



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE SISTEMA
CONSTRUCTIVO PARA EL PROYECTO
CASA-UNAM**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Alejandro Martínez Salazar

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Vicente Borja Ramírez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicatorias

A mi madre, una mujer muy fuerte que siempre me ha estado cuidando y guiando.

A mi novia, que siempre me apoya y me ayuda a avanzar para encontrar nuevos caminos.

A mi hermano, una persona que me ha ayudado a mejorar día con día.

A mis tíos Carmelita, Víctor y José Luis que a pesar de todo siempre me han brindado ayuda indispensable.

Y en especial a mi abuelita Gloria Ortega Domínguez que, aunque ya no esté ahora con nosotros, siempre me apoyo y me daba ánimos para que pudiera terminar mi carrera, nunca te olvidaremos.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, la máxima casa de estudios que me abrió las puertas y me entrego el conocimiento para seguir adelante en mi desarrollo profesional.

A mi familia y mi novia por su apoyo incondicional.

A mi director de tesis Dr. Vicente Borja Ramírez, por la paciencia, todo el apoyo y conocimientos que me brindó.

A mis amigas Ana y Eugenia que me han brindado un poco de su sabiduría.

Esta investigación se realizó gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM IT101718.

Resumen

Este trabajo de tesis presenta el procedimiento seguido para el rediseño de una estructura tridimensional que forma parte del proyecto CASA UNAM.

Primero se identificaron los requisitos a satisfacer dados por la competencia de Versalles 2014 (Solar CSTB, 2014) y condiciones geográficas para poder ser usado en la Ciudad de México, por ello se comenzó el proceso definiendo los requerimientos que debía cumplir.

Posterior a definir los requerimientos se establecieron especificaciones las cuales ayudaron en la búsqueda de diferentes estructuras tridimensionales, se eligieron las que mejor se acoplaban a los requerimientos y luego de eso se estudiaron para poder generar una solución.

Para generar la solución se comenzó con un bosquejo y se fueron cambiando sus características de acuerdo a las estructuras estudiadas y a los principios de diseño hasta llegar a la solución deseada. Luego, se empleó un software para el análisis de cargas de la estructura.

Al final se realizaron planos definiendo las medidas que debía tener cada una de las partes de la estructura, una estimación de costos y unas plantillas para el troquelado de las piezas.

Abstract

This thesis presents the procedure followed for the redesign of a three-dimensional structure that is part of the CASA UNAM project.

First, the requirements to be met were determined by the competition of Versailles 2014 (Solar CSTB, 2014) and geographical conditions to be used in Mexico City, so the process was started defining the requirements that had to be met.

After defining the requirements specifications were established which helped in the search of different three-dimensional structures, those that were best suited to the requirements were chosen and after that they were studied in order to generate a solution.

To generate the solution, a sketch was started and its characteristics were changed according to the structures studied and the design principles until the desired solution was reached. Then, a software was used to analyze the loads of the structure.

At the end, plans were made defining the measurements that each of the parts of the structure should have, an estimate of costs and templates for the die-cutting of the pieces.

Tabla de contenido

| | |
|--|-----|
| Dedicatorias | ii |
| Agradecimientos..... | iii |
| Resumen | iv |
| Abstract..... | v |
| Tabla de contenido | vi |
| 1 Introducción | 1 |
| 2 Antecedentes | 3 |
| 2.1 Proyecto CASA-UNAM..... | 3 |
| 2.2 Sistema constructivo..... | 6 |
| 2.3 Principios de diseño..... | 13 |
| 2.3.1 Principio de transmisión de fuerzas. | 13 |
| 2.3.2 Principio de división de tareas. | 13 |
| 2.3.3 Principio de autoayuda..... | 13 |
| 2.3.4 Principio de estabilidad y biestabilidad. | 14 |
| 2.3.5 Principio de diseño sin fallos. | 14 |
| 3 Definición del problema | 15 |
| 3.1 Objetivo | 15 |
| 3.2 Alcances..... | 15 |
| 3.3 Metodología..... | 16 |
| 3.4 Requerimientos | 17 |
| 3.5 Especificaciones | 20 |
| 4 Diseño conceptual..... | 23 |
| 4.1 Sistemas comerciales | 23 |
| 4.2 Patentes | 25 |
| 4.3 Estudio comparativo | 26 |
| 4.3.1 Soluciones destacadas, conclusiones del estudio comparativo..... | 30 |
| 4.4 Desarrollo de solución del sistema constructivo | 35 |
| 4.5 Descripción del sistema propuesto | 42 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5 | Diseño de detalle..... | 43 |
| 5.1 | Definición de piezas, geometría y materiales | 43 |
| 5.2 | Análisis estructural | 45 |
| 5.3 | Planos de conjunto y definición..... | 57 |
| 6 | Manufactura | 59 |
| 6.1 | Procesos de manufactura | 59 |
| 6.2 | Estimación de costos | 60 |
| 6.3 | Fabricación de modelo..... | 62 |
| 6.3.1 | Cuerda y diagonales..... | 62 |
| 6.3.2 | Nodo parte A..... | 63 |
| 6.3.3 | Nodo parte B..... | 64 |
| 6.4 | Descripción del proceso de ensamble-armado | 65 |
| 7 | Conclusiones | 67 |
| | Referencias | 69 |
| | Anexos..... | 70 |

1 Introducción

Los sistemas modulares han ayudado a cambiar la manera de fabricar o construir diferentes aparatos electrónicos, muebles y ciertos dispositivos. La forma de resolver el problema es dividir sus componentes en diferentes partes, pero manteniendo la compatibilidad de cada una de ellas, para así poderlas ensamblar como más nos beneficie.

Como consecuencia, la manera en la cual se construyen estos dispositivos contribuye a tener más control y una mejor capacidad para alterar un producto, se tiene más independencia entre sus características, hay más versatilidad en la manera de acomodarlo y acoplarlos, el orden es fácilmente maleable a las necesidades del mercado. Por esta razón, una gran cantidad de sistemas modulares son usados en oficinas, salas, cocinas y dormitorios, estos sistemas son más convenientes y ayudan a cubrir diferentes necesidades.

CASA-UNAM es un proyecto que aprovecha estas características y empleando diferentes sistemas constructivos obtenemos una manera fácil y barata de construir una casa.

La capacidad de adaptarse a diferentes lugares para su uso nos permitirá, entre otras cosas, ayudar a diferentes familias a tener una casa o incluso ampliar una ya existente, modificando su configuración para obtener la más conveniente y de este modo aprovechar mejor su espacio.

A todo esto, podemos agregarle otra gran característica, la cual es el aprovechamiento de un recurso renovable como lo es el sol, siendo capaz la casa de no alimentarse de una fuente externa para el consumo de electricidad. Tenemos también la capacidad de utilizar el agua de lluvia y reutilizar las aguas grises con un sistema de tratamiento para reducir en gran medida el consumo de agua.

El principal objetivo es ayudar a las comunidades a tener un hogar, el cual satisfaga algunas de sus necesidades, considerando, entre otras cosas, a su economía.

Esta tesis tiene el propósito de aportar una mejora al diseño original del sistema constructivo del proyecto CASA-UNAM. Para este propósito se observó que existe una oportunidad de mejora modificando o rediseñando la estructura tridimensional llamada sistema UNISTRUT.

Esta tesis está estructurada de la siguiente forma:

En el capítulo 2, se habla acerca de la participación y desarrollo en la competencia en el Decatlón Solar. Donde se destacan algunas de las categorías a evaluar del proyecto CASA-UNAM. También se optó por realizar divisiones dependiendo el área, para identificar mejor los elementos de CASA-UNAM, destacando nuestra área de interés, el sistema constructivo. Esto se realizó a partir del seguimiento de los principios de diseño.

En el capítulo 3, se definió el objetivo principal, de manera que también se establecieron los alcances del proyecto, así como la metodología y requerimientos a seguir, a partir de una lista de verificación. A partir de esto, se realizaron algunas especificaciones del sistema.

En el capítulo 4, se detallan los pasos a seguir para el rediseño del sistema constructivo, recolectando información de varios sistemas, así como de patentes. Para llevar a cabo un estudio comparativo, donde se examinaron para llegar a los mejores sistemas.

El diseño de detalle, que se encuentra en el capítulo 5, considera un análisis estructural, partiendo de la definición de las piezas, geometría y materiales, propuestos como una solución alternativa, cumpliendo los objetivos. Al finalizar todos estos componentes estarán plasmados en un plano, con su respectiva definición y función a desempeñar.

2 Antecedentes

2.1 Proyecto CASA-UNAM

El Decatlón Solar es una competencia donde participan universidades de diferentes países. En su primera fase se diseñan y construyen casas autosustentables, para finalmente en la segunda y última fase, armarlas y presentarlas en una *Villa Solar* donde las diferentes universidades se reúnen y compiten con los mejores diseños (Solar CSTB, 2014).

Una característica de esta competencia es la fuente de energía, todos los componentes de la casa deben ser accionados por energías renovables. Además, se deben implementar sistemas de ahorro de energía, para el máximo aprovechamiento, así como los sistemas de recolección, reúso del agua, sustentabilidad económica y funcionalidad del sistema constructivo.

La idea de juntar en un solo lugar a los más innovadores hogares autosustentables hasta el momento, inició en Estados Unidos en 2002 (U.S. Department of Energy, 2002). Luego se desarrollaron diferentes competencias a lo largo del mundo, como lo fue la competencia de Versalles 2014 (Solar CSTB, 2014), en la que participó el proyecto CASA-UNAM (Figura 2-1).

La competencia de Versalles 2014 se dividió en 10 categorías, algunas de las más significativas son (Solar CSTB, 2014):

- *Ingeniería y construcción*
- *Funcionamiento de la casa*
- *Arquitectura*
- *Diseño urbano transportación y asequibilidad*
- *Sustentabilidad*

Para llevar a cabo la presentación de las casas, se le otorgó a cada equipo un espacio dentro de la *Villa Solar*. Según las reglas del decatlón (Solar CSTB, 2014) se les dio un plazo de 10 días para armar completamente la casa, y finalmente se mostró la estructura y los sistemas en los siguientes días de la competencia.

Durante la competencia, los habitáculos de la casa eran monitorizados constantemente con diferentes sensores con el fin de obtener datos de consumo e información acerca de las condiciones de confort (temperatura, humedad, voltaje, entre otros).

Para obtener puntos en cada categoría era necesario mantener ciertas condiciones durante el mayor tiempo posible. Estas condiciones están especificadas en las reglas de la competencia (Solar CSTB, 2014).

Las condiciones más representativas son el consumo de energía y máximo aprovechamiento de los recursos disponibles.

Para categorías como *ingeniería y construcción*, jueces especializados en el tema recorrían la casa y daban una calificación de acuerdo a su criterio, dependiendo de las aplicaciones de sistemas. Además de los jueces, se mostraba la casa al público y se daban detalles de su diseño y el funcionamiento de sus sistemas.

Al final de la competencia se obtuvieron excelentes resultados en las categorías de *Ingeniería y construcción, Diseño urbano, transporte y asequibilidad, y Sustentabilidad*, obteniendo primero, segundo y tercer lugar respectivamente (Proyecto CASA equipo UNAM_México, 2014).

En 2012, el proyecto CASA-UNAM se empezó a desarrollar por iniciativa de Santiago Mota. Su objetivo era competir en la próxima cede del decaatlón, en Versalles 2014. Por esta razón, se formó un grupo de alumnos y se inició el diseño basado en los requerimientos de la competencia y las condiciones de vivienda de la Ciudad de México, más específicamente en una zona de alta densidad poblacional y de economía baja, enfocado en la de la delegación Iztapalapa.

En otras palabras, una de las principales aplicaciones y objetivos del proyecto CASA-UNAM, es ayudar a comunidades o viviendas donde sea complicado y costoso construir una casa convencional. Por esta razón, algunas de las características del proyecto son ser adaptable a cualquier superficie, ligero, flexible y de un precio accesible para personas de bajos recursos.

Para identificar mejor los elementos de CASA-UNAM se dividió de la siguiente forma:

- *Sistema eléctrico y electrónico*
- *Sistema hidráulico*
- *Elementos no estructurales*
- *Sistema constructivo*

El sistema eléctrico está conformado por el tablero de distribución, el alumbrado, los contactos y los paneles solares, estos últimos, proporcionan toda la energía eléctrica a la casa, uno de los objetivos del proyecto CASA-UNAM.

Por otra parte, el sistema electrónico está constituido por los sensores de temperatura, de luminosidad, consumo de energía y humedad. Estos elementos mantienen un control de las condiciones de CASA-UNAM. Además, proveen de información útil acerca del aprovechamiento de energía.

El sistema hidráulico está conformado por una serie de tuberías diseñado para aprovechar toda el agua disponible, por esta razón se incluye un tratamiento de agua por filtración, para su reúso.

Las tuberías del agua potable, están conectadas directamente con las tomas de distribución. Las tuberías de aguas grises están conectadas a la salida del lavabo, la ducha, el fregadero, la lavadora, la secadora y a los ductos de recolección de agua de lluvia para su tratamiento y reusó en la descarga del baño. Finalmente, las tuberías de aguas negras van al desagüe.

Los elementos no estructurales están conformados por los muros prefabricados, cancelería, pisos y techos, por mencionar algunos.



Figura 2-1. CASA-UNAM

2.2 Sistema constructivo

El sistema constructivo es un conjunto de elementos los cuales soportan el peso de la casa, que incluye todos los sistemas antes mencionados, por otro lado, da el aspecto.

De lo anterior podemos decir, el sistema constructivo de CASA-UNAM (Figura 2-2), es uno de los de mayor importancia, es el armazón. Permite transmitir las fuerzas de las cargas aplicadas a los apoyos, y de esta manera podemos asegurar la distribución adecuada del peso. Además, el sistema debe ser flexible para adecuarse a diferentes superficies y ser capaz de adaptarse a diferentes formas de instalación.

Finalmente, es importante destacar la tolerancia que debe poseer hacia los diferentes tipos de clima de México.



Figura 2-2. Sistema Constructivo de CASA-UNAM

El sistema constructivo (Figura 2-3) comprende lo siguiente:

- Pedestales ajustables o buzones
- Estructura Tridimensional
- Columnas
- Conectores de Columnas

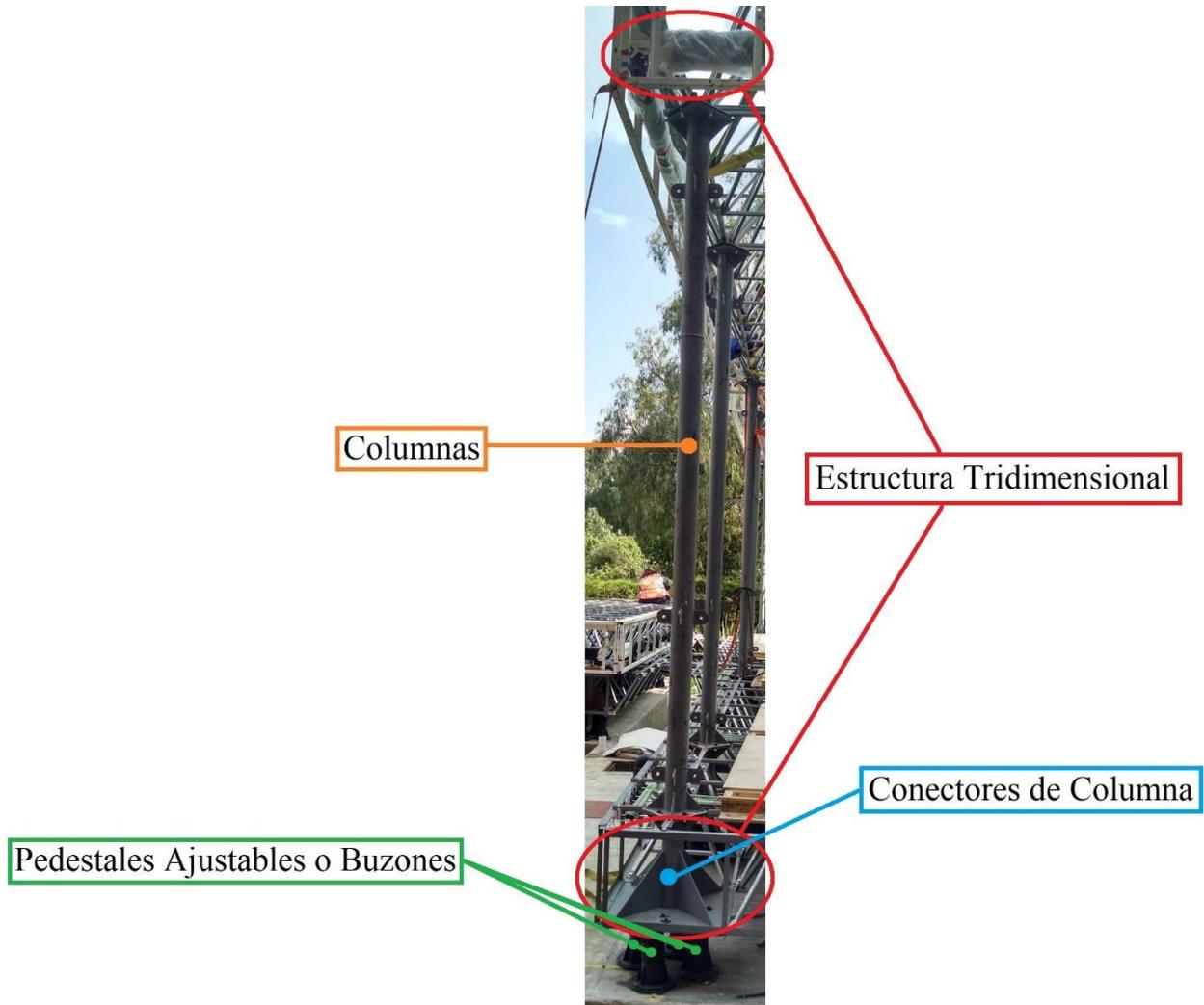


Figura 2-3. Elementos del sistema constructivo

Los *Pedestales Ajustables o Buzones* (Figura 2-4) son pilares cortos de plástico los cuales son graduables, es decir, para diferentes condiciones del suelo es posible cambiar la altura y el ángulo de inclinación de la cabeza. De esta manera, se obtiene un nivel uniforme para la casa en un tiempo reducido de instalación.

Los buzones son colocados principalmente en los conectores de columna, pero también distribuidos a través de la estructura tridimensional, con esto, se obtiene una distribución de cargas a lo largo de toda la superficie sobre la que se levanta la casa.

El material de los buzones está diseñado para resistir una carga máxima de 1000 kg, además de tener una resistencia a diferentes químicos, como los de la lluvia ácida, y resistencia a los rayos ultravioleta para soportar la intemperie. La cantidad de buzones usada para construir CASA UNAM es de 65 elementos.



Figura 2-4. Pedestal ajustable o buzón

La *Estructura Tridimensional*, es el sistema marco espacial *UNISTRUT* (Figura 2-5), está constituido por perfiles de acero laminado de dos diferentes tamaños, llamados cuerdas y diagonales (Figura 2-6), y una serie de nodos para la unión de estos elementos mediante tornillos (Figura 2-7). Son necesarias 2665 cuerdas y 2669 diagonales para armar la estructura tridimensional.

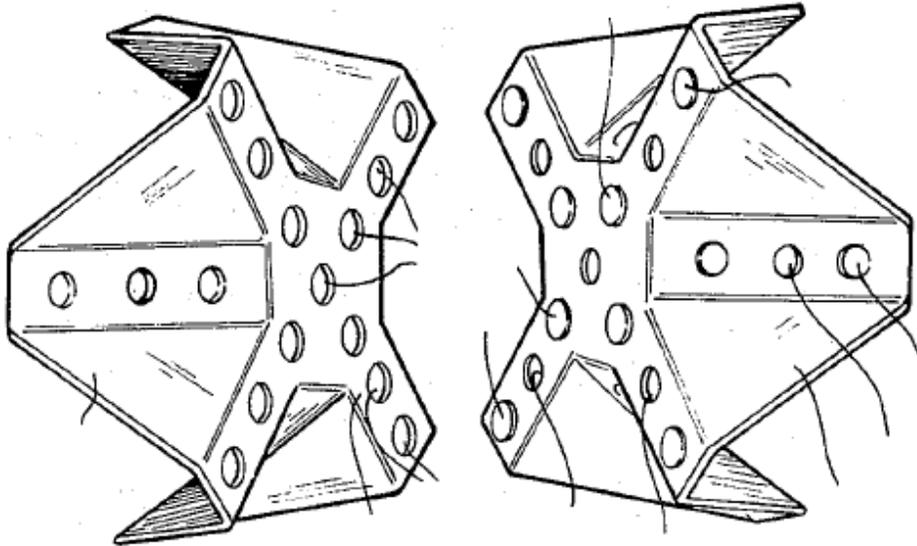


Figura 2-5. Ejemplo de nodos del Sistema UNISTRUT. (Estados Unidos Patente n° 3861107, 1975)

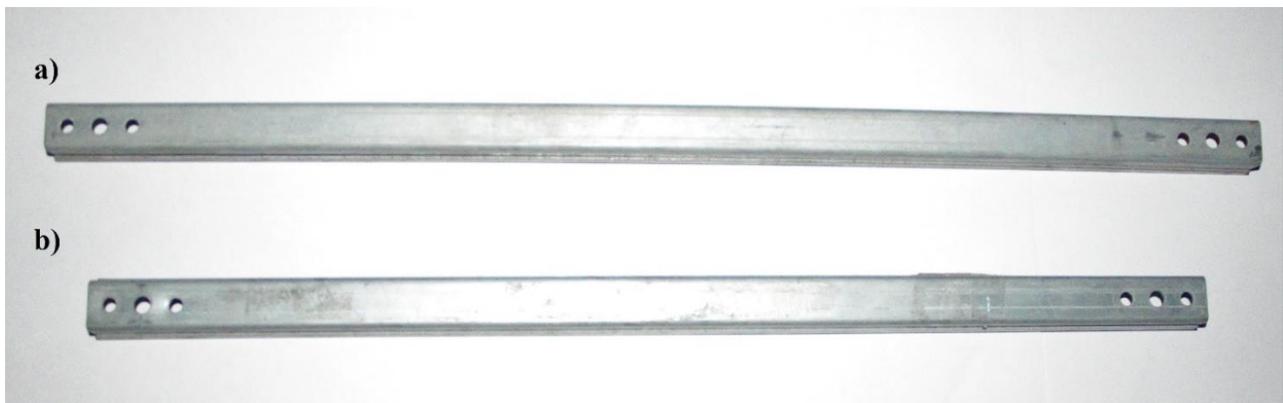


Figura 2-6. a) diagonal y b) cuerda del Sistema UNISTRUT

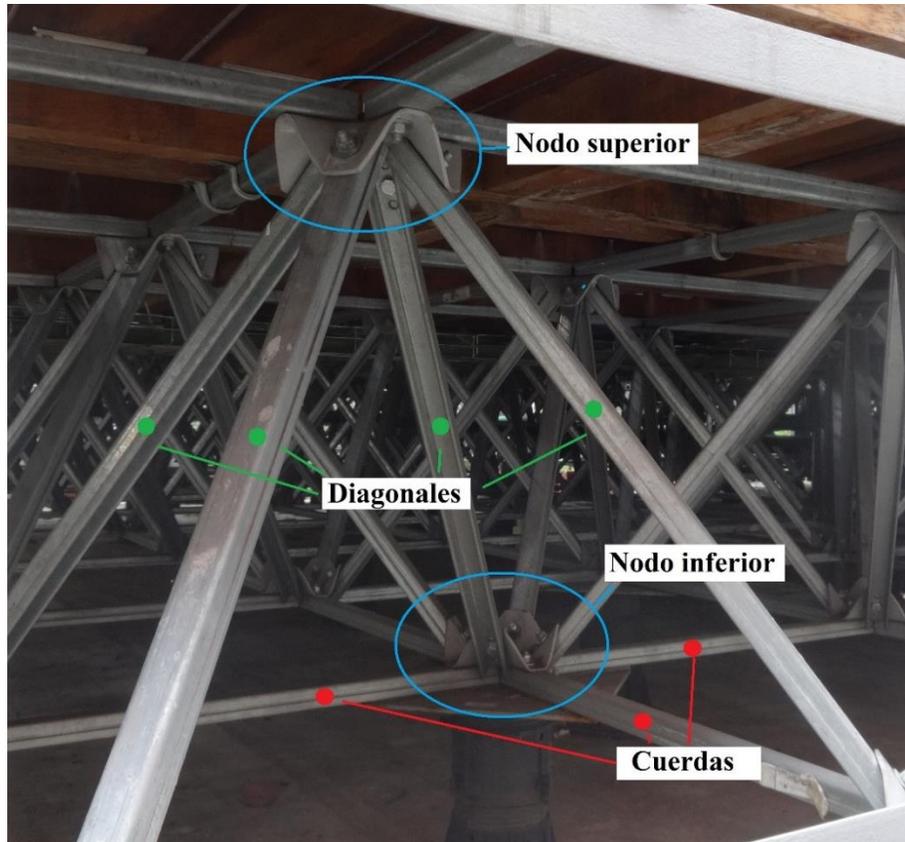


Figura 2-7. Elementos del Sistema UNISTRUT ensamblado formando estructura tridimensional

Los nodos tienen diferentes dobleces en ángulos determinados (Figura 2-8), con el propósito de acomodar las diagonales de tal manera que aporten una altura o nivel. A su vez, las diagonales o cuerdas se unen con otros nodos para formar la estructura tridimensional.

Cada nodo tiene unos topes los cuales ayudan a mantener la posición tanto de las diagonales como de las cuerdas.



Figura 2-8. Nodo del sistema UNISTRUT.

Para CASA-UNAM son necesarias dos estructuras tridimensionales, las cuales se describen a continuación.

En la estructura superior se colocan los paneles solares, las cubiertas textiles, las cuales ayudan a mantener un ambiente de confort dentro de la casa y los recolectores de lluvia.

La estructura tridimensional inferior es el soporte principal del suelo y los módulos de toda la casa, distribuye las cargas de tal manera que permite a las fuerzas fluir hacia los pedestales inferiores o buzones.

Las tuercas son el mecanismo de unión entre las cuerdas, las diagonales y los nodos. Para CASA UNAM son necesarios 10776 tornillos, además se necesitan sus respectivas rondanas y tuercas.

Las *columnas* (Figura 2-9) son los elementos que soportan la estructura tridimensional superior. Además, las columnas llevan unos tensores los cuales funcionan como contraventeos. Las columnas fueron construidas a partir de un perfil OC (perfil tubular circular), acoplándole unas placas en cada extremo para unirse con la estructura tridimensional superior y los conectores columna (Portillo, 2015).



Figura 2-9. Elemento columna

Los *conectores de columnas* (Figura 2-10) están diseñados para unir la columna con la estructura tridimensional inferior y así canalizar el flujo de fuerzas hacia el suelo. Los conectores de columna están igualmente contruidos a partir del perfil OC (Portillo, 2015).



Figura 2-10. Elemento Conector de Columna

2.3 Principios de diseño

Según el libro *Engineering Design* (Pahl *et al.*, 2007), los principios de diseño son herramientas que ayudan a garantizar la estabilidad, la eficiencia, reducir las pérdidas, e incluso se pueden reducir efectos colaterales al diseñar. Estos principios se presentan a continuación.

2.3.1 Principio de transmisión de fuerzas.

Generalmente en el diseño en ingeniería mecánica existen problemas relacionados con fuerzas o momentos. Estos, son transmitidos por un cierto material de una manera análoga a las líneas de flujo en mecánica de fluidos. De esta manera podemos analizar la concentración de esfuerzos los cuales se pueden formar en algún punto determinado y provocar posibles deformaciones plásticas.

Otro punto a considerar es la forma de transmitir la fuerza. Si quisiéramos tener una mínima deformación ante una fuerza o un momento, lo mejor sería transmitirla de la manera más corta y directa. Por ejemplo, la transmisión de fuerzas a través de una viga es mucho más directa y origina menos deformación en comparación con un resorte, el cual, con la misma fuerza transmite de otra forma la fuerza.

2.3.2 Principio de división de tareas.

El principio de división de tareas nos ayuda a llenar los requerimientos, de esta manera podemos establecer cuales funciones pueden ser unidas en una sola o cual función debe ser separada en varias funciones.

Esto se ejemplifica cuando diseñamos alguna máquina con muchos engranes. Cada engrane ayuda a transmitir varios momentos en un motor muy compacto, pero debemos asegurar que la dificultad del mantenimiento para este motor sea sencilla, esto es, si todos los engranes están tan juntos o un engrane realiza varias funciones a la vez, dificulta la remoción de este si se llega a dañar y costaría más trabajo y tiempo el darle mantenimiento a esta máquina.

2.3.3 Principio de autoayuda.

El principio de autoayuda establece la necesidad de diseñar de tal manera que el mismo movimiento o las fuerzas aplicadas no dañen de ninguna manera el propio diseño, por ejemplo, las escotillas de los submarinos se diseñan pensando en las altas presiones de las profundidades del mar. Por esta razón la escotilla se abre hacia afuera, de esta manera la misma presión del mar ayuda a sellar la escotilla, mientras más grande la presión del exterior más se sella la escotilla y menos esfuerzo realiza. Caso contrario, si la escotilla abriera hacia adentro, las altas presiones del

submarino empezarían a empujar a la escotilla, mientras más presión menos sellaría la escotilla, además de la fuerza necesaria para mantenerla en su lugar.

2.3.4 Principio de estabilidad y biestabilidad.

El principio de estabilidad y biestabilidad se refiere a los estados en los cuales se puede encontrar nuestro diseño. Se busca que el diseño tienda a un estado de estabilidad sin llegar a aplicarle algún trabajo extra, como en el caso de una canica y un tazón, al momento de soltar una canica en cualquier punto dentro del tazón, está siempre encontrara su punto de estabilidad en el centro del tazón sin la necesidad de llevar a la canica a ese estado

2.3.5 Principio de diseño sin fallos.

El principio de diseño sin fallos se puede resumir en lo siguiente:

- Diseñar una estructura simple con componentes que tengan tolerancias pequeñas.
- Adoptar específicas medidas de diseño para minimizar las fallas.
- Seleccionar principios de trabajo y estructuras de trabajo en los cuales las funciones son independientes de cualquier efecto de perturbación.
- Asegurar que cualquier factor potencial de perturbación influya en los parámetros que se compensen al mismo tiempo.

Los principios presentados en este capítulo, serán usados para realizar una propuesta de sistema estructural para el proyecto CASA-UNAM.

3 Definición del problema

En este capítulo se dan las bases para proponer una mejora al sistema constructivo de CASA-UNAM. Siguiendo los principios de diseño presentados en el capítulo 2, se identificó las posibles oportunidades de mejora, se evaluó cada una de estas oportunidades con una serie de comparaciones. Finalmente, se seleccionó la más factible y de esta manera, de acuerdo al objetivo, se desarrolló.

3.1 Objetivo

El objetivo propuesto en esta tesis fue el primer paso para fijar los límites e identificar las posibles oportunidades de mejora. Existen diferentes caminos para lograr estas mejoras, en este caso el objetivo se delimita al sistema constructivo.

Proponer un sistema constructivo más eficiente, el cual sustituya al sistema actual del proyecto CASA-UNAM mediante la disminución del número de elementos por nodo, originando un mejor procedimiento de armado y reduciendo su tiempo.

3.2 Alcances

En esta tesis se propone modificar el sistema constructivo siguiendo la metodología propuesta en los libros *Innovación de Producto* (Borja & Ramírez, 2006) y *Engineering Design* (Pahl *et al.*, 2007), por esta razón se formularon los siguientes alcances

- Formar una lista de requerimientos de acuerdo con las necesidades identificadas en el proyecto CASA-UNAM
- Recabar información acerca de diferentes sistemas constructivos
- Realizar una comparación entre los diferentes sistemas encontrados con base en las especificaciones para reducir el número de soluciones posibles
- Desarrollar una solución a partir de las características encontradas en el estudio comparativo
- Diseñar un modelo a computadora para efectuar en él un análisis estructural y pruebas
- Elaborar un estudio de los posibles costos para la fabricación de la solución propuesta

3.3 Metodología

La metodología utilizada para el rediseño del sistema constructivo considera los objetivos principales del proyecto CASA-UNAM por esta razón se toma en cuenta, por mencionar algunas características, un ensamble fácil, bajos costos y adaptabilidad.

Primero se identificaron cuáles eran las oportunidades para mejorar la estructura. Se realizó una lista de las características de la estructura actual y se examinaron las razones por las cuales se eligió ese tipo de estructura. Se tomó en cuenta el reglamento del Decatlón Solar y el propósito secundario del proyecto.

Después se organizó la información recopilada en dos diferentes categorías, las características que satisfacen a los objetivos de la solución y las propiedades que debe tener. Con esta información se continuo con una lista de requerimiento, además se utilizó una lista de chequeo para obtener requerimientos adicionales relacionados con el sistema constructivo (Pahl *et al.*, 2007).

Posteriormente se le dio un valor a cada requerimiento considerando si es una demanda o hay una posibilidad de prescindir de éste. De esta manera se identificó cuáles de los requerimientos son metas finales del proyecto.

Para el siguiente paso se generó una especificación por cada requerimiento. De esta manera se obtuvieron rangos de valores necesarios para cumplir con la mejora del sistema constructivo, y en pasos posteriores comparar estos valores con valores de las soluciones encontradas, y así decidir si alguna solución es apta para continuar con el proceso de selección.

Una vez terminado de definir los rangos de valores para las especificaciones se comenzó con la búsqueda de información de diferentes sistemas constructivos. Se recopiló todos los sistemas constructivos posibles y con una primera fase de selección se determinó cuales no eran aptos para continuar.

Después con diferentes métodos de selección, como lo son fichas de información y gráficas, se fueron eliminando todos aquellos conjuntos que no eran compatibles con el proyecto. Por otro lado, se fueron eligiendo las mejores características de cada conjunto los cuales se acoplaban mejor al proyecto.

A partir de la información de los diferentes sistemas encontrados se comenzó el bosquejo de un nuevo sistema como primer intento. Luego se fueron agregando características de diferentes conjuntos y una vez obtenido un conjunto satisfactorio se comenzó el análisis de alguno de ellos para determinar si el sistema se ajustaba a las necesidades descritas en las especificaciones.

Por último, se realizó un análisis a computadora para terminar con una descripción de detalle para la solución final y una descripción de su proceso de manufactura.

3.4 Requerimientos

Se comenzó la lista de requerimientos (Tabla 3-1) identificando las necesidades del sistema constructivo de CASA-UNAM. Para ello se tomó en cuenta el reglamento del Decatlón Solar (2014) además de contribuir a la solución del problema de vivienda de la CDMX. La lista incluye las características que deben ser mejoradas, conservadas o son deseables en el proyecto.

Se ordenó los requerimientos en categorías para su mejor manejo e identificación. Además, se les dio una importancia para tener en cuenta cuales características son esenciales para que los objetivos del proyecto se cumplan.

Tabla 3-1. Requerimientos

| No. | Enunciado del Cliente | Requerimiento | Importancia |
|----------|---|--|-------------|
| 1 | Decatlón | | |
| 1.1 | De acuerdo al Decatlón Solar Europa 2014, se tiene un límite para el tiempo de armado de la casa. | El tiempo de armado del sistema constructivo es corto. | 1 |
| 2 | Entorno y Terrenos | | |
| 2.1 | Debe tener protección contra el medio ambiente. | El sistema constructivo tiene protección contra corrosión, cambios de temperatura, humedad, y contaminantes. | 1 |
| 2.2 | Debe adaptarse a las diferentes superficies de la ciudad de México (terrenos, techos). | El sistema constructivo se adapta a diferentes superficies. | 1 |
| 3 | Operación y Armado | | |
| 3.1 | La estructura debe ser capaz de soportar una casa con todos sus elementos. | El sistema constructivo cumple con la norma para suelo. | 1 |
| 3.2 | Se debe ensamblar cada una de las piezas de la estructura sin la necesidad de mano de obra especializada, ni herramientas sofisticadas. | El ensamble de la estructura se realiza con herramental simple. | 2 |
| 3.3 | Cada parte de la estructura debe de tener las dimensiones y el peso necesario para ser fácilmente transportada. | El transporte del sistema constructivo se realiza de manera sencilla. | 2 |

| | | | |
|------|---|--|---|
| 3.4 | Está pensado para un uso prolongado. | El sistema constructivo tiene un periodo prolongado de vida útil. | 1 |
| 3.5 | El proceso de armado debe ser sencillo. | El ensamble de la estructura se realiza en pocos pasos. | 2 |
| 3.6 | Debe ser necesario un número mínimo de personas para poder armar la estructura. | El ensamble de la estructura se realiza con poco personal. | 2 |
| 3.7 | Debe tener las medidas adecuadas para su fácil manipulación. | La manipulación de cada pieza lo puede realizar una persona. | 1 |
| 3.8 | Cada elemento tiene que ser reconocido fácilmente. | Cada elemento permite ser reconocido fácilmente. | 2 |
| 3.9 | El aprendizaje de armado debe tomar el mínimo tiempo. | El proceso de armado es fácil de aprender. | 2 |
| 3.10 | En caso de desgaste debe ser fácil reemplazar cada elemento. | El sistema constructivo ya armado permite un reemplazo sencillo de algún elemento en caso de estar dañado. | 2 |

4 Costos y Producción

| | | | |
|-----|---|---|---|
| 4.1 | Los costos deben ser accesibles para personas de clase media baja. | El costo del sistema constructivo completo permite ser comprado por personas de clase media baja. | 1 |
| 4.2 | Cada elemento debe de fabricarse de forma fácil. | Cada elemento del sistema constructivo es de fácil fabricación. | 1 |
| 4.3 | Materiales más adecuados. | Cada elemento del sistema constructivo está diseñado con el material más apto. | 2 |
| 4.4 | La estructura completa debe de tener un número de elementos menor que la estructura original. | El sistema estructura tiene menos elementos que la estructura original. | 1 |

5 Compatibilidad

| | | | |
|-----|--|--|---|
| 5.1 | La estructura debe ser compatible con otros sistemas de armado, como pisos, paredes. | El sistema constructivo permite la adaptación a diferentes sistemas como pisos, paredes. | 1 |
|-----|--|--|---|

Nota: La escala de importancia es de 1 a 2

Para definir el producto se realizó una ficha (Tabla 3-2) en ella se destacan características principales del producto y además se define lo que debe hacer el producto final para tener claro el objetivo.

Tabla 3-2. Ficha de descripción del producto

| | |
|--|---|
| Descripción del producto | Sistema constructivo de fácil armado, para establecer el soporte estructural de una casa en poco tiempo. |
| Objetivos principales del negocio | Mejorar el sistema constructivo actual de CASA-UNAM mediante la disminución del tiempo, complejidad de armado y el número de elementos actuales. |
| Mercado primario | Personas de clase media baja. |
| Mercado secundario | Cualquier persona que quiera tener una construcción sencilla en su casa. |
| Características básicas del producto | El sistema constructivo se adapta a diferentes superficies, ya sea sobre un techo en alguna casa o sobre algún terreno de la ciudad de México El sistema constructivo permite la compatibilidad con otros sistemas El sistema constructivo cumple con el peso que debe soportar un suelo en cualquier construcción. |
| Principales competidores en mercados primarios y secundarios | Sistemas constructivos de bajo costo y adecuada resistencia. |
| Riesgos del proyecto | Presupuesto reducido para el diseño. |
| Alcance del proyecto | Rediseño, pruebas con modelos a escala, documentación de operación y mantenimiento. |

3.5 Especificaciones

Las especificaciones del sistema constructivo se realizaron con base en los requerimientos. Se les da un valor para compararlas con características de otros sistemas, y de esta forma establecer si se están cumpliendo todos los objetivos (Borja & Ramírez, 2006).

Algunos de estos valores se recuperaron de la tesis DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PROYECTO “CASA UNAM” (Portillo, 2015)

Tabla 3-3. Especificaciones del sistema

| No. | Especificaciones | Valor Nominal | Tolerancia | Unidad | Posibles valores |
|-----|-------------------------------------|---------------|------------|------------|------------------|
| 1 | Tiempo de armado por nodo | 8 | ± 2 | Minutos | 10 |
| 2 | Protección contra el medio ambiente | Si | NA | Protección | Si No |
| 3 | Rango para nivelación vertical | Si | NA | Adaptación | Si No |
| 4 | Capacidad de carga | 1.7 | ± 0.5 | kN | 2.2* |
| 5 | Uso de herramental especial | No | NA | NA | Si No |
| 6 | Peso por nodo | 6 | ± 0.5 | Kg | 6.5 |
| 7 | Vida útil | 80 | ± 10 | Años | 70* |
| 8 | Pasos para ensamblar un nodo | 9 | ± 3 | Pasos | 12 |

| | | | | | |
|----|--|-------|------------|---------------------------------|----------|
| 9 | Personal necesario | 2 | ± 1 | Personas | 1 |
| 10 | Dimensiones máximas de cada elemento | 56x56 | ± 5 | cm | 61x61* |
| 11 | Fácil reconocimiento de cada elemento | Si | NA | Reconocimiento de cada elemento | Sí No |
| 12 | Tiempo de capacitación | 30 | ± 10 | min | 40 |
| 13 | Fácil mantenimiento | Si | NA | Reemplazo sencillo | Si No |
| 14 | Costo | 0.5 | ± 0.5 | NA | 1 |
| 15 | Fácil fabricación | Si | NA | Fácil fabricación | Si No |
| 16 | Materiales apropiados para el proyecto | Si | NA | NA | Si No |
| 17 | Número de elementos aproximados por estructura | 5000 | ± 1000 | Elementos | 4000 |
| 18 | Compatibilidad con otros sistemas | Si | NA | Compatibilidad | Si No |

* Recuperado (Portillo, 2015)

Para ejemplificar mejor la relación entre requerimientos y especificaciones se elaboró la Tabla 3-4.

Tabla 3-4. Requerimientos y especificaciones

| | Esp 1 | Esp 2 | Esp 3 | Esp 4 | Esp 5 | Esp 6 | Esp 7 | Esp 8 | Esp 9 | Esp 10 | Esp 11 | Esp 12 | Esp 13 | Esp 14 | Esp 15 | Esp 16 | Esp 17 | Esp 18 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Req 1.1 | x | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Req 2.1 | | x | | | | | | | | | | | | | | x | | |
| Req 2.2 | | | x | | | | | | | | | | | | | | | x |
| Req 3.1 | | x | x | x | | | | | | | | | | | | x | | |
| Req 3.2 | | | | | x | | | | | | | | | | | | | |
| Req 3.3 | | | | | | x | | | | x | | | | | | | | |
| Req 3.4 | | x | | | | | x | | | | | | | | | | | |
| Req 3.5 | x | | | | x | x | | x | x | x | x | x | | | | | | |
| Req 3.6 | | | | | x | x | | | x | x | x | | | | | | | |
| Req 3.7 | | | | | x | x | | | x | x | x | | | | | | | |
| Req 3.8 | | | | | | | | | | | x | x | | | | | | |
| Req 3.9 | x | | | | | | | x | x | | x | x | | | | | | |
| Req 3.10 | | x | x | | | | x | | | | | | x | | | | | |
| Req 4.1 | | | | | x | | | | x | | | x | x | x | x | | x | |
| Req 4.2 | | | | | | | | | | x | | | | x | x | x | | |
| Req 4.3 | | x | | | | | | | | | | | | | | x | | |
| Req 4.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | x | |
| Req 5.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | x |

4 Diseño conceptual

En este capítulo se habla con más detalle de los pasos seguidos para el rediseño del sistema constructivo. De esta manera, se comenzó reuniendo información acerca de diferentes sistemas constructivos, tanto sistemas sin patentes (o comerciales) como sistemas con patentes.

4.1 Sistemas comerciales

Con los datos recopilados y ordenados en especificaciones, se buscó información acerca de diferentes sistemas comerciales. En la mayoría de los casos se encontró estructuras tridimensionales, pero se tomó en cuenta otros sistemas con el fin de no dejar fuera oportunidades de desarrollo, fueron encontrados 16 tipos de sistemas.

Después de recabar información, se realizó una primera fase de eliminación rápida. En esta primera fase se tomó en consideración cuales sistemas se acoplaban mejor al proyecto. Por ejemplo, se tomó en cuenta el número de piezas del sistema o la cantidad de carga que pueden soportar, fueron rechazados 4 tipos de sistema.

En los sistemas tridimensionales restantes se notó que la principal diferencia entre diseños es el tipo de nodo, algunos nodos necesitan una cantidad menor de tornillos por lo tanto ayudan a disminuir el número de elementos. Además, algunos implementan un sistema de ensamble diferente al de tornillo y tuerca.

En el siguiente ejemplo se muestra el proceso de comparación que se hizo para sacar características importantes.

En la Figura 4-1 y Figura 4-2 observamos el sistema Nodus, el cual para unir las cuatro cuerdas solo es necesario un solo tornillo, de esta manera no necesitamos los tres tornillos adicionales del sistema UNISTRUT, por lo tanto, a pesar de ser necesarias otras piezas complementarias continúan siendo una cantidad similar al número de elementos por nodo del sistema UNISTRUT el cual necesita 33 piezas por nodo, mientras que el sistema Nodus necesita 34 piezas por nodo.

Asimismo, el nodo fue diseñado en dos partes, de esta manera las cuerdas se colocan por medio de la base y la tapa, el tornillo sirve para asegurar las dos partes reduciendo tiempo y esfuerzo en el ensamble.

Otra observación la cual podemos obtener es que, debido a la forma de la cuerda y los nodos, algo parecido a una cuerda de un tornillo, se puede acoplar en un encastre, y al apretar el tornillo no es posible llegar a sacarlos. Para unir las diagonales es necesario tener un tornillo por cada una.

4.2 Patentes

Se buscaron patentes para complementar la información de otros sistemas de nodos y estructuras, se encontraron 17 patentes y después de la primera fase, ya antes mencionada, tomando en consideración las que se acoplaban mejor al proyecto se conservaron 5 para las siguientes etapas de selección.

En la Figura 4-3 se ilustra una de las patentes como muestra de las 5 seleccionadas, en esta patente se pudo observar como un nodo está compuesto por varias partes, las cuerdas y diagonales son colocadas dentro de un anillo. Este diseño tiene un tornillo para sostener las cuerdas y las diagonales. Las cuerdas y diagonales tienen dientes para mantener la posición una vez colocado el tornillo.

Una desventaja de este tipo de nodo es la cantidad de piezas que se ocupan para armarlo. Las piezas pequeñas y el esfuerzo para mantener cada una de las piezas dificulta en gran medida el armado, a diferencia del sistema UNISTRUT el cual usa varios tornillos, pero con una menor cantidad de piezas y un menor esfuerzo. En este caso el número de elementos por nodo es de 48 piezas.

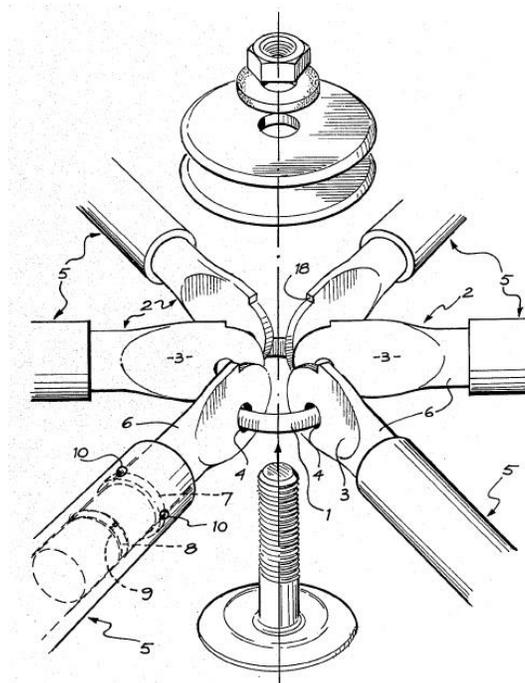


Figura 4-3. Patente US4296585 (Australia Patente n° 4296585, 1981)

4.3 Estudio comparativo

Para realizar un mejor análisis de las características, se realizó un estudio comparativo, el cual utiliza información de cada uno de los sistemas que pasaron la primera etapa de selección.

Se comenzó realizando un formato de ficha de información (Figura 4-4), solo nos enfocamos en los datos de interés. Entre las características más relevantes están los siguientes:

- Tiempo de armado por nodo
- Costo por nodo
- Número de elementos por nodo
- Peso por nodo
- Pasos para ensamblar

Después de introducir toda la información reunida de los 17 sistemas constructivos dentro de las fichas y realizar una inspección de las diferentes características, se desecharon todos aquellos sistemas constructivos que no cumplieran con los principales criterios descritos en las especificaciones del sistema, al finalizar este proceso se obtuvieron 13 fichas.

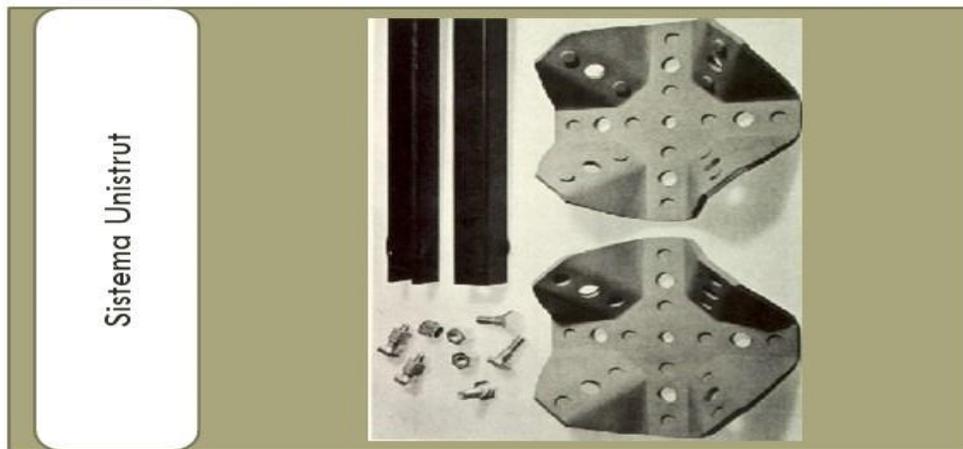
En el siguiente paso se realizaron diferentes gráficas comparando la información de las fichas. Se tomo como referencia el sistema UNISTRUT para hacer las comparaciones pertinentes, las características tenían que ser igual o mejor que el sistema UNISTRUT

En el área señalada con un cuadro rojo de la Figura 4-5 se aprecian los sistemas que tienen un tiempo de armado igual o mejor que el sistema UNISTRUT y además un costo por nodo igual o mejor. Por otro lado, en la gráfica de la Figura 4-6 se comparó la capacidad de carga contra el peso por nodo.

Una vez teniendo todas las gráficas, se realizó una tabla (Tabla 4-1) basada en un sistema de puntos, por ejemplo, en la gráfica de la Figura 4-5 los sistemas que están dentro del recuadro rojo son

- Sistema UNISTRUT
- Sistema Molecule
- Sistema Unibat
- Sistema Triodetic
- Patente US4974986
- Patente US4296585

Por esta razón obtenían un punto para esta gráfica, se realizaron otras 47 gráficas similares. Al final, se compararon los puntos obtenidos por los sistemas de cada gráfica y se redujo la lista de 13 a 5, siendo esos 5 sistemas los que obtuvieron más puntos.



Sistema Unistrut

Especificaciones

*Escala: 1-muy fácil, 2-fácil, 3-medio, 4-difícil, 5-muy difícil
 MB- Muy bueno B-Bueno, P-Regular, M-Malo, MM-Muy Malo

| Decatón | |
|-------------------------------------|------------|
| Tiempo de armado por nodo | 12 min |
| Entorno y Terreno | |
| Resistencia al medio ambiente | R |
| Adaptación a diferentes superficies | R |
| Costos y Producción | |
| Costo por nodo | 1 |
| Fabricación | 3* |
| Calidad de los materiales | R |
| Número de elementos por nodo | 33 |
| Compatibilidad | |
| Compatibilidad con otros sistemas | R |
| Operación y Armado | |
| Capacidad de carga | 2.2 kN |
| Herramental | Llave |
| Peso por nodo armado | 6.4 kg |
| Vida útil | +70 años |
| Pasos para ensamblar | 32 |
| Personal necesario por nodo | 2 |
| Dimensiones por nodo | 61 x 61 cm |
| Reconocimiento de elementos | 3* |
| Tiempo de capacitación | 30 min |
| Mantenimiento | 3* |

Referencia

Papayoti V., H. (1975). Estados Unidos Patente n° 3861107.

Figura 4-4. Ficha comparativa del sistema UNISTRUT



Figura 4-5. Gráfica tiempo de armado vs costo por nodo

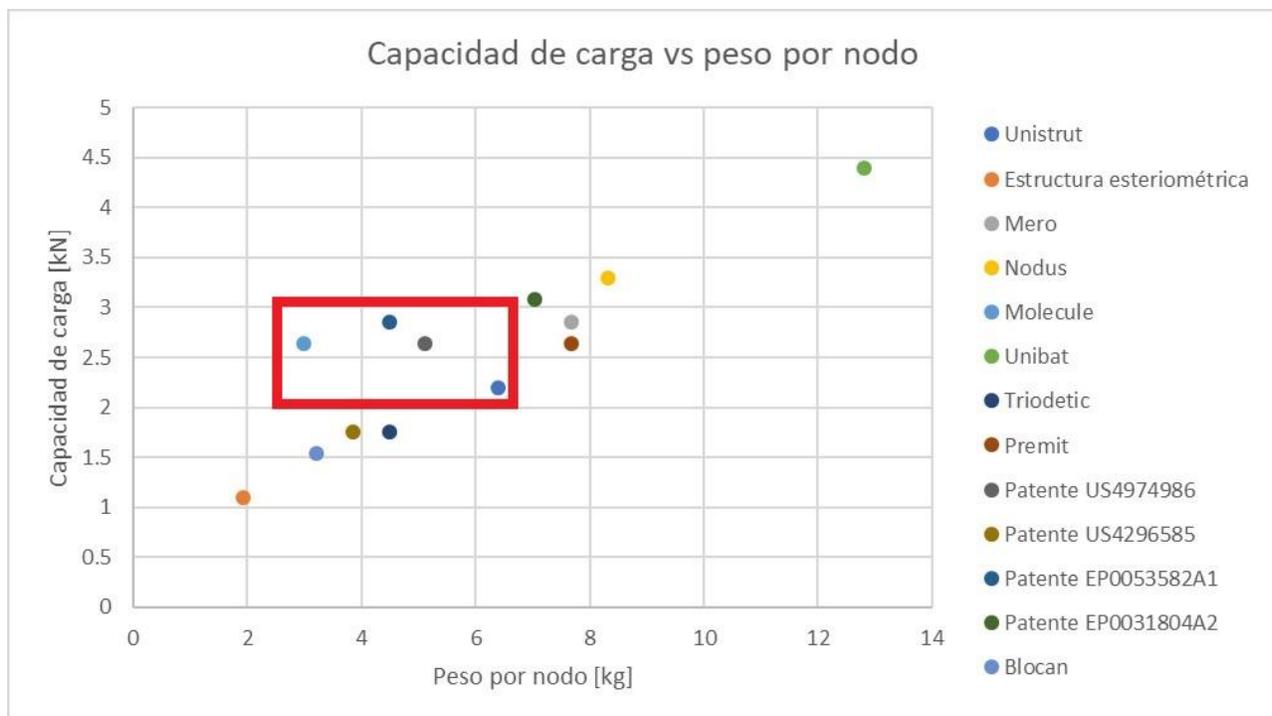


Figura 4-6. Gráfica capacidad de carga vs peso por nodo

Tabla 4-1. Sistema de puntos

| Suma de puntos | 47 | 22 | 15 | 25 | 47 | 21 | 29 | 22 | 47 | 7 | 36 | 27 | 21 |
|----------------|----------|---------------------------|------|-------|----------|--------|-----------|--------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|--------|
| | UNISTRUT | Estructura estereométrica | Mero | Nodus | Molecule | Unibat | Triodetic | Premit | Patente US4974986 | Patente US4296585 | Patente EP0053582A1 | Patente EP0031804A2 | Blocan |
| Gráfica 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 2 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 3 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | | |
| Gráfica 4 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 5 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 6 | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | 1 | | |
| Gráfica 7 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 8 | 1 | | | | 1 | 1 | | | 1 | | | | |
| Gráfica 9 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 10 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 11 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 12 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 13 | 1 | 1 | | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | |
| Gráfica 14 | 1 | 1 | | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 |
| Gráfica 15 | 1 | | | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 |
| Gráfica 16 | 1 | 1 | | | 1 | | 1 | | 1 | 1 | | | 1 |
| Gráfica 17 | 1 | | | | 1 | 1 | | | 1 | | | | 1 |
| Gráfica 18 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 |
| Gráfica 19 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 |
| Gráfica 20 | 1 | | | | 1 | 1 | | | 1 | | 1 | | 1 |
| Gráfica 21 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 |
| Gráfica 22 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 23 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 24 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 25 | 1 | | | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | 1 | 1 |
| Gráfica 26 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 27 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 28 | 1 | | | | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 29 | 1 | | | | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 30 | 1 | 1 | | | 1 | | 1 | | 1 | | | | |
| Gráfica 31 | 1 | | | | 1 | 1 | | | 1 | | | | 1 |
| Gráfica 32 | 1 | 1 | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | 1 |
| Gráfica 33 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | | 1 | | | | 1 |
| Gráfica 34 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | | 1 |
| Gráfica 35 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | | 1 |
| Gráfica 36 | 1 | 1 | | | 1 | | 1 | | 1 | 1 | | | 1 |
| Gráfica 37 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 38 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 39 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 40 | 1 | 1 | | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | |
| Gráfica 41 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| Gráfica 42 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 |
| Gráfica 43 | 1 | | | | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | | 1 |
| Gráfica 44 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 |
| Gráfica 45 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | | 1 | | 1 |
| Gráfica 46 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 |
| Gráfica 47 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 |

4.3.1 Soluciones destacadas, conclusiones del estudio comparativo

Los 5 sistemas destacados en el estudio comparativo son los siguientes

4.3.1.1 Sistema Molecule

El sistema *Molecule* (Figura 4-7) es una estructura tridimensional la cual tiene una gran versatilidad, capaz de ser armada en diferentes formas para diferentes circunstancias, es de muy fácil armado comparado con otros sistemas. El número de elementos es mínimo debido a que se necesitan 14 piezas para armar el nodo, las cuerdas y las diagonales.

Las cuerdas y las diagonales tienen unos anillos en los extremos de cada uno. Cada extremo se asienta en unas ranuras del nodo para permitir su fácil armado (Figura 4-8). Además, para las diagonales las ranuras ya están fabricados con un ángulo de inclinación para su pronta instalación. Para mantener todas las piezas en su lugar es necesario un tornillo con una tuerca.

La principal diferencia entre el sistema UNISTRUT y este sistema es la manera de armado y que el nodo es de más de una pieza. Esto ayuda a reducir el tiempo de armado y distribuir las cargas con un esfuerzo normal a diferencia del sistema UNISTRUT que ocupa esfuerzos cortantes para distribuir las cargas.

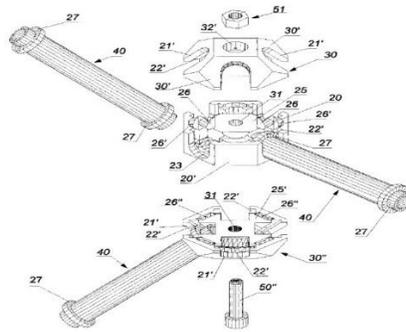


Figura 4-7. Sistema molecule. (Unidet States Patente n° 6378265, 2000)

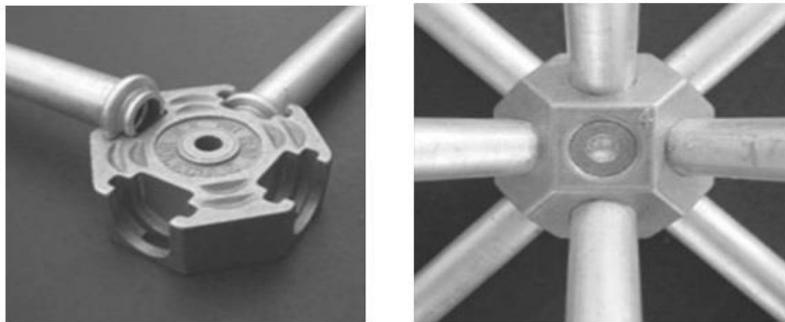


Figura 4-8. Nodo sistema molecule (Unidet States Patente n° 6378265, 2000)

4.3.1.2 Patente US4974986

La patente US4975986 (Figura 4-9) es muy similar al sistema molecule a pesar de la diferencia de forma entre sus nodos la manera de armado es prácticamente la misma.

Este nodo puede ser armado con dos (para cuatro cuerdas o cuatro diagonales), tres (para cuatro cuerdas y cuatro diagonales) y cuatro piezas (para cuatro cuerdas y ocho diagonales). Además, una vez colocadas las cuerdas y diagonales, es necesario solo un tornillo con su tuerca para sostener todo el conjunto, haciendo más sencillo el armado.

El procedimiento de armado es completamente diferente al UNISTRUT, debido principalmente a la forma del nodo. Las cargas son direccionadas de otra manera principalmente con esfuerzos normales.

Este sistema tiene una dificultad, debido a la forma de las diagonales, es complicado mantenerlas en su lugar mientras se aprietan la tuerca y el tornillo.

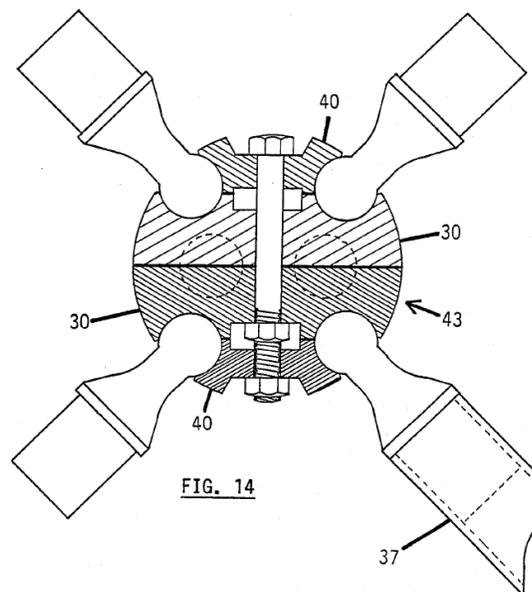


Figura 4-9. Patente US4974986 (Tucson Patente n° 4974986, 1990)

4.3.1.3 Patente EP0053582A1

En el sistema Vestrut (Figura 4-10) podemos observar que es necesario un solo tornillo y dos tapas para armar el nodo, las cuerdas y las diagonales. En este caso emplean unas esferas en los extremos para acomodarse dentro del nodo y mantener la posición deseada.

Debido a la forma de los extremos de las cuerdas y las diagonales solo es necesario tener en cuenta la diferencia de tamaños entre una diagonal y una cuerda. La diagonal es más grande en comparación con una cuerda, de esta manera introducirlas dentro del nodo en cierto orden para finalmente colocar las tapas y el tornillo.

Este sistema, en lugar de distribuir todas las cargas al nodo, las distribuye a las cuerdas y diagonales se sostienen unas a otras. Debido a este tipo de armado es complicado tener pocas cuerdas y diagonales a diferencia de los sistemas anteriores. Además, es complicado mantenerlo en su lugar mientras se aprietan tuercas y tornillos.

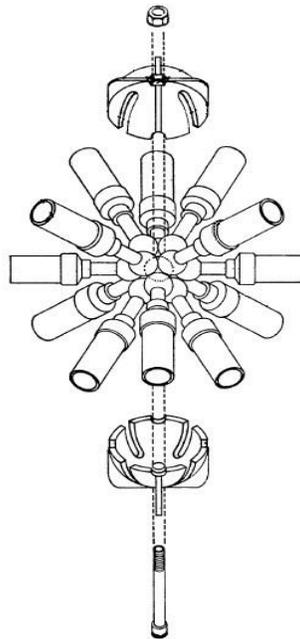


Figura 4-10. Sistema Vestrut. (Nápoles Patente n° EP0053582A1, 1982)

4.3.1.4 Sistema Triodetic

En este otro sistema llamado *Triodetic* (Figura 4-11), los tornillos son sustituidos por una forma de dientes en los dos extremos de las cuerdas y las diagonales, los cuales encajan en una forma similar a un rompecabezas en el nodo, esto permite un ensamble sencillo, reduciendo el tiempo de armado, la dificultad y el número de elementos comparado con el sistema UNISTRUT.

Las diagonales tienen un ángulo de inclinación, por este motivo es más sencillo diferenciar entre cuerdas y diagonales. Para armar el conjunto es necesario colocar las cuerdas y las diagonales en las ranuras, después se colocan dos tapas en el nodo, de esta manera se evita que se salgan de su lugar, por medio de un tornillo se ajustan las dos tapas en el nodo y de esta manera se arma el nodo.

SISTEMA TRIODETIC (1957)

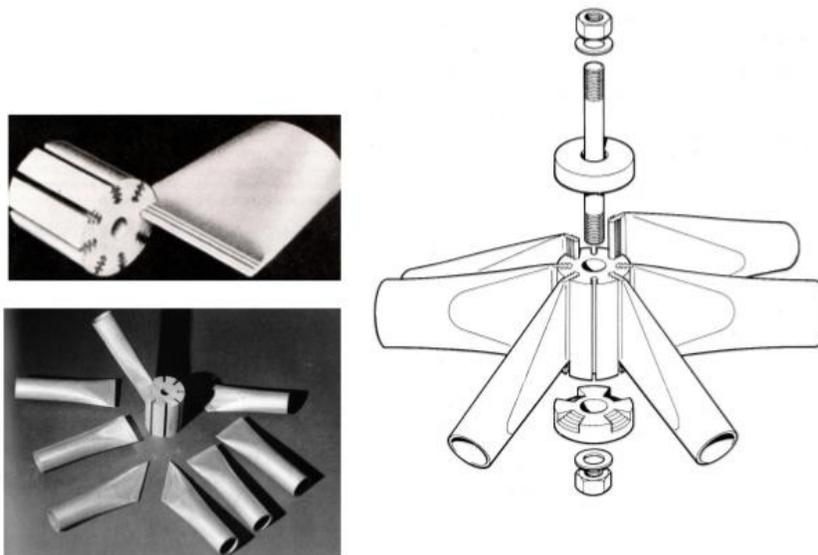


Figura 4-11. Sistema triodetic (González Bravo, 2015)

4.3.1.5 Patente EP0031804A2

En la Figura 4-12 tenemos otra patente, pero es muy diferente a los sistemas anteriores. En este sistema podemos apreciar que no hay un nodo como tal. En vez de tener un nodo tenemos que las cuerdas tienen una forma tal que al unirse forman el nodo. Las diagonales se integran entre la unión de las cuerdas. A pesar de aparentar tener más piezas que el sistema UNISTRUT, de hecho, tiene menos.

Las diagonales están totalmente soportadas por los tornillos por lo tanto las cargas que soportan los tornillos son cortantes.

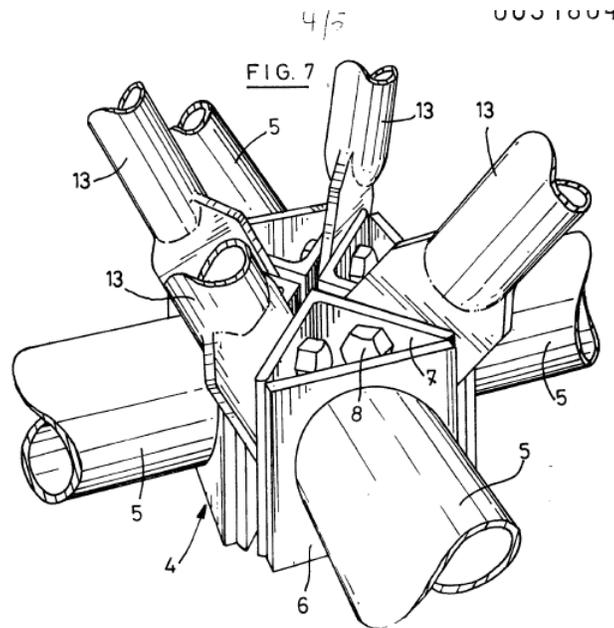


Figura 4-12. Patente EP0031804A2 (Embourg Patente n° 0031804A2, 1980)

4.4 Desarrollo de solución del sistema constructivo

Al término del estudio comparativo se procedió a determinar las principales características de los sistemas estudiados que ayudarían a conformar el nuevo sistema. Para determinar estas características las cuales pueden ser útiles al nuevo sistema se fueron relacionando las especificaciones con alguna característica de los sistemas estudiados, al mismo tiempo se ocuparon los principios de diseño para integrar todo en un nuevo conjunto.

De esta manera el sistema propuesto deberá tener las siguientes características

- El principio de transmisión de fuerzas establece en una de sus propiedades que para tener un mejor desempeño en el flujo de fuerzas los espesores deben ser uniformes, además deben ser lo más corto y directo posible.
- Con el propósito de reducir el número de elementos por nodo, se considera tener un tornillo central para sujetar el conjunto. Además, podría ayudar a mejorar el tiempo mantenimiento de la estructura.
- Deberá haber una clara diferencia entre las cuerdas y las diagonales para evitar equivocarse a la hora del ensamble.
- La distribución de fuerzas deberá ser de tal manera que evite los esfuerzos cortantes lo máximo posible, esto ayudará a soportar mejor las cargas.
- Deberá de ser capaz de adaptarse a diferentes configuraciones. De esta manera podrá ser colocado en el lugar que más convenga.
- El peso máximo total del conjunto deberá ser el antes descrito en las especificaciones, esto es debido a la posibilidad de ser armado en la parte superior de una construcción ya establecida.
- De acuerdo con el principio de autoayuda antes descrito, mientras mayor sea el peso aplicado a la estructura, se deberá mantenerse más unido el conjunto.

El principio de división de tarea nos habla acerca de asignar funciones y subfunciones a los componentes, de esta manera pueden ser intercambiar algunas características e incluso fusionar dos componentes o separar un componente para que realicen la misma función.

Un ejemplo de esto es la forma en la cual los diferentes sistemas estudiados separan en dos o más partes sus nodos, a diferencia del sistema UNISTRUT, en estos casos la función principal es el de tener un punto central donde convergen tanto las cuerdas y las diagonales, de ahí el nombre de nodo, y una de sus subfunciones es la de sostener las cuerdas y las diagonales para evitar el movimiento.

Una posible mejora es separa el nodo en dos o más partes para que, de esta manera, la primera sección sea el lugar donde converja las cuerdas y las diagonales y la segunda sección sea la de sostener todo el conjunto.

Para el principio de estabilidad, solo se tomará en cuenta que al ser armado el nuevo sistema se mantenga en su posición a pesar de las diferentes fuerzas que pueden ser aplicadas.

Otra de las características es el cambio de los extremos de las cuerdas y diagonales para ser incorporados de una mejor manera al nodo, esto ayuda considerablemente a flujo de fuerzas, un inconveniente sería que, al cambiar la forma de los extremos se complica la manufactura del mismo. Se tomará en cuenta esta última desventaja contra sus ventajas, para el diseño del nuevo nodo.

Después de tomar en cuenta estas características se empezó con unos bocetos integrando lo anterior descrito. A continuación, se muestra la evolución del sistema basado en las principales características.

Con el fin de mantener las proporciones, las medidas del sistema constructivo anterior fueron consideradas para el nuevo sistema, como lo son el grosor de la lámina, la medida de los tornillos, la altura y el ancho final del ensamble.

Para realizar los modelos se ocupó el programa Siemens NX

En la primera parte (Figura 4-13) se pensó en la manera de sujetar las diferentes partes del conjunto dividiendo en dos secciones el nodo, esto de acuerdo con lo explicado acerca del principio de división de tareas. De esta manera evitamos ocupar más piezas y reducir el tiempo de armado.

En este caso es muy complicada la forma por esta razón se continuó modificando.

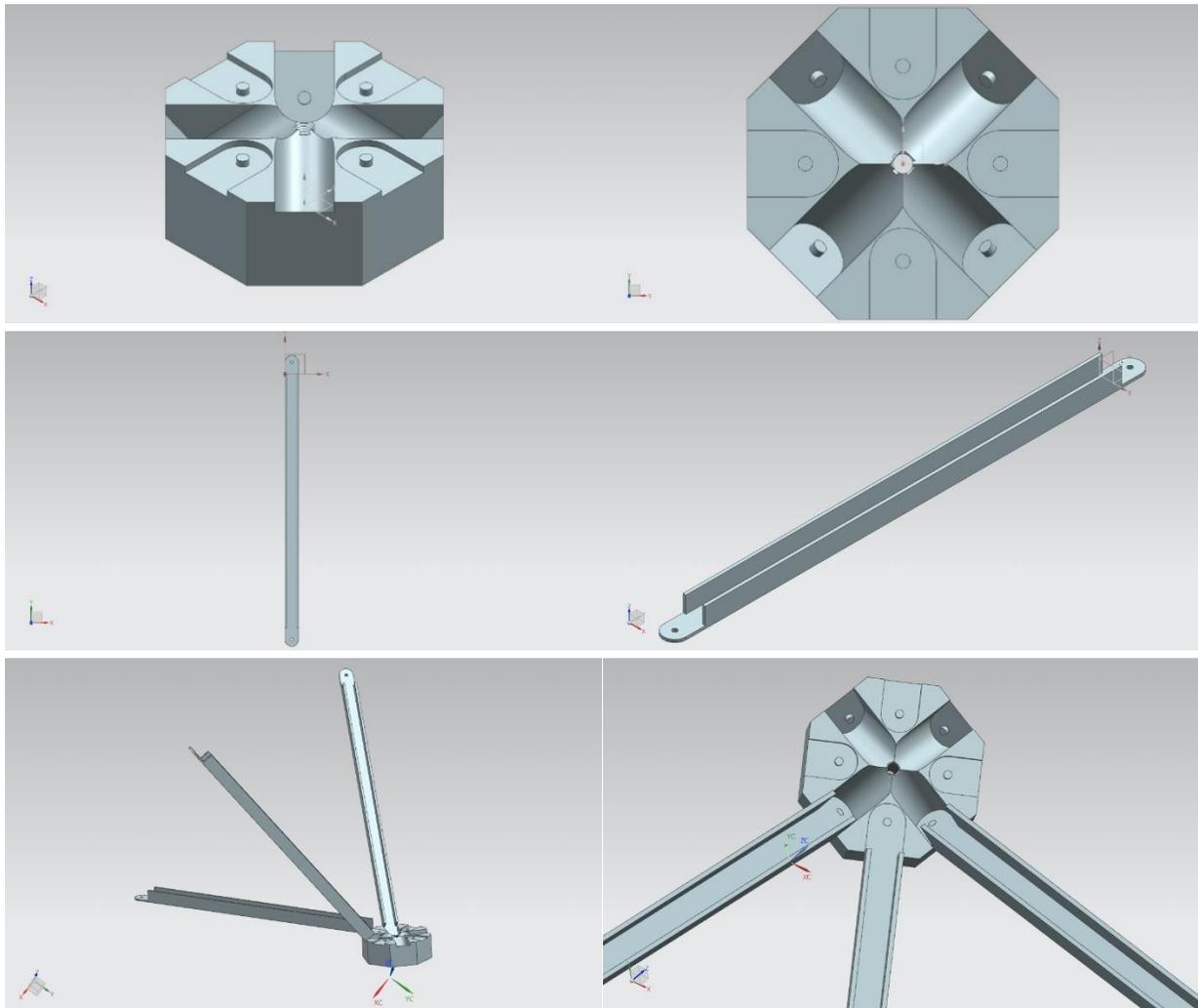


Figura 4-13. Primer ensamble

En la segunda parte del proceso (Figura 4-14) se pensó en la forma más rápida de armar el nodo, pero en este caso solo se optó por mantener un nodo de una sola pieza. Las cuerdas y las diagonales se juntan en el centro, de tal manera que los barrenos son alineados para colocar un tornillo central y sostener todo el conjunto.

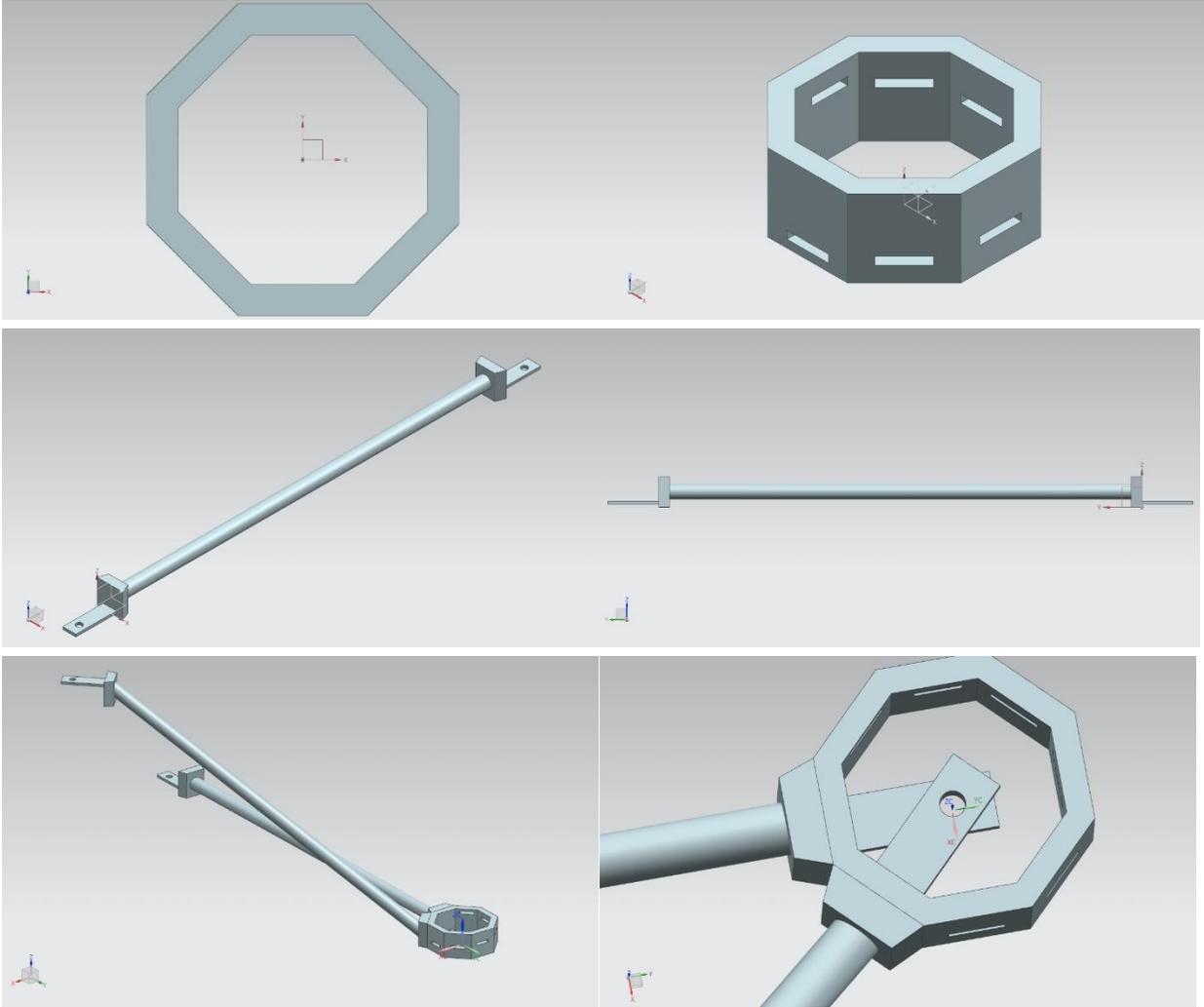


Figura 4-14. Segundo ensamble

Tomando en cuenta el paso anterior se decidió colocarle un ángulo al nodo (Figura 4-15), para que de esta manera las cargas se distribuyeran directamente en las caras del nodo y por consiguiente evitaran poner cargas en el tornillo.

En este paso se tiene un problema ya que los barrenos donde se introducen las cuerdas y las diagonales están a diferentes alturas, lo que ocasiona problemas para armar con varios nodos.

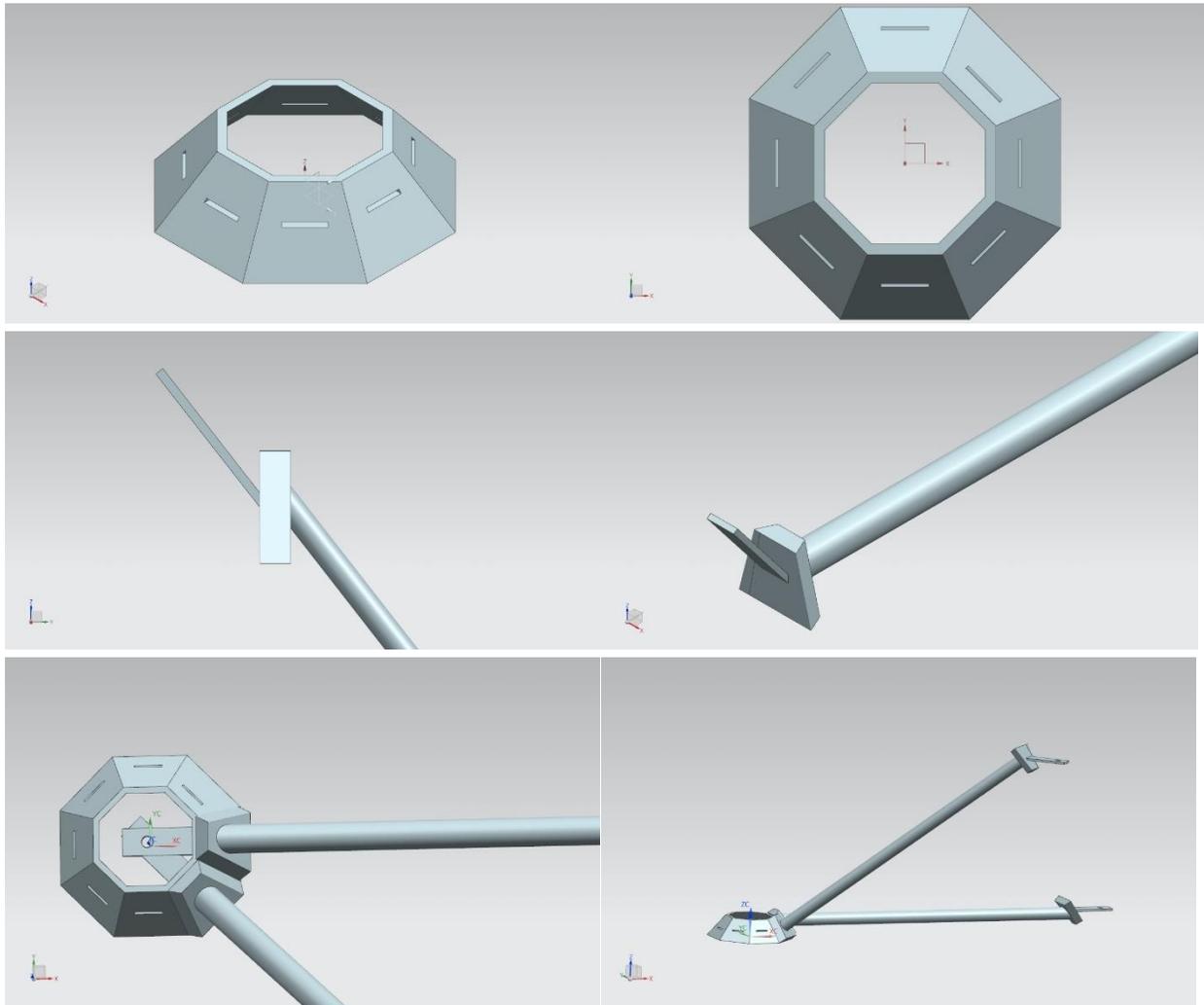


Figura 4-15. Tercer ensamble

En el cuarto paso (Figura 4-16), considerando el problema con las diferentes alturas al momento de colocar las cuerdas y las diagonales en el nodo, por esta razón se decidió no colocar un tornillo en el medio que atravesara a las mismas. En vez de eso se separó el nodo en dos partes, la parte A y la parte B, y de esta manera la parte B mantendría a las cuerdas y diagonales en su lugar.

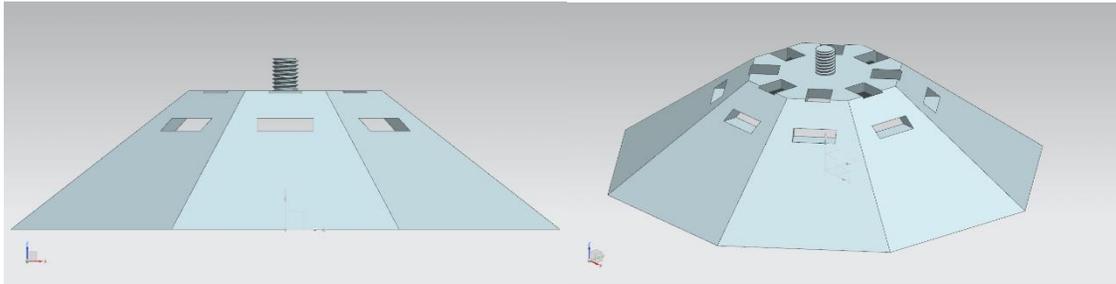


Figura 4-16. Parte A del nodo

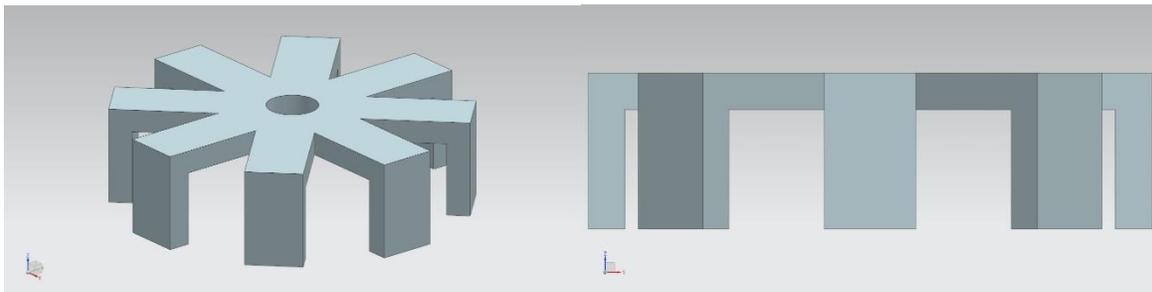


Figura 4-17. Parte B del nodo

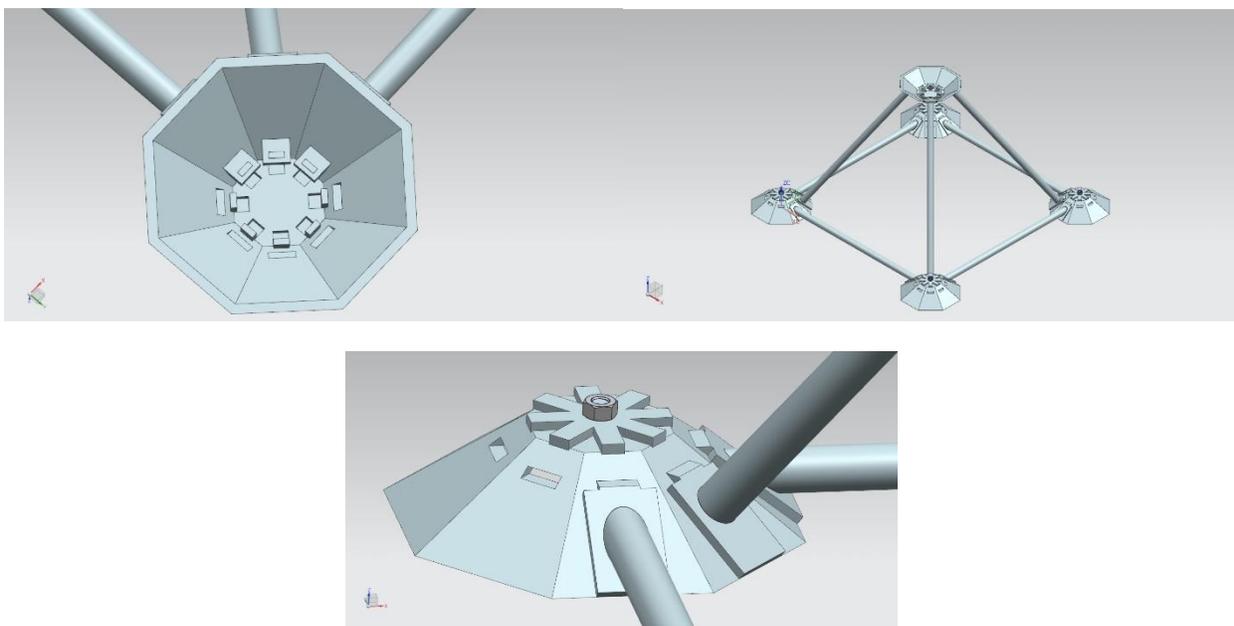


Figura 4-18. Ensamble

Por último, se le dieron los detalles considerando los dobleces de la lámina para ser lo más preciso posible a la realidad.

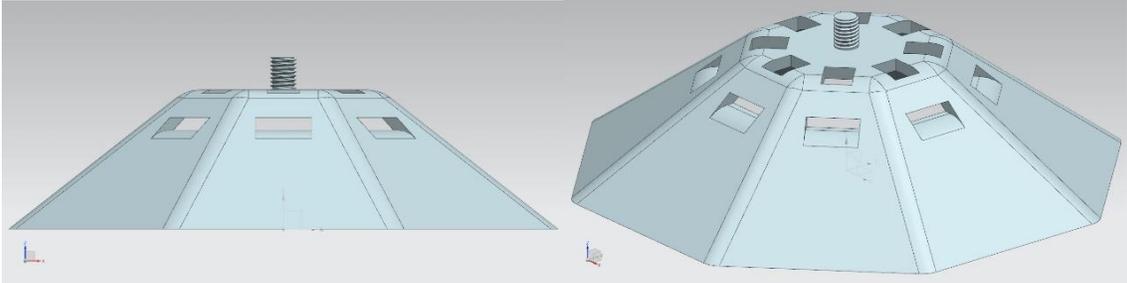


Figura 4-19. Parte A del nodo

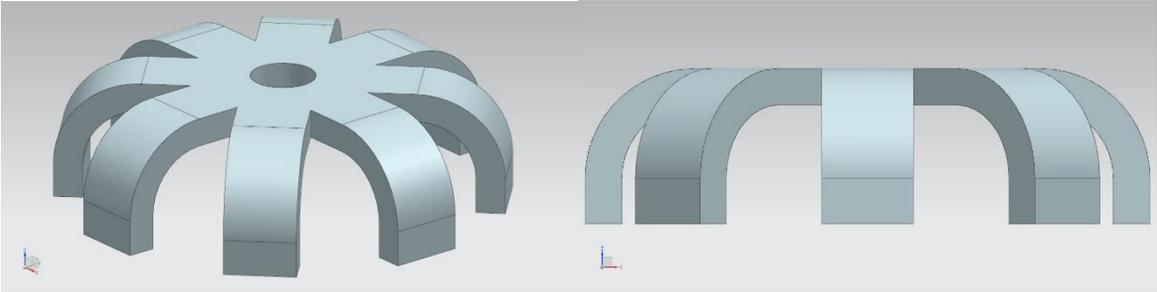


Figura 4-20. Parte B del nodo

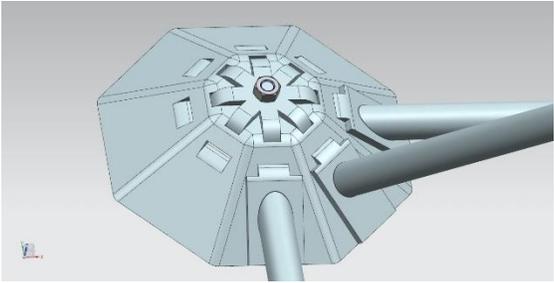
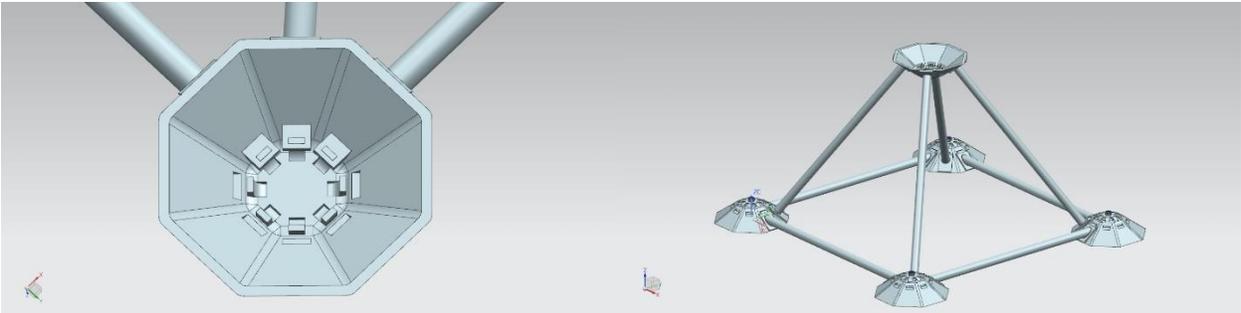


Figura 4-21. Ensamble

4.5 Descripción del sistema propuesto

La parte A del nodo, como ya se mencionó antes, tiene una inclinación en las caras del nodo, esto ayuda a transmitir de una manera más directa hacia el suelo. Esto se puede explicar con el principio de transmisión de fuerzas.

En la Figura 4-22, las partes sombreadas de naranja son los puntos donde fluye las fuerzas de modo que bajan a través del cuerpo de las diagonales para apoyarse en los soportes de la diagonal, luego la fuerza fluye a través de la parte A del nodo para terminar en el suelo, además las partes sombreadas de verde nos indican los puntos donde no permiten deslizar a los soportes de la diagonal

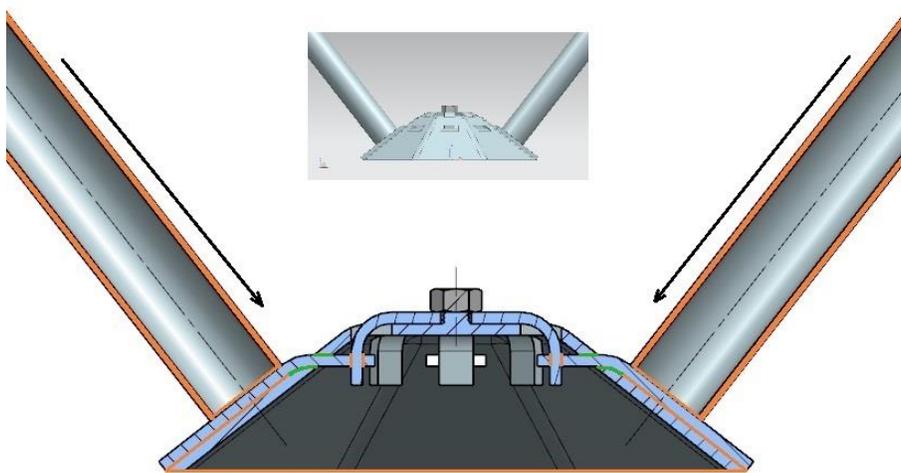


Figura 4-22. Corte del ensamblaje mostrando el flujo de fuerzas

La inclinación es de 52° y es tomada de la tesis DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PROYECTO “CASA UNAM” (Portillo, 2015)

Para mantener las cuerdas y diagonales en su lugar se ocupa la parte B del nodo (Figura 4-17) esta pieza es colocada en la parte superior de la parte A del nodo, es sostenida por una tuerca. Las patas de la parte B del nodo son introducidas en los barrenos de la parte A y llegan a los barrenos de cada una de las cuerdas o diagonales. De esta manera se aseguran las cuerdas y las diagonales.

Además, con el principio de autoayuda, mientras más peso tenga que sostener el conjunto más unidas se mantendrán las piezas ya que al distribuir las cargas directamente en las caras de los nodos lo cual da mayor seguridad a la estructura.

Otra característica de este nodo es la facilidad con la que se arma, solo se tienen que introducir las cuerdas y diagonales que se van a emplear, se coloca la parte B del nodo y se asegura con una tuerca.

5 Diseño de detalle

5.1 Definición de piezas, geometría y materiales

Las cuerdas están hechas de tres piezas (Figura 5-1) el cuerpo y los soportes de la cuerda están soldados, el cuerpo de la cuerda es un tubo de acero inoxidable y para los soportes una lámina de acero inoxidable, de esta manera evitamos la corrosión y es un material resistente.

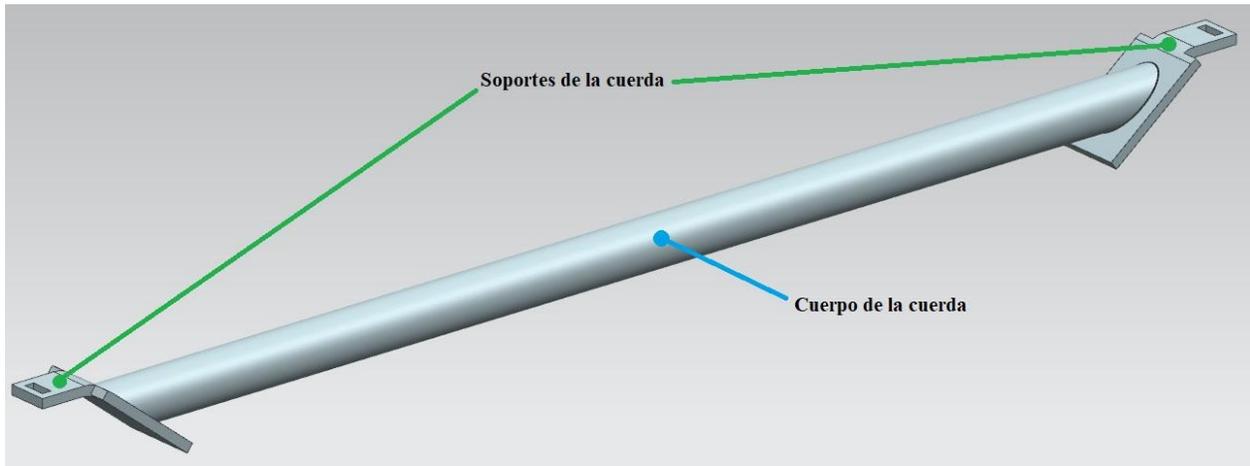


Figura 5-1. Partes de la cuerda

Las diagonales están hechas de manera similar a las cuerdas (Figura 5-2), las diferencias más notables son el ángulo que tiene el tubo con respecto al suelo, de esta manera es como se conecta al nodo superior con una normal al plano. Además, otra diferencia es que un extremo de la diagonal está invertido para permitir la unión con el nodo superior.

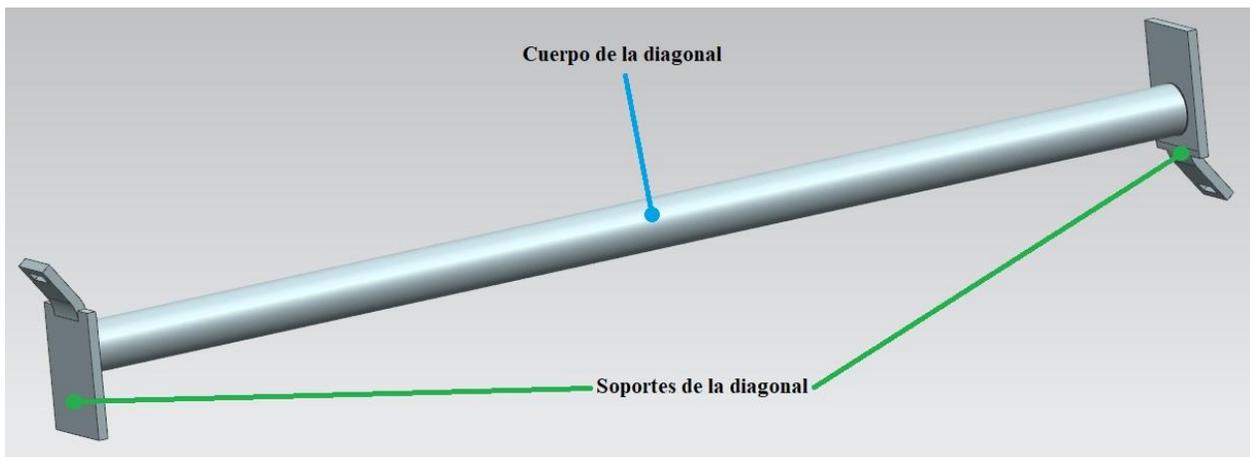


Figura 5-2. Partes de la diagonal

Para la parte A del nodo (Figura 5-3) se pensó en una lámina de acero inoxidable, como ya habíamos mencionado se consideró en este material para soportar las cargas de la casa y la corrosión provocada por la intemperie. Además, se decidió en soldar un tornillo en la parte superior. De esta manera facilitar el armado, no soldarlo implicaría una dificultad al armar por la colocación de la tuerca.

Del mismo modo la parte B del nodo, se pensó en una lámina de acero inoxidable.

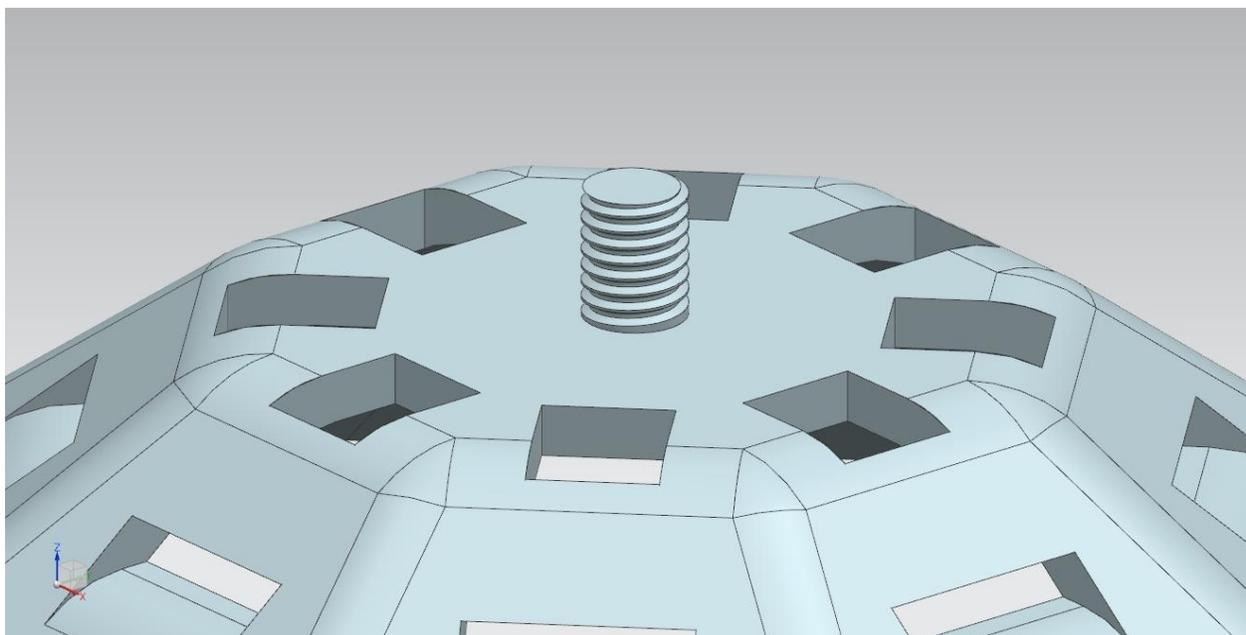


Figura 5-3. Tornillo de la parte A del nodo

5.2 Análisis estructural

Esta sección constará de dos partes, la primera parte será el análisis en Siemens NX para dos casos, el sistema propuesto (caso 1) y el sistema UNISTRUT (caso 2). En la segunda parte se compararán los resultados de ambos casos.

Para el ensamble del caso 1 se consideraron de cinco partes A del nodo, cinco partes B, cuatro cuerdas y cuatro diagonales (Figura 5-4). Para el caso 2 se consideraron cinco nodos, cuatro cuerdas y cuatro diagonales (Figura 5-5)

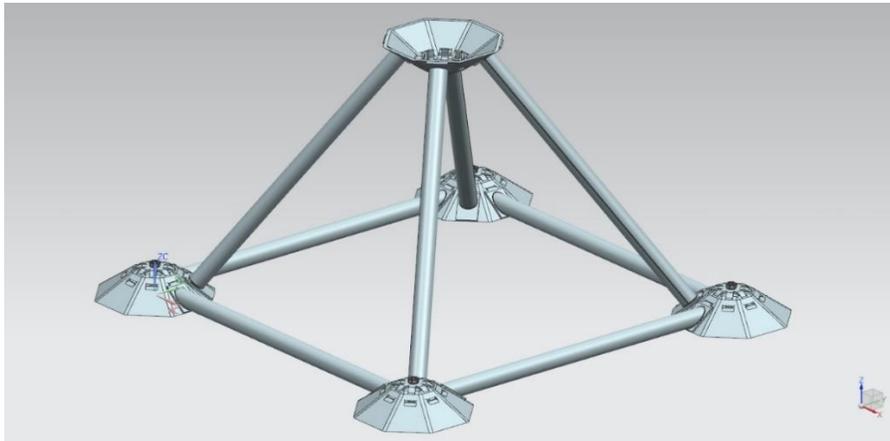


Figura 5-4. Ensamble para el caso 1

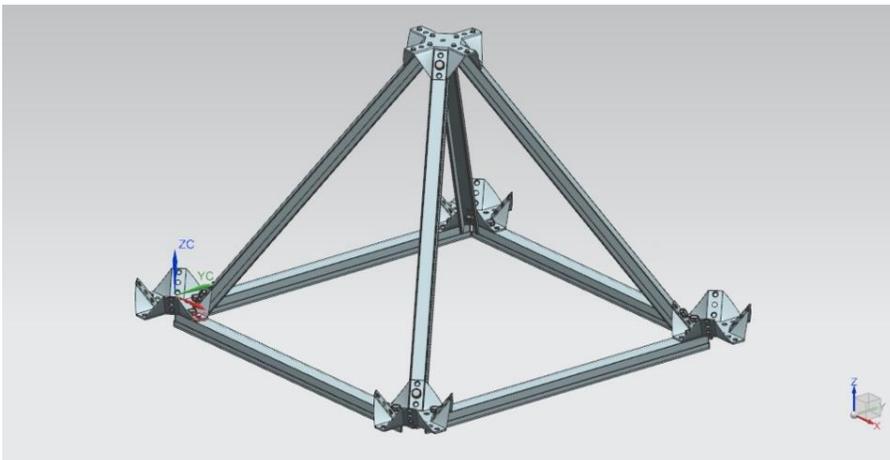


Figura 5-5. Ensamble para caso 2

Se colocó una carga sobre el nodo superior de ambos casos simulando el piso de la casa sobre las estructuras. Además, se colocaron restricciones en la parte inferior simulando el suelo en el cual se soportan las estructuras.

Para el caso 1 se colocaron las restricciones directamente en los nodos parte A inferiores debido a que estos son los que están en contacto con el suelo, se colocó una restricción fija en uno de los nodos y restricción simplemente soportada en el resto para observar la tensión a la que estarán sometidas las cuerdas, esto es simulando la esquina de la estructura y que está empotrada en un solo nodo (Figura 5-6).

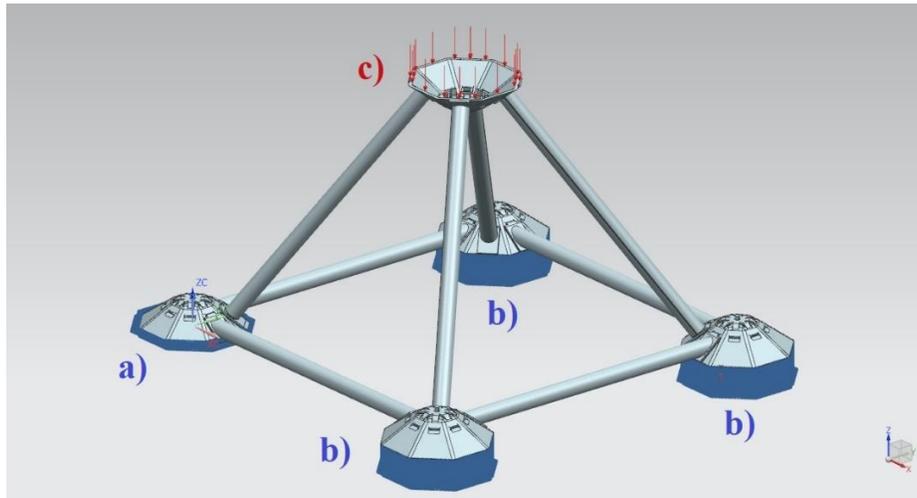


Figura 5-6. Restricciones y carga del caso 1

a) restricción fija, b) restricción simplemente soportada y c) carga

En cuanto al caso 2 (Figura 5-7) la restricción fija se colocó en uno de sus nodos, mientras que las restricciones simplemente soportadas fueron colocadas en las cuerdas, debido a que en este caso las cuerdas son las que están en contacto con el suelo.

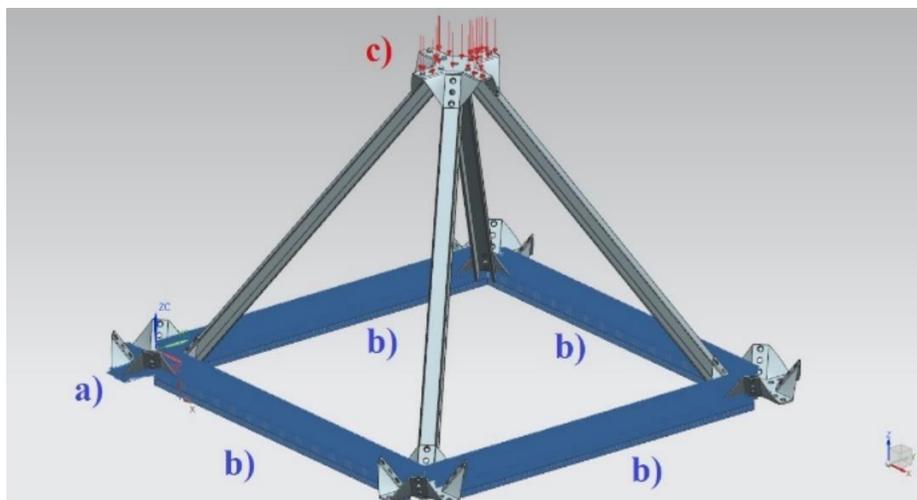


Figura 5-7. Restricciones y carga del caso 2

a) restricción fija, b) restricción simplemente soportada y c) carga

En ambos casos se ocuparon la función acoplamiento de malla debido a que el ensamble se comporta como una sola pieza y no hay movimiento relativo entre sus componentes (Figura 5-8 y Figura 5-9)

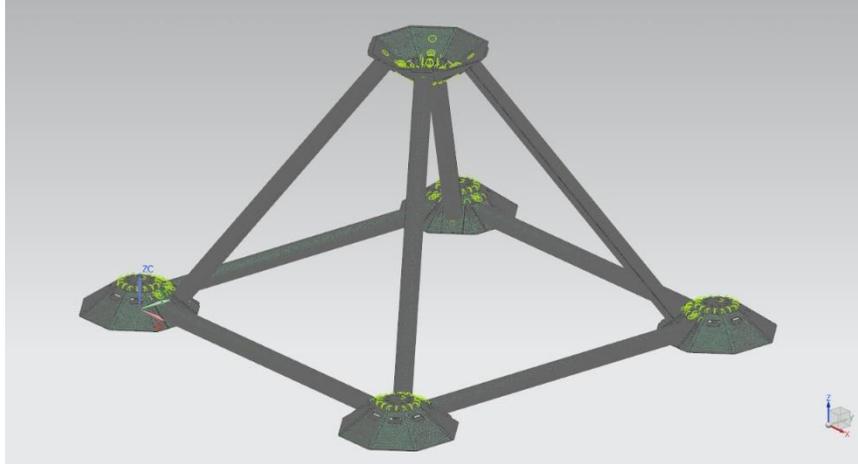


Figura 5-8. Acoplamiento de malla del caso 1

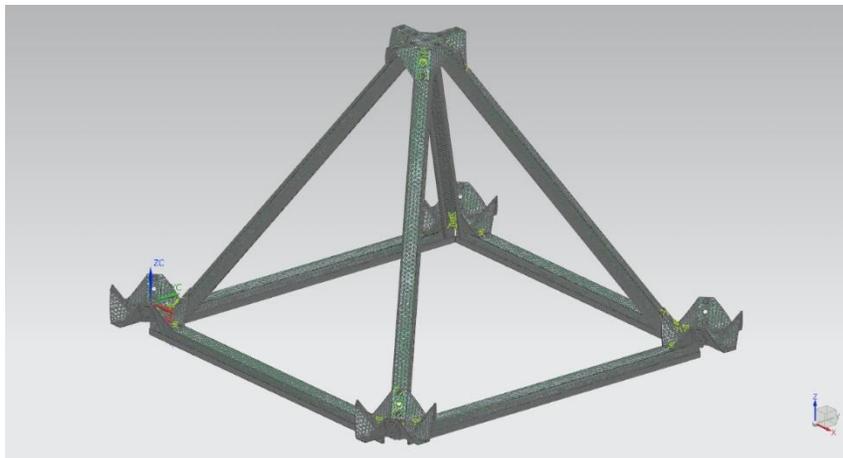


Figura 5-9. Acoplamiento de malla del caso 2

En el capítulo 4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL de la tesis DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PROYECTO “CASA UNAM” (Portillo, 2015), se presenta la Tabla 5-1, la cual nos muestra las cargas aplicadas al piso y al techo, junto con el factor de seguridad de 1.4 para construcciones tipo A.

Tabla 5-1. Cargas permanentes (DL) y variables (LL)

| Ubicación | Tipo | Carga ($\frac{kN}{m^2}$) |
|-----------|-------------------|----------------------------|
| PISO | DL | 1.53 |
| | LL _{máx} | 1.7 |
| | LL _{acc} | 0.9 |
| TECHO | DL | 0.11 |
| | LL _{máx} | 1.0 |
| | LL _{acc} | 0.7 |

Para los análisis de los dos casos se ocuparon la carga permanente y la carga máxima variable del piso, ya que el piso es el que soporta más carga, por lo tanto

$$Carga = DL + LL_{máx} = 3.23 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

El área total (A_T) del piso de la casa es de $113.1 m^2$, por lo tanto, tenemos que

$$Carga \text{ que debe soportar el piso} = carga \cdot A_T = 365.4 [kN]$$

El número total de nodos que soportan el suelo son 232

$$Carga \text{ que debe soportar cada nodo} = \frac{Carga \text{ que debe soportar el piso}}{Número \text{ total de nodos}}$$

$$Carga \text{ que debe soportar cada nodo} = 1.575 \left[\frac{kN}{Nodo} \right]$$

Agregando un factor de seguridad de 1.4

$$Carga \text{ que debe soportar cada nodo} \cdot \text{factor de seguridad} = 2.2 \left[\frac{kN}{Nodo} \right]$$

Como ya se mencionó anteriormente las medidas de los dos sistemas son semejantes, esto con la finalidad de aplicar las mismas cargas y comparar los resultados directamente.

Otra consideración fue el material ocupado para este análisis, se buscaron las mismas características a el material descrito para las cuerdas y diagonales en la tesis DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PROYECTO “CASA UNAM” (Portillo, 2015).

Los resultados del análisis de ambos casos se muestran en las siguientes figuras

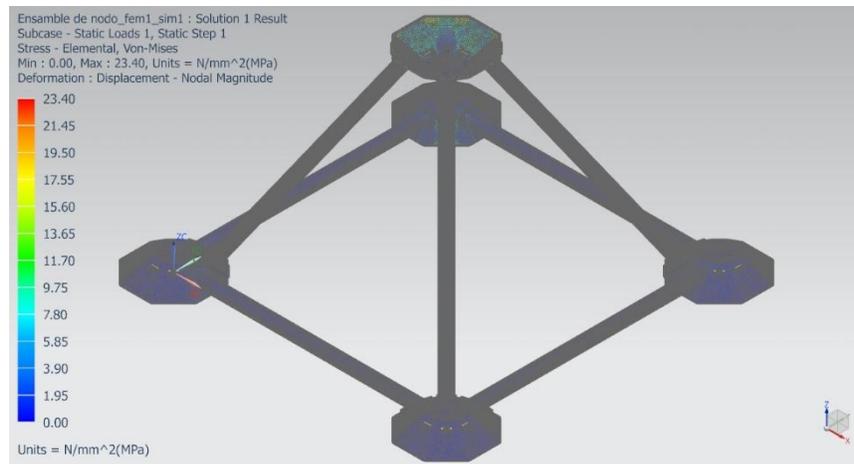


Figura 5-10. Esfuerzos Von-Mises del ensamble caso 1

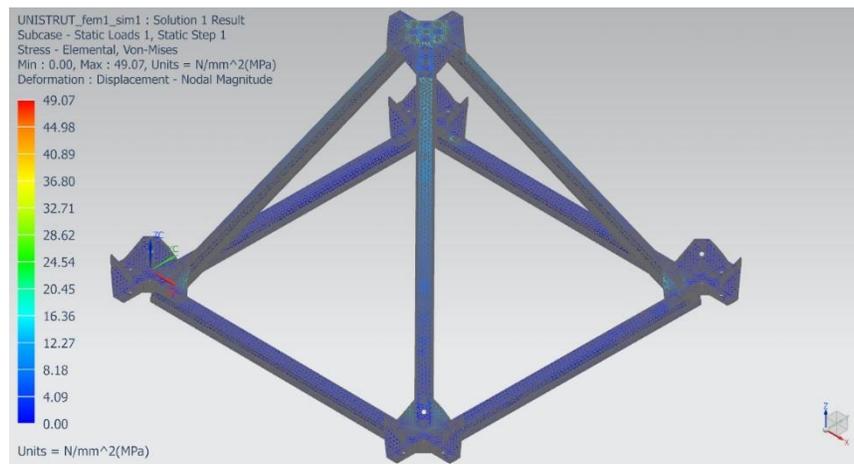


Figura 5-11. Esfuerzo Von-Mises del ensamble del caso 2

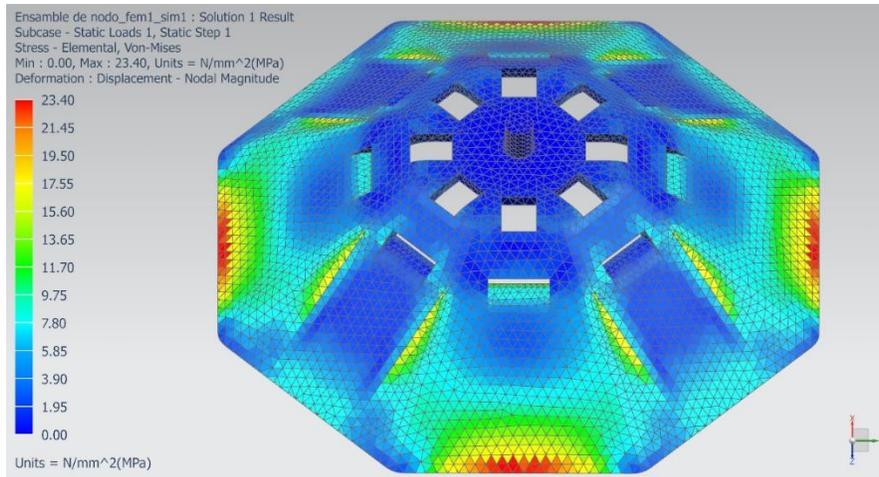


Figura 5-12. Esfuerzos Von-Mises de la parte A del nodo superior del caso 1

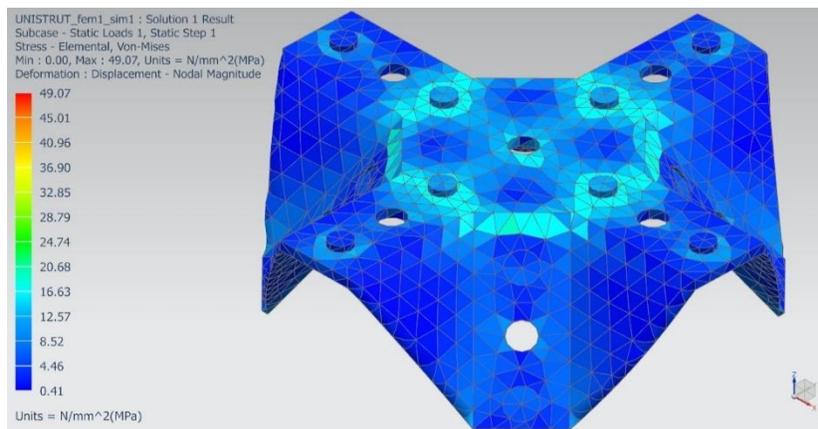


Figura 5-13. Esfuerzo Von-Mises del nodo superior del caso 2

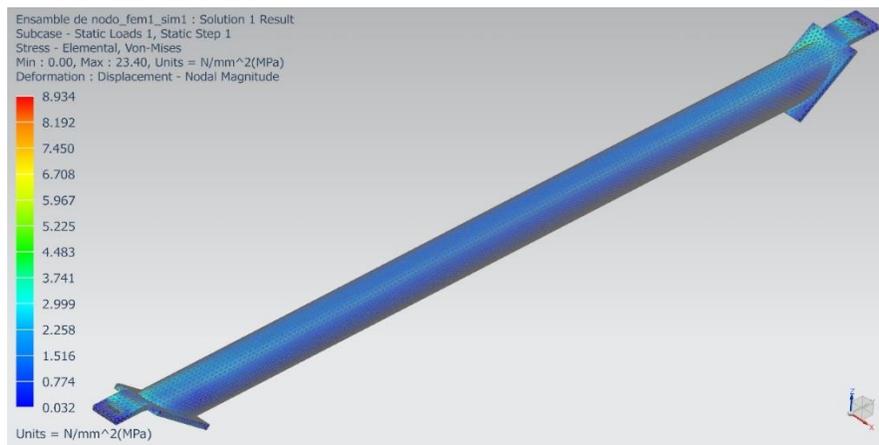


Figura 5-14. Esfuerzos Von-Mises de la cuerda del caso 1

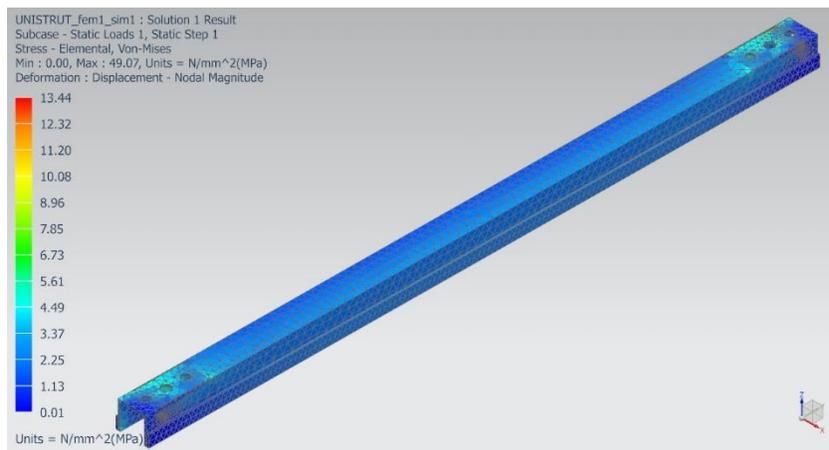


Figura 5-15. Esfuerzo Von-Mises de la cuerda del caso 2

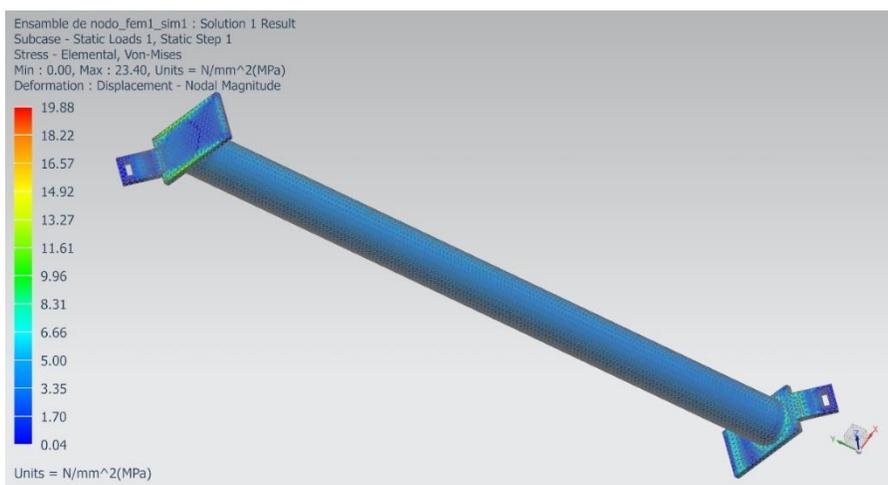


Figura 5-16. Esfuerzos Von-Mises de la diagonal del caso 1

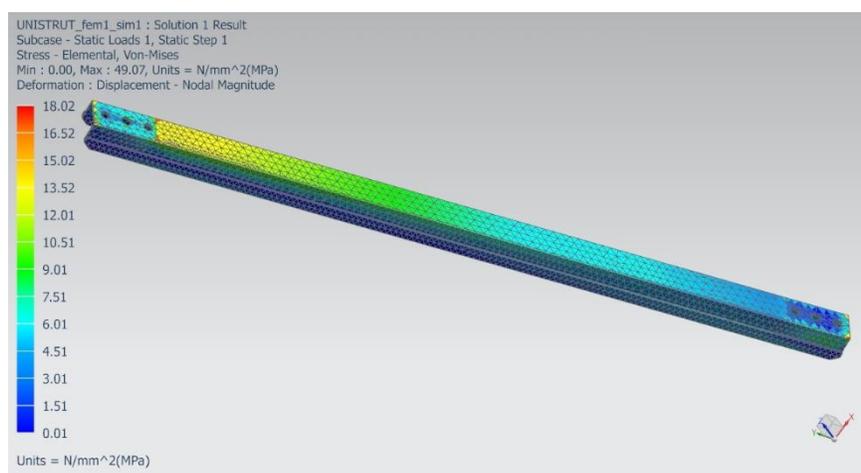


Figura 5-17. Esfuerzos Von-Mises de la diagonal del caso 2

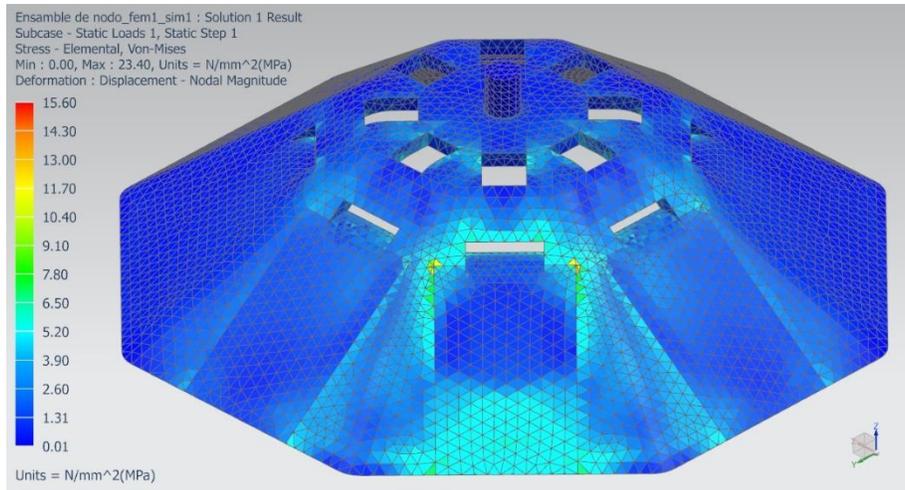


Figura 5-18. Esfuerzos Von-Mises de la parte A del nodo inferior del caso 1

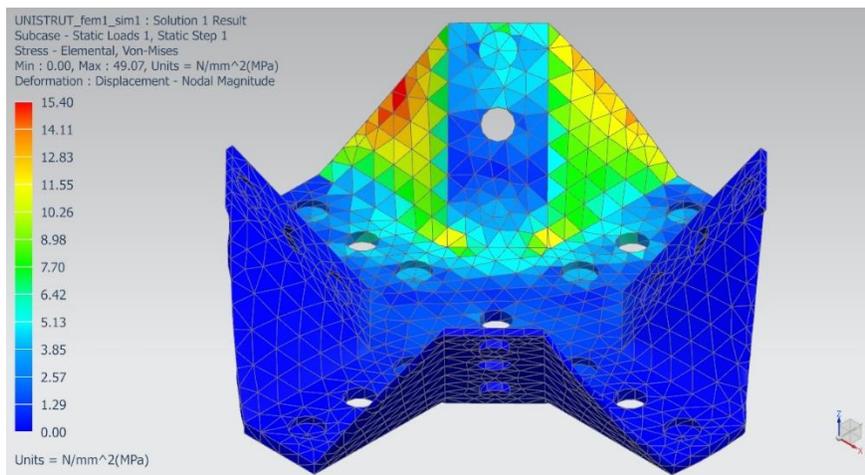


Figura 5-19. Esfuerzos Von-Mises del nodo inferior del caso 2

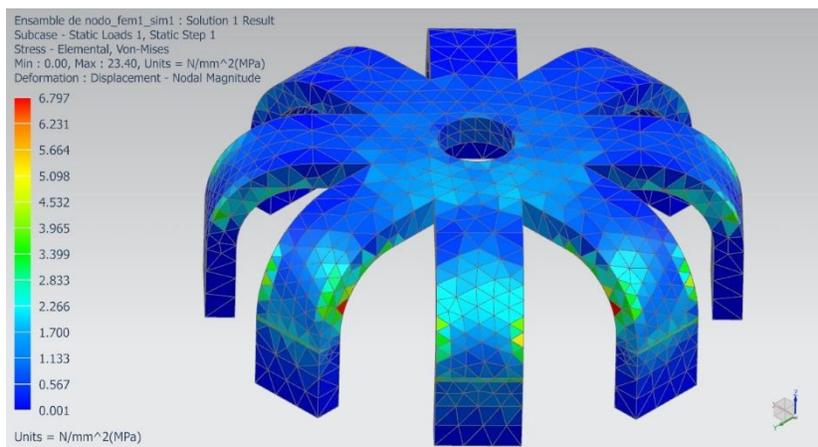


Figura 5-20. Esfuerzos Von-Mises de la parte B del nodo del caso 1

Tabla 5-2. Comparación de esfuerzos

| Nombre de la pieza | Caso 1 $\left[\frac{N}{mm^2} \right]$ | | Caso 2 $\left[\frac{N}{mm^2} \right]$ | |
|--------------------|--|-------------|--|-------------|
| Ensamble | 23.4 | Figura 5-10 | 49.07 | Figura 5-11 |
| Nodo superior | 23.4 | Figura 5-12 | 49.07 | Figura 5-13 |
| Cuerda | 8.93 | Figura 5-14 | 13.44 | Figura 5-15 |
| Diagonal | 19.88 | Figura 5-16 | 18.02 | Figura 5-17 |
| Nodo inferior | 15.60 | Figura 5-18 | 15.40 | Figura 5-19 |
| Parte B del nodo | 6.79 | Figura 5-20 | - | - |

En la Tabla 5-2 podemos notar que esfuerzos del ensamble en el caso 1 son menores al caso 2, tomando en cuenta que están sometidos a las mismas condiciones. Además, podemos observar que los esfuerzos más grandes están concentrados en los nodos superiores, los cuales son los que reciben la carga directamente.

Las cuerdas en ambos casos están sometidas a tensión, la concentración de esfuerzos está en los extremos y los valores de los esfuerzos son muy cercanos, pero son menores los esfuerzos del caso 1.

En cuanto a las diagonales, se hace notar que están sometidas a compresión y en este caso los esfuerzos son mayores en la diagonal del caso 1, pero se puede observar que la concentración de esfuerzos en el caso 1 están en los extremos mientras que en el caso 2 existen valores más altos a lo largo de la diagonal.

La concentración de esfuerzos para los nodos inferiores es mayor en el caso 1, pero se puede ver que la concentración de esfuerzos en el caso 1 es debido a las esquinas de los soportes de diagonal, mientras que en el caso 2 son a los lados del nodo.

Los desplazamientos del caso 1 se muestran en las siguientes figuras

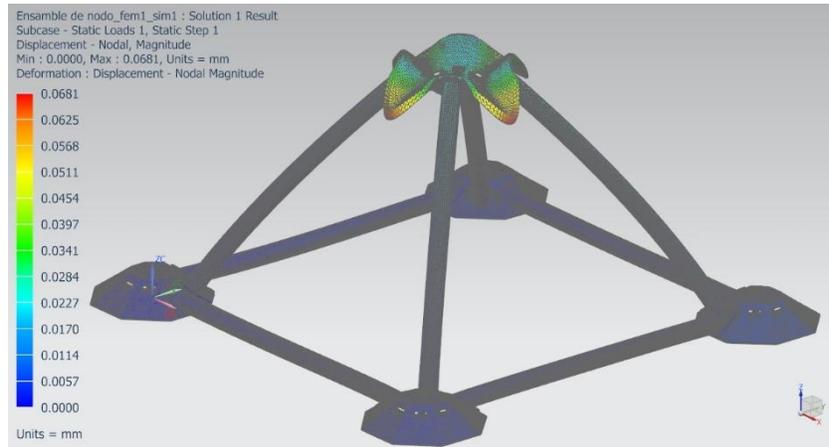


Figura 5-21. Desplazamiento del ensamble caso 1

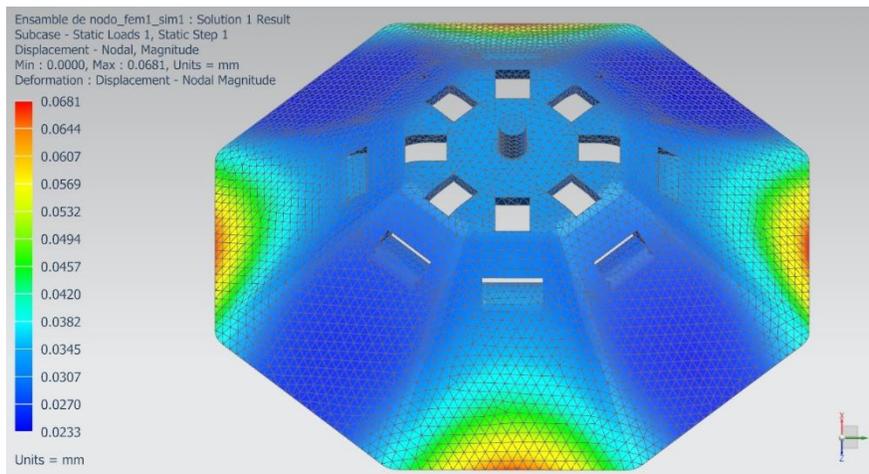


Figura 5-22. Desplazamiento de la parte A del nodo superior caso 1

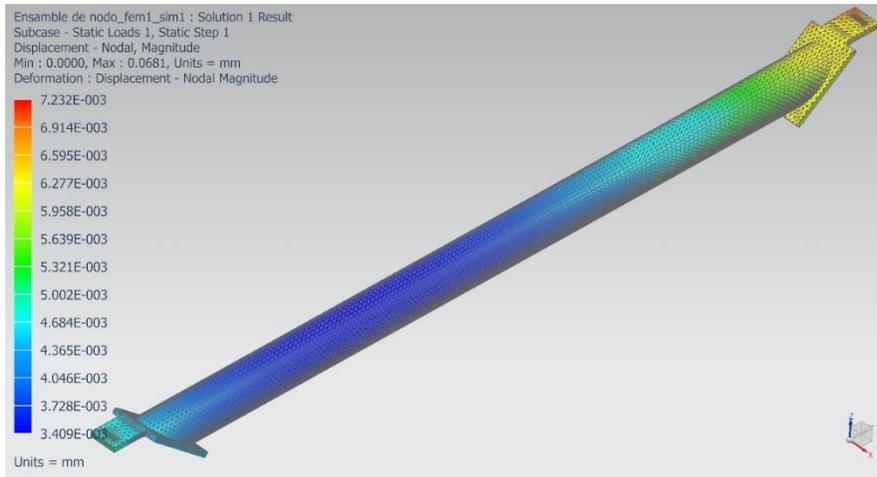


Figura 5-23. Desplazamiento de la cuerda caso 1

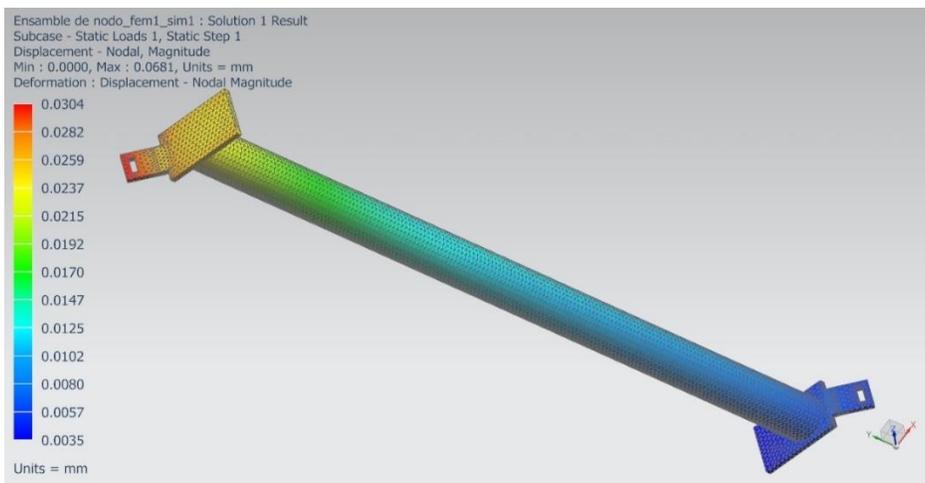


Figura 5-24. Desplazamiento de la diagonal caso 1

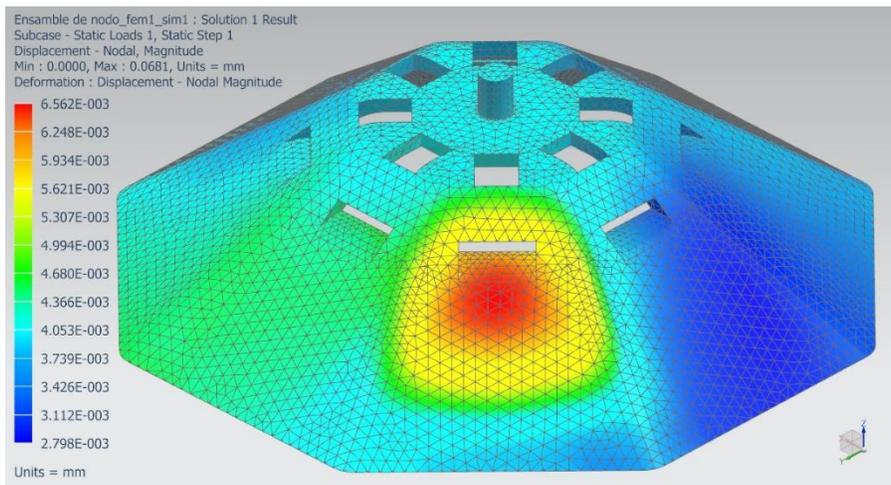


Figura 5-25. Desplazamiento de la parte A del nodo inferior caso 1

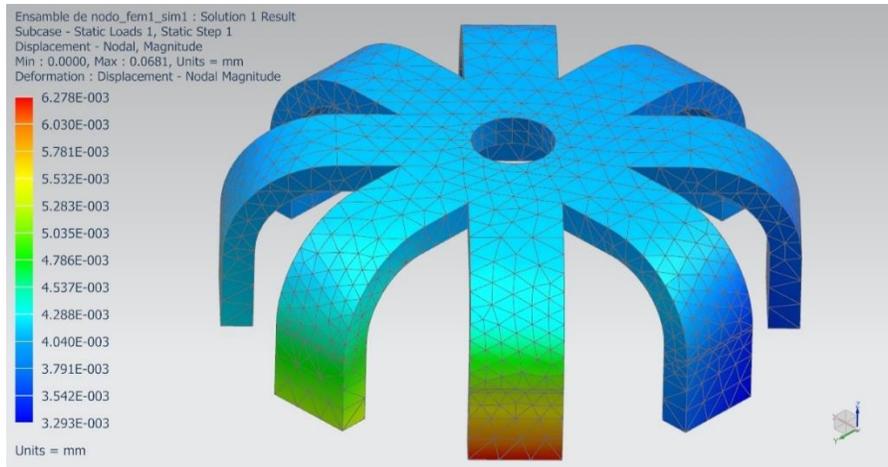


Figura 5-26. Desplazamiento de la parte B caso 1

Tabla 5-3. Desplazamientos caso 1

| Nombre de la pieza | Caso 1 [mm ²] | |
|--------------------|---------------------------|-------------|
| Ensamble | 0.0681 | Figura 5-21 |
| Nodo superior | 0.0681 | Figura 5-22 |
| Cuerda | 0.00723 | Figura 5-23 |
| Diagonal | 0.0304 | Figura 5-24 |
| Nodo inferior | 0.00656 | Figura 5-25 |
| Parte B del nodo | 0.00628 | Figura 5-26 |

La deformación de toda la estructura es mínima, las deformaciones producidas por la carga en el nodo superior son las más grandes de toda la estructura. Además, la compresión de las diagonales genera que se arqueen, mientras que las cuerdas se tensionan.

5.3 Planos de conjunto y definición

Para definir las de la estructura se consideró la tesis DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PROYECTO “CASA UNAM” (Portillo, 2015). Dentro del documento tenemos una descripción de las distancias que existen entre nodo y nodo del sistema UNISTRUT, esta es la base para las medidas del nuevo modelo.

Primero se comenzó con las medidas del nuevo nodo, se tomó como base el tamaño del nodo del modelo anterior. Después, se consideró la altura del nodo de acuerdo al área de la cara del nodo en la cual iba a asentar el soporte de cuerda y diagonal. Al mismo tiempo, se consideraba el espacio necesario para colocar la parte B del nodo de tal manera que ninguna de las dos características anteriores se antepusiera a la otra. Al último se obtuvo el balance adecuado para obtener un nodo de tamaño idóneo.

Una vez obtenidas las medidas del nodo se prosiguió a determinar cuánto debían medir las cuerdas para obtener la misma distancia entre nodo y nodo del modelo anterior, al final se obtuvieron las medidas de las diagonales de tal manera que el nodo superior quedara en el centro de la estructura.

En la Figura 5-27 se pueden apreciar cual es la posición de cada pieza junto con la cantidad de piezas que son necesarias para armar un conjunto.

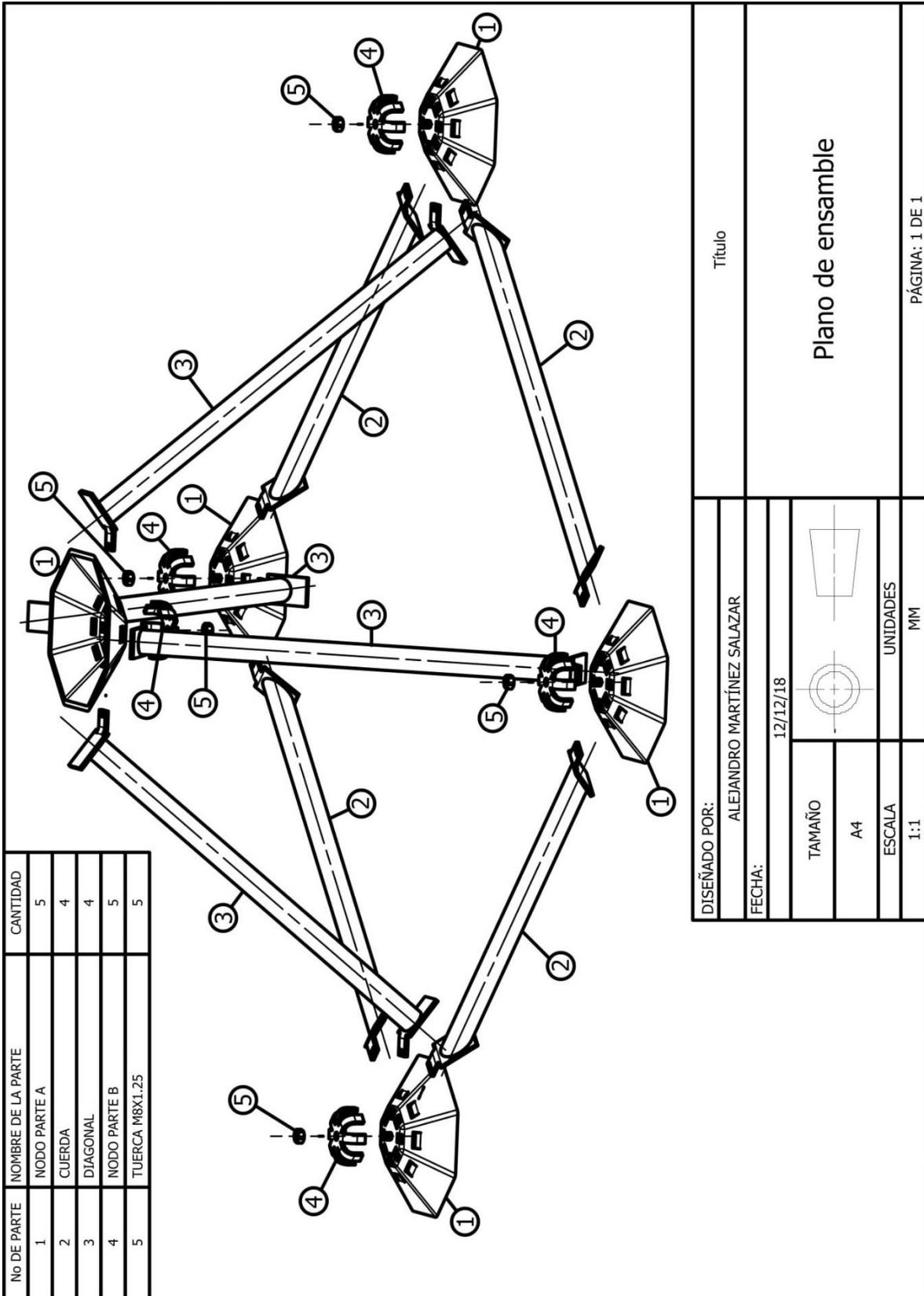
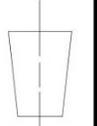


Figura 5-27. Plano de ensamble

| | | | |
|---|---|-------------------|--|
| DISEÑADO POR: ALEJANDRO MARTÍNEZ SALAZAR | | Título | |
| FECHA: 12/12/18 | | Plano de ensamble | |
| TAMAÑO A4 |  | UNIDADES MM | |
| ESCALA 1:1 | | PÁGINA: 1 DE 1 | |

6 Manufactura

6.1 Procesos de manufactura

En esta parte del capítulo se mencionará cuales procesos son los más adecuados para producir las piezas necesarias para el ensamble final.

Debido a que se diseñó a partir de una lámina se puede ocupar el troquelado para la remoción de material la mayoría de las piezas para este modelo. Una vez obtenida la forma deseada, los dobleces pueden ser realizados con un estampado para la obtención de la forma final.

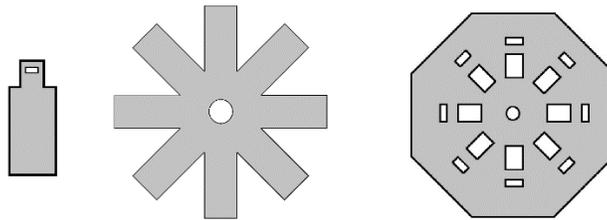


Figura 6-1. Forma de las piezas para troquelar

Otras piezas necesarias son a partir de un tubo el cual puede ser cortado para obtener los ángulos necesarios

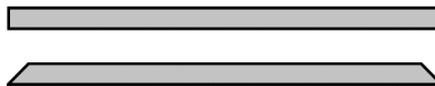


Figura 6-2. Forma de los tubos

Algunos de los elementos requieren de un proceso de soldadura. Debido a que los materiales son acero inoxidable no necesitarán de un proceso adicional de recubrimiento para protegerlos contra el medio ambiente.

6.2 Estimación de costos

Tabla 6-1. Estimación de costos

| Descripción | | Estimación de costos para fabricar un ensamble de nodo a partir de lámina y tubo de acero inoxidable | | | Precio unitario (número) | Precio unitario (letra) |
|--------------------|---|--|--|--|--------------------------|-------------------------------|
| Nombre de la pieza | Subparte | Cantidad | Descripción | Procesos de manufactura | | |
| Diagonal | Soporte de diagonal Cuerpo de diagonal | 4 | <p>Fabricación de diagonal, de acero inoxidable A304. El precio incluye: Soldadura por arco manual con electrodo revestido para acero inoxidable, corte de materiales a 90° y 45°, troquelado para el proceso de manufactura. Material: lámina de acero inoxidable calibre 10, tubo de acero inoxidable de 3/4" de diámetro, cédula 80.</p> <p>*Las medidas se encuentran especificadas en los planos de detalle.</p> | Troquelado Doblado de lámina Soldado | 450.00 | Cuatrocientos Cincuenta pesos |
| Cuerda | Soporte de cuerda Cuerpo de cuerda | 4 | <p>Fabricación de cuerda, de acero inoxidable A304. El precio incluye: Soldadura por arco manual con electrodo revestido para acero inoxidable, corte de materiales a 90° y 45°, troquelado para el proceso de manufactura. Material: lámina de acero inoxidable calibre 10, tubo de acero inoxidable de 3/4" de diámetro, cédula 80.</p> <p>*Las medidas se encuentran especificadas en los planos de detalle.</p> | Troquelado Doblado de lámina Soldado | 440.00 | Cuatrocientos cuarenta pesos |
| Nodo parte A | - | 5 | <p>Fabricación de Nodo parte A, de acero inoxidable A304. El precio incluye: Soldadura por arco manual con electrodo revestido para acero inoxidable, troquelado para el proceso de manufactura. Material: lámina de acero inoxidable calibre 10.</p> <p>*Las medidas se encuentran especificadas en los planos de detalle.</p> | Troquelado Doblado de lámina Soldado | 440.00 | Cuatrocientos cuarenta pesos |
| Nodo parte B | - | 5 | <p>Fabricación de Nodo parte B, de acero inoxidable A304. El precio incluye: Troquelado para el proceso de manufactura. Material: lámina de acero inoxidable calibre 10. *Las medidas se encuentran especificadas en los planos de detalle.</p> | Troquelado Doblado de lámina | 180 | Ciento ochenta pesos |

- Este presupuesto no incluye trabajos de instalación o algún otro concepto no especificado.
- Tiempo de realización del trabajo: de acuerdo al programa del proyecto y entrega de materiales.
- Los precios están calculados basándose en costo de materiales y mano de obra actuales por lo que están sujetos a escalación de acuerdo a las variaciones de proveedores.
- El presupuesto se consideran marcas similares en el caso de los consumibles, por lo que en este caso se presentan fichas técnicas de las marcas propuestas para verificar que cumplen con las normas de calidad y especificación técnica de los materiales.

6.3 Fabricación de modelo

6.3.1 Cuerda y diagonales

Debido a que las cuerdas y diagonales están hechas de dos diferentes componentes es necesario producirlas por separado

6.3.1.1 Soporte de cuerda y diagonal

Los soportes de cuerda y diagonal son de la misma forma y tamaño, se pueden producir en la misma lámina. La forma (Figura 6-3) nos permite acomodarlos de manera que podamos aprovechar mejor el material

Para la fabricación de los soportes es necesario ocupar una lámina de acero de calibre 10

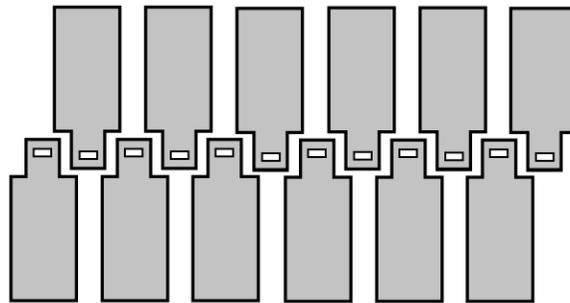


Figura 6-3. Plantilla de soporte de cuerda y diagonal

Después de cortar los soportes se les da un dobléz con un radio de doce milímetros y un ángulo de 38° para que puedan ser insertadas en el nodo parte A. Con una lámina comercial de 3x6 pies se pueden producir 563 piezas.

6.3.1.2 Cuerpo de la cuerda

El cuerpo de la cuerda es producido a partir de un tubo de $3/4''$ cédula 80 (Figura 6-4)



Figura 6-4. Plantilla de cuerpo de la cuerda

El tubo es cortado con un ángulo de inclinación de 38° para que después sea soldado a un soporte de cuerda de cada lado, de esta manera quedara horizontal. Se pueden fabricar 13 piezas a partir de un tubo de 6.1 metros de longitud.

6.3.1.3 Cuerpo de la diagonal

De la misma manera el cuerpo de la diagonal es producido a partir de un tubo de 3/4" cédula 80 (Figura 6-5).



Figura 6-5. Plantilla cuerpo de la diagonal

El corte se realiza de manera vertical. Una vez soldada en el soporte de la diagonal e insertada en el nodo parte A queda con un ángulo de inclinación de 52° . Se pueden producir 12 piezas a partir de un tubo de 6.1 metros de longitud.

6.3.2 Nodo parte A

Para el nodo parte A se utiliza una lámina de acero calibre 10. Debido a su forma octagonal es posible acomodarlo de la siguiente manera para aprovechar mejor el material (Figura 6-6)

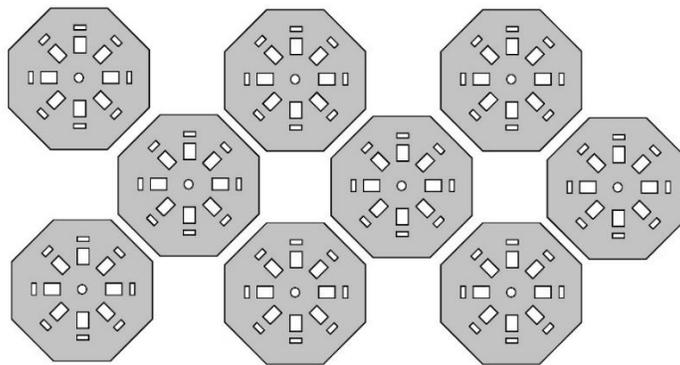


Figura 6-6. Plantilla nodo parte A

Una vez obtenida esta forma es prensada con un radio en las esquinas de 12 milímetros para que de esta manera se obtenga la forma deseada, con un ángulo de inclinación entre el suelo y las paredes de 38° . En el centro de la placa es necesario soldar un tornillo M8x1.25 que sobresalga por lo menos 10 milímetros desde la parte superior.

A partir de una lámina de 3x6 pies se pueden hacer 39 piezas

6.3.3 Nodo parte B

Para esta pieza se necesita, al igual que las anteriores, una lámina de acero calibre 10 (Figura 6-7).

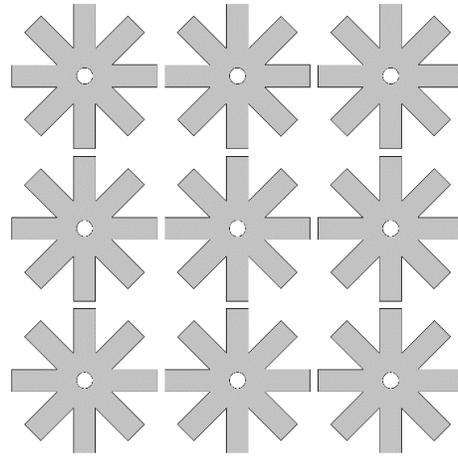


Figura 6-7. Plantilla nodo parte B

Una vez obtenida la pieza es necesario doblarla con un radio de 12 milímetros para obtener la forma deseada. De esta manera será posible introducirla en la parte A del nodo por la parte superior. A partir de una lámina de acero de 3x6 pies es posible producir 171 piezas.

6.4 Descripción del proceso de ensamble-armado

El proceso de armado inicia conociendo en qué posición va a colocarse el nodo, esto puede ser en una esquina, en un lado o en el centro de la estructura y de acuerdo a la posición se elegirá la posición de las cuerdas y las diagonales. Luego se colocan las cuerdas que se van a utilizar introduciendo los soportes de la diagonal en el nodo A hasta que asiente la cuerda.

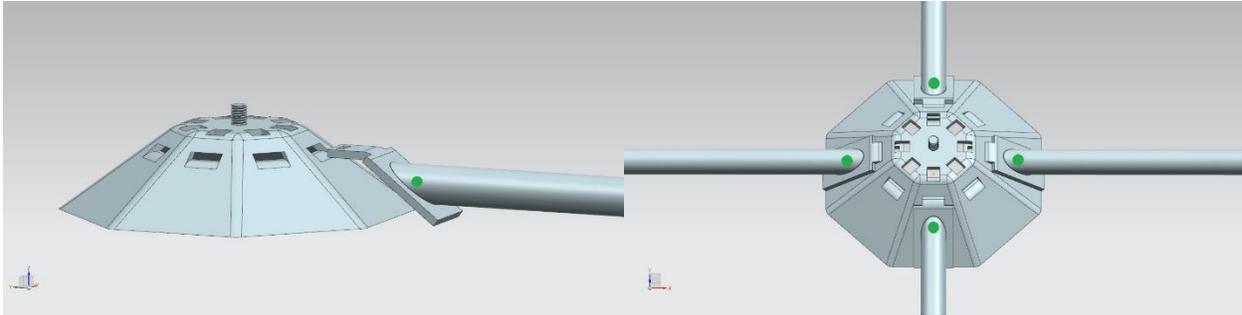


Figura 6-8. Inserción de las cuerdas

Después se colocan las diagonales, de la misma manera que las cuerdas, se introducen los soportes de la diagonal hasta que asiente.

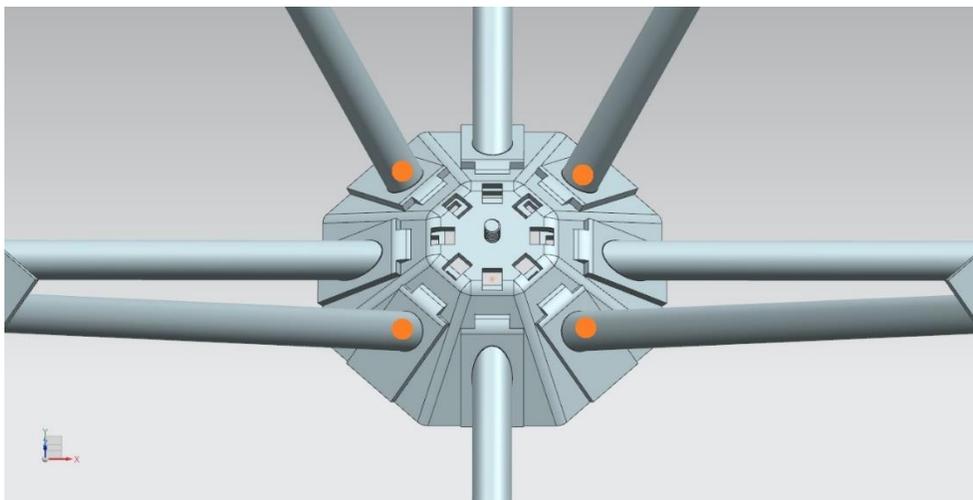


Figura 6-9. Inserción de las diagonales

Una vez asentadas las diagonales y las cuerdas, se coloca la parte B del nodo. Esta parte funciona como seguro para evitar que se salgan las cuerdas y las diagonales que hayan sido introducidas.

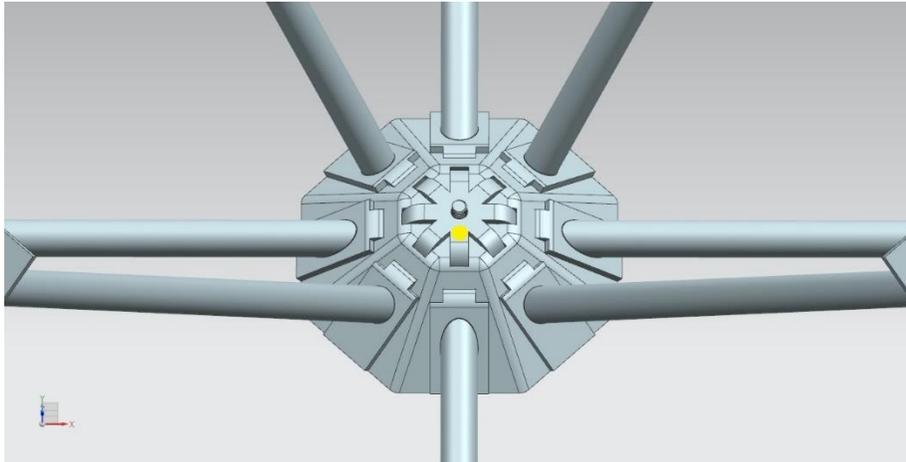


Figura 6-10. Inserción de la parte B del nodo.

Por último, se coloca la tuerca en la parte superior para evitar que la parte B del nodo se salga

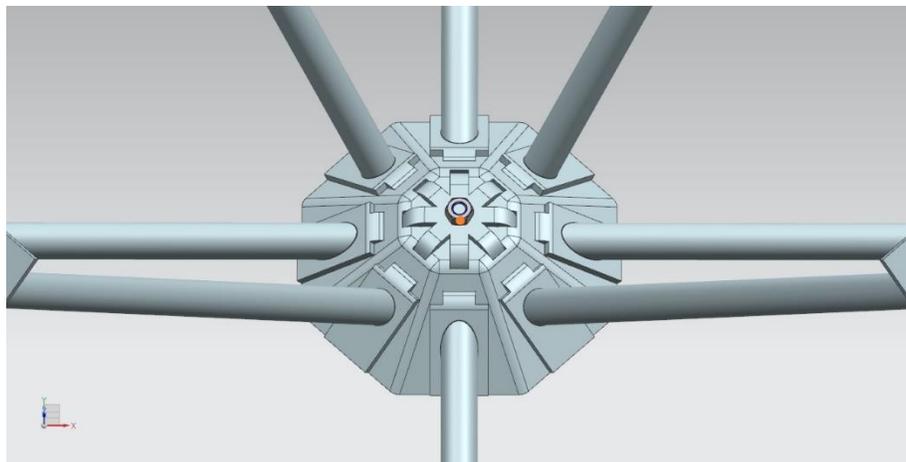


Figura 6-11. Colocación de la tuerca

7 Conclusiones

Los objetivos de esta tesis se cumplieron, ya que fue posible reducir el número de elementos por nodo de 33 a 11 piezas. El proceso de armado se mejoró ya que es mucho más simple, al tener menos piezas y una forma única de cada elemento es posible diferenciarlas entre sí de manera más sencilla. Además, solo es necesario ajustar una tuerca hexagonal para mantener todo en su lugar.

Otro punto importante es la reducción de tiempo de armado, en el sistema UNISTRUT es necesario enroscar varias tuercas para poder tener un ensamble de nodo armado, al tener menos piezas y solo necesitar una tuerca, se ha reducido el tiempo de armado considerablemente. Esto ayuda además a que el personal que va armar la estructura aprenda rápidamente el procedimiento.

Asimismo, el ensamble por nodo lo puede realizar una sola persona, esto debido a que el diseño está pensado para que las cuerdas y diagonales encajen y se mantengan en su lugar mientras se coloca la parte B del nodo y la tuerca. Además, el tamaño y peso de 1 kilogramo de la cuerda y 0.665 kilogramos de la diagonal hacen fácil la manipulación para el armado de estos elementos.

En cuanto al transporte al ser de un tamaño adecuado para que una persona lo pueda sostener con una sola mano, es posible transportar una gran cantidad de ellos. Es importante destacar el material usado, al ser acero inoxidable tiene una resistencia al medio ambiente, esto ayuda a maximizar el tiempo de vida útil.

Otro aspecto a destacar, son los resultados del análisis estructural, En el capítulo 5.2, se muestran la comparación del análisis entre el caso 1 (Figura 5-10) y el caso 2 (Figura 5-11), podemos destacar que los esfuerzos en el caso 1 es 52% menor comparado caso 2 a pesar de usar la misma carga y materiales en los dos análisis.

Es destacable que la parte A del nodo superior del caso 1 (Figura 5-12) tiene una reducción del 34% comparado al nodo superior del caso 2 (Figura 5-13) a pesar de que ambos reciben la carga directamente, la distribución de la carga es mucho mejor en el nuevo sistema.

Por otro lado, existe un aumento en la concentración de esfuerzos en la diagonal del caso 1 (Figura 5-16) del 10% y otro aumento en la concentración de esfuerzos del 1% en la parte A del nodo inferior (Figura 5-18) esto es debido que las esquinas de los soportes de la diagonal generan una concentración de esfuerzos. Respecto a los demás componentes del caso 1 tienen una concentración de esfuerzos menor que el caso 2, en cuanto a los desplazamientos de todos los elementos del caso 1 son mínimos (Figura 5-21).

Finalmente, mientras se realizaba el análisis a computadora se notó que no estaba fijo en ninguna parte la estructura que soporta la casa, esto da lugar a un posible deslizamiento en cuanto a temblores u otros posibles factores, por lo tanto, se recomienda fijarla.

Referencias

- Bini, D. (1981). *Australia Patente n° 4296585*.
- Borja, V., & Ramírez, A. (2006). *Innovación de producto*. México: Premio Nacional de Tecnología.
- Cycle Space International Pty. Ltd.* (28 de Marzo de 2011). Obtenido de <http://cycle-space.com/lugged-and-braided-buildings/>
- Engineering and Construction.* (2013). Obtenido de http://www.thecivilbuilders.com/2013/01/space-frames-structural-types_28.html
- François Pierre, T. (1980). *Embourg Patente n° 0031804A2*.
- González Bravo, R. (28 de Septiembre de 2015). Láminas de celosía: innovación tecnológica y prefabricación. Madrid, España.
- Konstandt, M., & . (2000). *Unidet States Patente n° 6378265*.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. (2007). *Engineering Design*. London: Springer.
- Papayoti V., H. (1975). *Estados Unidos Patente n° 3861107*.
- Portillo, V. (2015). *DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PROYECTO "CASA UNAM"*. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Proyecto CASA equipo UNAM_México. (2014). *Informe*. México.
- Solar CSTB. (Febrero de 2014). Solar Versalles. *Rules*. Francia.
- Solar CSTB. (28 de Junio de 2014). *The solar decathlon europe 2014*. Obtenido de <http://www.solardecathlon2014.fr/en/>
- U.S. Department of Energy. (26 de Septiembre de 2002). *Solar Decathlon*. Obtenido de <https://www.solardecathlon.gov/past/2002/>
- Ventrella, E. (1982). *Nápoles Patente n° EP0053582A1*.
- W. Cook, R. (1990). *Tucson Patente n° 4974986*.

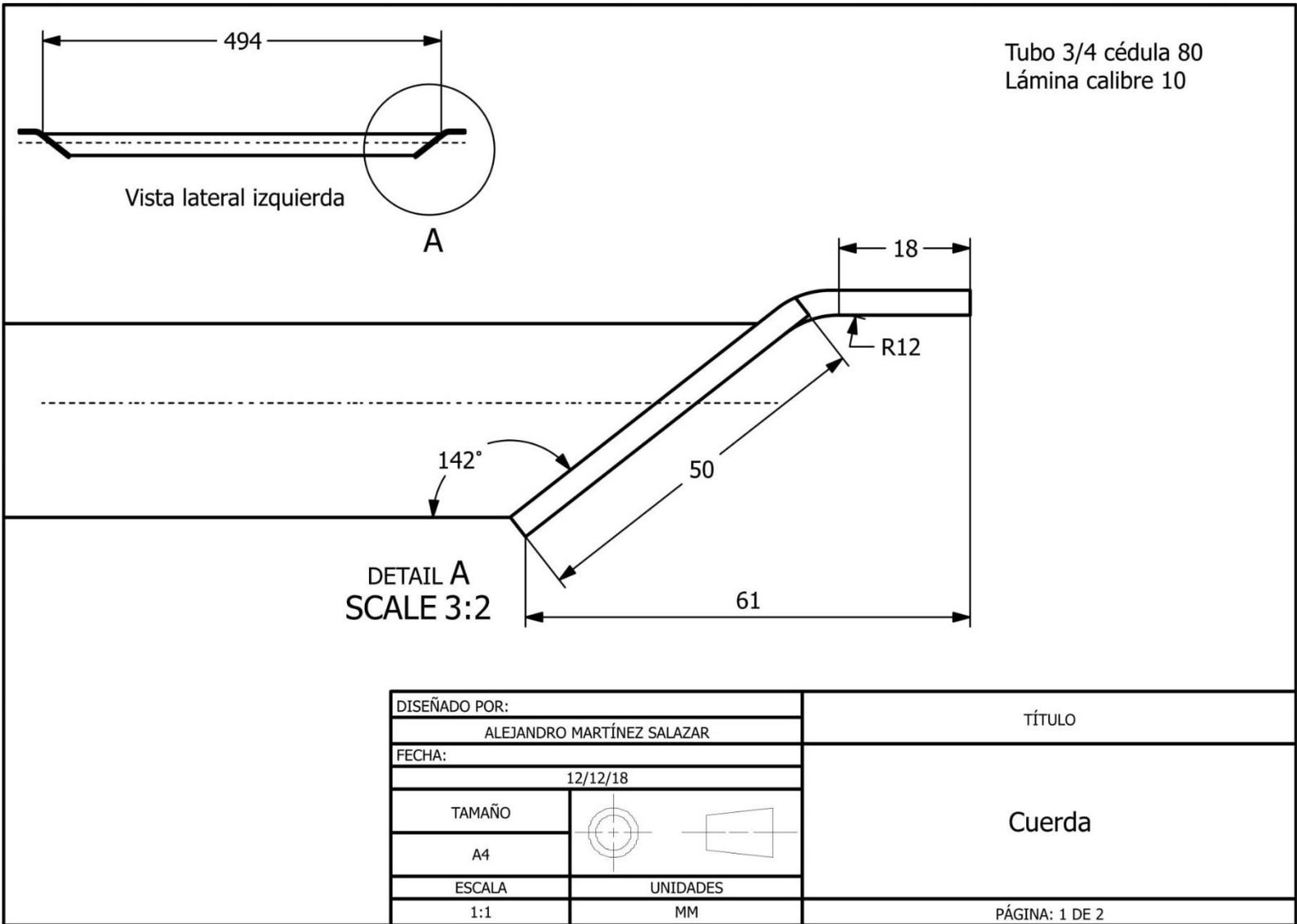
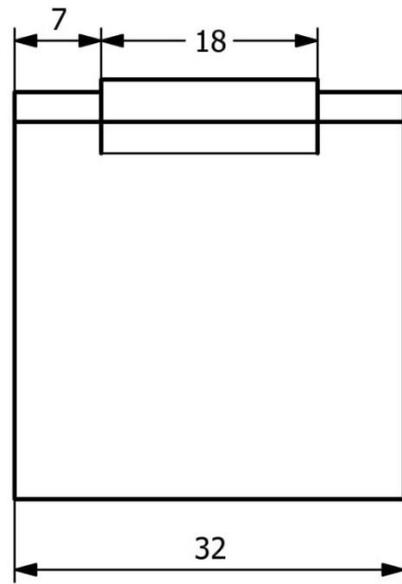
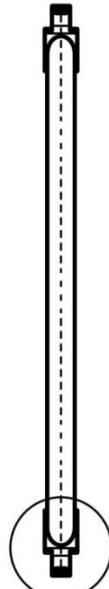


Figura 1. Plano de la cuerda página 1

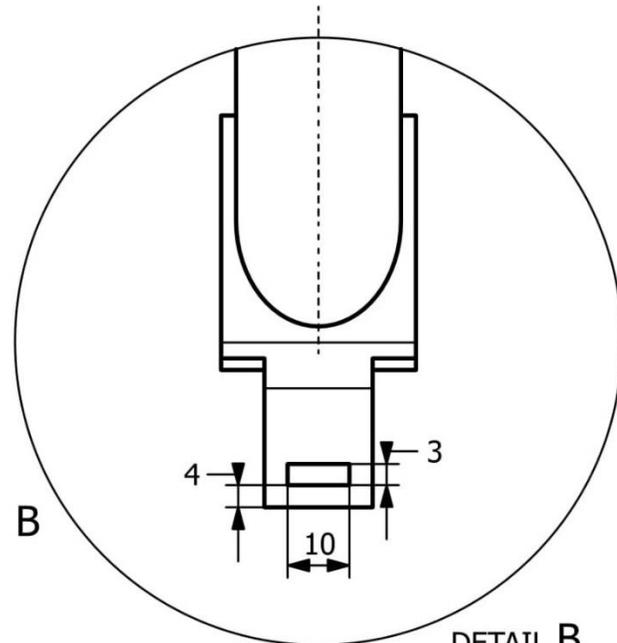
Figura 2. Plano de la cuerda página 2



Vista frontal



Vista superior



B

DETAIL B
SCALE 1:1

| | | |
|----------------------------|----------|----------------|
| DISEÑADO POR: | | TÍTULO |
| ALEJANDRO MARTÍNEZ SALAZAR | | |
| FECHA: | | Cuerda |
| 12/12/18 | | |
| TAMAÑO | | |
| A4 | | |
| ESCALA | UNIDADES | PÁGINA: 2 DE 2 |
| 1:1 | MM | |

Figura 3. Plano de la diagonal página 1

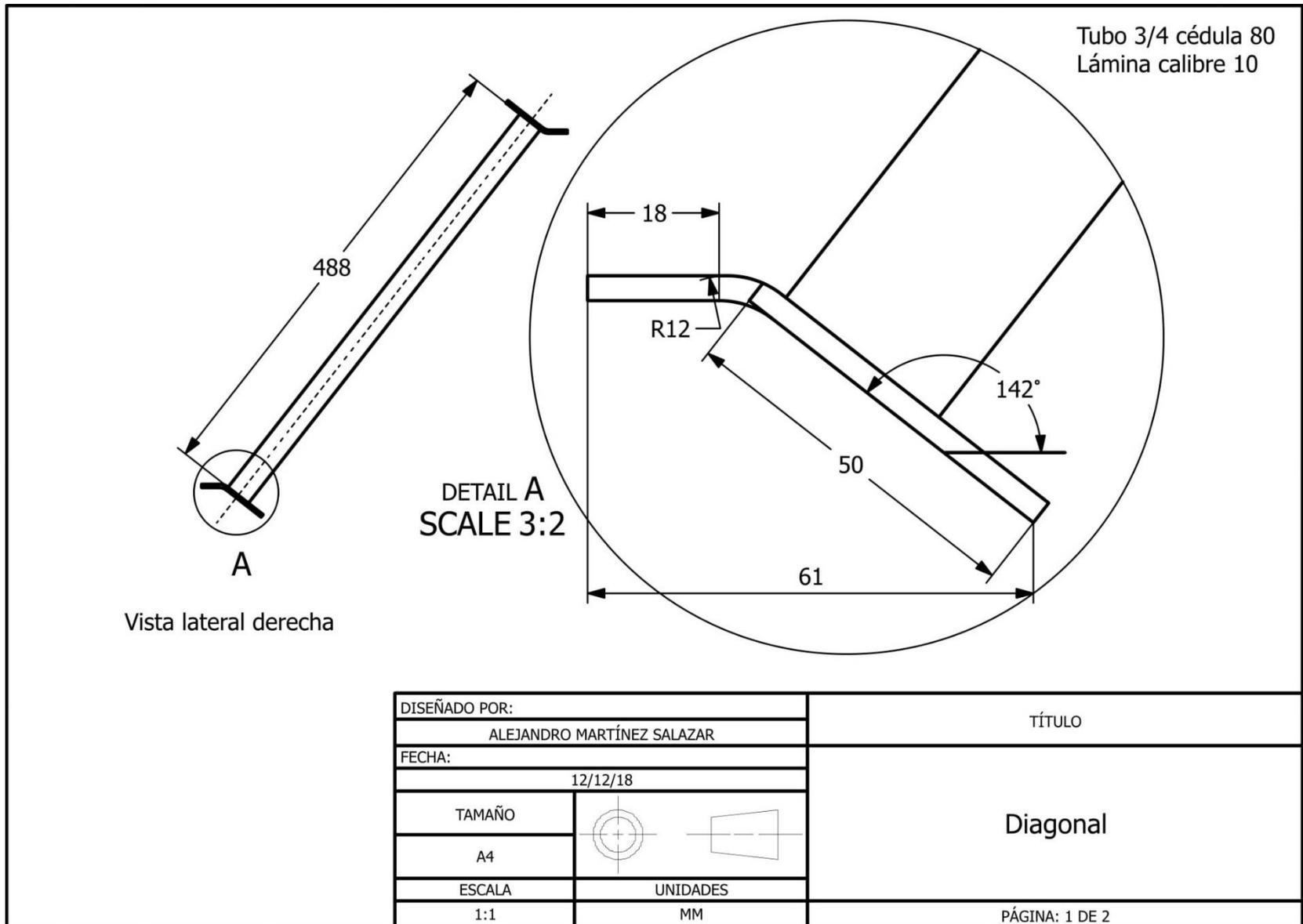
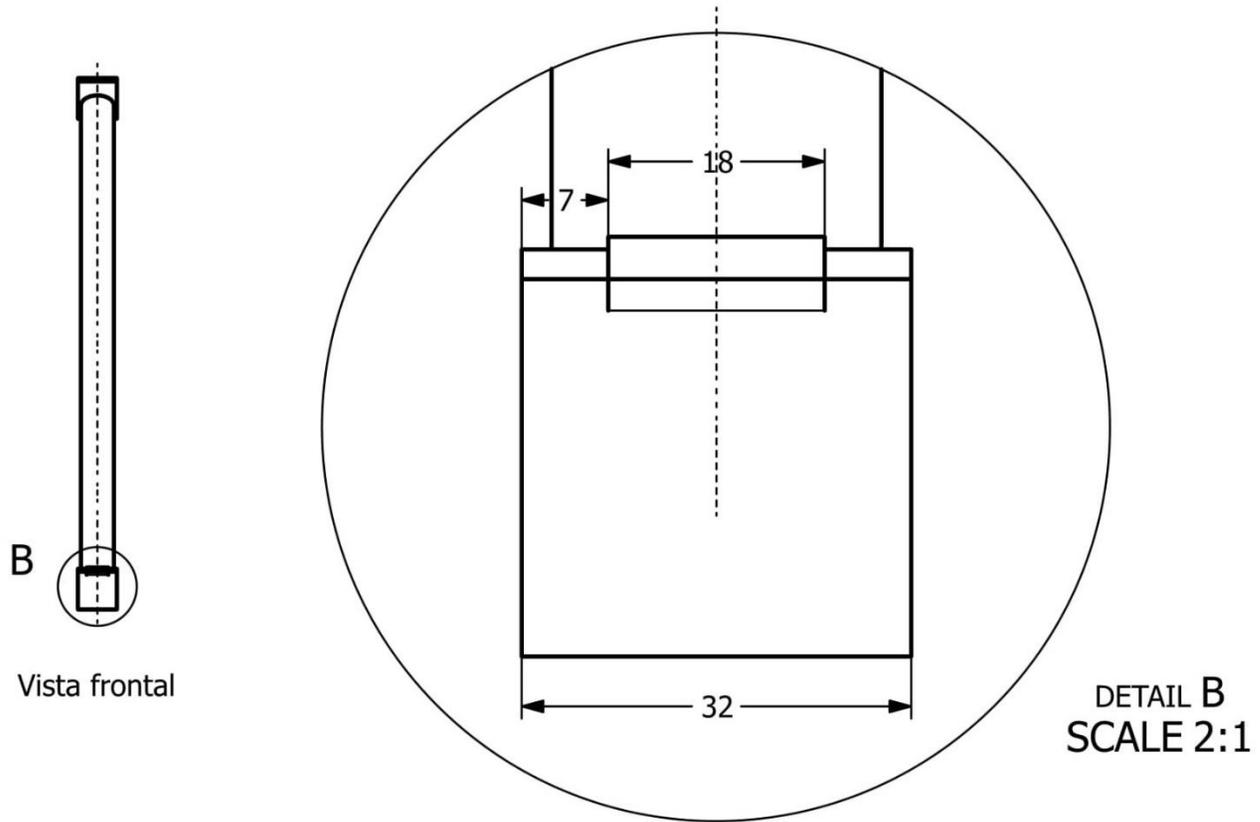


Figura 4. Plano de la diagonal página 2



| | | |
|----------------------------|----------|----------------|
| DISEÑADO POR: | | TÍTULO |
| ALEJANDRO MARTÍNEZ SALAZAR | | |
| FECHA: | | Diagonal |
| 12/12/18 | | |
| TAMAÑO | | |
| A4 | | |
| ESCALA | UNIDADES | PÁGINA: 2 DE 2 |
| 1:1 | MM | |

Figura 5. Plano del nodo parte A página 1

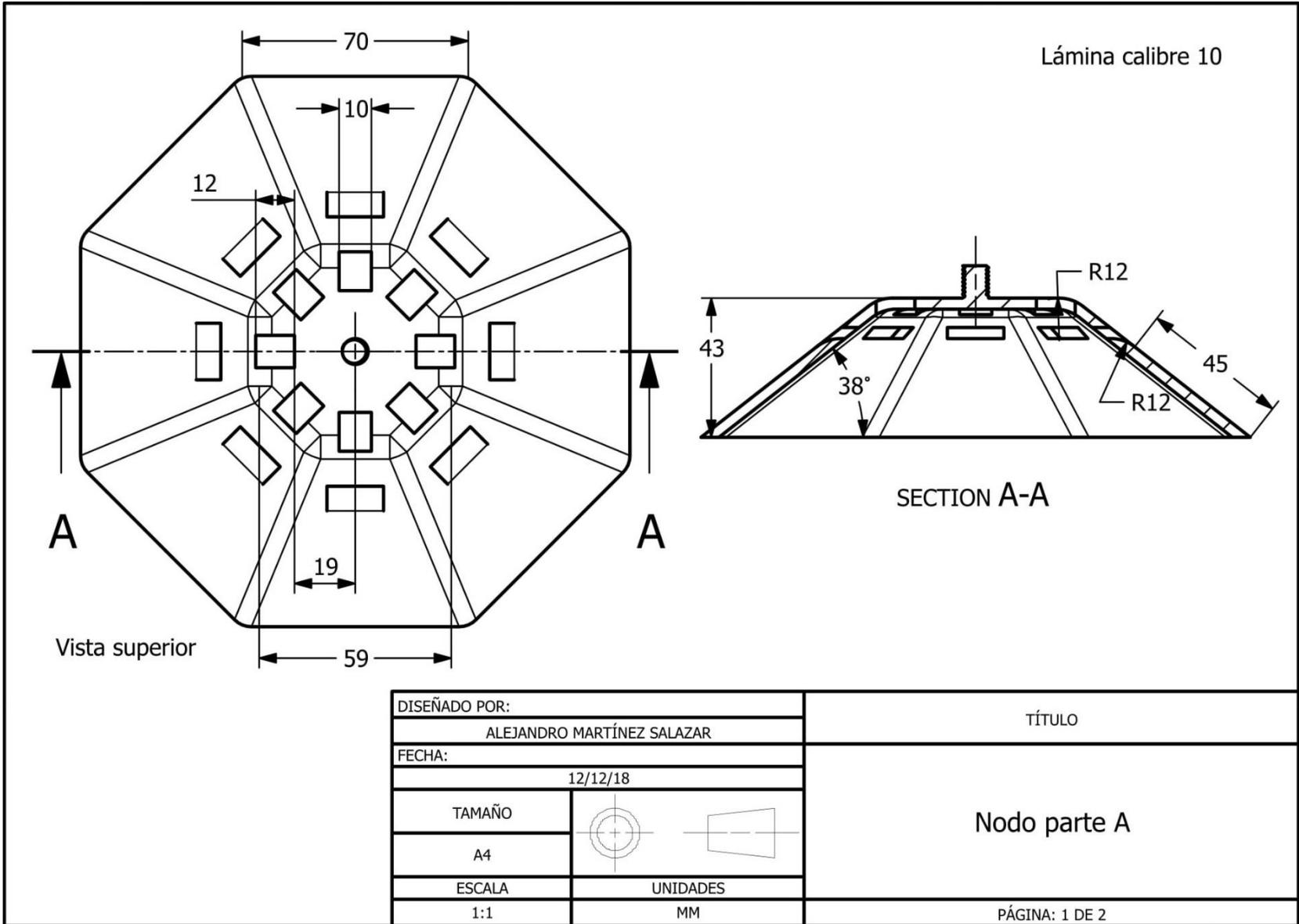
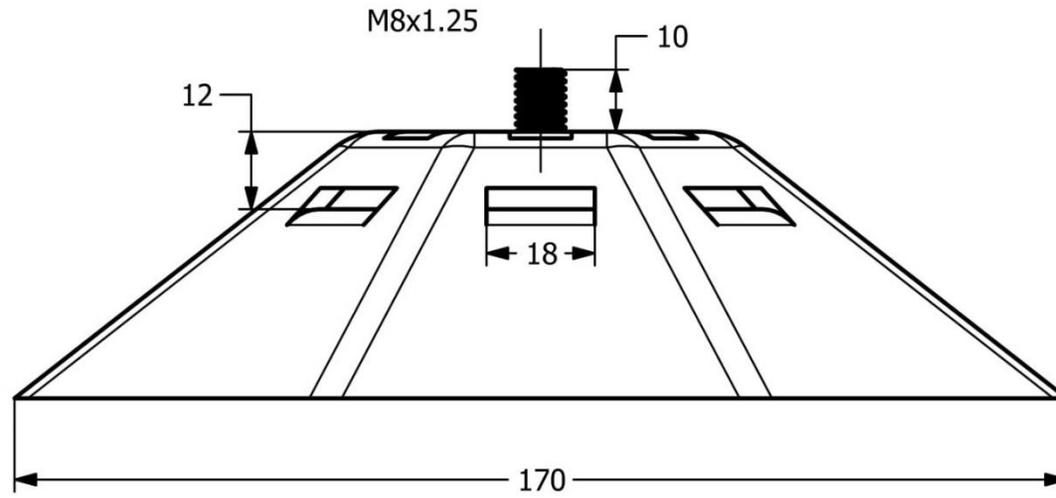


Figura 6. Plano del nodo parte A página 2



Vista frontal

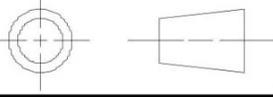
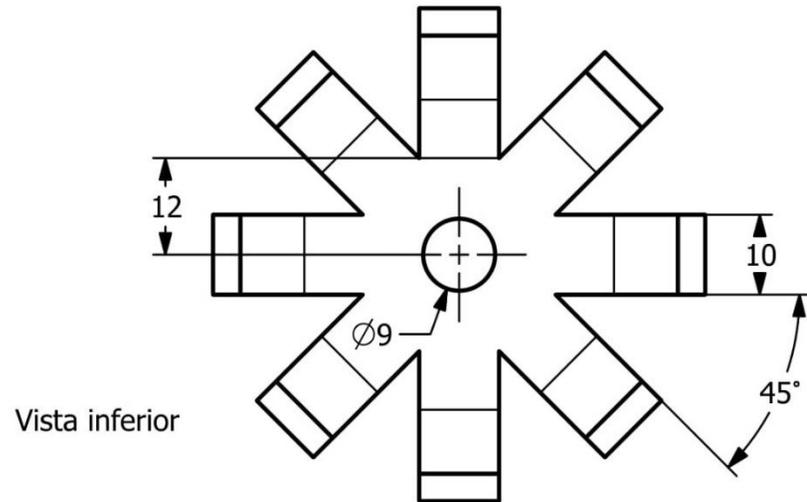
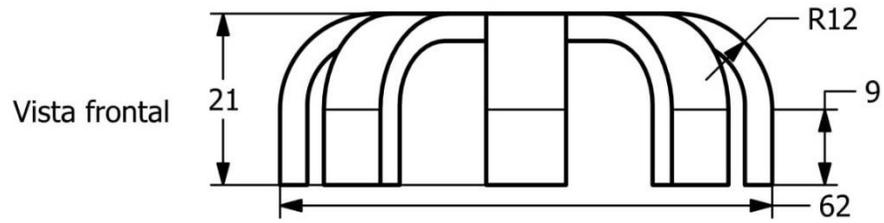
| | | |
|----------------------------|--|----------------|
| DISEÑADO POR: | | TÍTULO |
| ALEJANDRO MARTÍNEZ SALAZAR | | |
| FECHA: | | Nodo parte A |
| 12/12/18 | | |
| TAMAÑO |  | |
| A4 | | |
| ESCALA | UNIDADES | PÁGINA: 2 DE 2 |
| 1:1 | MM | |

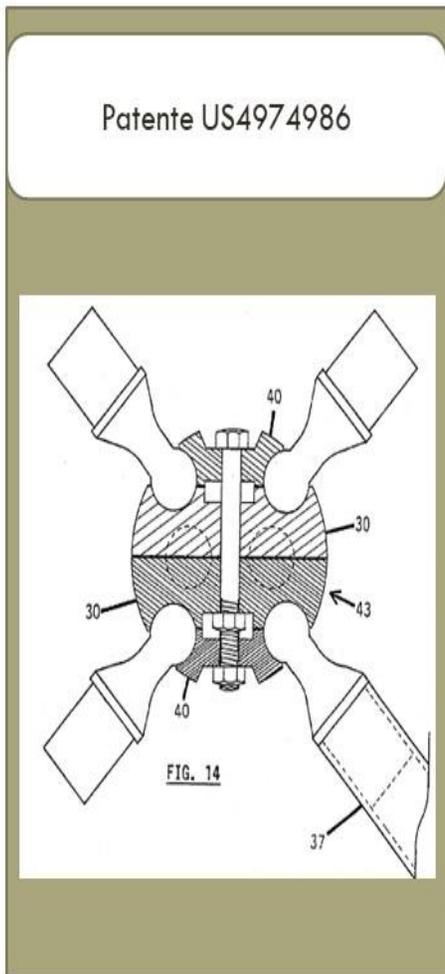
Lámina calibre 10



| | | |
|----------------------------|----------|----------------|
| DISEÑADO POR: | | TÍTULO |
| ALEJANDRO MARTÍNEZ SALAZAR | | |
| FECHA: | | Nodo parte B |
| 12/12/18 | | |
| TAMAÑO | | |
| A4 | | |
| ESCALA | UNIDADES | PÁGINA: 1 DE 1 |
| 1:1 | MM | |

Figura 7. Plano del nodo parte B

Figura 8. Ficha comparativa de Patente US4974986



Especificaciones

Decatlón

| | |
|---------------------------|-------|
| Tiempo de armado por nodo | 6 min |
|---------------------------|-------|

Entorno y Terreno

| | |
|-------------------------------------|---|
| Resistencia al medio ambiente | B |
| Adaptación a diferentes superficies | B |

Costos y Producción

| | |
|------------------------------|-----|
| Costo por nodo | 0.8 |
| Fabricación | 2* |
| Calidad de los materiales | B |
| Número de elementos por nodo | 17 |

Compatibilidad

| | |
|-----------------------------------|----|
| Compatibilidad con otros sistemas | MB |
|-----------------------------------|----|

Referencia

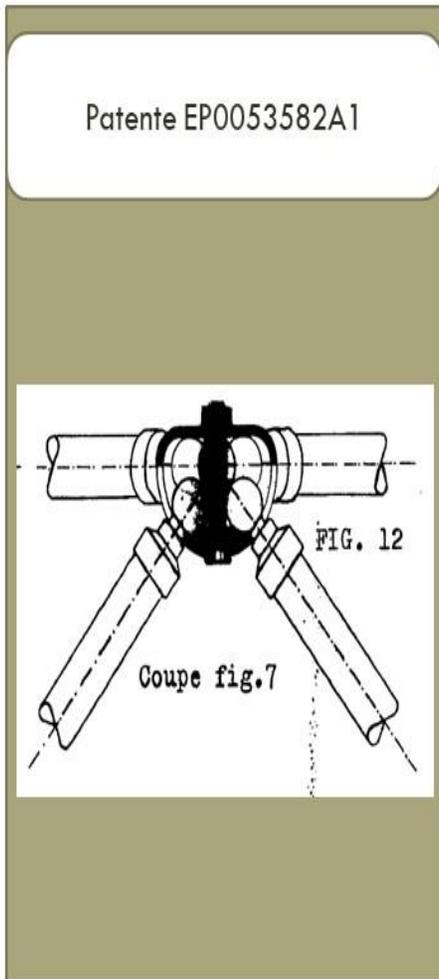
Cook W., R. (1990). Estados Unidos Patente n° 4974986.

*Escala: 1-muy fácil, 2-fácil, 3-medio, 4-difícil, 5-muy difícil
 MB- Muy bueno B-Bueno, R-Regular, M-Malo, MM-Muy Malo

Operación y Armado

| | |
|-----------------------------|----------------|
| Capacidad de carga | 2.64 kN |
| Herramental | Llave española |
| Peso por nodo armado | 5.12 kg |
| Vida útil | +70 años |
| Pasos para ensamblar | 16 |
| Personal necesario por nodo | 2 |
| Dimensiones por nodo | 61x61 cm |
| Reconocimiento de elementos | 1* |
| Tiempo de capacitación | 25 min |
| Mantenimiento | 1* |

Figura 9. Ficha comparativa de Patente EP0053582A1



Especificaciones

Decatón

| | |
|---------------------------|-------|
| Tiempo de armado por nodo | 5 min |
|---------------------------|-------|

Entorno y Terreno

| | |
|-------------------------------------|----|
| Resistencia al medio ambiente | B |
| Adaptación a diferentes superficies | MB |

Costos y Producción

| | |
|------------------------------|-----|
| Costo por nodo | 1.1 |
| Fabricación | 2* |
| Calidad de los materiales | B |
| Número de elementos por nodo | 12 |

Compatibilidad

| | |
|-----------------------------------|----|
| Compatibilidad con otros sistemas | MB |
|-----------------------------------|----|

Referencia

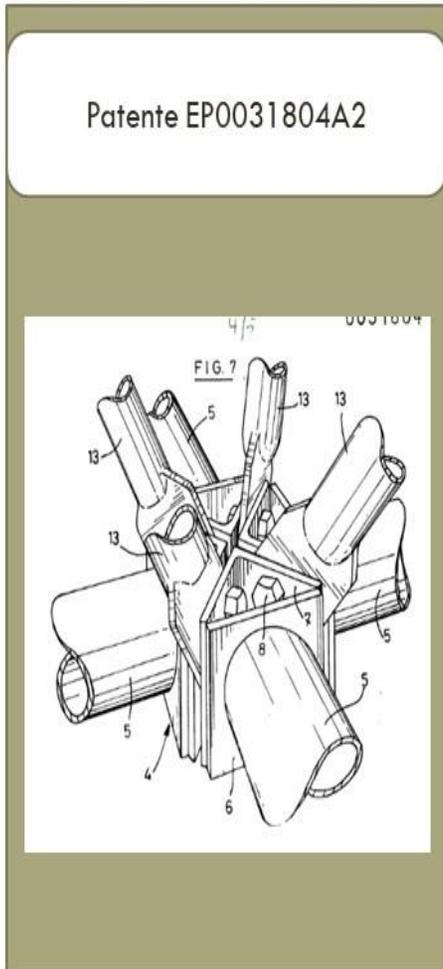
Ventrella, E. (1982). Europa Patente n° EP0053582A1.

*Escala: 1-muy fácil, 2-fácil, 3-medio, 4-difícil, 5-muy difícil
 MB- Muy bueno B-Buena, R-Regular, M-Malo, MM-Muy Malo

Operación y Armado

| | |
|-----------------------------|------------|
| Capacidad de carga | 2.86 kN |
| Herramental | Desarmador |
| Peso por nodo armado | 4.48 kg |
| Vida útil | +70 años |
| Pasos para ensamblar | 11 |
| Personal necesario por nodo | 2 |
| Dimensiones por nodo | 61x61 cm |
| Reconocimiento de elementos | 3* |
| Tiempo de capacitación | 20 min |
| Mantenimiento | 2* |

Figura 10. Ficha comparativa de Patente EP0031804A2



Especificaciones

Decatlón

| | |
|---------------------------|-------|
| Tiempo de armado por nodo | 7 min |
|---------------------------|-------|

Entorno y Terreno

| | |
|-------------------------------------|---|
| Resistencia al medio ambiente | R |
| Adaptación a diferentes superficies | B |

Costos y Producción

| | |
|------------------------------|-----|
| Costo por nodo | 1.5 |
| Fabricación | 4* |
| Calidad de los materiales | MB |
| Número de elementos por nodo | 24 |

Compatibilidad

| | |
|-----------------------------------|---|
| Compatibilidad con otros sistemas | B |
|-----------------------------------|---|

Referencia

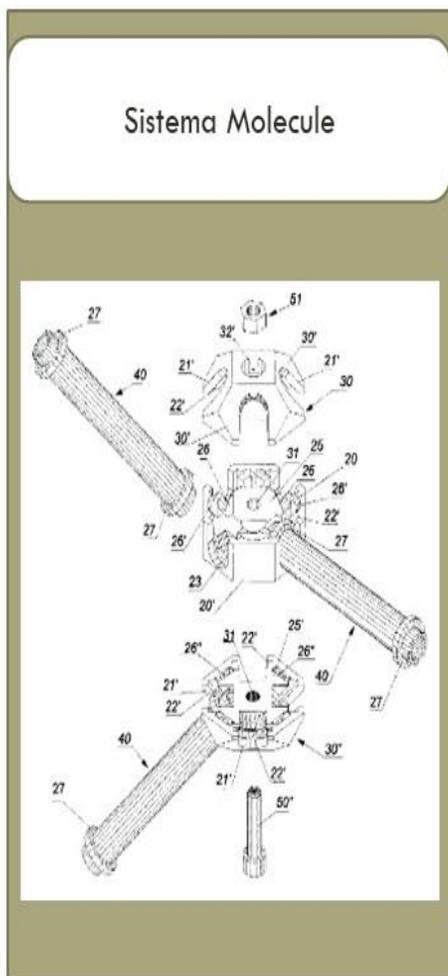
Thornard P., F. (1981). Europa Patente n° EP0031804A2.

*Escala: 1-muy fácil, 2-fácil, 3-medio, 4-difícil, 5-muy difícil
 MB- Muy bueno B-Bueno, R-Regular, M-Malo, MM-Muy Malo

Operación y Armado

| | |
|-----------------------------|----------------|
| Capacidad de carga | 3.08 kN |
| Herramental | Llave española |
| Peso por nodo armado | 7.04 kg |
| Vida útil | +70 años |
| Pasos para ensamblar | 23 |
| Personal necesario por nodo | 2 |
| Dimensiones por nodo | 61x61 cm |
| Reconocimiento de elementos | 1* |
| Tiempo de capacitación | 20 min |
| Mantenimiento | 2* |

Figura 11. Ficha comparativa del Sistema Molecule



Sistema Molecule

Especificaciones

*Escala: 1-muy fácil, 2-fácil, 3-medio, 4-difícil, 5-muy difícil
 MB- Muy bueno B-Bueno, R-Regular, M-Malo, MM-Muy Malo

Decatlón

| | |
|---------------------------|-------|
| Tiempo de armado por nodo | 5 min |
|---------------------------|-------|

Entorno y Terreno

| | |
|-------------------------------------|----|
| Resistencia al medio ambiente | B |
| Adaptación a diferentes superficies | MB |

Costos y Producción

| | |
|------------------------------|-----|
| Costo por nodo | 0.7 |
| Fabricación | 1* |
| Calidad de los materiales | MB |
| Número de elementos por nodo | 14 |

Compatibilidad

| | |
|-----------------------------------|----|
| Compatibilidad con otros sistemas | MB |
|-----------------------------------|----|

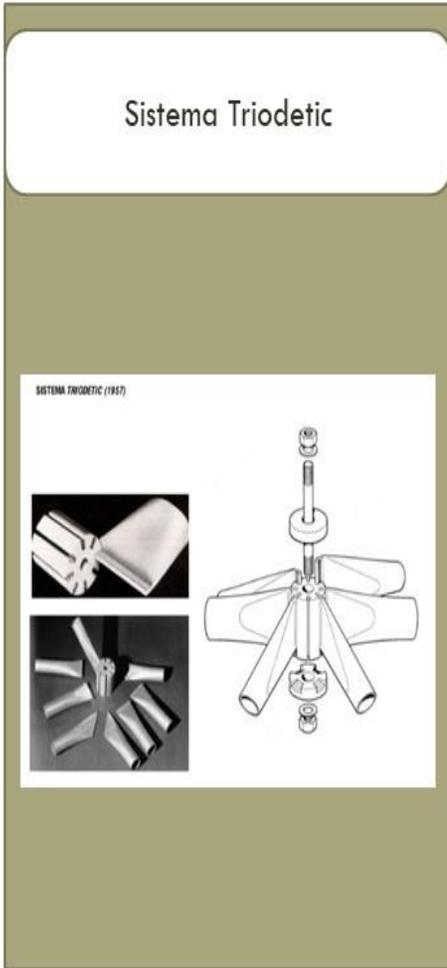
Referencia

Konstandt, M. (2002). Estados Unidos Patente n° 6378265.

Operación y Armado

| | |
|-----------------------------|------------|
| Capacidad de carga | 2.64 kN |
| Herramental | Desarmador |
| Peso por nodo armado | 2.98 kg |
| Vida útil | +80 años |
| Pasos para ensamblar | 13 |
| Personal necesario por nodo | 2 |
| Dimensiones por nodo | 61x61 cm |
| Reconocimiento de elementos | 2* |
| Tiempo de capacitación | 15 min |
| Mantenimiento | 1* |

Figura 12. Ficha comparativa del sistema Triodetic



Especificaciones

Decatón

| | |
|---------------------------|-------|
| Tiempo de armado por nodo | 6 min |
|---------------------------|-------|

Entorno y Terreno

| | |
|-------------------------------------|---|
| Resistencia al medio ambiente | M |
| Adaptación a diferentes superficies | M |

Costos y Producción

| | |
|------------------------------|-----|
| Costo por nodo | 0.7 |
| Fabricación | 2* |
| Calidad de los materiales | R |
| Número de elementos por nodo | 15 |

Compatibilidad

| | |
|-----------------------------------|---|
| Compatibilidad con otros sistemas | R |
|-----------------------------------|---|

Referencia

González Bravo, R. (28 de Septiembre de 2015). Láminas de celosía: innovación tecnológica y prefabricación. Madrid, España.

*Escala: 1-muy fácil, 2-fácil, 3-medio, 4-difícil, 5-muy difícil
 MB- Muy bueno B-Bueno, R-Regular, M-Malo, MM-Muy Malo

Operación y Armado

| | |
|-----------------------------|----------------|
| Capacidad de carga | 1.76 kN |
| Herramental | Llave española |
| Peso por nodo armado | 4.48 kg |
| Vida útil | +60 años |
| Pasos para ensamblar | 14 |
| Personal necesario por nodo | 2 |
| Dimensiones por nodo | 61x61 cm |
| Reconocimiento de elementos | 3* |
| Tiempo de capacitación | 15 min |
| Mantenimiento | 3* |