

# SISTEMA DE APUNTALAMIENTO O PARA ESTRUCTURAS SINIESTRADAS

Elementos de seguridad para bomberos voluntarios

*PROYECTO  
FINAL*

UTN FRBB – 2021/2022

## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>ETAPA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	2
<b>Entrevista al cuartel de bomberos Gral. Daniel Cerri</b> .....	3
<b>Estudio de las fallas más comunes en estructuras y el apuntalamiento requerido para las mismas</b> ...	4
<b>Situaciones críticas y sus causas</b> .....	5
Situación 2.....	6
Situación 3.....	7
Situación 4.....	7
Situación 5.....	7
<b>Sistemas de apuntalamiento</b> .....	7
Apuntalamiento y su objetivo.....	7
Tipos en función de su finalidad .....	8
Patrones de colapso de paredes pesadas.....	10
Patrones de colapso de pisos pesados .....	10
Patrón de fallo de colapso en edificios de Hormigón .....	11
Los sistemas de apuntalamiento más usuales son: .....	12
<b>ETAPA DE ANTEPROYECTO, DISEÑO Y ESTUDIO DEL MODELO</b> .....	14
<b>Material principal</b> .....	14
<b>Comportamiento de la estructura</b> .....	16
<b>Computo de materiales</b> .....	19

## **Sistema de apuntalamiento para bomberos**

### **INTRODUCCIÓN**

Desde la Universidad Tecnológica Nacional de Bahía Blanca, por medio de la cátedra de Proyecto Final de la carrera de Ingeniería Civil, se propone como proyecto, investigar y diseñar un sistema de apuntalamiento a fin de ser utilizado por equipos de bomberos frente a estructuras siniestradas de baja y mediana complejidad.

Como es de esperarse, el bombero voluntario es visto por la comunidad como una persona preparada, más allá del ciudadano promedio, para actuar en las emergencias, por esta razón acuden a ellos en busca de ayuda ante hechos que van desde los más simples hasta los más complejos. Cada vez que es alertado el cuerpo de bomberos voluntarios para prestar su servicio, se pueden encontrar ante situaciones de rescate, atención de un herido, quemados, traumatizados, etc., por lo tanto, se sobreentiende que el bombero debe estar preparado con antelación para actuar de la mejor manera ante la magnitud del llamado que sea, como así también, muchas veces, en la prestación de primeros auxilios. De la correcta actitud y actuación tomada ante un accidente por el bombero, dependerá muchas veces salvar una vida, esto los obliga a estar preparados correctamente.

Frente a esto, nuestra comisión, tiene como primer objetivo recopilar la información necesaria y referida a los sistemas de apuntalamientos, como también poder tener acceso a visitas formales en cuarteles de bomberos y conocer a fondo sus necesidades, fortalezas y principalmente, los equipamientos y sistemas de apuntalamientos con los que cuentan, para evaluar el tipo de sistema más adecuado a diseñar.

En etapas posteriores, se diseñará dicho sistema de apuntalamiento, apto y acorde a las necesidades/objetivos y seguridad que los mismos bomberos nos plantean.

### **ETAPA DE INVESTIGACIÓN**

En primer lugar, se optó por interiorizarnos en el tema directamente con los futuros usuarios, es decir, conocer las necesidades de los cuarteles de bomberos, los eventos más comunes a los que concurren, las funciones que cumplen ellos en dichas situaciones de emergencia, capacitaciones y certificaciones que pueden llegar a poseer, equipamiento más común y sistemas de seguridad que normalmente tienen a su disposición.

Luego, se investigaron los distintos sistemas de apuntalamientos que hay, identificando las patologías y defectos en las estructuras que se pueden apreciar por inspección visual, en los distintos siniestros que acontecen en los cuarteles de bomberos. Esto fue lo que nos permitió escoger el sistema más adecuado a los eventos/siniestros en cuestión.

Una vez que se recopiló la información necesaria, procedimos a conocer distintos sistemas de apuntalamientos que hay en el mercado, para poder tener una idea que nos dé el puntapié inicial para el desarrollo del diseño propio.

## Entrevista al cuartel de bomberos Gral. Daniel Cerri

Respecto a lo realizado durante el primer cuatrimestre de la materia Proyecto Final, hemos tenido el agrado de realizar una entrevista al cuartel de bomberos voluntarios Gral. Daniel Cerri, donde pudimos obtener información relacionada con su historia y evolución a través de los años, las fortalezas y debilidades a lo largo del tiempo, formas de financiación, capacitaciones y sistemas de seguridad con los que cuentan, como también equipamiento que poseen, aspiraciones a futuro, entre otros.

En primera instancia de la entrevista, se realizó un intercambio de preguntas y respectivas respuestas para conocer la situación general del cuartel y las funciones de los distintos integrantes de la organización, así también sobre cómo se compone la misma; en base a lo anteriormente mencionado, podemos decir que el cuartel está compuesto por la escala tradicional de jerarquía, desde oficial superior hasta suboficiales o subalternos, y todos tienen su trabajo particular fuera de la institución. En cuanto a nuestro caso de estudio, nos comentaron que poseen una certificación a nivel nacional para atender situaciones en las cuales requiera la utilización de un sistema de apuntalamiento para estructuras en posible colapso. Su manual de consulta para actuar en las diferentes situaciones es BREC: Búsqueda y Rescate de Estructuras Colapsadas; este documento posee distintos niveles que con los cuales se fueron capacitando dentro del cuartel, en referencia a las distintas características que puede tener una estructura en colapso y la forma correcta de proceder para atenderla.

Luego, en segunda instancia, las preguntas realizadas estuvieron dirigidas hacia la seguridad y los sistemas de apuntalamiento. Haciendo referencia al equipamiento actual que poseen con respecto a sistemas de apuntalamiento, cuentan con las distintas herramientas manuales o eléctricas, aunque no todas las necesarias o mejores, para trabajar la madera y armar estructuras para utilizar en los posibles eventos de derrumbe de un muro o situaciones similares. No siempre cuentan con la materia prima, que es la madera, ya que al realizarse cortes y demás, en un momento se cuenta con el stock y a medida que se usa se termina. En caso de acudir a un evento en el que se encuentren que tienen que realizar una actividad de apuntalamiento y no poseen la materia prima, el encargado de suministrarles el recurso es Defensa Civil. Por otro lado, cuentan con un sistema metálico para estabilización vehicular, el cual se presenta en las siguientes imágenes:



*Imagen: Presentación del sistema.*



*Imagen: Sistema en ejecución.*

El funcionamiento del sistema es relativamente sencillo, primero se dispone a poner en la posición deseada la parte telescópica y se coloca el perno para trabar. Luego de esto, el puntal se posiciona en forma diagonal al vehículo, quedando sujeto de ambos extremos (parte superior al vehículo e inferior al suelo). Por último, con la liga que pasa por la parte superior y llega al crique, se tensa para lograr el anclaje necesario para generar la estabilidad. Cabe destacar, que este elemento no se usa en forma individual, para actuar ante un evento como este, se utilizan cuatro de estos, posicionando dos en cada lado.

De este intercambio que se dio, pudimos concluir y captar la necesidad del cuartel de disponer algún sistema de ejecución rápida para situaciones de incendios estructurales o de colapso, lo cual nos motivó a realizar el diseño de anteproyecto que se presenta en forma posterior en el actual desarrollo del trabajo.

### **Estudio de las fallas más comunes en estructuras y el apuntalamiento requerido para las mismas**

En la visita al cuartel de bomberos, se nos facilitó un manual de Búsqueda y Rescate en Estructuras Colapsadas (BREC), del cual se pudo obtener información de gran importancia para el desarrollo de nuestro proyecto, guiados por los objetivos y necesidades de los bomberos.

Antes de desarrollar en profundidad características técnicas de elementos o sistemas de apuntalamiento, nos parece de vital relevancia presentar y comentar ciertos aspectos que hacen a la importancia y envergadura de nuestro proyecto, y relacionarlo en profundidad con distintas asignaturas que tuvimos a lo largo del plan de la carrera.

### **Situaciones críticas y sus causas**

Una **situación de emergencia** está definida de la siguiente manera: "Cualquier suceso capaz de afectar el funcionamiento cotidiano de una comunidad, pudiendo generar víctimas o daños materiales, afectando la estructura social y económica de la comunidad involucrada y que puede ser atendido eficazmente con los recursos propios de los organismos de atención primaria o de emergencias de la localidad".

Un derrumbe es claramente una situación de emergencia, en la cual se genera la pérdida de estabilidad de un edificio con caída de mampostería, estructura, aberturas, etc. En general se producen por diversos motivos que afectan a la base y/o estructura del mismo, produciendo movimientos que a su vez afectan a otras partes y así, se van generando una serie de hechos que, encadenados, llegan a producir la caída estrepitosa de todo el edificio.

Cuando un edificio se derrumba, sin estar ocupado ni aprisionar a ningún ser humano generalmente las tareas a realizar por Bomberos no son de extrema urgencia, y permiten adoptar medidas analizadas y evaluadas con la Dirección de Obras de la Municipalidad, quien en definitiva puede resolver la demolición del edificio.

Pero, realmente se generan situaciones de extrema tensión, cuando en un derrumbe quedan personas aprisionadas y quedando en riesgo su vida. Esta situación, genera una carrera contra el tiempo por llegar a la víctima y rescatarla, para después proporcionarle la atención médica necesaria.

En este tipo de servicio, se debe trabajar, por un lado, tratando de llegar a la o las víctimas, y por otro lado ir asegurando las estructuras para que, al mover o desplazar el material, no se produzcan nuevos derrumbes, que pudieran afectar a la/las víctimas y a su vez lesionar al personal de bomberos actuante.

Se producen otros tipos de situaciones, en los cuales se pueden verificar lesiones en un muro o estructuras de un edificio y que por su característica pueden estar indicando un inminente derrumbe, que a su vez podría afectar a edificios vecinos u otros tipos de edificación, requiriéndose en estos casos, poder determinar lo más conveniente, y llegado el caso tener que mantener las estructuras en pie, se deberá apuntalar la edificación.

Por otro lado, también, los **incendios** en su mayoría son factores de debilitamiento de las estructuras, cuando se producen en edificios, y por lo tanto, acompañan los derrumbes a los incendios en muchos casos. Cuando se produce un incendio en un edificio debemos darles la mayor importancia y cuidado a las estructuras del edificio, para que estas no sean afectadas en forma intensa por el fuego, dado que son la parte vital para que dicho edificio permanezca en

pie. En los casos de explosión y derrumbe, se debe tener mucho cuidado con la mampostería, aberturas, vidrios, chapas, etc. que queden suspendidas ya que en general, cuando se produce una explosión dentro de un edificio, son gases los que se expanden y estos al ejercer igual presión sobre todo su contenedor, terminan por escapar por el lugar más débil, y casi nunca estos lugares son las estructuras.

Los accidentes que pueden ocasionar los **deslizamientos de tierra**, son originados en su mayoría, por la falta o fallas de medidas de seguridad, ya sea carencia de apuntalamiento, deficiente construcción del mismo, o inexperiencia/ineptitud del personal encargado de las excavaciones. Pueden ser también un factor decisivo en este tipo accidentes las filtraciones de agua, originadas por lluvias o proximidad de ríos, lagos o terrenos permeables o de reciente relleno.

Un **daño estructural** es aquel que afecta el esqueleto de la estructura y compromete la capacidad portante de la estructura, como, por ejemplo: las columnas, vigas o losas. En gran medida, éstos pueden llegar a causar derrumbes parciales o totales como; colapso estructural total, pisos, techos y/o paredes inclinadas, pisos y techos colapsados, columnas colapsadas en uno o más pisos, grietas en columnas, vigas, losas, fundaciones agrietadas, entre otras.

En cuanto a daños estructurales se trate, desde lo estudiado en las materias a lo largo de los años, podemos identificar, entre los daños que desencadenan en problemas severos y riesgo de colapso, a las siguientes situaciones:

### Situación 1

Se observan una o múltiples fisuras en el centro de la columna. La causa más probable es que se haya alcanzado la carga portante de la columna a la **compresión**. En esta situación, el probable colapso está muy próximo, por lo que se aconseja el desalojo inmediato del edificio, como así también el área que pudiera afectar el derrumbe. A continuación de ello, se deberá apuntalar tratando de sustituir con los puntales, el esfuerzo que debe realizar la columna afectada.

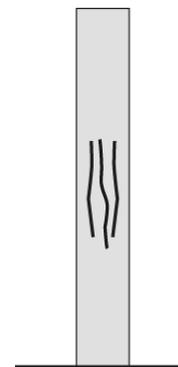


Imagen 1: Situación 1.

### Situación 2

Se observan fisuras horizontales de tracción en una de sus caras acompañadas, o no, por fisuras verticales en la cara opuesta. Las causas más probables se deben a que se ha alcanzado la capacidad portante de la columna al **flexopandeo** por compresión o por grandes esfuerzos laterales. Ante esta situación, se procederá de igual forma que en el punto uno, pero en el apuntalamiento se agregará una lateral.

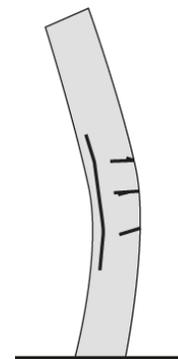
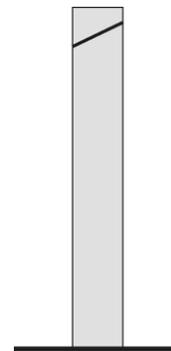


Imagen 2: Situación 2.

### Situación 3

En el caso de la situación tres, se observa la columna con fisuras continuadas, abarcando en forma inclinada toda la sección y ubicadas a cualquier altura. Una de las causas más probables es que se haya producido la rotura por la presencia de fuertes esfuerzos de **corte** y/o **compresión excesiva**. La forma de actuar es la misma que en la primera y segunda situación.

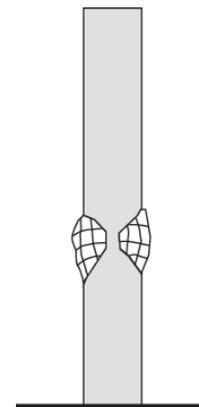
Imagen 3: Situación 3.



### Situación 4

En este caso, se produce un estallido en el tronco de columna, observándose una desorganización de la pieza con salida al exterior de la armadura a cualquier altura del tronco. La causa más probable es que se haya alcanzado la capacidad portante de la columna a la **compresión**, lo cual produce cortes en el estriado, más aún si se tiene un estriado deficiente en su construcción. La forma de actuar en este caso, al estar el colapso muy próximo, es el desalojo inmediato del edificio, como así también del área que pudiese afectar un posible derrumbe. A continuación, se deberá apuntalar tratando de sustituir con los puntales el esfuerzo que debe realizar la columna afectada.

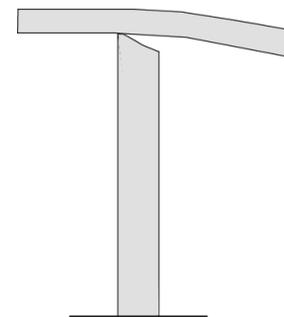
Imagen 4: Situación 4.



### Situación 5

La falla en la conexión viga – columna debida a la escasez de anclaje de refuerzo de la columna en su **unión al conjunto del sistema** o la deficiente adherencia, genera concentraciones elevadas de tensiones, lo cual puede conducir en el peor de los casos a su colapso.

Imagen 5: Situación 5.



## Sistemas de apuntalamiento

### Apuntalamiento y su objetivo

La palabra apuntalar, designa el procedimiento que utiliza piezas de madera para soportar temporalmente construcciones, partes de las construcciones o el terreno de una excavación. En nuestro caso particular, la finalidad del sistema de apuntalamiento a diseñar es otorgar mayor seguridad y protección a los bomberos a la hora de construir a trabajar en estructuras siniestradas, lo cual permitirá el resguardo de ellos a la hora de hacer su trabajo, y también facilitar el rescate y evacuación de víctimas de ser necesario.

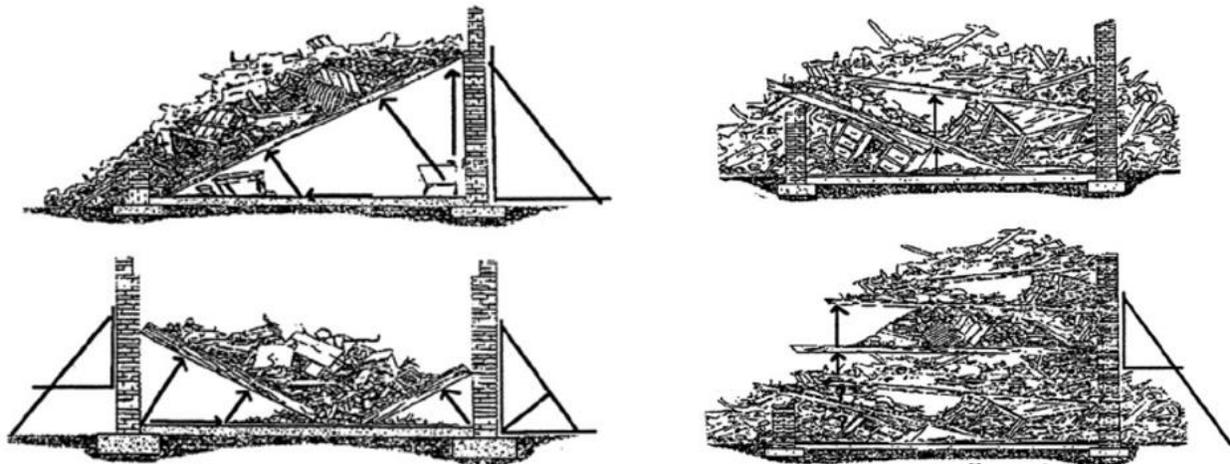


Imagen 6: Tipos de colapso mostrando las posibles ubicaciones de los apuntalamientos.

### Tipos en función de su finalidad

El tipo de apuntalamiento a utilizar variará de acuerdo a la estructura en cuestión y al tipo de siniestro al que fue sometida. Como ya se mencionó anteriormente, la respuesta de la estructura a apuntalar no es la misma ante la acción del fuego o de un sismo, por ejemplo.

Las estructuras a su vez, nos pueden dar indicios de que algo no anda bien con ellas, a estos **indicios de colapso**, se los puede clasificar de la siguiente manera:

- Paredes fuera de plomo: las paredes pandeadas/ladeadas, que se han separado de sus zapatas, pisos y techos.
- Humo y/o agua a través de los ladrillos: indicio de que el cemento que mantenía los ladrillos unidos ya no está intacto. El cemento puede dañarse debido a movimientos en la estructura de la edificación. La unión de los ladrillos se ve afectada, lo cual representa una situación peligrosa.
- Vigas de acero pandeadas: es usualmente el resultado de un fuerte incendio, donde las vigas de acero expuestas a altas temperaturas, se fatigan y fallan, causando que se pandeen y se separen de las paredes. Las vigas de madera laminada, usualmente tienen la tendencia de absorber más el calor y mantenerse intactas más tiempo.
- Grandes grietas y/o desprendimiento de revoques: después de cualquier evento en que el edificio ha sido expuesto a movimientos u otro tipo de perturbaciones, pueden haberse formado grandes grietas o haberse desprendido grandes secciones de revoque. Esto puede ser un buen indicador de que el edificio no es estable; puede haber alguna razón para creer que los soportes de vigas de carga o paredes en el interior del edificio pueden estar dañados.

- Expansión desigual, explosiones: en muchas partes del país, los edificios están contruidos especialmente para expandirse y contraerse de acuerdo a las condiciones climatológicas presentes. Estos edificios cuentan con juntas que permiten la expansión y por ello, a través del tiempo pueden crear grietas internas mientras pasan los años. Las explosiones, por otro lado, son obviamente, una historia aparte. Siempre se debe tener precaución antes de entrar a un edificio después de que ha sufrido una explosión por alguna razón.
- Pisos sin drenaje o empapados: durante los frentes de lucha contra el fuego, los bomberos introducen al edificio cerca de dos toneladas de agua a cada minuto, toda esta agua requiere ser desalojada; debido a que la mayoría de las estructuras no son capaces de soportar esta cantidad de agua por tiempo prolongado.
- Implicación de un incendio fuerte: como ya se mencionó, es común para una estructura colapsar durante o poco después de haberse visto envuelta en un fuego excesivo. El gran porcentaje de los incendios a los cuales asisten los bomberos, son considerados incendios confinados; En otras palabras, los muebles son el material combustible; Si se permite que el fuego se extienda a la estructura, cosa que no toma mucho tiempo, entonces se debe considerar la posibilidad existente de que se colapse.
- Sobrecarga, envejecimiento: la edad de cualquier edificio debería ser considerado un problema potencial en cualquier evento; los techos viejos, con solo una pequeña pendiente, tienden a pandearse con los años; debido a que los depósitos de agua durante cada estación de lluvia, resultan en grandes cargas, por lo que suelen colapsar durante las lluvias fuertes cuando la acumulación de agua es demasiado rápida como para que los desagües la drenen.
- Ruidos: es importante prestar especial atención a los sonidos que produce un edificio, ya que el mismo puede estar tratando de advertir un peligro inminente. Después de un siniestro, tal como sismo, fuego, explosión, o cualquier otro evento desastroso, un edificio que ha sido seriamente dañado, toma algún tiempo antes de su colapso. Durante ese tiempo, el edificio podría crujir, gemir y hacer ruidos secos antes de que caiga.

A su vez, existen **patrones de colapso** por sismos o vientos, los cuales nos permiten identificar en caso de haber un colapso, como sería aproximadamente el mismo, lo cual ayuda a la elección del tipo de apuntalamiento necesario. Algunos de los patrones más comunes y de gran ayuda son:

Patrones de colapso de paredes pesadas

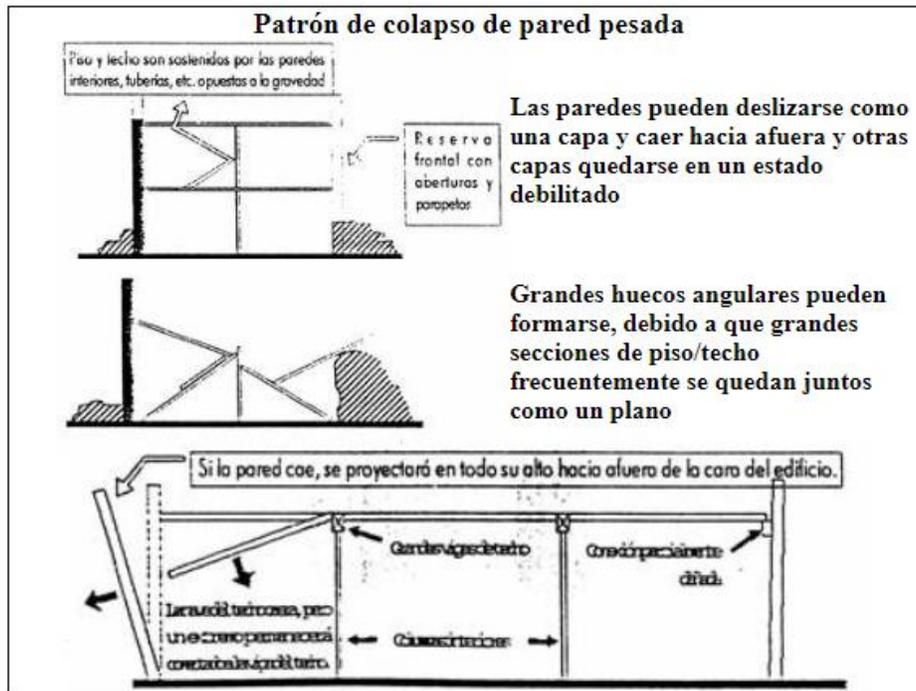


Imagen 7: Patrón de colapso pared pesada.

Patrones de colapso de pisos pesados

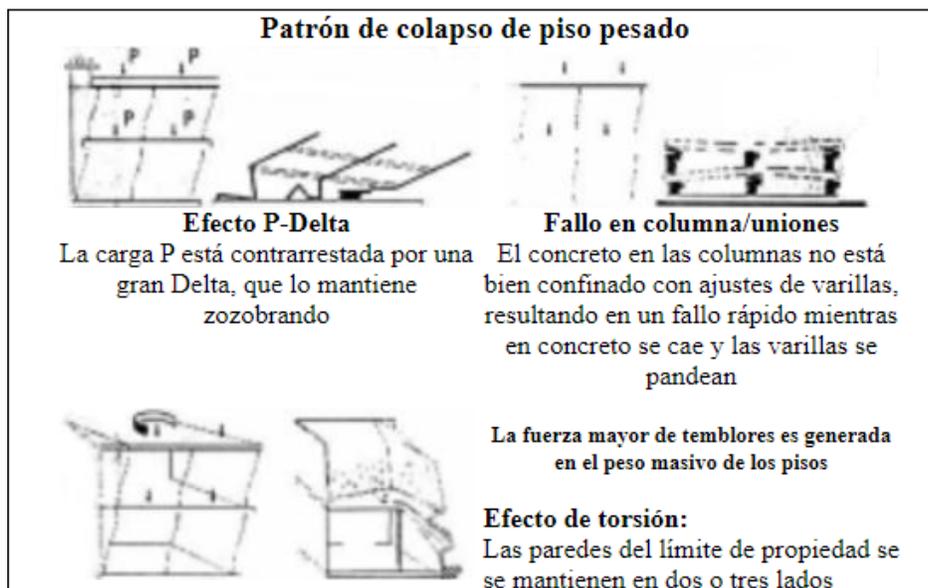


Imagen 8: Patrón de colapso piso pesado.

Patrón de fallo de colapso en edificios de Hormigón

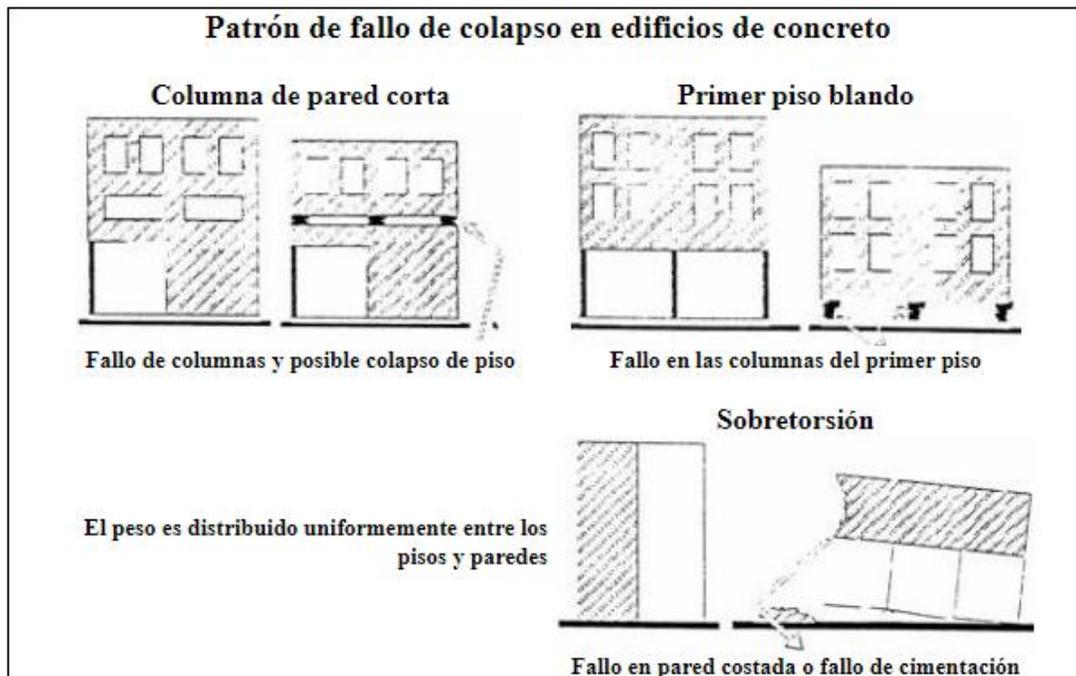


Imagen 9: Patrón de colapso en edificios de hormigón.

Introduciéndonos de lleno en los distintos sistemas de apuntalamiento de emergencia, encontramos que hay distintos factores que se deben evaluar a la hora de seleccionar el tipo de apuntalamiento.

1. Peso de los materiales de construcción:

- a. Concreto: 2403 kg/m<sup>3</sup>.
- b. Madera: 561 kg/m<sup>3</sup>.
- c. Acero 7850 kg/m<sup>3</sup>.

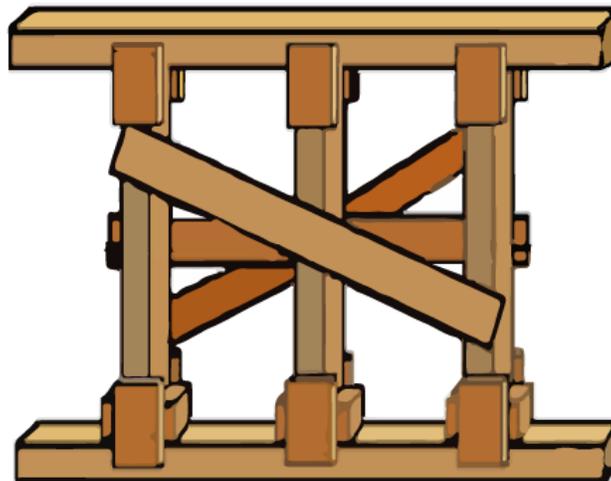
2. Peso de los componentes estructurales

- a. Capacidad normal de soporte de la construcción NO dañada.
- b. Un piso sin daños con armazón de madera o acero puede soportar otro piso dañado.
- c. Normalmente se requieren 2 pisos de hormigón para soportar 1 piso de hormigón sin daños.
- d. La cantidad de escombros sobre el piso dañado se debe tener en cuenta.

3. Condición de la estructura que se debe soportar.
4. Condición de las bases e inclinación del piso.
5. Disponibilidad de materiales necesarios.
6. Inestabilidad vertical y lateral.

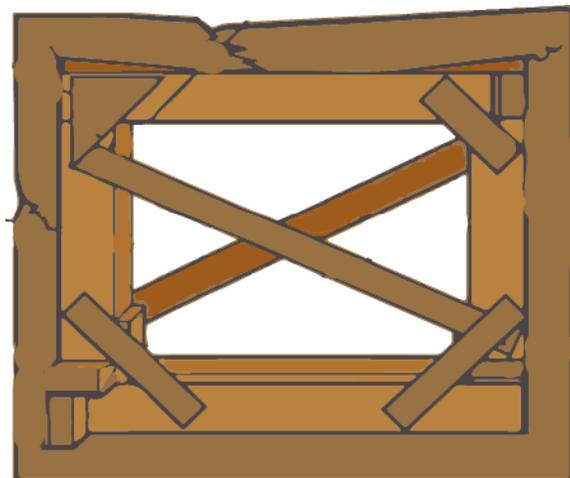
Los sistemas de apuntalamiento más usuales son:

1. Apuntalamiento vertical.



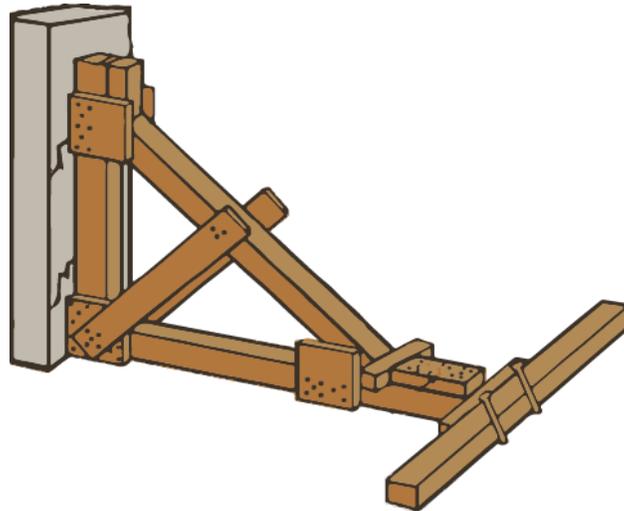
*Imagen 10: Apuntalamiento vertical.*

2. Apuntalamientos ventanas y puertas.



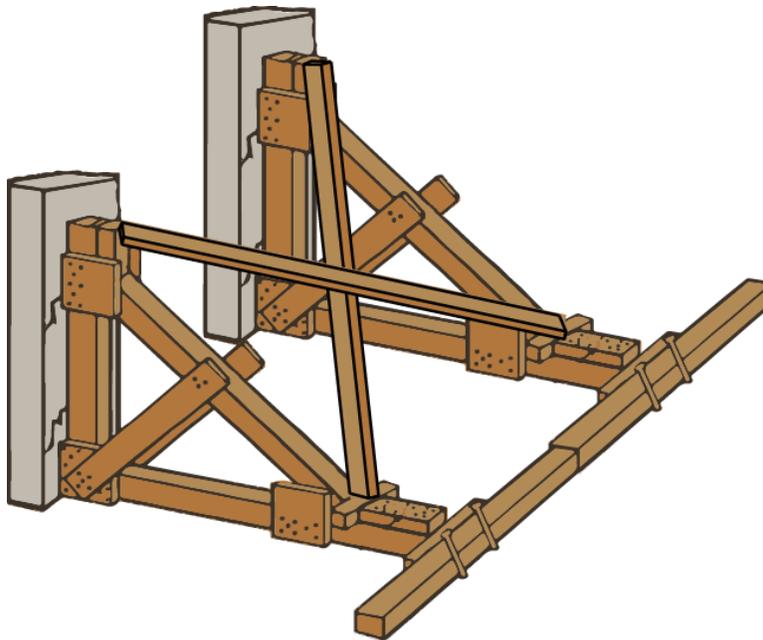
*Imagen 11: Apuntalamiento ventanas y puertas.*

### 3. Apuntalamiento inclinado



*Imagen 12: Apuntalamiento inclinado.*

### 4. Apuntalamiento inclinado (Raker)



*Imagen 13: Apuntalamiento inclinado tipo Raker.*

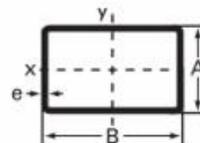
Pueden variar de material, lo que cambia la forma de colocación y construcción, pero la oposición a las solicitaciones es la misma.

## ETAPA DE ANTEPROYECTO, DISEÑO Y ESTUDIO DEL MODELO

Para el desarrollo de la estructura se utilizaron softwares específicos, tanto para el diseño y el estudio del modelo. Primeramente, se diseñó por medio de Fusión 360 la estructura proyectada en un boceto realizado previamente. Luego, por otro software basado en elementos finitos, Autodesk Inventor, se estudió el comportamiento de la misma aplicando los diferentes parámetros para los que está construida como por ejemplo la carga que deberá soportar debido al peso del muro.

### Material principal

Se opta por una sección cuadrada o rectangular ya que por geometría ofrecen un mayor radio de giro con respecto a secciones circulares, en otras palabras, para la misma área, la masa del elemento se encontrará más alejada del centro de gravedad.



DIMENSIÓN Size	ESPESOR Thickness e	RADIO Radius	PESO Weight	AREA DE LA SECCIÓN Sectional Area	MOMENTO DE INERCIA Moment of Inertia	MÓDULO DE INERCIA Elastic Modulus	RADIO DE GIRO Gyration Radius	MOMENTO DE INERCIA Moment of Inertia	MÓDULO DE INERCIA Elastic Modulus	RADIO DE GIRO Gyration Radius
20,00 50,00	0.80	1.20	0.850	1.094	0.821	0.410	0.866	3.448	1.379	1.775
	0.90	1.35	0.953	1.228	0.912	0.456	0.862	3.850	1.540	1.771
	1.10	1.65	1.155	1.492	1.087	0.543	0.854	4.633	1.853	1.762
	1.20	1.80	1.254	1.622	1.171	0.585	0.849	5.015	2.006	1.758
	1.60	2.40	1.644	2.138	1.484	0.742	0.833	6.483	2.593	1.741
	2.00	3.00	2.018	2.640	1.763	0.882	0.817	7.855	3.142	1.725
30,00 60,00	2.50	3.75	2.467	3.250	2.068	1.034	0.798	9.443	3.777	1.705
	1.10	1.65	1.500	1.932	3.151	1.576	1.277	9.265	3.706	2.190
	1.20	1.80	1.631	2.102	3.408	1.704	1.273	10.046	4.019	2.186
	1.60	2.40	2.146	2.778	4.389	2.194	1.257	13.074	5.230	2.170
	2.00	3.00	2.646	3.440	5.298	2.649	1.241	15.950	6.380	2.153
	2.50	3.75	3.252	4.250	6.339	3.169	1.221	19.339	7.735	2.133
	3.20	4.80	4.062	5.350	7.629	3.814	1.194	23.715	9.486	2.105

Imagen 14: Perfiles utilizados.

Como se menciona anteriormente, por medio del software Fusión 360, se plantea una estructura conformada por tubos estructurales de sección rectangular. La misma está conformada por dos módulos en forma triangular conectados mediante tubos de la misma geometría, conformando así una estructura como se especifica en la siguiente imagen.

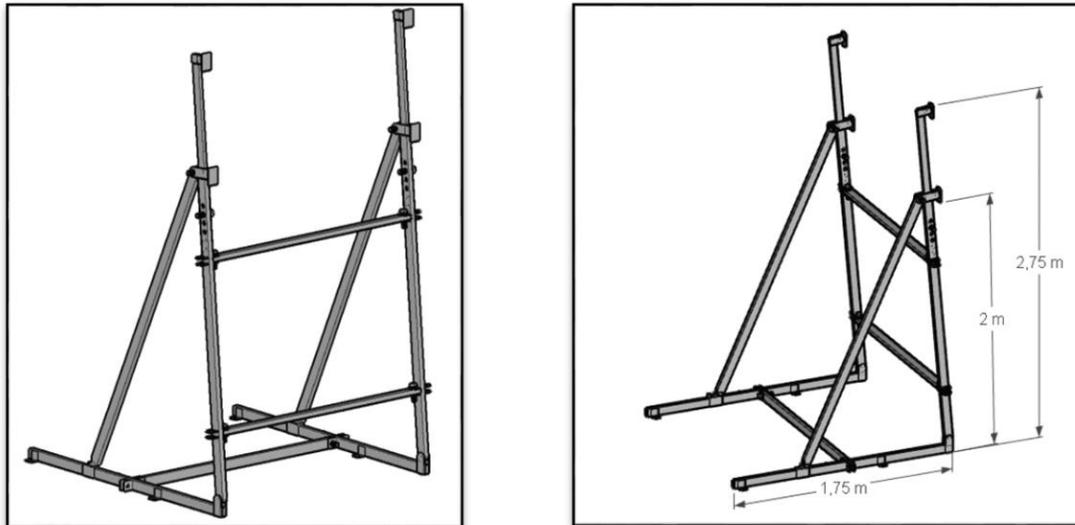


Imagen 15: Estructura proyectada.

Se proyecta implementando articulaciones sobre los vértices inferiores de los módulos de tal manera que se permita posicionar en distintos ángulos el apoyo de muro-estructura. Además, para que esto sea factible, en el tubo que apoya sobre el suelo se implementa un accesorio, el cual puede ser movilizado a través de una varilla roscada facilitando una ubicación más precisa con respecto al ángulo de inclinación deseado.

También, este sistema logra alcanzar distintas alturas de apoyo sobre el muro, esto es debido a que uno de los tubos se comporta como telescópico tal como se demuestra en la imagen siguiente.

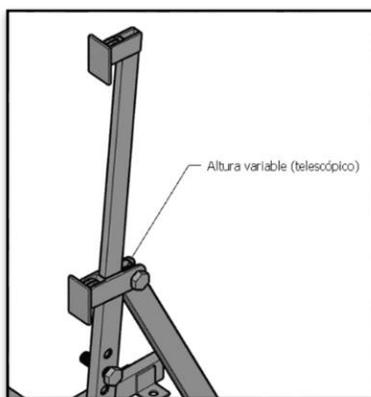


Imagen 16: Tubo telescópico.

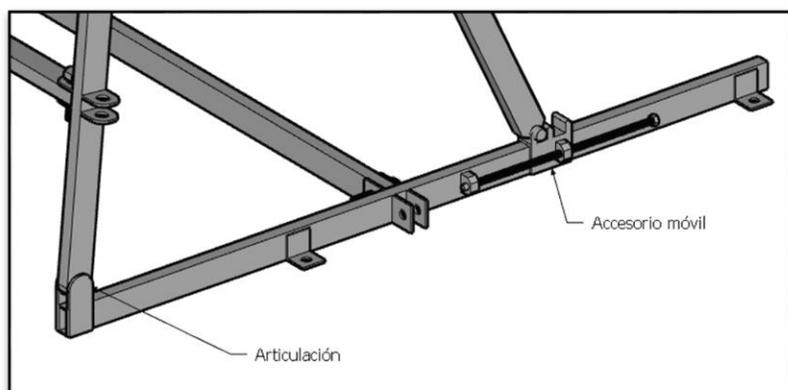


Imagen 17: Articulación y accesorio móvil.

Las uniones que conforman la estructura son de tipo abulonada ya que se busca una estructura que pueda ser transportada por los bomberos y que se pueda emplazar en el lugar de uso lo más rápido posible.

Además, por medio de planchuelas metálicas se busca que la estructura pueda ser fijada al suelo a través de estacas metálicas. Estas, irán soldadas en cada tubo de apoyo sobre el suelo.

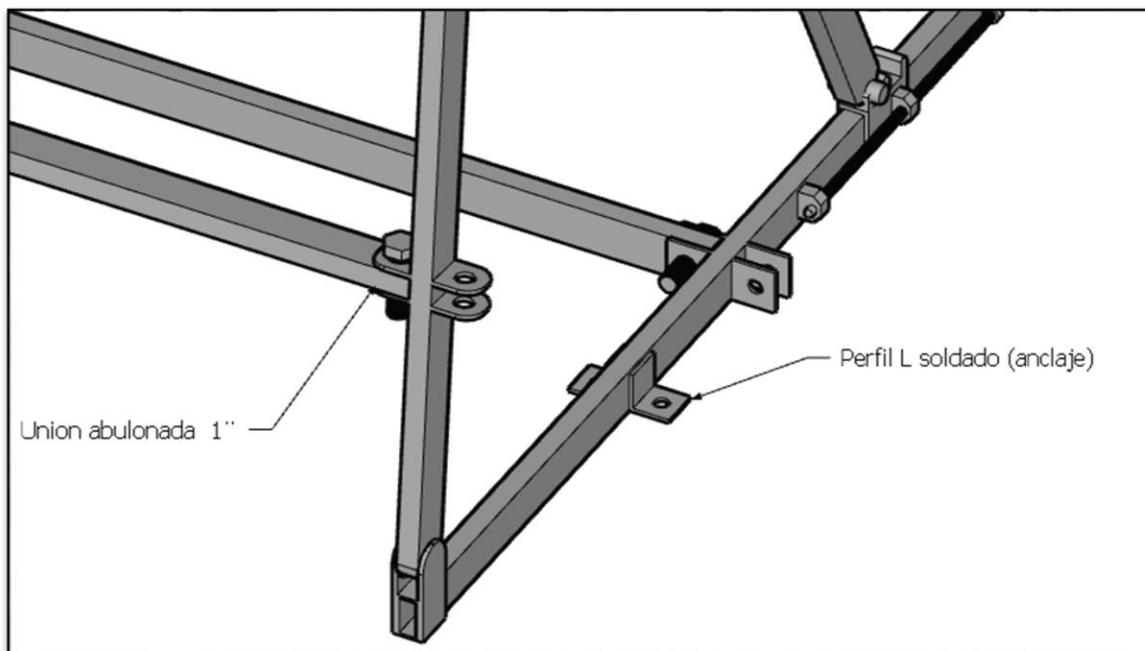


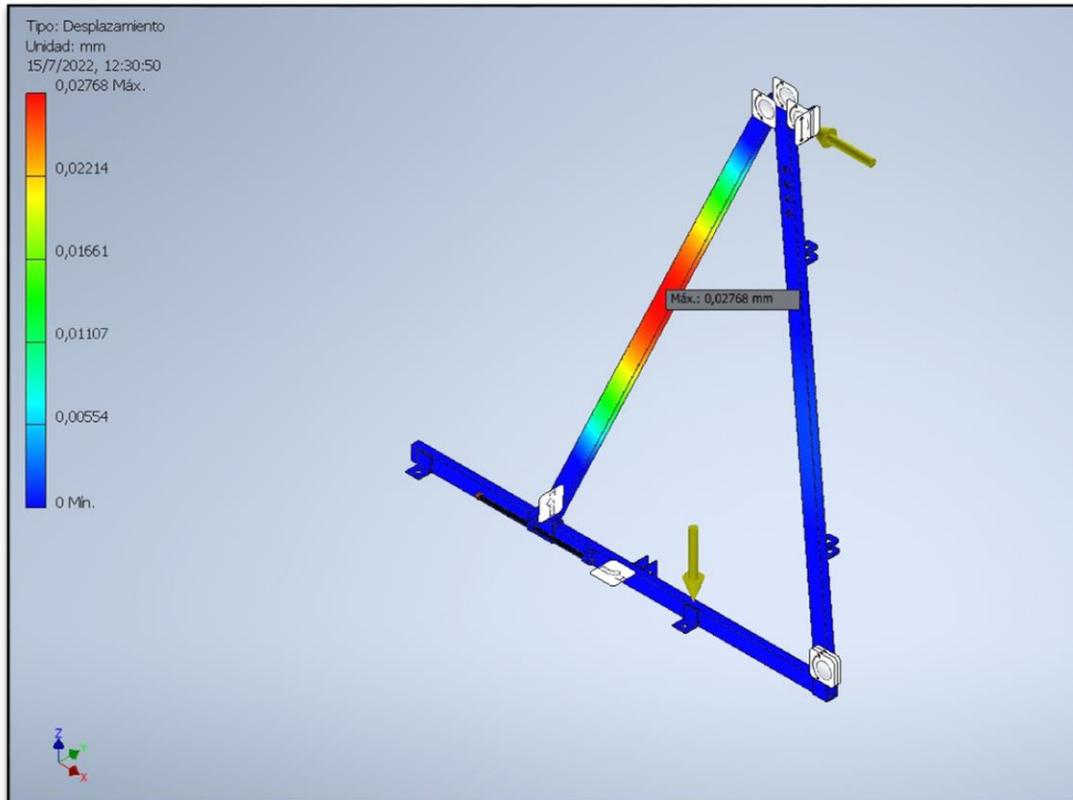
Imagen 18: Unión abulonada / Perfil de anclaje al suelo.

### Comportamiento de la estructura

Al modelo se lo estudia en Autodesk Inventor, aplicando una carga de 1Tn siendo esta lo equivalente al peso de una pared de 6tn inclinadas a  $10^\circ$  sobre los apoyos que relacionan muro-estructura.

En función de la simulación podemos observar las deformaciones que se producen en la estructura y verificar que los desplazamientos se pueden considerar despreciables, ya que el máximo se produce en la barra de 2,20 m en sentido diagonal sometida a compresión y resulta de 0,0276 mm.

En la siguiente imagen, se pueden observar los desplazamientos mencionados anteriormente en cada parte estructural del puntal diseñado.



*Imagen 19: Desplazamiento crítico en barra diagonal.*

Por otra parte, la resistencia a la tracción del material utilizado en la estructura es de 345 Mpa por lo que según el estudio realizado la misma está por encima de las tensiones analizadas, las cuales son:

- Tensión de Von Mises
- Primera tensión principal
- Tercera tensión principal
- Tensiones en diferentes planos

**Nota:** La tensión de Von Mises es una magnitud física proporcional a la energía de distorsión. En ingeniería estructural se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles.

Por lo tanto, se puede concluir que la estructura es capaz de soportar las cargas para la que está proyectada.

A continuación, se adjunta una tabla con los resultados obtenidos.

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	4068870 mm <sup>3</sup>	
Masa	31,9406 kg	
Tensión de Von Mises	0,00000469804 MPa	16,3046 MPa
Primera tensión principal	-1,54388 MPa	11,454 MPa
Tercera tensión principal	-12,1279 MPa	1,67347 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,0276766 mm
Coefficiente de seguridad	12,6958 su	15 su
Tensión XX	-9,37673 MPa	10,7993 MPa
Tensión XY	-6,25476 MPa	2,55676 MPa
Tensión XZ	-5,91935 MPa	3,30773 MPa
Tensión YY	-2,69436 MPa	3,17645 MPa
Tensión YZ	-3,93896 MPa	2,7988 MPa
Tensión ZZ	-6,79272 MPa	6,71052 MPa
Desplazamiento X	-0,00682653 mm	0,0248928 mm
Desplazamiento Y	-0,0000884497 mm	0,000165434 mm
Desplazamiento Z	-0,0274345 mm	0,000643287 mm
Deformación equivalente	0,000000000214409 su	0,0000708029 su
Primera deformación principal	-0,0000000709961 su	0,0000671357 su
Tercera deformación principal	-0,0000637442 su	0,000000123678 su
Deformación XX	-0,000043597 su	0,0000482536 su
Deformación XY	-0,000040656 su	0,0000166189 su
Deformación XZ	-0,0000384758 su	0,0000215002 su
Deformación YY	-0,0000102457 su	0,00000539787 su
Deformación YZ	-0,0000256032 su	0,0000181922 su
Deformación ZZ	-0,0000327347 su	0,0000334756 su
Presión de contacto	0 MPa	197,073 MPa
Presión de contacto X	-174,215 MPa	170,892 MPa
Presión de contacto Y	-85,1052 MPa	49,2454 MPa
Presión de contacto Z	-35,2734 MPa	49,1623 MPa

Tabla 1: Resultados finales de esfuerzos.

## Computo de materiales

Modulo					
Material	(cm)	Espesores	Largo (m)	Kg/m	Total (Kg)
Caño Estructural	3 x 6 (cm)	3,2 (mm)	6	4.02	24.12
Caño Estructural	2 x 5 (cm)	3,2 (mm)	1	2.467	2.467
Planchuela	6,35 (cm)	3,18 (mm)	2.8	1.6	4.48
Perfil L	5,08 (cm)	3,2 (mm)	2	2.4	4.8
Bulon	5 unid.	1/2 (pulgada)	0.1	-	-
Varilla roscada	1 unid.	1/2 (pulgada)	0.5	-	-
Tuerca	1 unid.	1/2 (pulg. Diam. Int.)	-	-	-
Tuerca mariposa	4 unid.	1/2 (pulg. Diam. Int.)	-	-	-
Varilla lisa	1 unid.	1/2 (pulgada)	0.7	0.99	0.693
				<b>Total</b>	<b>36.56</b>

Para unir el Modulo					
Material	(cm)	Espesores	Largo (m)	Kg/m	Total (Kg)
Caño Estructural	3 x 6 (cm)	3,2 (mm)	4.5	4.02	18.09

Tabla 2: Peso de barras.

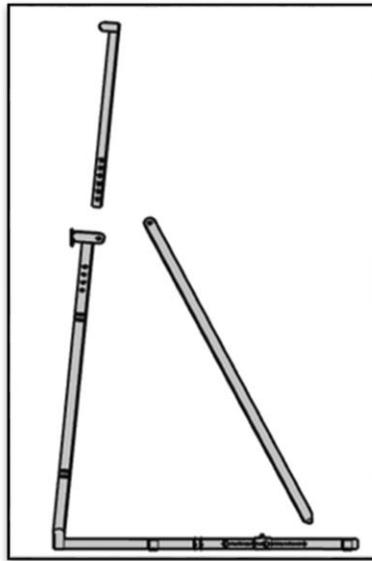
Una de las opciones que podemos tener para acceder a los materiales que necesitamos puede ser la empresa FERRARA S.A. En ella podemos encontrar planchuelas, perfil L y varilla lisa.

<https://perfiles.com.ar/wp-content/uploads/2021/01/LP-Hierros-perfiles-02-sin-tapa-con-titulo.pdf>

Y para los bulones, varilla roscada, tuerca y tuerca mariposa, se puede recurrir a la empresa BULMETAL

<http://www.bulmetal.com.ar/pdf/catalogo-buloneria.pdf>

Como podemos ver el peso total del módulo es de aproximadamente 37 kilogramos. Pero este es el peso en cual el modulo ya está armado. Considerando solamente el elemento más pesado (plegable), el peso de este sería alrededor de 24 kilogramos.



*Imagen 20: Barras.*

Por seguridad, a los bomberos se les permite cargar 25 kg por persona, con lo cual estaríamos en el rango de peso adecuado.