Originalmente fotografiada en Octubre del 2015) Fuente: RCC
2. GOOGLE EARTH, (2016-2017) Chamela, Jalisco, México 19°31'36.35"N 105°04'14.85"O alt. ojo, INEGI 2016, Google 2016, Google 2017, Descargada el 2-05-17 del sitio:
<https://www.google.com/earth/>
 3. HECTOR GUERRERO BASURTO (2015, Octubre 26) Casa destruida en Chamela Descargada el 3-05-17, del sitio:
<https://esus-latam-news-yahoopartner.tumblr.com/post/131958881785/los-efectos-de-patricia> (Originalmente fotografiada en Octubre del 2015) Fuente: AFP
 4. INVENTARIO NACIONAL DE VIVIENDAS 2016, (2016) INEGI, Imágenes deTerra Metricss 2017, Chamela, Jalisco, México 19°31'36.35"N 105°04'14.85"O, Retrieved: April 30, 2017 from:
<http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/inv/default.aspx>
 5. JORGE NÚÑEZ (2015, Octubre 26) *Familia de comunidad De Emiliano Zapata limpia de escombros su casa* Descargada el 3-05-17, del sitio:
<https://esus-latam-news-yahoopartner.tumblr.com/post/131958881785/los-efectos-de-patricia> Originalmente fotografiada en Octubre del 2015) Fuente: EFE
 6. MARIO VAZQUEZ (2015, Octubre 26) *Vista Aérea de Chamela tras el huracán Patricia*. Descargada el 3-05-17, del sitio:
<https://esus-latam-news-yahoopartner.tumblr.com/post/131958881785/los-efectos-de-patricia> Originalmente fotografiada en Octubre del 2015) Fuente: AFP
 7. REBECCA BLACKWELL (2015, Octubre 26) *Varias personas caminando en escombros en Chamela*. Descargada el 3-05-17, del sitio:

<https://es-us-latam-news-yahoopartner.tumblr.com/post/131958881785/los-efectos-de-patricia> (Originalmente fotografiada en Octubre del 2015) Fuente: Associated Press

8. ULISES RUIZ BASURTO (2015, Octubre 26) *Casa destruida en Melaque, Jalisco* Descargada el 3-05-17, del sitio:

<https://es-us-latam-news-yahoopartner.tumblr.com/post/131958881785/los-efectos-de-patricia> (Originalmente fotografiada en Octubre del 2015) Fuente: EFE

9. ULISES RUIZ BASURTO (2015, Octubre 26) *Casas dañadas, árboles y postes caídos en Emiliano Zapata* Descargada el 3-05-17, del sitio:

<https://es-us-latam-news-yahoopartner.tumblr.com/post/131958881785/los-efectos-de-patricia> (Originalmente fotografiada en Octubre del 2015) Fuente: EFE

10. ULISES RUIZ BASURTO (2015, Octubre 26) *Dos hombres observan el estado en que se encuentran unas casas en Melaque, Jalisco* Descargada el 3-05-17, del sitio:

<https://es-us-latam-news-yahoopartner.tumblr.com/post/131958881785/los-efectos-de-patricia> (Originalmente fotografiada en Octubre del 2015) Fuente: EFE

11. VLADIMIR CASTRO RODAS, (2015, Octubre 26) *Training of Ecuadorian Red Cross volunteers on the construction of temporary shelters*, Descargada el 3-05-17, del sitio:

<http://www.ifrc.org/en/news-and-media/news-stories/americas/ecuador/in-pictures-ecuadorian-red-cross-support-after-the-earthquake/>

12. VLADIMIR CASTRO RODAS, (2015, Octubre 26) *Food kit distribution to earthquake affected families in Jama and Perdernalles communities*, Descargada el 3-05-17, del sitio:

<http://www.ifrc.org/en/news-and-media/news-stories/americas/ecuador/in-pictures-ecuadorian-red-cross-support-after-the-earthquake/>

10. Anexos

Además del desarrollo del algoritmo para optimización del refugio se realizaron otros proyectos para complementar la solución del problema y la validación de los resultados generados en el proyecto. Para la evaluación de los resultados por una institución externa, se elaboró un artículo con la información y resultados del proyecto para ingresarlo al concurso del IASS (International Association for Shell and Spatial Structures).

El IASS realiza un concurso anual para la selección de artículos para elegir ponentes para el simposio. Para esto, es necesario enviar un resumen del artículo para la aprobación. Una vez aprobado, se envía el artículo final que se desea exponer y se seleccionan los ponentes para el simposio. Para este concurso se seleccionaron dos artículos del proyecto PAP:

- Transferring reciprocal frame shelter building technology in emergency situations.
- Evolutionary algorithm for timber shelter optimization.

El primer artículo fue desarrollado por el profesor y el segundo fue desarrollado entre algunos estudiantes y el profesor de la materia. Uno de los problemas que se intentaron resolver en el primer artículo fue el del volumen generado por un marco recíproco en función de las características de los elementos que lo componen. A continuación, se muestran los pasos que se encontraron para la estimación del volumen de un marco y el artículo enviado al IASS.

Además, se desarrolló una estructura entre todo el grupo del Proyecto de Aplicación Profesional. La estructura debía cumplir con cierta geometría y cargas mínimas. Esta actividad consistió en diseñar, entre todo el grupo, una estructura con las características propuestas y cuatro materiales diferentes. Cada equipo diseñó su parte con el material correspondiente y le transfirió el diseño a otro equipo, de tal forma que todos diseñaron una parte de la estructura y construyeron otra con un material diferente.

10.1 Volumen generado por un marco recíproco.

La estimación del volumen que genera un marco recíproco depende de varios factores como la geometría de las barras que la componen, el área y la forma de la zona donde se apoya, la cantidad de barras que convergen a un núcleo, etc. Por estos motivos es complicado calcular el volumen que generaría una configuración arbitraria. A continuación, se describe una metodología que se puede utilizar para aproximar el volumen de un marco recíproco.

Primero es necesario calcular el volumen que se genera en cada uno de los núcleos del marco, es decir, el volumen generado por las barras que conforman un núcleo.

Datos del marco (para un núcleo):

- Longitud de la barra (L).
- Longitud de anclaje (λ).
- Número de barras en el núcleo (n).
- Excentricidad (e).

La inclinación de las barras depende del ángulo que se forma entre los dos puntos de apoyo entre dos barras (Siepman, 2017), como se puede observar en la siguiente imagen.

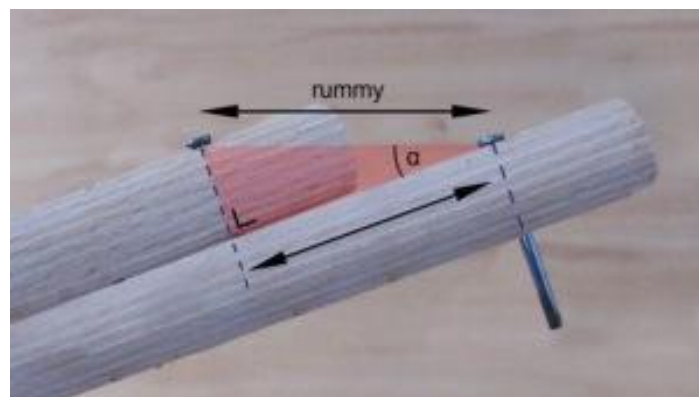


Imagen 1: ángulo entre puntos de apoyo.

El ángulo α depende de la sección transversal del elemento y de la longitud de anclaje entre las barras. Este se puede obtener con:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{e}{\lambda L}\right)$$

Las dimensiones del núcleo central dependerán del número de barras que convergen a ese punto. A mayor número de barras, el núcleo se aproximará a un círculo, cuyo diámetro se puede obtener con la siguiente relación:

$$d = \frac{n\lambda L}{\pi}$$

La altura que tendrá el núcleo hasta el punto donde se apoyan las barras dependerá de la longitud de los elementos y el ángulo de los mismos, la cual será:

$$h = L(1 - \lambda) \sin(\alpha)$$

El volumen del elemento se generará con diferentes figuras. En el centro se tendrá un círculo y en las partes externas se tendrán secciones rectangulares cuyo volumen dependerá de la forma de la base (de la cantidad de barras). En las partes externas de la figura se generan planos triangulares inclinados. El volumen total del elemento será:

$$V_t = V_c + nV_t$$

Donde:

$$V_c = h \frac{\pi}{4} \left(\frac{n\lambda L}{\pi}\right)^2$$

El volumen generado por las barras en la parte exterior será el de secciones de pirámides. Para valores de n pequeños ($n < 5$) el volumen de cada elemento se puede estimar con:

$$V_t = \frac{abc}{6} \quad ; \quad (\text{Tabares, 2011}):$$

Con los valores de las propiedades del marco:

$$V_t = h (L(1 - \lambda))^2$$

Para valores mayores de n la aproximación anterior no es muy cercana, por lo que se recomienda calcular el volumen generado por la pirámide con la figura regular de n lados; es decir, para un valor de n = 6, se debe calcular el volumen de una pirámide hexagonal; para n = 8 con una pirámide octagonal, y así sucesivamente. Por lo tanto, el volumen total generado por un solo núcleo será:

$$V_t = h \frac{\pi}{4} \left(\frac{n\lambda L}{\pi} \right)^2 + nh (L(1 - \lambda))^2$$

$$V_t = L(1 - \lambda) \sin \left(\tan^{-1} \left(\frac{e}{\lambda L} \right) \right) \frac{\pi}{4} \left(\frac{n\lambda L}{\pi} \right)^2 + n \tan^{-1} \left(\frac{e}{\lambda L} \right) (L(1 - \lambda))^2$$

Cálculo del volumen total.

Para estimar el volumen total es necesario calcular la cantidad de núcleos que se pueden generar en un área determinada y encontrar la altura a la que incrementan los puntos donde se apoya cada nodo.

El incremento en la altura depende de diversos factores como:

- Cantidad de barras en el núcleo.
- Dimensiones de los perfiles.
- Forma en la que se conectan (la barra generará otro núcleo donde se junte con otra barra y esta puede generar diferentes geometrías.
- Longitud de anclaje en la conexión.

Para evitar confusiones en esta sección, n se tomó como la cantidad de elementos por nodo y N como la cantidad de elementos en todo el marco.

Debido a que estos factores complican la obtención de una solución analítica para el incremento de altura, se realizaron algunos marcos y en función de los valores medidos se estimó el valor del incremento, que se aproxima a h (la altura del nodo adyacente).

Para una configuración circular (en la base), se pueden estimar el número de elementos que se pueden colocar en función de las dimensiones de los mismos. La distancia máxima entre los extremos de las barras de un elemento está dada por:

$$l = 2L(1 - \lambda) \sin\left(\frac{180^\circ}{n}\right)$$

Para esta configuración, se estimó el volumen colocando círculos concéntricos en los cuales se pueden colocar los núcleos. El número de círculos en una base dada con radio R es:

$$n_c = \frac{R}{l} = \frac{R}{2L(1 - \lambda) \sin\left(\frac{180^\circ}{n}\right)}$$

Conociendo el número de círculos que se pueden colocar en la base y el número de nodos que se podrían generar con las barras que se tienen, se puede estimar el volumen total que generará el marco con:

$$V = nh \frac{\pi}{4} \left(\frac{n\lambda L}{\pi}\right)^2 + n^2 h (L(1 - \lambda))^2 + V_{gc}$$

Dónde V_{gc} es el volumen generado dentro de los círculos.

$$V_{gc} = \sum_{i=1}^{n_c} \pi A_i h_{i=} \pi \sum_{i=1}^{n_c} i \left(R - i2L(1 - \lambda) \sin\left(\frac{180^\circ}{n}\right) \right)^2 h$$

Con lo que se tiene:

$$V = h \frac{n\pi}{N4} \left(\frac{n\lambda L}{\pi} \right)^2 + h \frac{n^2}{N} (L(1 - \lambda))^2 + \pi \sum_{i=1}^{n_c} i \left(R - i2L(1 - \lambda) \sin\left(\frac{180^\circ}{n}\right) \right)^2 h$$

10.2 Artículo IASS.

Evolutionary algorithm for timber shelter optimization.

J. Petersen, X. Aranguren, N. Gutiérrez

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

The present paper describes an approach to wood as an alternative construction material and the formal search of typologies which combine a secure and efficient structure with an architectural based definition of dimensions and geometry. The outcome, given by a genetic algorithm is intended to be used as a concept to develop shelter solutions for the village of Xametla, located on the coast of the state of Jalisco, in Mexico.

Keywords: multi-objective optimization, security, shelter, timber construction, hurricane.

1. Introduction

Natural disasters are a growing threat and have increased significantly in the past few years. The New England Journal of Medicine published that natural disasters between 2000 to 2009 have increased three times when they compared between 1980 and 1989 and 80% of this growth is due to climate-related events (Debarati, 2013).

The state of Jalisco, where the village of Chamela is located, was ranked number 5 out of 32 states prone to cyclone hazards according the Mexican water committee (CONAGUA, 2012).

In addition, Chamela also presents a high marginalization and poverty index, ranked 6,619 in a national context, and increase in illiteracy (PDZP, 2013). This reality is reflected

in an increasing emigration indicator from “balanced” (lapsed from 1995-2000) to “elevated expulsion” (lapsed from 2000-2010) category.

This combination of both a tendency to natural disasters and extreme poverty levels, is the case of Chamela but also of many other coastal villages. Therefore, this paper can apply to contexts which are like the one we’re presenting and we aim for it to be useful in future hazards or disasters, mainly focusing in hurricane disaster zones.

A transitional shelter is a rapid, post disaster household that can be upgraded or re-used in more permanent structures (IFRC, 2011). One of the main problems in designing and building a transitional shelter is that, given the nature of a shelter, these are built without having architectural considerations. In some cases, transitional shelters are built to develop a rapid household but comfort is not considered.

In a hurricane post disaster zone, a few factors come into account when designing and building a shelter since heavy winds and rain are likely to happen.

Many of the structural considerations that should be considered to design a safe shelter can go against comfort for users. As an example, as the shelter surface (walls and roof) are increased, the stress in the structural elements of the shelter will increase, but will have a greater area. In these cases, like this one, it is useful to use evolutionary algorithms to search and explore different possibilities.

2. Pareto frontier

In multi-objective optimization, a Pareto frontier is a set of nondominated solutions, being chosen as optimal, if no objective can be improved without sacrificing at least one other objective (Reddy, 2015). The set of Pareto optimal solutions is very helpful in evaluating and visualizing the behavior of multi-objective optimization design variables since it can be possible to observe the tradeoff between multiple design variables into multiple objectives.

FO-DGA-CPAP-001

3. NSGA-II

A NSGA (Non-Sorting Genetic Algorithm) is a popular non-domination based genetic algorithm for multi objective optimization (Seshadri, n.d.).

For the optimization of this transitional shelter the algorithm developed by Aravind Seshadri was used as a base and modified to meet the requirements of this article.

A total of seven objective functions were considered to try to find an optimal solution for a timber shelter that would be built as a rigid frame using a fixed topology. The first block (5 functions) were architectural objectives. The last two were structural objectives.

Block 1: architectural functions contains these parameters:

1. Total area must be at least 18 m² and at least 3 meters long for the width to ensure it can be a useful area.
2. Length must keep a harmonic proportion to the width.
3. Height must be proportional to length and height as well as like most the town's houses.
4. Total area must be capable of a future subdivision into smaller or more private areas, such as a room.
5. The volume of interior space must be as big as possible.

Block 2: structural functions contains the following parameters:

1. Mass: the total mass of the structural elements.
2. Lateral displacement: The maximum lateral displacement of the nodes.

Both structural objective functions were developed using local parameters for timber properties and wind load estimations. The codes used were:

- Normas Técnicas Complementarias Para Diseño Por viento, for wind análisis.
- Evaluación del Comportamiento de Tres Maderas (Bustamante, n.d.).

Since a tradeoff is made when a design variable is changed, a series of plots were developed to observe the behavior of the objectives for different values of the design variables. The next figures show some of the tradeoffs between different elements of the population.

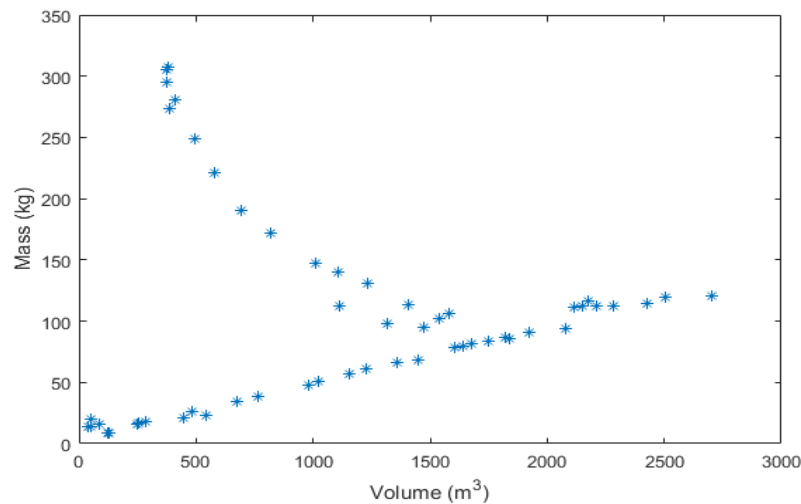


Figure 1: volume vs mass of the shelter.

The previous figure shows the tradeoff between volume and total mass of the structure. Increasing the volume increases the mass, but there are cases where the increase of the mass does not increase the volume. This is likely to be due the stress distribution in some of the geometries.

Another interesting interaction found between the objective functions was between volume, area and node displacement.

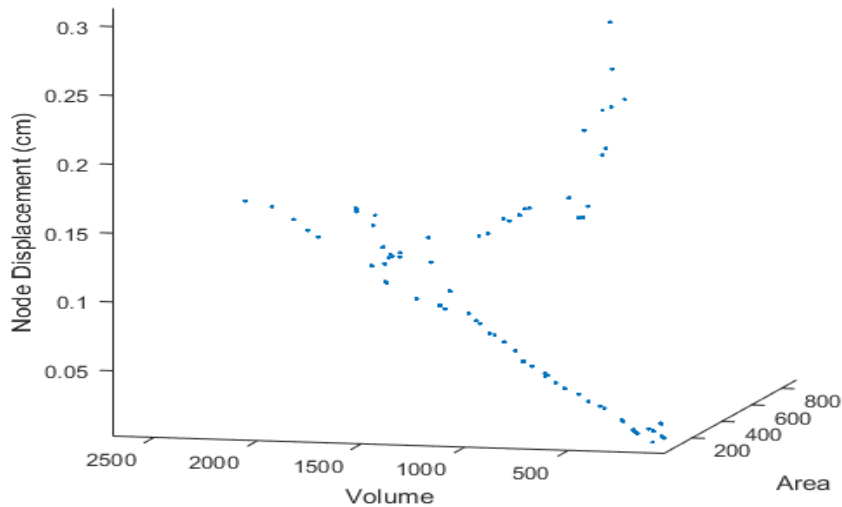


Figure 2: Volume vs Area vs Node displacement.

It can be noticed that the distribution is similar in figure 1 and figure 2. This might be because mass and node displacement are directly related because the load vector is the same for a given geometry,

4. Conclusions

The search for endowing comfort to shelters tends to come to a secondary part in a post-disaster context. The priority is commonly limited to the minimum budget, minimum of dimensions for a “dignified” home. Ideally the program will consider a more comfortable and pleasant geometry without necessarily involving a raise in cost and material. It defies the idea that architects and designers are luxury reserved for the upper class.

The sole exercise of combining architectural and structural values at the same level forcing neither one to overcome the other is an accomplishment by itself. It’s an exercise we rarely practice and in more practical terms is nearly impossible.

The idea of giving architectural features a numeric value and turning it to a function is also an interesting practice that tends to be complicated since a quantitative value must be assigned to a qualitative variable.

One important aspect that was noticed is that evolutionary algorithms can help in looking for different solutions. In this case, only one topology was used to search for different geometries to achieve the different goals, but it could be more useful to develop an algorithm that can evaluate also different topologies to have an even bigger search space.

10.3 Algoritmo para optimización de escalera.

Una de las pruebas que se realizaron para conocer los algoritmos evolutivos aplicados a diferentes temas para la construcción y arquitectura, fue el del desarrollo de un algoritmo que optimizara la geometría de una escalera. Esto se realizó con el fin de desarrollar un algoritmo menos complejo que el NSGA-II para la vivienda y, al mismo tiempo, realizar algunas pruebas con la escalarización de funciones multi-objetivo.

Para esto se utilizó como base el algoritmo desarrollado para este mismo PAP en “Otoño 2016” para la generación de marcos recíprocos. Fue necesario realizar varias modificaciones al mismo debido a que las características del problema fueron muy diferentes y el manejo de candidatos no se pudo realizar de la misma manera.

Los objetivos geométricos que se tuvieron para este problema fueron:

- Peralte de la escalera.
- Huella de los peldaños.
- Ancho de la escalera.

Las restricciones que se propusieron:

- Alto del entrepiso.
- Distancia máxima de la escalera (de manera horizontal).

Con las funciones anteriores se realizaron varias pruebas y se observó que el algoritmo generaba geometrías válidas, pero siempre llegaban al ancho máximo propuesto. Esto se debió a que no había una restricción que tuviera un objetivo que fuera en contra de la anchura de la escalera. Para corregir esto, se creó una estimación (relativamente simple) para la estimación de las cargas que tendría una escalera y se buscó una sección en concreto reforzado. La estimación del espesor requerido se inició con:

$$a_{s_c} = \frac{bd}{m} + \sqrt{\left(\frac{bd}{m}\right)^2 - \frac{2M_e \mu b}{\phi f_y m}} \quad \text{donde } a_{s_c} = 0.05bd$$

La restricción de as se dio con el fin de proponer un área de acero para poder estimar las dimensiones del peldaño, de otra manera no se podrían buscar sin tener un área de varillas. Se seleccionó en 0.05 para tener el área de acero balanceada de una sección rectangular. Con lo anterior se despejó el valor de d , que se obtuvo:

$$d = \sqrt{\frac{M_e \mu}{\phi f_y m b (1 - 0.005 m)}}$$

Con la ecuación anterior se calculó el valor del peralte de los peldaños para una carga aplicada al centro de 150kg. A continuación, se muestra la función objetivo para la optimización de la escalera.

```
function [ obj ] = objetivo_escalera( escalera )
%calcula la masa mínima ideal para hacer una escalera con una altura y
%distancia horizontal determinadas
global XMAX;
%obj=masa_ideal;
% volescalera=(escalera.n*escalera.peralte*escalera.anchura)+...
% (escalera.n*escalera.huella*escalera.anchura)*ESPESOR;
% obj=volescalera+escalera.peralte+escalera.anchura;

%Penalizaciones sobre el peralte
if (escalera.peralte>0.18 || escalera.peralte<0.15)
    fp=1000; %ajustar dependiendo del peso de obj.
else
    fp=escalera.peralte;
end
% Penalizaciones por ancho de la escalera (va de 0.8m a 1.1m)
if (escalera.anchura<0.8 || escalera.anchura>1.1)
    funcion_ancho=100;
else
    funcion_ancho=(10*1.1)/escalera.anchura;
end
% Penalización por exceder Xmax
if escalera.x>XMAX
    fxmax=1000;
else
    fxmax=escalera.x;
end
% Cálculo de la sección requerida en concreto
P=150; %por poner un valor de la carga, es poco probable que
%se llegue a 150kg aplicados al centro en un solo peldaño
Mmax=P*escalera.anchura/4;
FO-DGA-CPAP-001
```



```

m=14.7; %Asume un concreto de 250 kg/cm2
espesor=sqrt((Mmax*1.4)/(0.9*4200*escalera.huella*(1-0.005*m)));

volescalera=((escalera.n*escalera.peralte*escalera.anchura)+...
(escalera.n*escalera.huella*escalera.anchura))*espesor;
obj=(10*volescalera)+(100*fp)+(1.0*funcion_ancha)+(1.0*fxmax);
end

```

El desarrollo de estas evaluaciones para la optimización de una escalera fue de gran utilidad para el desarrollo del proyecto de la vivienda debido a que proporcionó información útil sobre la aplicación de escalarizaciones de funciones multi-objetivo. Con esto se pudo observar que estas son de gran utilidad si se requiere una solución relativamente simple pero no es necesario observar el frente de Pareto de los objetivos que se buscan. A pesar de que es posible observar el comportamiento del frente de Pareto, esto no es realmente viable ya que sería necesario hacer ponderaciones con algunos factores para variar el “peso” que tiene cada objetivo.

10.4 Evaluación de cargas para NSGA-II.

```
function [ masa,d_max ] = revision_estructura( L, A, h )
% Función objetivo para elementos estructurales.
% f6 es la masa total de la estructura
% f7 es el desplazamiento máximo en uno de los nodos en la
% parte superior de la estructura.

%Generar arreglo necesario para armar la matriz de rigidez
%Las áreas de los elementos se pueden iniciar en
%el valor medio de los perfiles.
%Calcular las cargas de viento para colocar cargas en los nodos
%Buscar perfiles necesarios para los esfuerzos por momento
%y carga axial
%Calcular masa total de los elementos estructurales.
nodeCoordinates=zeros(12,3);
nodeCoordinates(2,:)=[A,0,0];
nodeCoordinates(3,:)=[0,L,0];
nodeCoordinates(4,:)=[A,L,0];
nodeCoordinates(5,:)=[0,0,h];
nodeCoordinates(6,:)=[A,0,h];
nodeCoordinates(7,:)=[0,L,h];
nodeCoordinates(8,:)=[A,L,h];
nodeCoordinates(9,:)=[A/2,L/2,h+(0.08*L/2)];
nodeCoordinates(10,:)=[A-1,0,0];
nodeCoordinates(11,:)=[A-1,0,2.1];
nodeCoordinates(12,:)=[A,0,2.1];
elementNodes=[1,5;2,12;3,7;4,8;5,6;6,8;5,7;7,8;5,9;6,9;7,9;8,9;...
2,8;4,6;1,7;3,5;3,8;4,7;12,6;10,11;11,12;1,11;10,5];
numberElements=length(elementNodes);
GDof=6*length(nodeCoordinates);
%Cambiar a elemento de punto medio de base de datos.
E=14000*100;
A=0.1*100;
Iy=(sqrt(A)*(sqrt(A)^3))/12;
Iz=Iy;
G=E/12;
J=100;
[K,len] = formStiffness3Dframe(GDof,numberElements,...
elementNodes,nodeCoordinates,E,A,Iz,Iy,G,J);

%Eliminar apoyos de la matriz K (elementos del 1 al 4)
K(1:(4*6),:)=[];
K(:,1:(4*6))=[];

[V_fuerzas]=generar_cargas_viento(L,A,h,GDof);
```

```

desplazamientos=K\V_fuerzas;

P=K*desplazamientos;
P=P+V_fuerzas; %Vector de cargas final.
% Buscar momento y carga axial máxima en los elementos
M=[];
C=[];
for i=1:6:length(P)
    C(i)=P(i);
    C(i+1)=P(i+1);
    C(i+2)=P(i+2);
    M(i+3)=P(i+3);
    M(i+4)=P(i+4);
    M(i+5)=P(i+5);
end

% Estimación de la masa total de la estructura
% Por el momento asume un esfuerzo máximo de 13MPa
Asecc=max(C)/(100*13*10.51/0.5);
masa=len*Asecc*850;
%Es necesario recalcular los desplazamientos máximos con el
%area real de los elementos.
A=Asecc*100;
ly=(sqrt(A)*(sqrt(A)^3))/12;
lz=ly;
[K,~] = formStiffness3Dframe(GDof,numberElements,...
    elementNodes,nodeCoordinates,E,A,lz,ly,G,J);

%Eliminar apoyos de la matriz K (elementos del 1 al 4)
K(1:(4*6),:)=[];
K(:,1:(4*6))=[];

desplazamientos=K\V_fuerzas;
d_max=max(desplazamientos)*100;
end

function [ vector_cargas ] = generar_cargas_viento( L,A,h,GDoF )
%La función genera las cargas por viento utilizando el
%método estático de las NTCDF 2004, utilizando el método estático
%con los coeficientes de presión para estructuras cerradas de 3.4
% Revisión de cargas por viento.
Vr=30; % en km/h
Fr=1;
Ftr=0.98; % Para terreno R4 con T4 (NTCDF 2004)
Vd=Ftr*Fr*Vr;

areas=zeros(3);

```

FO-DGA-CPAP-001

```

areas(1)=(A/2)*(h/2)/4;
areas(2)=(L/2)*(h/2)/4;
areas(3)=(L/2)*(A/2)/4;
vector_cargas=zeros(GDoF-4*6,1);
% Calcular Pz para los muros con Cp=0.8 y Cp=-0.8
Cp=0.8;
Pz=0.47*Cp*(Vd^2);
% Cargas para el nodo 5
vector_cargas(1)=-areas(2)*Pz; %x
vector_cargas(2)=areas(3)*Pz; %y
vector_cargas(3)=areas(1)*Pz; %z

% Cargas para el nodo 6
vector_cargas(7)=areas(2)*Pz;
vector_cargas(8)=areas(3)*Pz;
vector_cargas(9)=areas(1)*Pz;

% Cargas para el nodo 7
vector_cargas(13)=-areas(1)*Pz;
vector_cargas(14)=areas(2)*Pz;
% vector_cargas(15)=areas(1)*Pz; Pared en sotavento, calcular Cp

% Cargas para el nodo 8
vector_cargas(19)=areas(1)*Pz;
vector_cargas(20)=areas(2)*Pz;
% vector_cargas(21)=areas(1)*Pz; Pared en sotavento, calcular Cp

% Cargas para el nodo 9
vector_cargas(27)=areas(3)*Pz/5;
%Para muros con Cp=0.4
Cp=0.4;
Pz=0.47*Cp*(Vd^2);
vector_cargas(15)=areas(1)*Pz;
vector_cargas(21)=areas(1)*Pz;
end

function [stiffness, length] = formStiffness3Dframe(GDof,numberElements,...
    elementNodes,nodeCoordinates,E,A,lz,ly,G,J)

length=0;
stiffness=zeros(GDof);
% computation of the system stiffness matrix
for e=1:numberElements
    % elementDof: element degrees of freedom (Dof)
    indice=elementNodes(e,:) ;
    elementDof=[6*indice(1)-5 6*indice(1)-4 6*indice(1)-3 ...
        6*indice(1)-2 6*indice(1)-1 6*indice(1)...

```

FO-DGA-CPAP-001

```

        6*indice(2)-5 6*indice(2)-4 6*indice(2)-3 ...
        6*indice(2)-2 6*indice(2)-1 6*indice(2) ] ;
x1=nodeCoordinates(indice(1),1);
y1=nodeCoordinates(indice(1),2);
z1=nodeCoordinates(indice(1),3);
x2=nodeCoordinates(indice(2),1);
y2=nodeCoordinates(indice(2),2);
z2=nodeCoordinates(indice(2),3);

```

```

L = sqrt((x2-x1)*(x2-x1) + (y2-y1)*(y2-y1) +...
(z2-z1)*(z2-z1));

```

```

length=length+L;

```

```

k1 = E*A/L;

```

```

k2 = 12*E*Iz/(L*L*L);

```

```

k3 = 6*E*Iz/(L*L);

```

```

k4 = 4*E*Iz/L;

```

```

k5 = 2*E*Iz/L;

```

```

k6 = 12*E*Iy/(L*L*L);

```

```

k7 = 6*E*Iy/(L*L);

```

```

k8 = 4*E*Iy/L;

```

```

k9 = 2*E*Iy/L;

```

```

k10 = G*J/L;

```

```

a=[k1 0 0; 0 k2 0; 0 0 k6];

```

```

b=[ 0 0 0;0 0 k3; 0 -k7 0];

```

```

c=[k10 0 0;0 k8 0; 0 0 k4];

```

```

d=[-k10 0 0;0 k9 0;0 0 k5];

```

```

k = [a b -a b;b' c b d; (-a)' b' a -b;b' d' (-b)' c];

```

```

if x1 == x2 && y1 == y2

```

```

    if z2 > z1

```

```

        Lambda = [0 0 1 ; 0 1 0 ; -1 0 0];

```

```

    else

```

```

        Lambda = [0 0 -1 ; 0 1 0 ; 1 0 0];

```

```

    end

```

```

else

```

```

    CXx = (x2-x1)/L;

```

```

    CYx = (y2-y1)/L;

```

```

    CZx = (z2-z1)/L;

```

```

    D = sqrt(CXx*CXx + CYx*CYx);

```

```

    CXy = -CYx/D;

```

```

    CYy = CXx/D;

```

```

    CZy = 0;

```

```

    CXz = -CXx*CZx/D;

```

```

    CYz = -CYx*CZx/D;

```

```

    CZz = D;

```

```
Lambda = [CXx CYx CZx ;CXy CYy CZy ;CXz CYz CZz];
end

R = [Lambda zeros(3,9); zeros(3) Lambda zeros(3,6);
zeros(3,6) Lambda zeros(3);zeros(3,9) Lambda];

stiffness(elementDof,elementDof)=...
    stiffness(elementDof,elementDof)+R'*k*R;
end
```

10.5 Estructura grupal.

Otro de los proyectos que se realizaron a la par de las actividades de cada equipo, fue el de la estructura grupal. Esta consistió en realizar una estructura con ciertas dimensiones y características, las cuales se exponen a continuación:

- Las dimensiones fueron de un cubo de 1m de lado.
- Se tuvieron que utilizar 4 materiales:
 - Tierra.
 - Bambú.
 - Deshechos.
 - Madera.
- La ubicación de cada material estaba definida y no se podían traslapar (excepto en las conexiones).
- Debía soportar al menos cargas de 2kg aplicadas en las esquinas superiores.

El proceso de diseño se realizó por equipo y este se tuvo que pasar a otro equipo para la construcción, de manera que cada equipo diseñó su parte de la estructura con el material que le correspondía y tuvo que construir la parte de otro equipo.

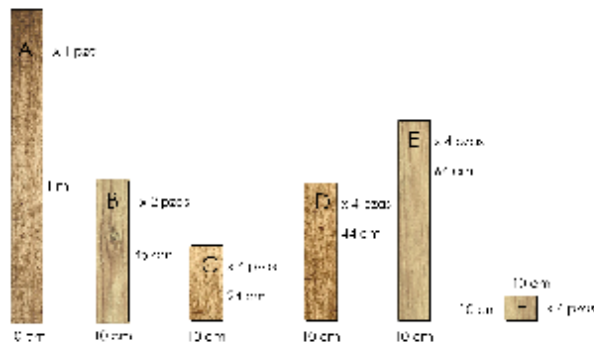
En nuestro caso, el diseño se realizó para deshechos. Dado que nuestro equipo era el encargado de estimar la masa necesaria para soportar el momento de volteo generado por las cargas en las esquinas, se propuso realizar una estructura a base de partes de pallet desarmado y con ladrillos de deshechos que se encontraron para incrementar la masa de la estructura y soportar las cargas. A continuación, se muestra el proceso de construcción que se presentó al equipo de bambú para la construcción de la estructura de deshechos.

Desechos - Madera y Block

MATERIAL

Se utilizarán 2 materiales con las siguientes medidas:

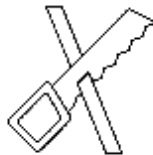
MADERA
(Tablones de Reuso de Tarimas
2 cm espesor)



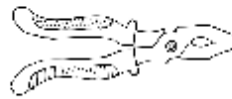
LADRILLO RECODIDO
(Blocks de Reuso de Estructura
PAP anterior)



Herramientas



segeta



Pinzas



Alambre



Taladro

Instituto Tecnológico de estudios superiores de Occidente

PAP : Tecnología apropiada para la generación de sistemas constructivos
Profesor: Nayar Cuitlahuac Astudillo
Melissa Selene Carillo Rubio

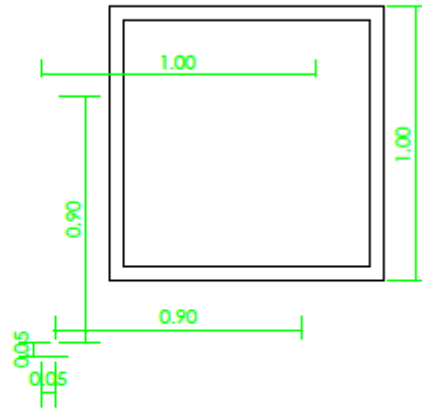
Ximena Aranguren
Paola Mora
Xavier Petersen

Instrucciones

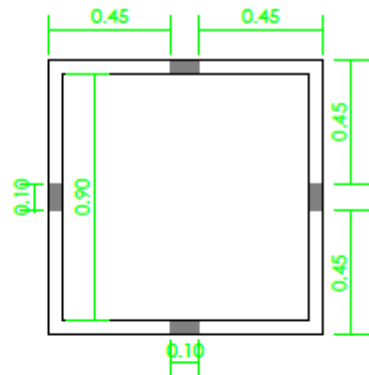
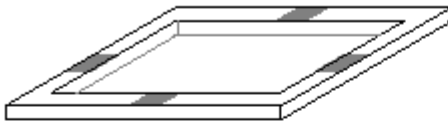
INSTRUCCIONES

La estructura se debe montar sobre un marco que se hizo previamente por otro equipo.

El marco tiene las siguientes medidas:



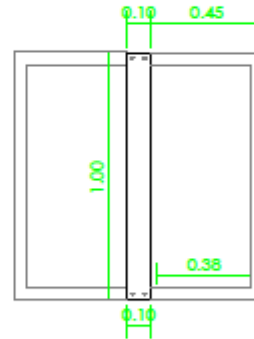
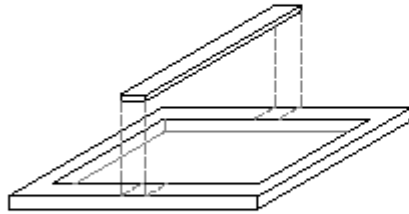
Esta es el área sobre la que se va a trabajar en el paso 1 y 2.



Pasos

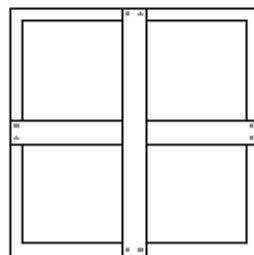
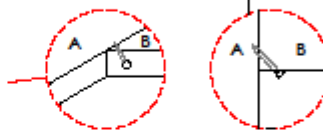
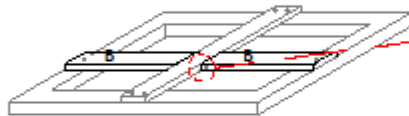
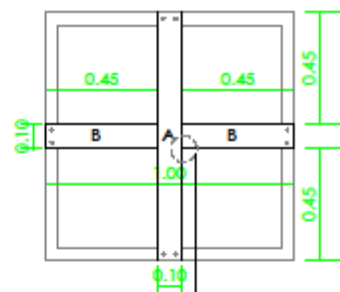
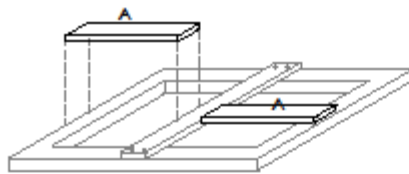
PASO 1:

Colocar tabla A centrada sobre la base de madera que construyó otro equipo.



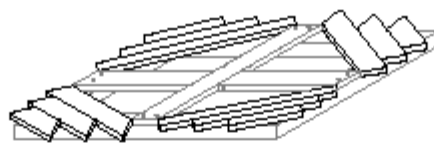
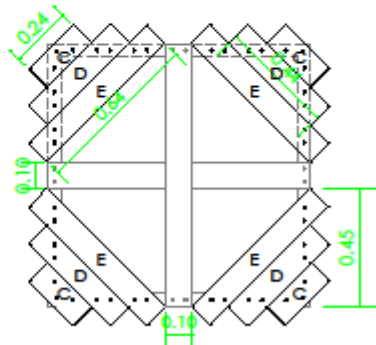
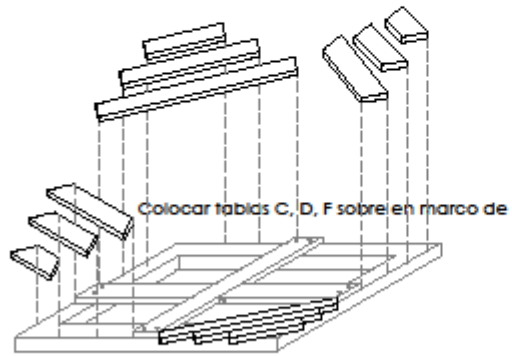
PASO 2:

Colocar 2 tablas B centradas con un extremo a la mitad de la tabla A y un extremo sobre en marco de base.



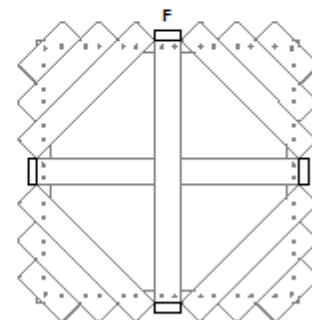
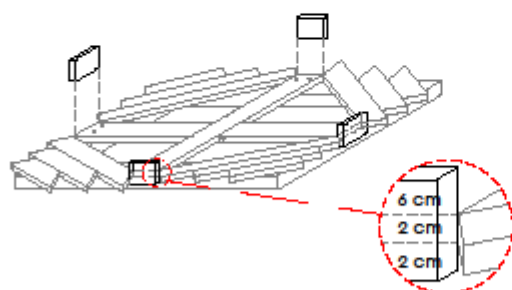
PASO 3:

base.



PASO 4:

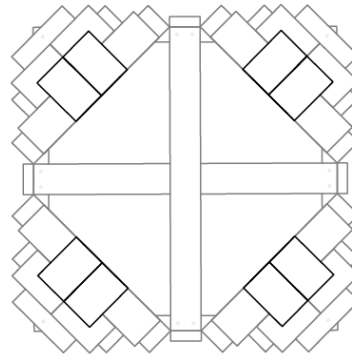
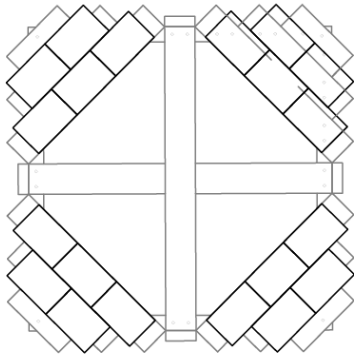
base y fijado con clavos al canto de las tablas A y B.



Colocar tablas F en el perímetro del marco

PASO 5:

Colocar los ladrillos sobre los tabloncitos C, D y E en 2 etapas. Primero 5 acomodados como muestra la imagen. Después colocar 2 ladrillos más sobre esos 5.



Instituto Tecnológico y de estudios superiores de Occidente

PAP : Tecnología apropiada para la generación de sistemas constructivos

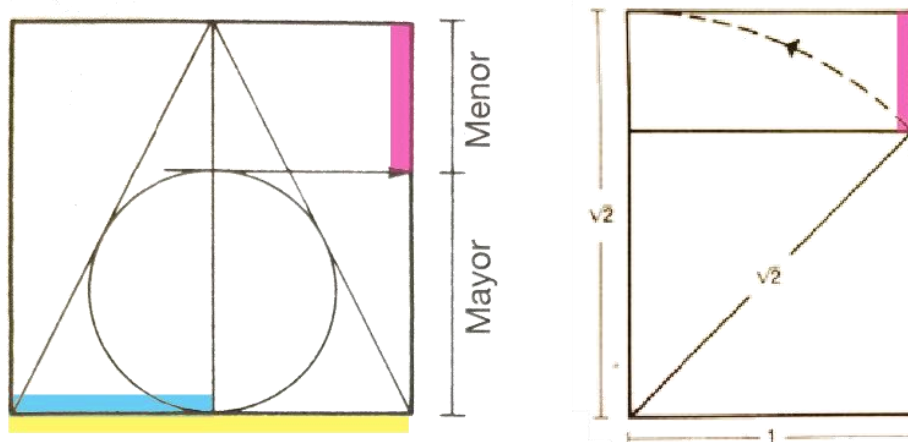
Profesor: Nayar Cuitlahuac Astudillo
Melissa Selene Carillo Rubio

Ximena Aranguren
Paola Mora
Xavier Petersen

10.6 Parámetros de Proporciones

PARÁMETROS DE PROPORCIONES Y MEDIDAS

Los parámetros que se seleccionaron para el refugio óptimo, las condicionantes que programamos en el algoritmo, las obtuvimos de la combinación de 2 fuentes distintas. La primera toma en cuenta las proporción y la relación entre largo, ancho y alto. La información que utilizamos es el primer gráfico (Neufert 2014). La segunda se tomó de el artículo Ten designs de la IFRC (IFRC, 2013). En específico se utilizó la parte del Design Brief (Anexo 10.8), que es una plantilla para el diseño de refugios que se tiene que llenar con la información del sitio afectado. La tabla que está a continuación es esta plantilla traducida al español y llenada con los datos de Chamela, el sitio en el que trabajamos en nuestro PAP. Finalmente se incluye el análisis de alturas del sitio, un apartado que requiere el IFRC para que el refugio corresponda con la identidad de la región. Los pasos que siguieron para realizar este análisis de área están en el Anexo 10.7. Las imágenes originales se obtuvieron de distintas fuentes de internet citadas en la Bibliografía del Reporte PAP.



- ANCHO = $x/2$
- LARGO = x
- ALTURA = $x - [x \cdot (\sqrt{2})]$

Esto quiere decir que el largo es el doble del ancho.

La altura es el valor del largo menos el resultado del largo por la raíz cuadrada de 2 (la raíz cuadrada de dos es 1.4142)

| Estándares de e indicadores para refugio post desastre | | |
|---|--|---|
| Indicadores | Estandar | Observaciones |
| Data Clave | | |
| Vida Útil | Material y construcción para una duración de min. 3-5 años . Material con bajo mantenimiento y reposición | Vida Útil Sugerida: Progresiva: min. 3-5 años Permanente: min. 5-10 años |
| Costo | USD incluyendo transportación, mano de obra, sin incluir impuestos y administración de proyecto. Para un refugio de una sólo planta, asumiendo la adquisición adicional de material y mano de obra por parte del propietario del refugio. | Considerar proveer sólo algunos materiales en casos donde el material anterior se conservó. El costo puede aumentar en% debido a fluctuación de mercado, cobro adicional por trasportación |
| Área Cubierta | Objetivo de min. 18 m2 de superficie de desplante y 35 m2 máximo. | Assimiendo un estándar de 3.5 m2 por persona y en total 18 m2 para una Ver Sphere |
| Altura | Un mínimo de 2.6 metros del nivel de piso a la base de los aleros. | |
| Construcción resistente a desastres | | |
| Lluvia e Inundaciones | La cubierta debe proteger el interior y los muros de la lluvia . Los cimientos deben tener la fuerza y altura suficiente para soportar la inundación del sitio. | Asegurar que ningún volado sea tan grande que pueda incrementar el riesgo a daños por vientos fuertes. |
| Viento y Tormentas | Los cimientos deben asegurar el refugio al suelo en vientos fuertes. La cubierta debe estar fijada de manera segura para resistir tormentas, y debe estar diseñada con la fuerza adecuada para el material propuesto. El diseño de la estructura debe funcionar de manera que los elementos y las uniones reciban las cargas evitar cargas en zonas donde se unen distintos materiales o elementos estructurales independientes. Cuando es apropiado las cintas antihuracán son fuertemente recomendadas. | Una pendiente de 30°-45° para techos a 2 aguas es óptimo para resistir vientos fuertes. Se sugiere un velocidad de viento de >160 Km/h para el diseño Se deben evitar claros muy largos ya que debilitan la estructura. |
| Principios de Diseño | | |
| Sujeto a ser relocalizado | La vivienda transicional y algunos refugios temporales pueden ser reubicados. De ser posible utilizar materiales reutilizables. | Los refugios se podrían utilizar como cocinas o tiendas en un futuro. |
| Capacidad de Extenderse | El refugio debe estar construido de manera que sus ocupantes puedan extenderla fácilmente con sus propios recursos. | La vivienda permanente puede ser extendida. La vivienda progresiva puede ser mejorada y convertirse en permanente. |
| Resistente y con memoria a daños | Los refugios deben representar un ejemplo de aprendizaje de buenas prácticas constructivas. | Para promover viviendas reistentes a desastre. |
| Ventilación y confort Térmico | De ser posible, promover aperturas en los 4 lados del refugio para permitir ventilación cruzada. Permitir una adecuada ventilación y diseñar para disminuir la temperatura en el interior del refugio. | Las aperturas no deben afectar la integridad de la estructura. Considerar la futura ampliación o reutilización del refugio. |

| | | |
|--------------------------|--|---|
| Privacidad | El diseño debe permitir la adición de al menos una división interna para privacidad. El refugio debe ofrecer un espacio flexible. | |
| Apropiada cultura | El acomodo, diseño, material y técnicas constructivas son fáciles de construir y de entender por los beneficiarios. | |
| Acceso | Los refugios deben tomar en cuenta las personas con movilidad reducida siempre que sea posible. | |
| Sitio y servicios | | |
| Tenencia | Se deben resolver aspectos legales del sitio Un mínimo de de duración se debe considerar para cualquier acuerdo. Idealmente llegar a acuerdos en Años o más. (relacionar con calidad de vida). | Tomar en cuenta distintas opciones y alternativas de seguridad legal. |
| Localización | En principio, la ubicación del refugio debe ser decidida por sus dueños. De ser posible, el refugio debe estar construido en, o cerca de urbanizaciones existentes sin inhibir la reconstrucción de vivienda permanente. Los refugios no deben construirse cerca de estructuras peligrosas, tierra con tendencia a inundación, o lugares que expongan al usuario a peligros. Los refugios deben estar construidos en sitios que ayuden a los ocupantes a mantener sus vidas cotidianas, sitios o infraestructura comunitarios o de convivencia. (salud, educación, comercial...) así como a servicio eléctrico y de teléfono. | |
| Preparación de predio | El predio debe ser despojado de cualquier peligro físico. | Revisar regulación de movimiento de escombros. |
| Agua y Saneamiento | Acceso adecuado a agua y servicios de saneamiento. Los refugios deben estar conectados a una solución de drenaje. | |



10.7 Pasos para el Análisis de Alturas



MUJER EN CASA DESTRUIDA
Fotografía: Carlos Ángel Arrieta

FAMILIA DE COMUNIDAD DE E. ZAPATA LIMPIA
DE ESCOMBROS SU CASA Fotografía: Jorge Nuñez

CASA DESTRUIDA EN CHAMELA
Fotografía: Hector Guerrero

Paso 1:
Acomodar fotografías de fachadas juntas a manera de larguero.



Paso 2:
Colocar líneas guía horizontales como referencia de alturas. Aquí hay una para piso, altura de una persona y altura de la parte más baja del techo.



Paso 3:
Acomodar y editar fachadas en Photoshop de manera que queden todas vistas de frente sin perspectiva a manera de alzados. Sobre esta imagen se mide cada casa como muestra la imagen inferior.



10.8 Design Brief Plantilla IFRC

I.4 Template design brief

This annex contains a sample template for a design brief for shelters. It is based on the agreed standards for shelters that were agreed by the Shelter Clusters in Haiti, following the 2010 earthquake, and the 2009 earthquake in Padang, Sumatra, Indonesia. Where marked in blue text, indicators, standards or remarks may need to be deleted if they are not relevant to the context. Where marked with XXX, values need to be collectively agreed, specific to the context.

Organisations may wish to add programmatic issues to this technical brief such as targeting, support for the most vulnerable recipients, and messaging. This design brief should not contradict relevant building codes.

| Performance standards and indicators for post disaster shelters | | |
|---|--|--|
| Indicators | Standard | Remarks |
| Key data | | |
| Life span (see A.2.6) | <ul style="list-style-type: none"> ↘ Materials and shelter construction to allow for more than XXX months use. ↘ Materials should allow for easy maintenance and upgrade. | <ul style="list-style-type: none"> ↘ Suggested life span XXX: <ul style="list-style-type: none"> ↘ Temporary: min. 1 year ↘ Transitional: min. 3-5 years ↘ Progressive: min. 3-5 years though materials should last longer ↘ Core: min. 5-10 years |
| Cost (see A.2.12) | <ul style="list-style-type: none"> ↘ XXX USD including transport and labour, excluding taxes and project management costs. For one storey shelter, assuming additional input of material and labour from home owners. | <ul style="list-style-type: none"> ↘ Consider supplying only some of the materials when existing materials remain. ↘ Cost may be adjusted upwards by XX% due to; market fluctuations, extra shipping costs, etc. |
| Covered living space (see A.2.7) | <ul style="list-style-type: none"> ↘ Provide a target of XXXm² floor space with XXXm² as a maximum. ↘ In exceptional cases, a minimum of XXX m² may be considered for instances where no other space is available, and with a clear justification. | <ul style="list-style-type: none"> ↘ Assuming average of XXX persons per family "Life span" ↘ See sphere |
| Head height (see A.2.7) | <ul style="list-style-type: none"> ↘ A minimum of XXXm from the floor to the eaves. | |
| Hazard resistant construction (see A.2.4) | | |
| Rains and Floods | <ul style="list-style-type: none"> ↘ The roof should protect the interior and walling materials from rain. ↘ Foundations have sufficient strength and height to withstand flooding of site. | <ul style="list-style-type: none"> ↘ Ensure that any roof overhang is not so large as to increase the hazard from strong winds |
| Wind and storms | <ul style="list-style-type: none"> ↘ Foundations must secure the shelter to the ground in strong winds. ↘ The roof must be fixed securely to be resistant to storms and must be designed with adequate strength for proposed roofing material. ↘ Design structures so that structural members and joints take the loads rather than the fixings. ↘ Where appropriate: Metal strapping is strongly advised to protect against hurricane and earthquake. | <ul style="list-style-type: none"> ↘ A pitch of 30^o-45^o for 2-pitched roofs is optimum to resist strong winds. ↘ A design wind speed of XXX km/h is suggested. ↘ Wide roof spans are to be avoided as they weaken the structure. |
| Earthquake | <ul style="list-style-type: none"> ↘ Seismic resistance techniques must be incorporated into shelter form. | <ul style="list-style-type: none"> ↘ Special attention to locations of doors and windows, foundations, bracing and ring beam connections. |

| Design principles | | |
|---|--|---|
| Suitable for relocation | <p>Transitional shelter and some temporary shelters:</p> <ul style="list-style-type: none"> ↳ can be relocated by the occupants. <p>All shelters:</p> <ul style="list-style-type: none"> ↳ Where possible, materials should be re-usable. | <ul style="list-style-type: none"> ↳ The shelters may later be used as kitchens, verandas, or shops. |
| Capacity to extend | <ul style="list-style-type: none"> ↳ The shelter should be built so that occupants can easily extend it with their own resources. | <ul style="list-style-type: none"> ↳ Core shelter can be expanded. ↳ Progressive shelter can be upgraded to permanent. ↳ Transitional shelter materials can be re-used. |
| Hazard resistant Learning | <ul style="list-style-type: none"> ↳ Shelters should provide practical learning examples of principles of good construction (e.g. openings such as doors should be away from the corners of the structure). | <ul style="list-style-type: none"> ↳ To promote good earthquake, hurricane and flood resistance practice. (see A.2.4) |
| Ventilation and thermal comfort (see A.2.9) | <p>Hot climates only:</p> <ul style="list-style-type: none"> ↳ Where possible, promote openings on XXX sides of the shelter to allow for cross ventilation ↳ Allow for adequate ventilation and design to minimise internal temperatures. <p>Cold climates:</p> <ul style="list-style-type: none"> ↳ Minimise cold air infiltration ↳ Ensure that there is ventilation to prevent health hazards due to fumes from cooking fuel. | <ul style="list-style-type: none"> ↳ Openings shouldn't affect structural integrity of the shelter. ↳ Take in consideration possible future extension or re-use of the unit/shelter. |
| Privacy (see A.2.8) | <ul style="list-style-type: none"> ↳ The design should allow the addition of at least one internal division for privacy. ↳ The shelter should provide a flexible space. | <ul style="list-style-type: none"> ↳ Hot climates: Internal divisions should not go as high as the roof as this will reduce ventilation. |
| Culturally appropriate (see A.2.8) | <ul style="list-style-type: none"> ↳ Shelter layouts, materials and construction techniques are familiar or easy to understand by the beneficiaries. | |
| Access | <ul style="list-style-type: none"> ↳ Shelters should take into account access by persons with reduce mobility, wherever possible. | |
| Site and services (see A.2.11) | | |
| Tenure | <ul style="list-style-type: none"> ↳ Legal aspects of the site or plot should be resolved. ↳ A minimum time frame for any agreement is XXX. It is preferred to have an agreement of XXX years or longer (linked to life span). | <ul style="list-style-type: none"> ↳ Take into account different forms of tenure security, including ownership, tenancy and other arrangements. |
| Location | <ul style="list-style-type: none"> ↳ In principle, the location of the shelter should support the choice made by the shelter owners themselves. Wherever possible, shelter should be constructed at, or near to the existing homestead, without inhibiting permanent housing reconstruction. ↳ Shelters should not be built next to dangerous buildings or structures, on land liable to flood, or in locations that expose the occupants to other hazards. ↳ Shelters should be built in locations that help occupants to maintain access to livelihoods, basic social services/community infrastructure (health, education, commercial...) as well as electricity and telephone. | <ul style="list-style-type: none"> ↳ Except when an existing damaged house is deemed unsafe. |
| Plot preparation | <ul style="list-style-type: none"> ↳ Sites need to be cleared of any physical dangers. | <ul style="list-style-type: none"> ↳ Refer to any agreements on rubble removal that may exist. |
| Water and Sanitation | <ul style="list-style-type: none"> ↳ Adequate water supply and sanitation facilities. ↳ Construction must be coordinated with WASH. ↳ Adequate site drainage is provided to minimise the risk of flooding. Individual Shelters must be connected to site drainage solution. | |

10.9 Protocolo

Protocolo de investigación.

Nombre del proyecto: Algoritmo genético para el diseño de viviendas temporales de madera en la zona de Costa Alegre, Jalisco.

Integrantes:

- Javier Petersen Fuentes
- Ximena Aranguren González Luna

Fecha de elaboración del protocolo: 22/02/2017.

Fecha de inicio de la investigación: 22/02/2017.

Fecha de término de la investigación: 01/05/2017.

Introducción.

El proyecto consiste en realizar un algoritmo de optimización que pueda realizar optimización multi-objetivo con el fin de generar conceptos de solución y buscar geometrías en función de las cargas de viento que se podrían dar en la zona de Costa Alegre, Jalisco, considerando factores arquitectónicos como el confort de los habitantes y las proporciones de la vivienda.

Este algoritmo debe generar las dimensiones de las plantas, las dimensiones de la estructura y la geometría con una topología dada y realizar la evaluación de cada uno de los parámetros para evaluar los candidatos para buscar mejorar la solución generada por medio de un algoritmo de optimización.

Planteamiento.

Tema de investigación.

Se busca desarrollar un algoritmo evolutivo que pueda realizar optimización multi-objetivo para generar conceptos de solución para vivienda temporal en zonas de desastres por huracanes. Los objetivos que debe considerar el algoritmo serían estructurales (minimizar la cantidad de material para la construcción en función de las cargas gravitacionales y por viento) y arquitectónicas (maximizar el confort para el usuario, buscar mejoras en las plantas, dimensiones y ubicación de recámaras, etc.).

Antecedentes:

ANTECEDENTE 1: PAP Anteriores

Se eligió el trabajo de 1 estudiantes reunidos en ... proyectos.

La información que se encontró sobre madera mexicana fue:

Tipos de madera nativas de México:

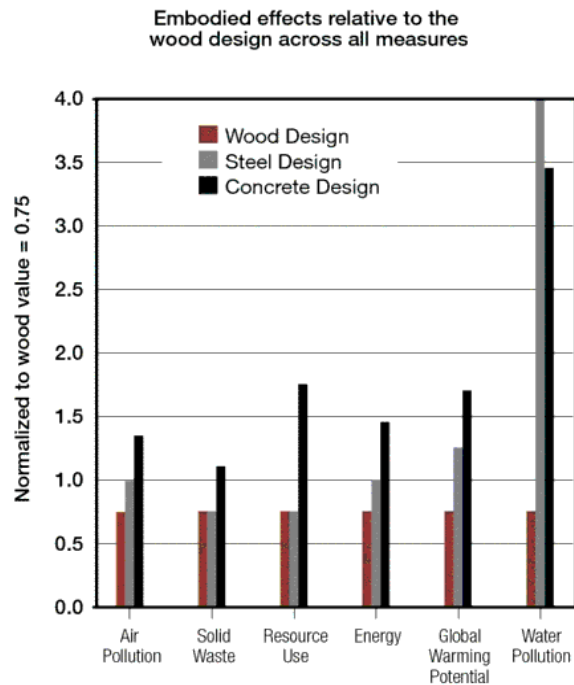
Ceiba, Maca blanca, Amapola, Liquidámbar, Palo mulato, Cedrillo, Cedro, Amargoso, Jolmashté, Magnolia, Falso Guanacaste, Fresno, Pino, Encino, escobillo, Aguacate, Casalcahuite, Álamo, Cabeza de mico, Casuarina, Jobillo, Caoba, Tzalam, Chicharra, Cuerillo, Encino rojo, Machiche, Haya, Zapote amarillo, Chicozapote y Paque.

Especies comerciales en México:

- Madera maciza: Pino, Caoba, Cedro, Arce, Poplar, Jocha, Mascarei (Ecu), Caobilla, Sande (Col), Roble, Encino, Okume, Banak.
- Peruanas: Cumala, Lupuna, Utucaro, Requía, Meranti.
- Triplay: Pino blanco nacional, Pino amarillo, Caobilla, Abedul, Cedro rojo, Arauco chileno, Encino, Ceiba, Jocha, Sande, OSB (Oriented strand board).
- MDF: Natural, Okume, Encino, Maple, Melaminizado.
- Aglomerado.

(Peña 2015)

Sobre las ventajas de la madera los datos que se encontraron fueron:



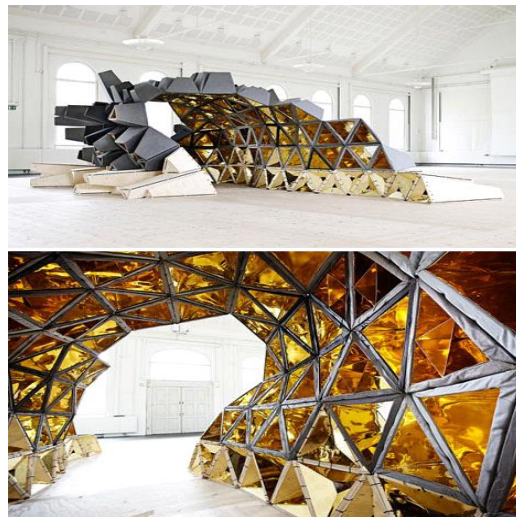
Del total de emisiones de CO₂ en México, el sector residencial es responsable del 7% de ellas, mientras que las industrias de acero, cemento y hierro equivalen a 8.9% de estas. En la tabla anterior, podemos compara la huella ecológica de cada material. La madera se mantiene en un mismo nivel. (O Farril M, Gonzales M, 2015?). La madera es que mantienen el CO₂ absorbido por el árbol, esto ayuda a mitigar la huella de carbón asociada con la construcción. (O Farril M, Gonzales M, SF)

Es “el único recurso natural renovable dotado de propiedades estructurales y el único elemento vivo empleado en la construcción, es reciclable y las existencias se reponen de modo natural, es un material de baja incorporación de energía, su producción incluso puede beneficiar al medio ambiente.” (Peña 2015).

ANTECEDENTE 2 Bioclimática

Para fijar los parámetros de confort utilizamos las estrategias para bioclimática en el diseño de casas y el estudio de las viviendas de interés social en Argentina publicadas en el libro de Beatriz Gascón sobre bioclimática. Lo resume en morfología, agrupamiento, orientación, materiales, colores, tamaño de aberturas (Garzón, 2009).

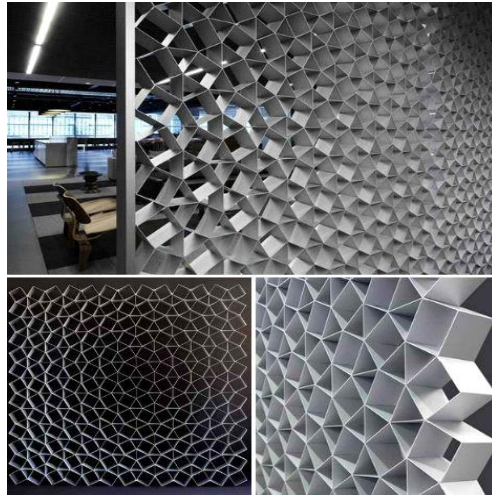
ANTECEDENTE 3: Geometría Evolutiva y Algoritmos en la Arquitectura



Parametric Party House

Pabellón móvil paramétrico diseñado para “Copenhagen Distortion”, un festival enfocado a promover los bares y clubes nocturnos. Construido con triplay con un termiando de cobre reflejante. Diseñado y construido con tecnología experimental y programas acústicos de 3 Universidades. El pabellón se mueve y rota como un material textil.

(Rogers, 2014)

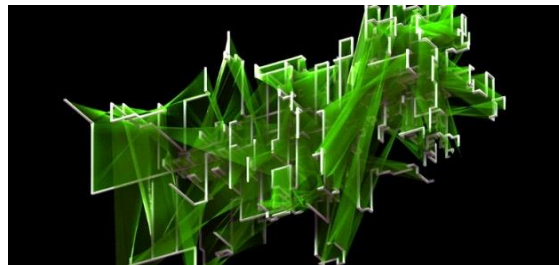
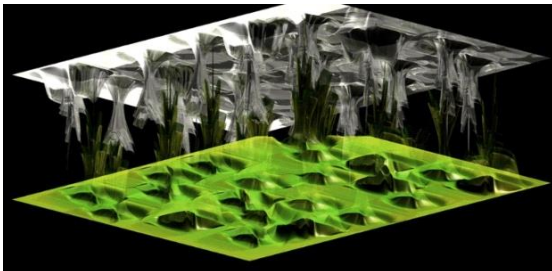
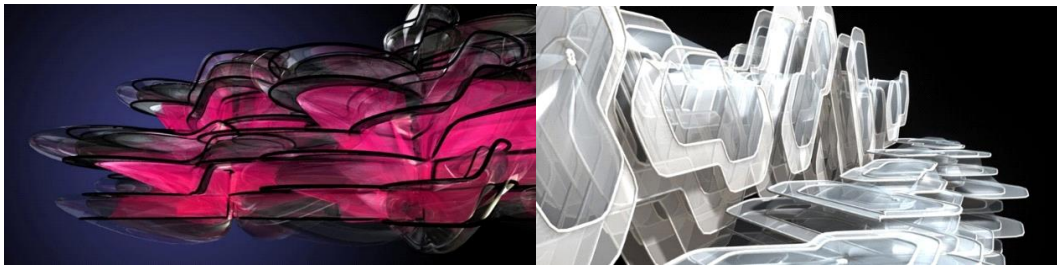


Celosía de Korban/Flaubert

(Rogers, 2013)

Michael Hansmeyer

Utiliza algoritmos para exploración formal en elementos arquitectónicos. (Hansmeyer, 2017)



FO-DGA-CPAP-001

ANTECEDENTE 4: Refugios

Refugio de Bambú

El prototipo para vivienda transitoria en Nepal desarrollada por Charles Lai de Hong Kong y Takehiko Suzuki de Tokyo. Está diseñada para que cualquiera pueda construirla a partir de un manual que se descarga de internet y se puede construir en 3 días. (Frearson, 2015)

En la descripción del proyecto en el sitio Archdaily aparecen las siguientes especificaciones de la vivienda. Mide 18 m2 y se hizo por parte del grupo One Village Focus Fund en 2015 y patrocinado por Expedia Hong Kong.

Se realizó por un equipo de 10 voluntarios y 4 trabajadores remunerados construyeron el prototipo en 2 días. Madera y hojas metal de las casas dañadas fueron reutilizadas para la construcción de la envolvente de la vivienda. El costo del refugio de 6m x 3m es de alrededor de US \$ 400 - \$ 500 (Uribe, 2015).

Refugio BVN

La firma de arquitectura australiana BVN Donovan Colina hizo una aparición en la reciente Exposición de Alojamiento de Emergencia de Melbourne con el fin de demostrar su nuevo concepto de alojamiento de emergencia. Desarrollado con el objetivo de proporcionar un entorno confortable para sus ocupantes, la estructura temporal se asemeja a un rompecabezas en 3D y se dice que montar mucho a un armario de Ikea.



Algoritmos de optimización aplicados al diseño de estructuras.

La aplicación de algoritmos de optimización en el diseño de estructuras puede presentar varias ventajas, ya que se puede minimizar el consumo de los materiales constructivos mientras se mantiene la seguridad en la estructura. Existen diferentes técnicas para la optimización; una de las más utilizadas es la programación evolutiva (particularmente los algoritmos genéticos).

La programación genética es una manera efectiva de búsqueda de soluciones basada en el principio de la evolución. La idea básica es combinar buenas soluciones a un problema por muchas generaciones tratando de mejorar la solución (Hultman, 2010). La ventaja que proporciona este tipo de algoritmos, es que se pueden tener espacios de búsqueda muy amplios; todas las soluciones iniciales de la población se pueden generar de manera aleatoria y se mejoran con el tiempo.

Los algoritmos evolutivos se han utilizado en diferentes implementaciones para realizar la optimización de diversos elementos de una estructura, por ejemplo:

- Optimización de la topología de una armadura con espacios reducidos de búsqueda (Chen, Chiou, 2013).
- Optimización del peso de una armadura para una cubierta con restricciones de desplazamientos (Croce et. al, sin fecha).

- Optimización de la geometría de una antena (Hornby, Globus, Sin fecha).

Optimización multi-objetivo.

Existen algunos problemas cuya solución depende de varios factores. La optimización de dichos factores puede generar que otros no tengan una solución óptima y puede que se tenga que sacrificar el valor óptimo de algún objetivo en lugar de otro. En la optimización multi-objetivo no existe el concepto de solución única; en su lugar se utiliza el de no-inferioridad (también conocido como Frente de Pareto). Una solución no inferior es una solución tal que al mejorar uno de los objetivos se degrada otro (u otros). En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de un frente de Pareto para un problema de optimización de dos objetivos.

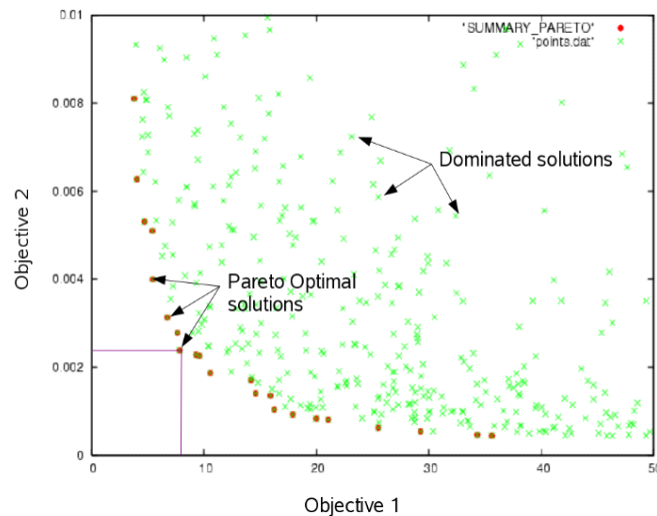


Imagen 1. Frente de Pareto (Cenaero, Sin fecha).

Frentes de Pareto.

Los frentes de Pareto son un marco de referencia para la evaluación parcial de acciones con salidas multidimensionales, que realiza un ordenamiento parcial en función de la mejora de cada uno de los elementos (Stacey, 2011). El ordenamiento de este tipo de elementos se realiza por medio de una búsqueda de mejores elementos, pero debido a que es probable que

la mejora de un elemento afecte (o empeore) a otros, el frente se toma en los mejores elementos que no afecten a los demás. Esto garantiza que el elemento es uno de los mejores y permite seleccionar cual es la mejor de las soluciones, asumiendo que las mejores soluciones se encuentran en el frente.

Los frentes de Pareto son particularmente útiles ya que muestran las soluciones no dominadas; estas deberían de ser las mejores soluciones posibles ya que no se pueden mejorar sus elementos sin empeorar otros. Es por esto que con el frente de Pareto se tiene el conjunto de soluciones que permite seleccionar la mejor en función de los posibles mejores candidatos para cada punto.

Problema.

La zona de la costa de Jalisco suele ser atacada por huracanes todos los años. En algunas zonas de la costa las viviendas suelen verse afectadas por los huracanes debido a que se suelen utilizar estructuras ligeras para la vivienda que suelen ser propensas a fallas durante los huracanes. Este es el caso de la bahía de Chamela, donde durante el huracán Patricia se perdieron gran parte de las viviendas de la playa (SPDNOTICIAS, 2015).

Muchas de las viviendas que quedaron destruidas nunca se reconstruyeron, en particular, en la playa de Xametla. En este tipo de situaciones es necesario tener una solución rápida al problema de la vivienda para comenzar la reconstrucción de las mismas. Después, se puede desarrollar una vivienda temporal que tenga un mayor confort que el de un refugio.

Hasta este momento no existen herramientas para generar conceptos de solución para refugios que consideren cuestiones arquitectónicas y estructurales bajo cargas de viento para la construcción de viviendas temporales en zonas afectadas por huracanes. Se propone realizar un algoritmo que ayude a la exploración de conceptos de solución para desarrollar una vivienda transicional a base de elementos de madera que cumpla con los requerimientos de seguridad en la edificación y considere cuestiones de confort para los usuarios.

Objetivo general.

Desarrollar un algoritmo que permita evaluar elementos estructurales y arquitectónicos en una vivienda temporal de madera para poder optimizar el uso del material y al mismo tiempo, maximizar el confort de los usuarios con el fin de reducir el tiempo de construcción de las viviendas en los momentos de desastres por huracanes en la zona de Costa Alegre, Jalisco.

Objetivos específicos:

- Reducir los problemas relacionados con la vivienda temporal en zonas de huracanes, como: baja calidad en la construcción, materiales deficientes y dificultad en la construcción.
- Reducir el tiempo de desarrollo de la vivienda.
- Incrementar el confort de los usuarios.
- Simplificar la construcción de viviendas de madera con la estructuración propuesta.

Cronograma.

| Objetivo | Fecha límite |
|---|--------------|
| Investigación previa de la zona y materiales disponibles. Obtener: <ul style="list-style-type: none">• Condiciones climáticas.• Materiales disponibles.• Sistemas constructivos de la zona.• Tipos de viviendas de madera.• Proporciones arquitectónicas de las viviendas de la zona. | 01/03/2017 |
| Investigación sobre algoritmos multi-objetivo. Es necesario tener información sobre: <ul style="list-style-type: none">• Frentes de Pareto.• Algoritmos de optimización. | |

| | |
|--|------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Funciones de prueba. • NSGA-II. • Evaluación de lenguajes para implementación. | 01/03/2017 |
| Desarrollo de algoritmo NSGA-II con funciones de prueba. | 01/04/2017 |
| <p>Desarrollo de funciones objetivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Minimizar el uso de material. • Minimizar los desplazamientos de la estructura. • Revisión de cargas por viento. • Maximizar el confort del usuario. • Función objetivo para proporciones/dimensiones de la estructura. | 26/04/2017 |
| Revisión de elementos estructurales de propuesta generada y conexiones. | 03/05/2017 |
| Desarrollo de elementos gráficos para la visualización de la estructura generada. | 03/05/2017 |

Referencias.

- Hultman, M. (2010). *Weight Optimization of Steel trusses by a genetic algorithm*. Obtenido de: [http://www.kstr.lth.se/fileadmin/kstr/pdf_files/Exjobb/TVBK-5000_pdf/TVBK-5176_HYPERLINK "http://www.kstr.lth.se/fileadmin/kstr/pdf_files/Exjobb/TVBK-5000_pdf/TVBK-5176MH.pdf"MH.pdf](http://www.kstr.lth.se/fileadmin/kstr/pdf_files/Exjobb/TVBK-5000_pdf/TVBK-5176_HYPERLINK%20%22http://www.kstr.lth.se/fileadmin/kstr/pdf_files/Exjobb/TVBK-5000_pdf/TVBK-5176MH.pdf%22MH.pdf).
- Rogers, SA. (2014, February 26). Algorithmic Architecture: 14 Complex Math-Based Structures. Retrieved February 13, 2017, from <http://weburbanist.com/2014/02/26/algorithmic-architecture-14-fractalparametric-structures/>
- SA Rogers (2013, July 22). Home Mathematics: 12 Fractal Furniture & Architecture Designs. Retrieved February 13, 2017, from <http://weburbanist.com/2012/10/29/home-mathematics-12-fractal-furniture-architecture-designs/>
- **Michael Hansmeyer - Computational Architecture. (n.d.). Retrieved February 21, 2017, from <http://www.michael-hansmeyer.com/#2>**
- Rogers, SA. (2014, February 26). Algorithmic Architecture: 14 Complex Math-Based Structures. Retrieved February 13, 2017, from <http://weburbanist.com/2014/02/26/algorithmic-architecture-14-fractalparametric-structures/>
- SA Rogers (2013, July 22). Home Mathematics: 12 Fractal Furniture & Architecture Designs. Retrieved February 13, 2017, from <http://weburbanist.com/2012/10/29/home-mathematics-12-fractal-furniture-architecture-designs/>
- **Michael Hansmeyer - Computational Architecture. (n.d.). Retrieved February 21, 2017, from <http://www.michael-hansmeyer.com/#2>**
- Chen, Chiou (2013). *Structural topology optimization using genetic algorithms*. Obtenido de: http://www.iaeng.org/publication/WCE2013/WCE2013_pp1933-1937.pdf.
- Croce, et. al (sin fecha). *A genetic algorithm for structural optimization of steel truss roofs*. Obtenido de: [http://www.lncc.br/~hcbm/artigo\(567\).pdf](http://www.lncc.br/~hcbm/artigo(567).pdf).
- Hornby, Globus (Sin fecha). *Automated antenna design with evolutionary algorithms*. Obtenido de: [https://ti.arc.nasa.gov/m/pub-archive/1244h/1244%20\(Hornby\).pdf](https://ti.arc.nasa.gov/m/pub-archive/1244h/1244%20(Hornby).pdf).
- Cenaero (Sin fecha). *Pareto Front*. Obtenido de: <http://www.cenaero.be/Page.asp?docid=27103> HYPERLINK "http://www.cenaero.be/Page.asp?docid=27103&"&.
- Stacey, A. (2011). *Pareto Front*. Obtenido de: <http://www.azimuthproject.org/azimuth/show/Pareto+front>.
- Garzón, Beatriz. *Arquitectura bioclimática*. (2009). Buenos Aires, AR: Editorial Nobuko. Retrieved from <http://www.ebrary.com.ezproxy.iteso.mx> <http://site.ebrary.com.ezproxy.iteso.mx/lib/biblioitesosp/reader.action?docID=10504985>
- Amy Frearson (2015, July 11). Shelter for earthquake victims could be built in three days. Retrieved February 22, 2017, from https://www.dezeen.com/2015/07/11/prototype-bamboo-shelter-nepal-earthquake-victims-built-by-unskilled-workers-three-days/?li_source=LI&li_medium=bottom_block_1

- Begoña. Uribe (2015, July 21). Refugio Temporal en Nepal / Charles Lai Takehiko Suzuki. Retrieved February 22, 2017, from <http://www.archdaily.mx/mx/770344/refugio-temporal-en-nepal-charles-lai-plus-takehiko-suzuki/>
- MUNICIPIO DE CIHUATLÁN, JALISCO. (n.d.). Retrieved February 22, 2017, from <http://www.cihuatlan.gob.mx/Municipio.html>
- Gadgetmania. Prototipo de refugio de emergencia ensambla como un armario de Ikea. (n.d.). Retrieved February 22, 2017, from <http://gadgetdemagia.ru/arquitectura/1312-prototipo-de-refugio-de-emergencia-ensambla-como.html>
- El Informador, Evacuan a 500 familias de Cihuatlán por huracán "Jova" (2011, October 8). Retrieved February 23, 2017, from <http://www.informador.com.mx/jalisco/2011/328421/6/evacuan-a-500-familias-de-cihuatlan-por-huracan-jova.htm>
- SPDNOTICIAS, (2015). *El huracán Patricia arrasó con Chamela, Jalisco*. Consultado: 1/03/2017 de: <http://www.sdpnoticias.com/nacional/2015/10/25/el-huracan-patricia-arraso-con-chamela-jalisco>