

TFG

TRABAJO FINAL DE GRADO

CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES AISLADAS CON **STEEL FRAME**.

GRADO DE FUNDAMENTOS EN ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS

Curso: 2018/2019

Alumno: Nicolás Morote Mas.

Tutor: Francisco José Cubel Arjona.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

ÍNDICE

Resumen (Con palabras clave)	3
0. Objetivos	4
1. Introducción	5
2. Material	6
2.1. Breve historia del hierro, acero o aluminio como materiales de construcción.	6
2.2. Características.....	7
2.2.1. Isotropía de los metales.....	7
2.2.2. Ductilidad y Maleabilidad.....	8
2.2.3. Resiliencia y Tenacidad.....	9
2.2.4. Corrosión y Oxidación.....	10
2.2.5. Conductividad y propiedades térmicas.....	11
2.2.6. Propiedades mecánicas.....	12
2.3. Tipos de metales.....	14
2.3.1. Metales ferrosos. (Hierro y Acero).....	14
2.3.2. Metales no ferrosos.....	15
3. Estructuras metálicas ligeras	16
3.1. Estructuras metálicas porticadas.....	16
3.2. Estructuras metálicas espaciales y triangulares.....	17
3.3. Estructuras metálicas no portantes. Paneles de yeso laminado.....	18
4. Steel frame	19
4.1. Concepto.....	19
4.2. Método constructivo.....	20
4.2.1. Montaje y cimentación.....	20
4.2.2. Sistema portante.....	21
4.2.3. Uniones de los tabiques.....	22
4.2.4. Forjados.....	23
4.2.5. Elementos de los forjados.....	24
4.2.6. Forjados húmedos y secos.....	25
4.2.7. Cubiertas.....	26
5. Proyectos con estructuras metálicas ligeras	28
5.1. Casa en Puerto Varas.....	28
5.2. Casa TY.....	30
6. Conclusiones	32
7. Bibliografía	34
8. Figuras	35

RESUMEN

El metal es uno de los materiales más usados en la construcción junto al hormigón o la madera. Este uso puede variar en mayor o menor medida según la zona del mundo en la que se vaya a hacer un edificio, los recursos, la cultura asociada a dicho material y la tecnología de la que se dispone.

Se pretende arrojar luz sobre nuevos sistemas constructivos con elementos metálicos ya que los entramados con este material no son muy usados en España. También veremos las ventajas, desventajas y limitaciones que pueden tener este tipo de construcciones y porqué dicho sistema no ha cuajado del todo en nuestro país. Para ello analizaremos el uso del metal a través de la historia y sus características y tipos, a fin de poder conocer bien sus parámetros con profundidad a la hora de elegirlo como material por encima de otros, bien a nivel estructural o bien a nivel de compartimentación interior.

Por último se analizarán proyectos de viviendas aisladas reales en los que se ha aplicado este sistema a fin de comprender cómo funciona, si es viable su uso para poder así sacar conclusiones y si se podría construir más con este sistema en España.

PALABRAS CLAVE: "Sistemas constructivos, Material, Entramados metálicos, Análisis, Comparación, Vivienda aislada".

RESUM

El metall és un dels materials més utilitzats en la construcció, amb el formigó i la fusta. Aquest ús pot variar en major o menor mesura, segons el lloc en el món on es va a construir un edifici, els recursos, la cultura associada a aquest material i la tecnologia de què disposem.

Es pretén visibilitzar nous sistemes constructius amb elements metàlics donat que els entramats d'aquest material no són molt utilitzats en Espanya. També veurem els avantatges i desavantatges; i les limitacions que poden tindre aquest tipus de construccions i perquè aquest sistema no ha sigut pròsper al nostre país. Per això, analitzarem l'ús del metall al llarg de la història i les seues característiques i tipus, per tal de conèixer els seus paràmetres amb profunditat a l'hora de triar-ho com a material per damunt d'altres, o bé a nivell estructural o bé a nivell de compartimentació interior.

Per últim, van a ser analitzats projectes reals de habitatges aïllats, en els quals han sigut aplicats aquests sistemes a fi de comprendre com funciona, si és viable el seu ús per tal de traure conclusions i saber si es podrà construir amb aquest sistema en Espanya.

PARAULES CLAU: "Sistema constructiu, Material, Entramats Metàlics, Anàlisi, Comparació, Habitatge aïllat".

ABSTRACT

Metal is one of the most used materials in construction, such as concrete or wood. This use may depend on the area where a building is going to be built, the resources, the culture that is associated with that material and the technological resources of the area.

The intention is to give visibility to new constructions' systems with metallic elements in order to introduce steel framing in Spain, where is barely known. In addition, we are going to study its advantages and disadvantages; the limitations of this kind of construction and why this system has not prospered in our country. For it, we are going to analyse the use of metal through history, characteristics and different types of it, with the aim to know its parameters when choosing it as the first option of constructions' system, either structurally or internally compartmentalization.

To conclude, real projects of single-family homes will be analyzed to comprehend how does it work, if its use is viable or not, to get conclusions in order to be sure if we could build with this system in Spain.

KEYWORDS: "Building system, Material, Steel frame, Analysis, Comparison, Detached single - family homes".

0. OBJETIVOS

En el presente trabajo se pretende hacer un estudio de las propiedades del metal y de qué tipos de metales son más usados en la construcción para así según un metal u otro observar y entender cómo son usados en las mismas. Existen gran variedad de metales y por ello se precisa un estudio de estos ya que no todos se usan en la construcción y los que se usan en las estructuras no tienen porqué ser los mismos que los que se usan en chapas de cubierta, por ejemplo.

Así mismo y como se ha mencionado antes existen muchas propiedades y se analizarán las respectivas a los metales y compararlas con las de otros materiales como la madera o el hormigón para valorar ventajas y desventajas, de cara a ayudar a escoger mejor si queremos trabajar con los metales sirviéndonos de las muchas ofertas que tiene el mercado actual.

En nuestro caso estudiaremos con profundidad las soluciones constructivas con entramados ligeros que son poco comunes en España lo que nos hace preguntarnos el porqué de su poco uso. Se abordará por lo tanto respuestas a esta cuestión y para ello nos ayudaremos de ejemplos de reales de viviendas reales construidas con este sistema constructivo en otros países donde sí han tenido un uso mayor. Dentro del propio material, se compararán también las diferencias que hay entre las construcciones de entramados ligeros y las estructuras porticadas con perfiles metálicos ampliamente conocidas.

Dicho esto la última cuestión que nos surge es si son viables este tipo de construcciones a nivel económico, funcional y medioambiental. Por último se volverán a comparar estos aspectos de los entramados metálicos con otro tipo de construcciones y estructuras más presentes en España.

A modo de resumen, los objetivos son los siguientes:

- 1:** Conocer mejor las propiedades de los metales y sus tipos y comparación con las de otros materiales.
- 2:** Entender las construcciones de entramados metálicos y comparación del mismo con otros sistemas de construcciones metálicas.
- 3:** Analizar el uso del sistema constructivo en España.
- 4:** Estudio de la viabilidad del sistema constructivo.

1. INTRODUCCIÓN

Los metales tienen una gran presencia en la naturaleza, no en vano aproximadamente un 80% de los elementos son metálicos y desde que se conocen sus propiedades han sido muy usados en muchos casos.

La humanidad conoce los metales desde la edad del cobre en torno al 7000 AC en la región de Mesopotamia. Si bien sólo ha estado presente en la arquitectura muy tímidamente hasta el S.XVIII siendo muy usado hasta ese momento por herreros para armamento bélico u otros utensilios. Junto al hormigón el uso de los metales en las construcciones ha sido muy tardío en comparación a la madera, la cerámica o el cemento.

En los siguientes capítulos el tema del uso y repercusión de los metales en la historia para poder ver la trayectoria que ha seguido el material y cómo está su uso en la actualidad. Además de ver cómo han sido utilizadas las propiedades de estos en la ciencia. Actualmente el acero junto al hormigón (y también la cerámica en España) son los materiales más usados en la arquitectura, sobretodo por sus cualidades estructurales y de resistencia. La forma de construir con metales se ha diversificado mucho en las últimas décadas, ello puede deberse a:

- 1:** Industrialización y posibilidad grandes piezas ya montadas en taller.
- 2:** Gran precisión y sistematización de los perfiles fabricados gracias a la tecnología.
- 3:** Posibilidad de reciclaje sin que disminuyan sus características.

Todo ello hace que el acero o el aluminio sigan siendo muy utilizados hoy en día pese a la fuerte competencia ya que son materiales que son muy versátiles y se pueden usar para multitud de situaciones. Este escrito tiene como pretensión el uso de los metales en viviendas unifamiliares y comparando su sistema constructivo frente al acero o con otros materiales.

Con el fin de tener un entendimiento correcto de los metales, primero hay que analizar las propiedades y la historia de su uso para tener un marco en el que se sepa dónde utilizarlos de manera óptima. Tras ello se explicará el funcionamiento del sistema constructivo con entramados metálicos o “steel frame” en qué ámbito se usan, cómo puede adoptarse en la arquitectura y se ayudará con ejemplos para una mejor visualización.

También se compararán los sistemas de estructura con entramados ligeros con los sistemas con los perfiles plegados, los sistemas de bastidores prefabricados o las estructuras porticadas (Estas últimas son pesadas) para entender sus diferencias y dónde es mejor usar cada uno de ellos.

Finalmente se analizarán las amenazas que puedan afectar a este sistema como puede ser el fuego, el pandeo, abolladuras o problemas relacionados con inestabilidad de los planos de rigidez. Para estudiar las mejores soluciones a estos problemas y qué ventajas proporcionan frente a otros sistemas.

Básicamente el procedimiento del presente trabajo se basa en:

ANÁLISIS

Tanto del uso, historia, y estado actual del material como de sus propiedades así como de proyectos reales para a fin de mostrar su uso.

ESTUDIO DEL SISTEMA

Para entender su funcionamiento y ámbito de aplicación con sus ventajas y desventajas.

COMPARACIÓN

Del sistema con otros del mismo material y de las propiedades previamente estudiadas con las de otros materiales como la madera o el hormigón.

CONCLUSIÓN Y SOLUCIONES

Tras ver las ventajas y desventajas del sistema y del material. También se darán respuestas a diversas preguntas que se hacen en el trabajo.

2. MATERIAL

2.1. Breve historia del hierro, acero o aluminio como materiales de construcción.

A diferencia de otros materiales históricamente conocidos como la madera o la piedra, los metales no han estado tan presente en las construcciones arquitectónicas hasta bien entrado el S.XVIII. Si bien se conocían muchas de sus propiedades, su uso se limitaba para la elaboración de herramientas o para la fabricación de armas y armaduras con fines bélicos. Aproximadamente hacia el 1000 a.C, los Griegos descubrieron una forma de fundir las armas mediante un tratamiento térmico (templado) con el fin de aumentar la dureza del hierro o el de este con sus aleaciones (Descubriéndose el acero como fruto de añadir carbón en las fundiciones de hierro). Todo ello se pudo llevar a cabo y desarrollar gracias al descubrimiento de la minería en torno a los 3 siglos a.C. en la cuenca del mediterráneo dando a los Romanos el acceso a estos metales generando así una próspera industria metalúrgica que les proporcionaría los recursos necesarios para construir su inminente imperio. *Arquitectura en acero.org / Metales, MCO - 2019*



FIGURA 1: La fragua de Vulcano pintada por D. Velázquez en 1630.

Actualmente se conoce a todas las aleaciones anteriores al S.XIV como hierro forjado siendo la composición habitual del hierro durante miles de años. El hierro forjado se obtenía tras trabajar las menas calentándolas al rojo vivo con el fin de que el material pueda ser maleable y se eliminen las impurezas presentes en su estado natural bruto. Sin embargo el hierro en su fase líquida no se consiguió de una forma generalizada hasta el siglo XV con la aparición de los altos hornos conocidos como "Stückofen" en Alemania llegando a ser muy populares los altos hornos en Europa. Con estos hornos se producía Arrabio en una primera fase y barras de acero forjables en la segunda. *Arquitectura en acero.org*

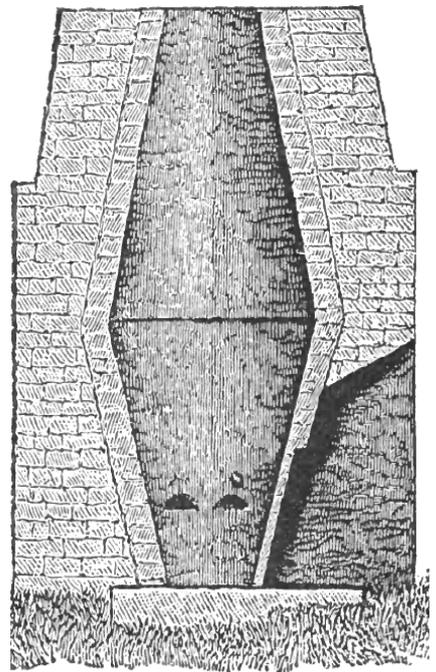


FIGURA 3: Alto horno "Stückofen".



FIGURA 2: Puente Iron bridge, cerca de Coalbrookdale, Inglaterra (1777-1779).

El hierro forjado no se empezó a utilizar en la construcción hasta que la revolución industrial pudo dar la tecnología suficiente para que ello se diera, donde se consiguieron mejorar el tiempo de producción y la tecnología del hierro y del acero. Tras un intento fallido de construir un puente en el Ródano en 1755, habrá que esperar 20 años para que se erija el Iron bridge consolidando así el hierro como futuro material de construcción (Aunque sus sistemas constructivos recuerden a los de la madera y estuvo pensado para trabajar a compresión casi en su totalidad). El ferrocarril ayudó mucho a unificar el concepto de que el hierro estaría presente en la industria y más aún cuando se empezó a tener miedo a los grandes incendios como el de Londres en 1666 y el de Chicago en 1871. El hierro en la arquitectura se pensó como material que no era combustible (Irónicamente en la actualidad es uno de los materiales más peligrosos frente al fuego) y debido a sus propiedades mecánicas dio la posibilidad a nuevas construcciones como los rascacielos nacidos en la escuela de Chicago o la Torre Eiffel (1887- 1889) donde para entonces ya se tenía experiencia con este material tras ser usado en la Biblioteca de Santa Genoveva y el Crystal Palace ambos en 1851. El acero apareció como sustitución al hierro por su mejor maleabilidad y propiedades mecánicas en el S.XX, además con el hormigón hace una pareja excelente porque a diferencia del hierro colado tiene una enorme resistencia a tracción abriendo la posibilidad a nuevas estructuras. El aluminio ha ganado mucha popularidad desde los inicios del S.XX debido a su ligereza, su resistencia, su durabilidad y que no es propenso a la corrosión ni es tóxico pero no había podido usarse históricamente debido a falta de tecnología. *Arquitectura en acero.org / Metales, MCO - 2019 / Elaboración propia.*

2.2. Características.

2.2.1. Isotropía de los metales.

Los metales tienen una estructura interna o estructura cristalina simple en la que los átomos están ordenados de manera ordenada pudiendo tener sus estructuras un átomo en el centro o un átomo en las caras. Esta estructura ordenada es la que hace que el material sea isótropo ya que internamente no hay una dirección predominante dando lugar a que las magnitudes vectoriales cuantificables dan los mismos resultados independientemente de la dirección tomada para esa medida. Las estructuras ordenadas o cristalinas pueden ser tanto isótropas como anisótropas ya que si bien presentan un orden, estas pueden tener una dirección predominante. Sin embargo, en el caso de las estructuras amorfas como podría ser el vidrio siempre serán isótropicas ya que los átomos no siguen ninguna dirección principal en la que ordenarse. *Metales, MCO - 2019 / ST3 (J.L.Pardo) - 2019*

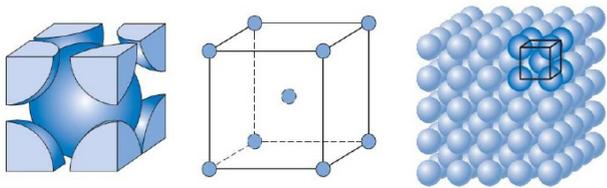


FIGURA 4: Estructura atómica cristalina isótropica con un átomo en el núcleo.

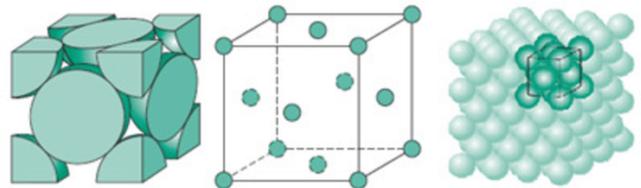


FIGURA 5: Estructura atómica cristalina isótropica con un átomo en el centro de las caras.

En la madera sin embargo esta propiedad es diferente ya que presenta una clara dirección en sus células y tejidos que la convierte en anisótropa e imposibilita que sus resistencias sean iguales según desde dónde sea aplicada la fuerza, por lo que siempre hay que buscar el punto óptimo de resistencia (La madera se comporta como las cañas teniendo mucha resistencia en una dirección y muy poca en el otro). Los metales al tener esta propiedad pueden ser mucho más fácilmente trabajados en este sentido pues no necesitan de una previa revisión sobre su orientación y colocación pudiendo fundirse, soldarse y colocarse sea cual sea su dirección. *Metales, MCO - 2019 / ST3 (J.L.Pardo) - 2019*

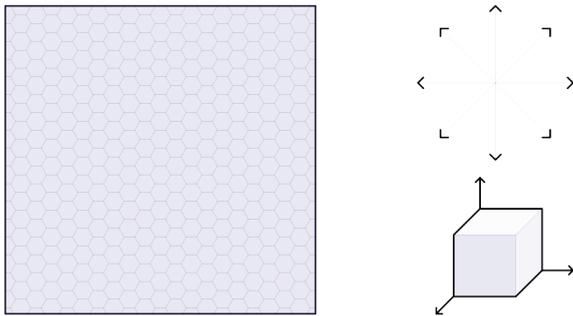


FIGURA 6: Estructura de un material isótropo.

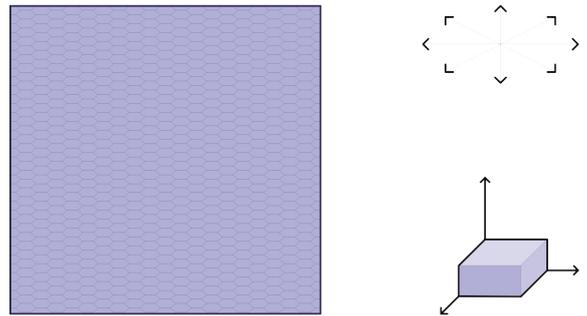


FIGURA 7: Estructura de un material anisótropo.

Del mismo modo que puede tener fuerzas en todas direcciones y ofrecer la misma resistencia, tampoco importa si las fuerzas son de tracción o de compresión pues los metales y en concreto el acero es un material birresistente. Esta birresistencia dota a las estructuras metálicas una gran versatilidad que junto con la isotropía hace que se puedan poner en cualquier lugar y frente a cualquier esfuerzo. *Metales, MCO - 2019 / CT3 (E.Barberá) - 2018*

La madera también posee esta cualidad pero a diferencia de los metales es anisótropa. El hormigón actúa al contrario que la madera ya que por su naturaleza de materiales combinados y geometrías amorfas hace que sea isótropo, pero su resistencia frente a tracción es del orden del 11% respecto a la su resistencia a compresión por lo que en muchos cálculos se tiende a despreciar, así que no es birresistente. El acero como material es de los más densos pero también de los más resistentes ya que se necesitan pocas secciones de metal para soportar las mismas cargas que la madera o el hormigón (cuyas secciones son muchas veces las del acero). *Metales, MCO - 2019 / CT3 (E.Barberá) - 2018*

ACERO Y METALES

ISÓTROPOS
BIRRESISTENTES
MUY VERSÁTILES

MADERA

ANISÓTROPOS
BIRRESISTENTES
GRAN RELACIÓN PESO-RESISTENCIA

HORMIGÓN O PÉTREOS

ISÓTROPOS
GRAN RESISTENCIA A COMPRESIÓN
FORMAS COMPLEJAS

2.2.2. Ductilidad y maleabilidad.

La ductilidad es la propiedad que permite el estiramiento de un material (en este caso metálico) a través de su longitud principal o dirección de mayor dimensión modificando su geometría y haciendo que sufra grandes deformaciones pero sin llegar a romperse (Lo que permite la creación de largos y finos hilos de metal como pueden ser los del cobre para las instalaciones eléctricas). La ductilidad sólo se puede dar en estado plástico pues si fuera en elástico las solicitaciones no serían suficientes para plastificar el material, por lo que las pequeñas deformaciones sufridas se recuperan si se deja de aplicar la carga. Si la deformación se produjera en frío, esto haría que el metal adquiriera acritud y se volviera agrio o frágil, sin embargo, se puede devolver al primitivo estado de ductilidad del material a través del proceso de recocido que además también elimina las concentraciones de tensiones debido a su proceso de fabricación. *Metales, MCO - 2019 / CT3 (E.Barberá) - 2018*



FIGURA 8: Bobina de cobre obtenida gracias a su gran ductilidad.

Los metales más dúctiles son los materiales preciosos como el Oro, la Plata o el Platino seguidos de otros metales como el Aluminio, Hierro, Cobre, Cinc, Estaño y Plomo. Tanto el Aluminio como el hierro se usan mucho en las construcciones y el que sean dúctiles es una propiedad muy deseable pues al generarse grandes deformaciones antes de romperse da un aviso de que en esa estructura se están produciendo grandes cargas conservando estos materiales aún cierta resistencia. Es por eso que la ductilidad es una propiedad deseable en las construcciones ya que si tuviéramos roturas frágiles estas se producirían sin previo aviso lo cual resultaría muy peligroso. *Elaboración propia*



FIGURA 9: Fractura frágil.

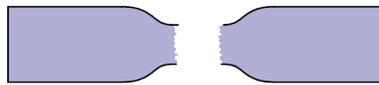


FIGURA 10: Fractura parcialmente dúctil.

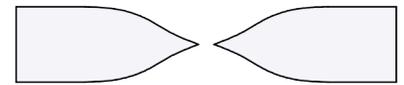


FIGURA 11: Fractura totalmente dúctil.

La maleabilidad es la propiedad que permite modificar la forma del material a temperatura ambiente llegando a su fase plástica y deformándolo sin que este se rompa mediante acciones de golpeo o laminado, sin embargo, se puede producir pérdida de maleabilidad del material si se golpea excesivamente, haciendo que éste se vuelva más duro y quebradizo. Al igual que la ductilidad los metales más maleables son casi los mismos, siendo el más maleable de todos ellos el Oro (gracias a ello se puede trabajar con precisión en orfebrería). Si la ductilidad es una propiedad que permite obtener largos hilos de metal, la maleabilidad permite obtener finas láminas del material, algunos ejemplos son el papel de aluminio o el pan de oro. *Metales, MCO - 2019 / CT3 (E.Barberá) - 2018*



FIGURA 12: Puente de l'Assut de l'Or, conocido como "El Jamonero".



FIGURA 13: Bobina de Aluminio, posible gracias a su maleabilidad.

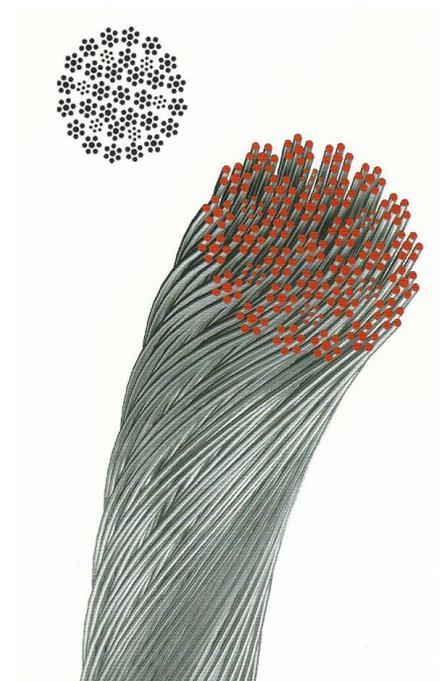


FIGURA 14: Cables trenzados listos para ser traccionados.

Tanto la maleabilidad como la ductilidad son propiedades contrarias a la acritud lo que lo convierte en un material más frágil. Sin embargo la acritud es una propiedad deseable porque viene dada tras un incremento de la resistencia mecánica debido a una deformación en frío. Esto ocurre tras una deformación capaz de reorientar la red cristalina del metal. La acritud se buscará en elementos que vayan a soportar grandes tracciones o solicitaciones mecánicas importantes como sería el caso de los cables de los puentes. *Metales, MCO - 2019 / ST3 (J.L.Pardo) - 2019*

2.2.3. Resiliencia y tenacidad.

La resiliencia está relacionada con la energía, concretamente a la energía de deformación por unidad de volumen que un material o cuerpo deformado puede recuperar después de que la fuerza que le aplica dicha deformación cese. Si la resiliencia es la recuperación de energía (también podemos decir que la resiliencia es el trabajo externo necesario para llevar un cuerpo a su límite elástico), la elasticidad es la recuperación de la forma, por lo que ambas propiedades siempre se darán en régimen elástico. Entre los materiales más resilientes se encuentra la seda de araña, los tendones o el cuerno de algunos animales, que tienen valores muy superiores a los de algunos aceros de resiliencia elevada. La resiliencia se puede modificar tras ciertos tratamientos mecánicos como el martilleado o el laminado. *Metales, MCO - 2019 / ST3 (J.L.Pardo) - 2019*

El Péndulo de Charpy permite cuantificar la energía absorbida debido al impacto. Su función es la de dejar caer un péndulo con una determinada masa y velocidad para que la fuerza siempre sea la misma sobre una probeta de un material y dimensiones determinadas que tendrá una muesca en medio que es donde se producirá la fractura. Esta probeta se romperá tras la caída del péndulo y en ese golpe absorberá energía que será medible en función de lo que el péndulo suba tras el golpe. El Péndulo de Charpy sirve tanto para medir la resiliencia como la tenacidad. También otro ensayo que es el de Izod y es muy parecido al de Charpy, la única diferencia es que en el método de Charpy el péndulo golpea la probeta en medio y con el de Izod ésta es golpeada en un lateral. *Metales, MCO - 2019 / ST3 (J.L.Pardo) - 2019*

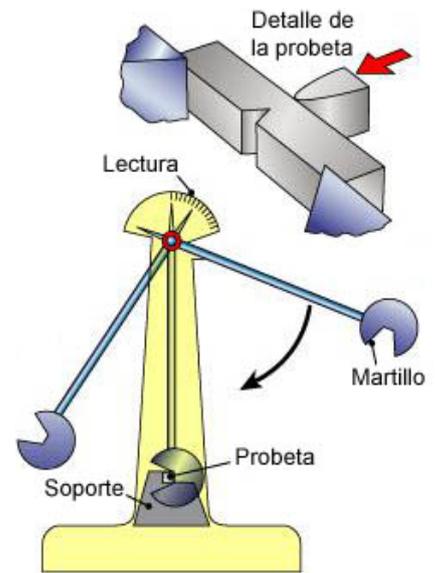


FIGURA 15: Probeta y péndulo de Charpy.



FIGURA 16: Diagrama de la ley de Hooke donde se muestra en verde la fase elástica y por lo tanto la resiliencia y en rojo la fase plástica la tenacidad la energía del verde y rojo hasta el punto de rotura.

A diferencia de la resiliencia, la tenacidad es la energía de deformación hasta el punto de rotura. Un material tenaz es capaz de absorber mucha energía antes de su rotura debido a la fuerza de cohesión de sus moléculas lo que le permite soportar durante más o menos tiempo las acciones mecánicas. La tenacidad es una propiedad que cubre tanto la fase elástica como la fase plástica por lo que la tenacidad estará presente desde el punto de carga 0 hasta el punto de rotura. *Metales, MCO - 2019*

La relación entre resiliencia y tenacidad es generalmente monótona creciente, es decir, que si un material tiene más resiliencia que otro, lo más probable es que también sea más tenaz, si bien, esta relación no es lineal. Tanto la resiliencia como la tenacidad se pueden cuantificar y su medida según el Sistema Internacional es en Julios por metro cúbico (J/m^3). *Metales, MCO - 2019 / ST3 (J.L.Pardo) - 2019 / CT3 (E.Barberá) - 2018*

2.2.4. Corrosión y Oxidación

La corrosión de un material solo se puede dar si hay 3 factores: Una Pieza manufacturada, Oxígeno y Agua, aunque también puede darse por un ataque electroquímico directo. Durante la corrosión se produce un “ánodo” que es el que cede los electrones y un “cátodo” que es quien los recibe siendo por tanto un intercambio de electrones. Es una propiedad que los metales tienen al reaccionar con los elementos de su entorno y la velocidad de corrosión variará (si su reacción electroquímica es la oxidación) según la temperatura, la salinidad del fluido en contacto con el metal y de las propiedades del propio metal. *CT3 (E.Barberá)- 2018*

El efecto más inmediato que produce la corrosión es la pérdida de sección que esta le conlleva a los metales, lo que es una patología importante en estructuras de edificación porque al haber menos sección hay menos resistencia mecánica y si la corrosión ha afectado a gran parte del perfil metálico, la estructura podría colapsar. Sin embargo, la corrosión es un fenómeno previsible ya que se necesita que el metal esté en contacto con el agua y con el aire de manera intermitente, es decir, que si el metal siempre está sumergido y nunca tiene contacto con el oxígeno nunca se corroerá, y lo mismo sucede con las estructuras metálicas que están en el aire pero que no tienen contacto con el agua (aunque habrá que protegerlas de la lluvia). *Metales, MCO - 2019 / Santiago Heredia Ávalos - Revista Eureka - 2018*

Por eso es tan importante que se proteja el acero corrugado en las estructuras de hormigón a base de que este último esté bien compactado para que tenga la mínima cantidad de poros posible (y si los tiene, que estos poros no estén interconectados entre sí), ya que sino al producirse el ataque electroquímico, se rompe la capa pasivante que protege las armaduras (proporcionada por el hormigón que las recubre). La zona de los pilares o estructuras de acero más susceptibles a la corrosión es en la base donde el agua de lluvia se mantiene más tiempo o debido a la orina de los perros que los pueden acusar de forma intermitente. *CT3 (E.Barberá)- 2018*

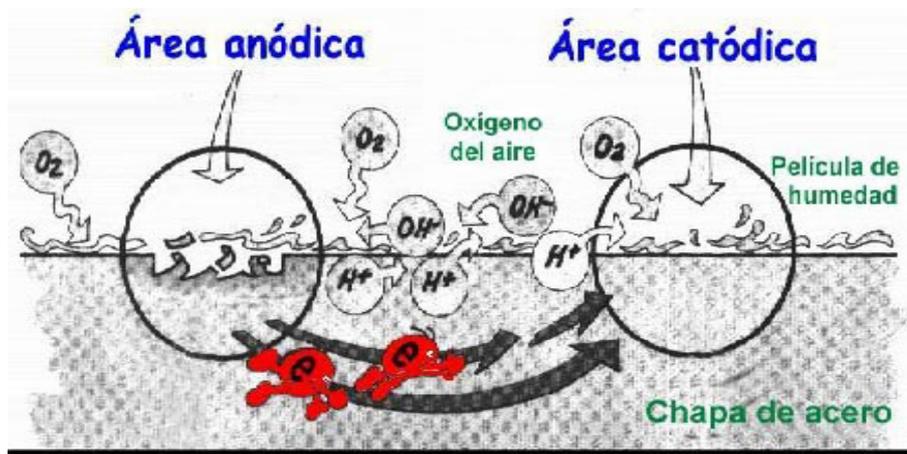


FIGURA 17: Esquema del flujo de los electrones en un metal que se está corroyendo.



FIGURA 18: Base de pilar con graves corrosiones.

Todos los metales a excepción del Oro y el Platino pueden oxidarse. A lo largo de la historia, siempre se han limpiado las impurezas de las menas metálicas en los hornos para obtener el metal “limpio”, tras eso, si no se trata el metal se oxida quedando como estaba antes, por lo que la oxidación es un proceso por el cual el metal vuelve a su estado más estable y es así como se presenta de forma natural. Todo ello es posible porque los metales interactúan con el oxígeno presente y pueden transformarse en óxidos. *Metales, MCO - 2019 / Santiago Heredia Ávalos - Revista Eureka - 2018*

La oxidación se manifiesta en los metales a través de una capa externa que es conocida también como herrumbre que presenta un tono marrón-rojizo. Hay dos tipos de óxido: El permeable, donde el óxido se introduce hacia el interior y puede corroer todo el metal (como el caso del hierro) o el impermeable que protege al resto de la sección del material. Sin embargo existen tratamientos para proteger las estructuras metálicas de la oxidación, siendo el más común de ellos el Galvanizado que consiste en bañar el hierro, acero u otro material en Zinc para que este se oxide de forma estable y proteja el resto del metal, aunque el galvanizado es una buena solución, hay que tener mucho cuidado a la hora de usarlo en obra ya que se trata de una fina capa y cualquier golpe puede desprender la produciendo una zona de oxidación muy concreta. Otra solución pasa por usar acero inoxidable que viene a ser una aleación de Hierro, Carbono y aproximadamente un 11% de Cromo, este último material estabiliza químicamente el hierro y provee de una capa pasivante a la aleación. *CT3 (E.Barberá)- 2018*



FIGURA 19: Fachada con acero galvanizado.

2.2.5. Conductividad y propiedades térmicas.

Los metales son uno de los materiales que mejor conductividad tienen, tanto térmica como eléctrica e incluso acústica por lo que es una material que ofrece muy poca resistencia. En referencia a la conductividad eléctrica, el grafeno es el mejor conductor conocido, seguido de la plata como el mejor conductor metálico, no en balde los cables son metálicos, generalmente de cobre por su óptima relación calidad-precio. Respecto a su conductividad acústica, los metales al ser materiales en general muy densos, duros y no porosos, propagan el sonido a muy alta velocidad y no son muy capaces de absorberlo como sí es el caso de los materiales porosos blandos pudiéndolo absorber muy bien gracias a su enorme superficie en comparación a si esta fuera metálica (donde el material es enteramente macizo). *Metales, MCO - 2019*

Por último, los metales también ofrecen poca resistencia a la conductividad térmica debido a que al tener sus moléculas muy cohesionadas, estas transmiten mejor el calor (a través de la energía cinética) sin necesidad de que hayan grandes cambios en la materia, así mismo, los metales en general al estar en estado sólido suelen ser cuerpos continuos a diferencia de otros materiales como los polímeros que son porosos (además de que para que haya una mejor conductividad se necesita sustancia, por eso en el vacío apenas hay calor por la falta de la conexión entre moléculas, y si lo hubiera sería debido calor por radiación).

H																	He
Li 10.47	Be 26.6											B 36.59	C	N	O	F	Ne
Na 39.29	Mg 22.17											Al 26.98	Si	P	S	Cl	Ar
K 39.10	Ca 40.08	Sc	Ti 47.88	V 50.94	Cr 51.99	Mn 54.94	Fe 55.85	Ni 58.71	Cu 63.55	Zn 65.38	Ga 74.47	Ge 72.64	As 74.92	Se 78.96	Br 79.90	Kr	
Rb 85.47	Sr 87.62	Y 88.91	Zr 91.22	Nb 92.91	Mo 95.94	Tc 98.91	Ru 101.07	Rh 102.91	Pd 106.42	Ag 107.87	Cd 112.41	In 114.82	Sn 118.71	Sb 121.76	Te 127.60	I 126.91	Xe
Cs 132.91	Ba 137.33		Hf 178.49	Ta 180.95	W 183.85	Re 186.21	Os 190.23	Pt 195.08	Au 196.97	Hg 200.59	Tl 204.38	Pb 207.2	Bi 208.98	Po 209	At	Rn	
Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og
			Ce 140.12	Pr 140.91	Nd 144.24	Pm 144.91	Sm 150.36	Eu 151.96	Gd 157.25	Tb 158.93	Dy 162.50	Ho 164.93	Er 167.26	Tm 168.93	Yb 173.05	Lu 174.97	
			Th 232.04	Pa 231.04	U 238.03	Np 237.05	Pu 244.06	Am 243.06	Cm 247.07	Bk 247.07	Cf 251.08	Es 252.08	Fm 257.09	Md 258.10	No 259.10	Lr	

FIGURA 20: Tabla periódica mostrando la conductividad eléctrica.

H																	He
Li 0.847	Be 2											B 2.37	C	N	O	F	Ne
Na 11.41	Mg 1.56											Al 1.48	Si	P	S	Cl	Ar
K 1.024	Ca 0.158	Sc	Ti 0.219	V 0.307	Cr 0.537	Mn 0.782	Fe 0.802	Ni 1	Cu 0.907	Zn 1.16	Ga 0.406	Ge 0.599	As 0.5	Se 0.5	Br	Kr	
Rb 0.582	Sr 0.353	Y 0.172	Zr 0.227	Nb 0.537	Mo 1.36	Tc 0.506	Ru 1.17	Rh 1.3	Pd 0.718	Ag 0.968	Cd 0.968	In 0.818	Sn 0.666	Sb 0.243	Te 0.45	Xe	
Cs 0.359	Ba 0.184		Hf 0.23	Ta 0.575	W 1.74	Re 0.479	Os 0.876	Pt 1.47	Au 0.716	Hg 3.17	Tl 0.0834	Pb 0.461	Bi 0.353	Po 0.0787	At	Rn	
Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og
			La 0.134	Ce 0.113	Pr 0.125	Nd 0.165	Pm 0.15	Sm 0.133	Eu 0.139	Gd 0.105	Tb 0.111	Dy 0.107	Ho 0.162	Er 0.145	Tm 0.169	Yb 0.385	Lu 0.164
			Th 0.54	Pa 0.276	U 0.063	Np 0.0674	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

FIGURA 21: Tabla periódica mostrando la conductividad térmica.

Una de las propiedades más importantes es que los metales pueden fundirse y ser tratados de diversas maneras para que tengan varias formas. Cuanto más bajo sea el punto de fusión, más económico será trabajar con dicho metal y este fluido deberá penetrar bien en el molde para darle forma o extrusionarlo ya que sino pueden haber contracciones volumétricas al enfriarse y generarse así “rechupados”. Debido a su capacidad de fusión los metales a parte de unirse mediante elementos mecánicos como los tornillos pueden soldarse bien sea directamente entre las piezas que se desea unir o bien soldando las piezas a otro trozo de metal aportado de manera externa. A nivel estructural habrá que verificar que los cordones de soldadura resistan bien las solicitaciones ya que hay que procurar que si un perfil colapsa, lo haga por su falta de resistencia y no por sus uniones. *Metales, MCO - 2018*



FIGURA 22: Unión de dos piezas mediante soldadura.

Sin embargo, debido a su alta conductividad térmica, los metales pueden sufrir importantes dilataciones que es un cambio de la dimensión debido a la temperatura y que puede ser lineal, superficial o cúbica. Para evitar que las variaciones dimensionales sean muy acusadas, hay que prever una serie de juntas de dilatación a lo largo de la estructura desde la fase de proyecto. *Metales, MCO - 2018*



FIGURA 23: Edificio Windsor destruido en 2005 por un incendio.

Otro problema es el peligro ante incendio que presentan. Si bien los metales no propagan el fuego como tal (que sí que es el caso de la madera), sí que sufren una gran pérdida de resistencia debido a este. El acero por ejemplo pierde más del 50% de su resistencia a partir de los 600 °C (que en un incendio esa temperatura se alcanza en unos 10 minutos en un incendio corriente). La madera ante el incendio a pesar de propagarlo, tiene mucho mejor comportamiento ya que se quema desde afuera hacia dentro, pero el núcleo de la misma permanece intacto (a no ser que pase mucho tiempo), pudiendo dar un gran tiempo para que las personas del interior del edificio puedan ser evacuadas. Para la madera simplemente se puede dar más sección (en función del C.T.E.), pero los aceros hay que recubrirlos de materiales aislantes. *Metales, MCO - 2018 / Elaboración propia*



FIGURA 24: Protección anti incendios de varios perfiles.

2.2.5. Propiedades mecánicas.

Debido a que este material se obtiene a través de un proceso industrial bastante complejo, su uso en edificación se limita a los productos comerciales (definidos por su forma y calidad) existentes en el mercado y su transformación por las técnicas habituales de corte y unión. Las calidades correspondientes (a parte de las que el CTE contempla como UNE EN 10210-1 “perfiles huecos para construcción, acabados en aciente, de acero no aleado de grado fino”, y también UNE EN 10219-1 “Secciones huecas de acero estructural conformados en frío”) están especificadas en UNE EN 10025 “Productos laminados en caliente de acero no aleado, para construcción metálica de uso general”. *Estructuras metálicas para edificación - José Manfort Lleonart*

En la siguiente tabla se especifican las características mecánicas mínimas de los aceros, donde en dicha tabla quedan establecidos los aspectos tipo y grado. El tipo hace referencia a características mecánicas como resistencias, las cuales se asignan como S de “Steel” junto a un número que indica el valor mínimo garantizado de l límite elástico para los productos de menos espesor, mientras que el grado hace referencia a su soldabilidad y sensibilidad a la rotura frágil y se asignan como JR, J0, J2 Y K2 en sentido creciente de calidad (aunque en general todos son aptos para el soldeo). *Estructuras metálicas para edificación - José Manfort Lleonart*

DESIGNACIÓN	espesor nominal t (mm)			temperatura del ensayo Charpy (°C)	
	tensión de límite elástico f_y (N/mm ²)		tensión de rotura f_u (N/mm ²)		
	$t \leq 16$	$16 < t \leq 40$	$40 < t \leq 63$		
S 235 JR S 235 J0 S 235 J2	235	225	215	360	20 0 -20
S 275 JR S 275 J0 S 275 J2	275	265	255	410	20 9 -20
S 355 JR S 355 J0 S 355 J2 S 355 K2	355	345	335	470	20 0 -20 -20 ⁽¹⁾
S 450 J0	450	430	410	550	0

⁽¹⁾ Se le exige una energía mínima de 40 J

FIGURA 25: Características mecánicas mínimas de los aceros UNE EN 10025

Los productos de acero existentes en el mercado se agrupan por series según su forma geométrica, y dichas series están normalizadas en el código técnico en función de su área, resistencia y dimensiones con el fin de simplificar siempre los cálculos (ya que trabajan como un sistema internacional de medidas. Este sistema también se aplica a las armaduras donde cada sección siempre es la suma de las dos anteriores. Los perfiles metálicos laminados en caliente más usados son: **HEB**, **IPE**, **IPN** y **UPN**. *Elaboración propia / Estructuras metálicas para edificación - José Manfort Lleonart.*

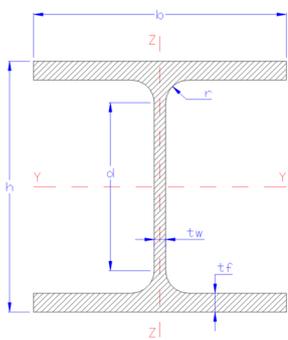


FIGURA 26: Perfil HEB.

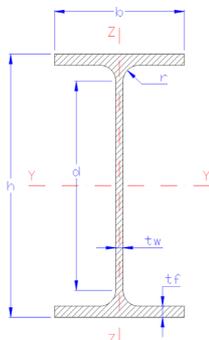


FIGURA 27: Perfil IPE.

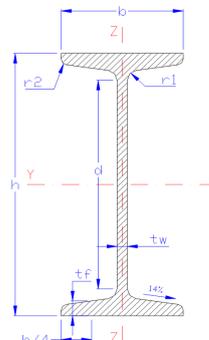


FIGURA 28: Perfil IPN.

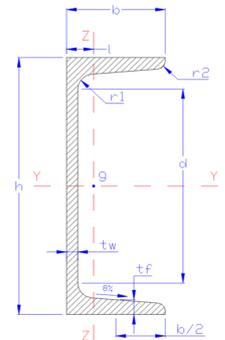


FIGURA 29: Perfil UPN.

Estos perfiles son usados para grandes estructuras y diseñados para absorber fuertes solicitaciones ya que como puede verse en la tabla sus resistencias son muy superiores a las de otros materiales como la madera o el hormigón, de ahí que tengan la geometría óptima para aprovechar al máximo los momentos de inercia y que también se satisfagan las tensiones normales (tracción, compresión y flexión) y las tensiones tangenciales (cortante y torsión). *ST1 - 2016 / CT3 (E.Barbera)- 2018*

En las construcciones también existen perfiles metálicos (y placas) conformados en frío que si bien no son necesariamente estructurales, son muy usados en el interior de los edificios a modo de compartimentación interior en sustitución de los tabiques tradicionales de ladrillo cerámico que son más rígidos y pueden agrietarse. Estos perfiles no tienen que estar necesariamente fabricados en acero pues pueden ser de Aluminio u otro material ligero para su fácil montaje como sería el tipo de construcción de los tabiques conformados de placas de yeso laminado en cuyo interior llevan la estructura de montantes y travesaños junto con aislamiento térmico y la posibilidad de permitir el paso de instalaciones en su interior. Estos tabiques se conocen coloquialmente como “Pladur”. Los perfiles más comunes para este tipo de construcciones son: Perfil conformado **C**, Perfil conformado **U** y el Perfil conformado **Omega**. *Estructuras metálicas para edificación - José Manfort Lleonart*

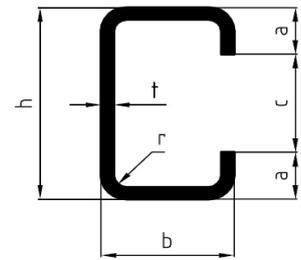


FIGURA 30: Perfil conformado en C. Se suele usar en Montantes.

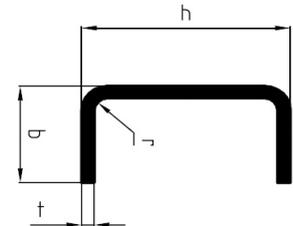


FIGURA 31: Perfil conformado en C. Se suele usar en Travesaños.

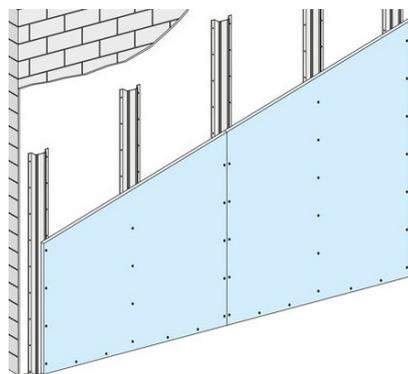


FIGURA 33: Trasdoso con perfiles Omega.

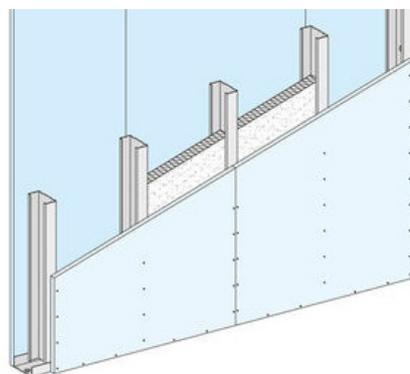


FIGURA 34: Tabique de yeso laminado básico.

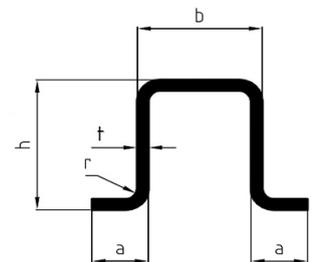


FIGURA 32: Perfil conformado en Omega.

A la hora de determinar la resistencia más característica del acero (la tracción), se usa el ensayo de tracción. Aunque su objetivo inmediato es la determinación del límite elástico, resistencia a tracción y alargamiento de rotura, la gráfica del proceso de carga (diagrama tensión-deformación) proporciona una información muy completa del comportamiento mecánico del acero. La sección de las probetas objeto de ensayo será circular, cuadrada o rectangular, cuya forma verifica la relación: $L_0 = 5,653 \cdot \sqrt{S_0}$. *Estructuras metálicas para edificación - José Manfort Lleonart.*

Donde L_0 es la longitud entre dos puntos de referencia y S_0 la sección transversal. El ensayo consiste en ir cargando la probeta progresivamente, representando en un diagrama los valores de tensión deformación dando como resultado una gráfica con los siguientes puntos: *Estructuras metálicas para edificación - José Manfort Lleonart.*

Punto A: Límite de proporcionalidad: donde hasta él la gráfica es recta y si descargamos la probeta, recupera toda la deformación volviendo a la línea recta previa (Se cumple la ley de Hooke).

Punto B: Límite de elasticidad: la gráfica deja de ser recta pero se mantiene el comportamiento elástico por lo que al descargarse, se recupera toda la deformación menos un remanente del 0,2%.

Punto C: Límite de fluencia: Donde comienza la plastificación, hasta este punto la tensión y la deformación eran lineales.

Punto D: El tramo C-D, se llama escalón de cedencia donde no hace falta aumentar la tensión para que aumente la deformación debido a la reestructuración molecular. La línea de descarga es sensiblemente paralela al tramo recto inicial, en sentido contrario, quedando deformación remanente.

Punto E: Límite de rotura: En el tramo D-E tenemos que incrementar la tensión para incrementar la deformación (aunque esta segunda aumenta mucho) llamándose esta propiedad acritud. Este punto es el que tiene mayor valor de tensión, de ahí que se considere de rotura.

Punto f: Tensión última: Punto en el que se produce la rotura de la probeta, pero este valor es ficticio porque en el tramo E-F, aunque se disminuya la tensión, aumenta la deformación debido a la estricción de la probeta (en realidad ahora hay menos sección), por lo que los datos en esta parte no son significativos al estar falseados siendo el punto real de rotura el punto E.

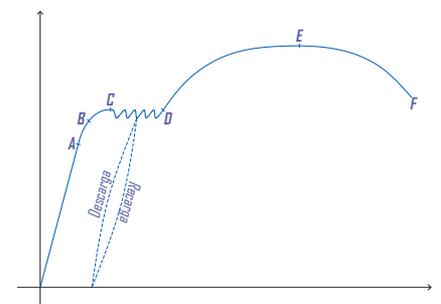


FIGURA 35: Tabique de yeso laminado básico.

2.3. Tipos de metales

2.3.1. Metales ferrosos (Hierro y Acero)

Los metales ferrosos son aquellos que tienen hierro en su composición, aleaciones con hierro o el hierro mismo. A pesar de ser un sólo elemento, los metales ferrosos representan casi el 90% de la producción metalúrgica mundial, no en vano una subrama de la metalurgia es la siderurgia, ciencia que estudia la obtención proceso y tratamiento del hierro, representando así su importancia en la industria y como material de construcción dentro de los metales. *Metales, MCO - 2019*

Las fundidoras se especializan según si trabajan con metales ferrosos y metales no ferrosos, siendo el metal más común dentro de los hornos de fundición es el hierro gris. La fundición gris presenta su color debido al carbono (entre el 3 y el 4,5%) que se presenta en forma de grafito, es blanda y se expande al solidificar siendo ideal para moldes. Sin embargo debido a su alto grado de impurezas se introduce en un segundo horno para una segunda fundición. Por otro lado la fundición blanca es de un color blanco intenso donde el Carbono (entre el 1,7 y 3%) está totalmente combinado con el hierro formando Cementita (Fe_3C). La cementita es muy dura y es frágil por lo que no sirve para la construcción a no ser que se use para la obtención de aceros. *Metales, MCO - 2019*

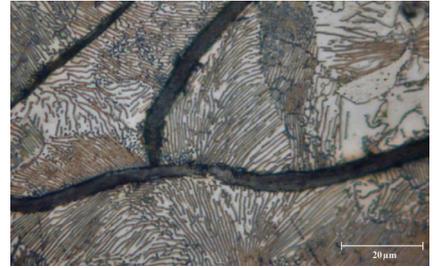


FIGURA 36: Fundición Gris.

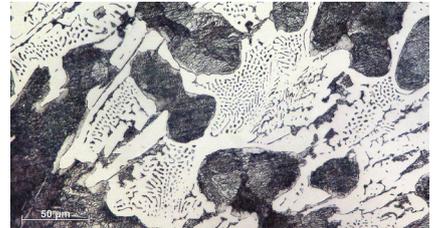


FIGURA 37: Fundición Blanca.

El atributo distintivo del hierro es que es denso, fuerte cuando se mezcla con carbono, abundante y fácil de refinar, altamente susceptible a la corrosión y magnético. Hacer aleación de hierro con otros elementos en diferentes proporciones puede mitigar o eliminar uno o más de estos factores. Muchas aleaciones ferrosas son bien conocidas y están especificadas por las proporciones de cada elemento en su composición, así como también las instrucciones en su fundición y acabado. Las aleaciones ferrosas con carbono suele ser hierro o carbono según la proporción de este segundo elemento, y pueden contener cualquier cantidad de otros elementos, desde aluminio a vanadio, basado en sus especificaciones. Este tipo de metales suelen ser usados en la construcción por sus propiedades mecánica que les confiere una gran resistencia frente a las acciones. *Reliance-Foundry / Apuntes sobre materiales ferrosos - Jose María Romani.*

Sin embargo para un uso óptimo, muchos metales ferrosos requieren de aleaciones con otros metales para tener unas mejores características como se da en el caso del acero inoxidable el cual contiene Cromo en su masa como se ha nombrado anteriormente así como el proceso de galvanizado donde se baña en Zinc para que este se oxide y proteja de este modo al hierro de la oxidación. Sin embargo el hecho de que el acero de alee con otros metales hace que pierda parte de la masa resistente propia del acero por lo que no suelen ser tan usados en la construcción aparte de su elevado costo, es por ello que el acero inoxidable se suele utilizar en utensilios donde se requiera más higiene como en las cocinas o donde puedan ser muy expuestos como son las barandillas. A diferencia del acero galvanizado, si la capa pasivante del acero inoxidable se rompe, no pasa nada puesto que el acero inoxidable, es inoxidable en toda su masa o sección. *Reliance-Foundry / Apuntes sobre materiales ferrosos - Jose María Romani.*



FIGURA 38: Cubiertos de acero inoxidable

En general, quitando el acero inoxidable, los aceros corten o los galvanizados, el acero estructural tiene un contenido en carbono de entre el 0.1 al 1,4%. Si tuvieran más carbono en masa serían mucho más frágiles y no serían tan seguros debido a la incertidumbre de su rotura. A parte de los perfiles metálicos, los aceros también son usados en las armaduras las cuales hay de dos tipos: Activas y pasivas. Las armaduras activas son las que trabajan con tensiones junto al hormigón (absorben muy bien sus tracciones) y están conformadas por barras corrugadas, alambres y cordones. Por otro lado las armaduras pasivas ayudan a evitar retracciones y esfuerzos intersticiales en el hormigón y están conformadas por barras corrugadas, mallas electrosoldadas y mallas electrosoldadas en celosía.

Metales, MCO - 2018 / Elaboración propia



FIGURA 39: Tipos de geometría de las armaduras donde el 400 y el 500 muestra la resistencia de la barra y el S o SD muestra la diferencia de ductilidad siendo el más dúctil de los dos el SD.

2.3.2. Metales no ferrosos.

Compuesto por todos los metales que no contienen hierro como los metales preciosos, el Cobre, el Aluminio, el Titanio o el Zinc. Con un rango tan amplio de materiales en este grupo, muchas de las propiedades mecánicas de las que carece el hierro, se pueden encontrar en materiales no ferrosos. Por ejemplo, las aleaciones de aluminio o titanio podrían sustituir al acero en muchos casos, aunque ello conllevaría un gran aumento del presupuesto. Las habilidades magnéticas del hierro podrían ser emuladas con el níquel, cobalto junto a otros elementos. *Reliance-Foundry.*



FIGURA 40: Museo Guggenheim de Bilbao, con un recubrimiento exterior de Titanio.



FIGURA 41: Tuberías de Cobre.

Por lo tanto, debido a que los metales no ferrosos con frecuencia son más costosos, tienden a ser elegidos por sus atribuciones únicas en vez de por las formas en que se pueden comportar parecidas al acero. Algunas propiedades deseables serían: menores pesos, conductividad, resistencia a la corrosión o las propiedades no magnéticas, son algunas de las razones para elegir un metal no ferroso. Algunos metales son valiosos exactamente porque son poco comunes: antes de que fuera posible la producción generalizada de aluminio, el aluminio era un metal de lujo antes del S.XX. Respecto a conductividad, algunos metales preciosos serían perfectos como la Plata o el Oro a la hora de hacer cables eléctricos o intercambiadores térmicos, pero el costo de eso sería económica inviable. *Reliance-Foundry. / Elaboración propia.*



FIGURA 42: Cadena de Oro.

El Aluminio es un metal con mucha menor densidad que el hierro, haciéndolo un metal vital en aplicaciones que necesitan fuerza sin peso, como en la industria aeroespacial. Es resistente a la corrosión porque el aluminio, como el acero inoxidable, reacciona a la oxidación creando una fina capa de óxido de metal que lo protege. Es el metal más abundante en la corteza terrestre por lo que es parecido al hierro en su abundancia. Algunas de sus propiedades deseables es un gran conductor de la electricidad, es muy dúctil, tiene gran resistencia a la corrosión y no es tóxico lo que lo hace ideal en la industria alimentaria por ser inocuo, también es impermeable y totalmente reciclable ya que el proceso de reciclado requiere sólo un 5% de la energía necesaria para producir el metal primario inicial. Este metal proviene de las Bauxita a la que hay que aplicarle un tratamiento de Electrólisis para que se separen las moléculas de Oxígeno. También tiene un punto de fusión menor que el del los acero y el hierro que, lo cual lo hace más fácil de fundir que el acero y el hierro, necesitando mucha menos energía y tecnología para conseguir su estado líquido y poder así trabajarlo mejor. Sin embargo, la mayor desventaja del aluminio es la expansión. *Reliance-Foundry. / Metales, MCO - 2019*



FIGURA 43: Lata de Aluminio.

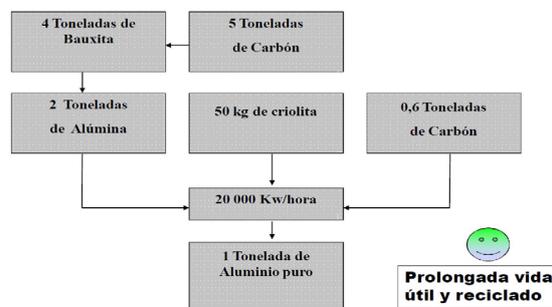


FIGURA 44: Proceso de obtención del Aluminio.



FIGURA 45: Fachada Soumaya revestida de Aluminio.

3. TIPOS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

3.1. Estructuras metálicas porticadas

Tras el desarrollo tecnológico de las estructuras metálicas que empezaron a ser usadas en la escuela de Chicago tras un grave incendio en esa ciudad en 1871, los aceros (concretamente los perfiles metálicos laminados en caliente) se han convertido en uno de los sistemas constructivos más populares en la actualidad. Tras los puntos vistos con anterioridad, se demuestra que los metales y en concreto el acero es un material muy viable para la construcción, siendo una de las construcciones más comunes las estructuras metálicas porticadas de vigas y pilares construidas por pilares conformados.



FIGURA 46: Estructura metálica porticada de uso convencional conformada a base de perfiles de acero laminados en caliente.



FIGURA 47: Torre Sears construida en acero en 1974.

Estas estructuras, debido a su gran resistencia han permitido el desarrollo de los rascacielos, los cuales se consolidaron con la invención del ascensor a parte del beneficio económico que supone. El propósito de los edificios en altura es obtener el mayor rendimiento del valor de un terreno que generalmente es caro, sobretodo si éste está situado en el centro de una gran ciudad. Por lo tanto, cuanto más alto es un edificio, más dinero gana su propietario, pero para poder construir edificios cada vez más altos, los ingenieros estructurales y los arquitectos intentan delimitar el mayor espacio posible con la menos cantidad de material con el fin de abaratar la obra y de que la estructura tenga menos masa y en consecuencia, solicitaciones. *Cómo construir un rascacielos - John Hill - 2018*

Este tipo de estructuras también se usan mucho en la construcción de pabellones que bien pueden ser deportivos o industriales. Esto es debido a que los perfiles laminados en caliente al tener poca sección y una óptima geometría, permiten salvar luces muy grandes con el canto adecuado, sobretodo con los perfiles IPE e IPN en las vigas.



FIGURA 48 Estructura de una nave porticada construida con perfiles de acero.

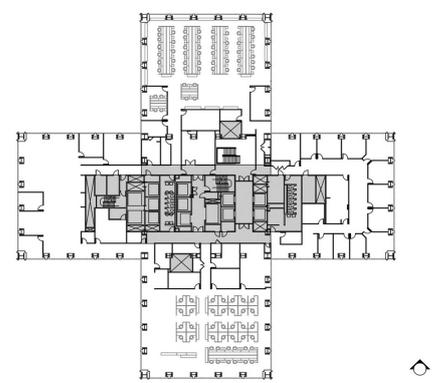


FIGURA 49: Planta estructural de una parte de la torre Sears.



3.2. Estructuras metálicas espaciales y triangulares.

A nivel estructural, las formas triangulares son mucho más estables que las formas cuadradas puesto que los triángulos son indeformables. Esto permite que el triángulo (como base geométrica) sea usado en las cerchas con mucha eficiencia lo que hace viable grandes estructuras espaciales. Cuando se trata de aeropuertos, estadios o grandes pabellones, las cerchas y sobretodo las estructuras tubulares espaciales con ideales puesto que aligeran mucho la cubierta del edificio.

A la hora de quitar peso, también se puede optar por las vigas de alma aligerada, las cuales presentan unos alvéolos en su alma que disminuyen su peso (pero lo justo para mantener sus resistencias y momentos de inercia) e incluso permiten pasar instalaciones si es preciso. Estas vigas son ideales cuando se requieren vigas de gran canto y se conforman a través de dos mitades soldadas por el centro del alma.



FIGURA 50: Vigas aligeradas que permiten el paso de instalaciones.

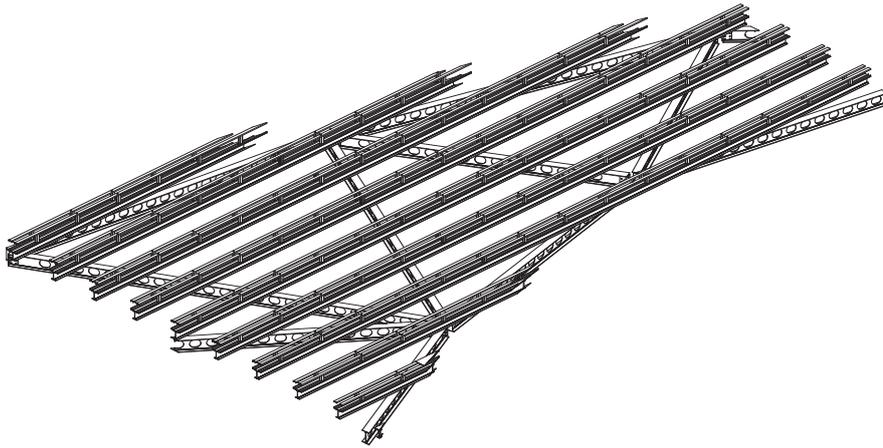


FIGURA 51: Estructura triangular de vigas aligeradas que soportan un subsistema de perfiles galvanizados para una cubierta curva.

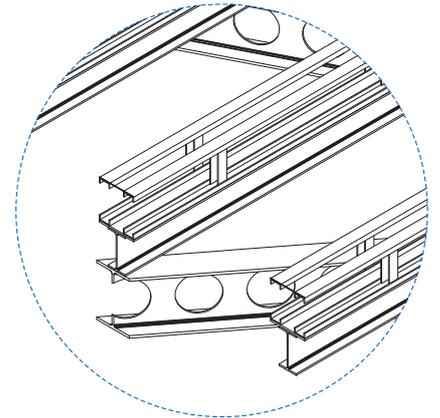


FIGURA 52: Detalle del sistema de vigas anterior.

Un edificio donde se usa este sistema es en Sainsbury center for visual Arts en el Reino Unido, proyectado por Norman Foster. En este proyecto Foster ensaya distintas soluciones estructurales y envolventes espaciales con el fin de salvar los 35 metros de luz. Para ello, Foster recurre a una depuración volumétrica y espacial por su afán de superar las expectativas previas, basadas en esquemas estructurales de pórticos dando lugar a las cerchas triangulares espaciales. Esta estructura espacial tiene 2,4m de espesor y se aprovecha para alojar en su interior las instalaciones y dependencias de servicio. Así pues, debido a ligereza del sistema, la construcción del Salisbury center inspiró a futuros arquitectos a probar este tipo de estructuras como por ejemplo el aeropuerto de Kansai de Renzo Piano en 1994. *Norman Foster, Arquitectos Pritzker - Aitor Goitia - 2010.*



FIGURA 53: Sainsbury center for visual arts, Reino Unido, proyectado por Norman Foster y construido entre 1974 y 1978.

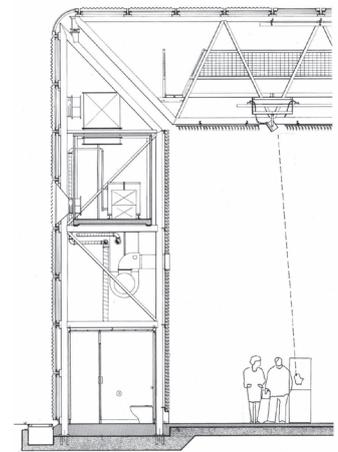


FIGURA 54: Sección mostrando el sistema constructivo.

3.3. Estructuras metálicas no portantes. Paneles de yeso laminado.

Se trata de un sistema de compartimentación interior no desmontable, constituido por una estructura ligera de perfiles de chapa de acero galvanizada a la que se fija por tornillos los paneles de yeso laminado. En líneas generales, con este sistema de compartimentación los tabiques se forman fijando unos perfiles metálicos, los canales, en el suelo y techo; posteriormente, entre los mismos se encajan otros perfiles metálicos, los montantes verticales, a los que, finalmente, se atornillan las placas de yeso laminado. *CT2 - 2019*

La versatilidad de este sistema de compartimentación es tal que, modificando la disposición de la estructura interior, el número de tableros aplicados e introduciendo diferentes materiales en la cámara, se puede obtener mejoras en los niveles de aislamiento acústico y térmico, en la capacidad de resistencia al fuego y en la altura máxima alcanzable con los tableros. *CT2 - 2019*

Los materiales empleados en la instalación de los tabiques de yeso laminado son, básicamente, los propios tableros de yeso laminado, los perfiles metálicos que constituyen la estructura interna del tabique, la tornillería de fijación de todos los elementos, las bandas acústicas, las pastas, cintas y tornillos. Existen 4 tipos de sistemas constructivos: *CT2 - 2019*

Tabiques simples: Los tabiques simples están compuestos por una estructura sencilla (única), a cada lado de la cual se atornilla una sola placa de yeso laminado, pudiendo ser ésta de diferente tipo y espesor. La estructura metálica puede presentar sus perfiles verticales (montantes), en disposición normal N, reforzada H o reforzada en cajón C. Se rellena el alma de la perfilería con material poroso no rígido y acústicamente absorbente. *CT2 - 2019*

Tabiques múltiples: Están compuestos por una estructura sencilla (única), a cada lado de la cual se atornillan dos o más placas de yeso laminado de diferente tipo y espesor. *CT2 - 2019*

Tabiques dobles: Sistemas compuestos por dos estructuras dispuestas en paralelo, debidamente arriostradas entre sí (presillas placas, metálicas, elementos acústicos, bandas, etc.) a cuyos lados externos se atornilla una Placa de Yeso Laminado de diferente tipo y espesor. *CT2 - 2019*

Tabiques especiales: Compuestos por dos estructuras dispuestas en paralelo, debidamente arriostradas entre sí (presillas de placas, metálicas, elementos acústicos, bandas, etc) a cuyos lados externos se atornillan dos o más placas de yeso laminado de diferente tipo y espesor. En una de las estructuras por su parte interior, pueden atornillarse diferentes elementos como placas de yeso laminado, placas de cemento, chapas de acero, etc. *CT2 - 2019*

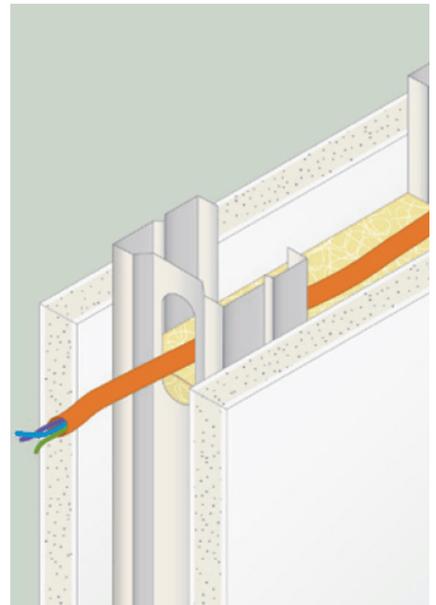


FIGURA 55: Sección mostrando el sistema constructivo.

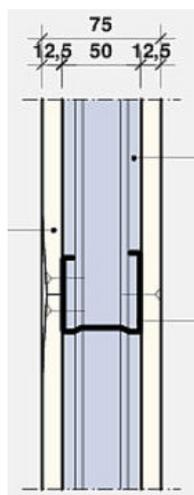


FIGURA 56: Tabique Simple.

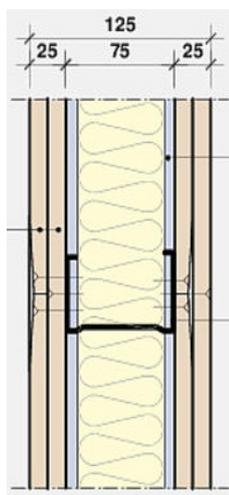


FIGURA 57: Tabique Múltiple.

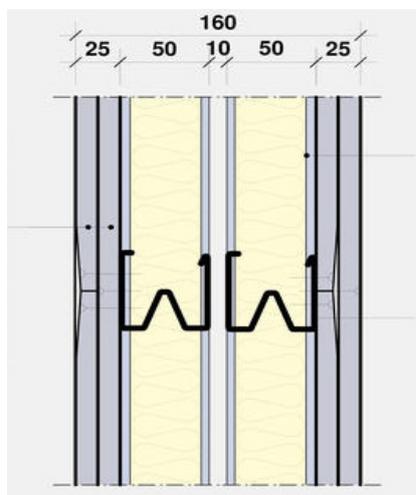


FIGURA 58: Tabique Especial.

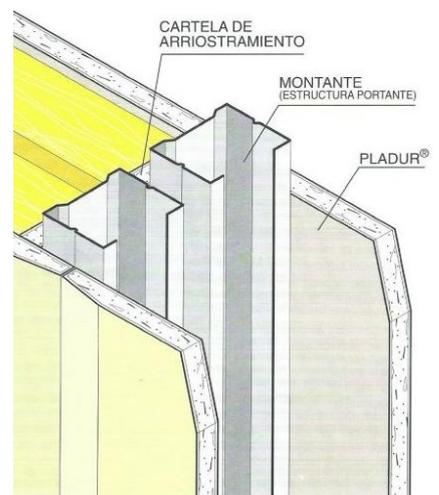


FIGURA 59: Tabique Doble.

4. STEEL FRAME

4.1. Concepto

El steel framing es un sistema constructivo abierto, ampliamente utilizado en todo el mundo, en el cual la estructura resistente está compuesta por perfiles de chapa de acero estructural galvanizado de muy bajo espesor, junto a una cantidad de componentes o sub-sistemas (estructurales, aislamientos terminaciones, etc.) funcionando como un conjunto. Una de las características fundamentales del proceso constructivo es su condición de montaje en seco, lo cual permite abaratar costos pues permite un gran grado de industrialización. *ConsulSteel*

Una de las principales ventajas del steel frame (que en castellano vendría a ser entramados o cercos metálicos) es que tanto la estructura entera como los cerramientos, forjados y cubierta están íntegramente contruidos con este sistema, lo que hace que una gran parte de la obra pueda estar ya ensamblada y construida en taller. La única parte que precisa de hormigón armado es la cimentación a la que los paneles se fijan mediante unos anclajes especiales. *ConsulSteel / Elaboración propia*



FIGURA 60: Vivienda unifamiliar construida a través del sistema conocido como Steel Frame.

Estructuralmente, el Steel Frame se compone a base de una serie de paneles formados por montantes y travesaños por lo que carece de las tradicionales vigas y pilares. La densidad de la red de montantes vendrá determinada según los esfuerzos que tendrá que soportar la estructura, cuya separación entre montantes estará comprendida entre 40 y 60cm. Todos los perfiles galvanizados que conforman este sistema constructivo están laminados en frío por lo que son los mismo que se usan en la construcción de los paneles de yeso laminado. *ConsulSteel / Acedur*

Debido a que los paneles tienen mucha superficie y poco espesor, son muy susceptibles ante las acciones horizontales como es el caso del viento y el sismo. Para poder paliar estos esfuerzos, una buena solución es que siempre hayan paneles en dos direcciones buscando un arriostramiento perpendicular entre ellos, y si se prevén fuertes acciones de este tipo, también habrá que colocar tensores diagonales formando cruces de San Andrés que eviten que se deformen los paneles. *ConsulSteel / Barbieri - 2018*



FIGURA 61: Deformación de la estructura de un panel a través de una fuerza horizontal y su solución mediante tirantes diagonales.

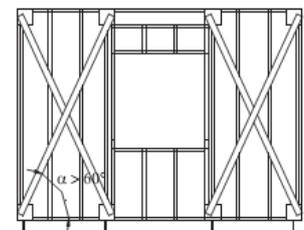


FIGURA 62: Cruces de San Andrés alrededor de un hueco.

4.2. Método constructivo.

4.2.1. Montaje y Cimentación.

A diferencia de otros sistemas, el Steel Frame al ser construido en seco puede hacerse casi enteramente en taller (prefabricado) in situ o bien mediante módulos. La construcción in situ es viable en lugares donde es difícil transportar grandes piezas o paneles prefabricados, sin embargo aumenta las actividades en obra y puede encarecer la obra debido a que se requiere más tiempo y mano de obra. Otra de las ventajas de Steel Frame es que en lugares con desnivel es más viable que los sistemas tradicionales puesto que el Steel Frame es mucho más ligero y como no se requiere casi una construcción húmeda, hay mucho menos movimiento de tierras. *ConsulSteel*

El sistema más común para este tipo de construcciones, donde una de las ventajas de los paneles prefabricados es que se tiene una precisión y calidad mucho mayor debido a su montaje en taller. Estos paneles se fijan mediante tornillos autoperforantes (según el material el tornillo será especial para Metal-Metal o para Metal-Yeso) entre sí en la propia obra y en seco reduciéndose el tiempo de ejecución y abaratando mano de obra. El sistema más industrializado de todos es el que consiste en traer los módulos que vienen hasta con acabados interiores y en unos pocos días estaría montada la obra ya que sólo consiste en fijarla. *ConsulSteel. / Elaboración propia.*

A la hora empezar a construir la cimentación se realiza un primer replanteo, mediante el cual se determina la posición de la construcción dentro del terreno para poder ejecutar los movimientos del suelo correspondientes, de acuerdo a los planos de movimiento de suelo. Es importante que se construya bien la cimentación ya que de ello derivará la integridad estructural del edificio o vivienda, al igual que en el resto de construcciones, además la cimentación deberá estar perfectamente nivelada e ininterrumpida. La elección del tipo de cimentación dependerá del tipo de suelo en el que se encuentre el proyecto, la topografía y la profundidad a la que se encuentre el terreno con las condiciones de resistencia adecuadas. El sistema admite cualquier tipo de cimentación que cumpla con los requerimientos de soporte y cargas. El tipo de anclaje a utilizar para unir la cimentación con la estructura dependerá del tipo de cargas a las que esté sometido el edificio, a las condiciones climáticas, y los movimientos sísmicos de la zona, el anclaje más usado es una pieza metálica en forma de palanca que se embebe en el hormigón y se fija el panel a ésta mediante atornillado (este sistema es más o menos parecido al que se usa en las uniones de anclaje entre los perfiles laminados en caliente y el hormigón, aunque no es tan complejo). Dadas las características de este tipo de estructuras las cimentaciones más utilizadas son: *ConsulSteel.*

A: Solera de hormigón armado sobre el terreno. La solera no es una cimentación profunda y los movimientos de tierra son mínimos ya que las cargas al no ser tan grandes hace que la solera actúe como si fuera una Losa de cimentación. Esta solera presenta un poco más de sección en su perímetro donde descansarán los cerramientos portantes. Si el tipo de suelo es el adecuado, la platea de hormigón es la cimentación más utilizada en la construcción de viviendas con el sistema Steel Frame. Las dimensiones y armadura de la platea van a depender del cálculo estructural y en la ejecución de la platea se debe tener en cuenta el aislamiento contra la humedad del suelo. *ConsulSteel. / CT3 (E.Barberá)- 2018.*

B: Zapata corrida. Este tipo de cimentación está compuesta por un muro corrido con una base, estos pueden estar contruidos con hormigón, bloques de hormigón o mampostería. Sobre los muros de cimentación se debe colocar una base que servirá de soporte de los paneles del edificio. Ésta puede ser de hormigón o de perfiles galvanizados apoyados y anclados a la cimentación. De esta manera, se genera un espacio debajo de la base, que funciona como una cámara ventilada, que suele utilizarse para el paso de las instalaciones y, además, ayuda a un mejor aislamiento de la vivienda, separándola del terreno. Es importante que la cámara esté bien ventilada ya que de no ser así se producirían humedades en la cara inferior del forjado que separa la planta baja de la cámara de aire. *ConsulSteel.*



FIGURA 63: Módulo en proceso de fabricación.



FIGURA 64: Operarios manipulando un panel prefabricado.

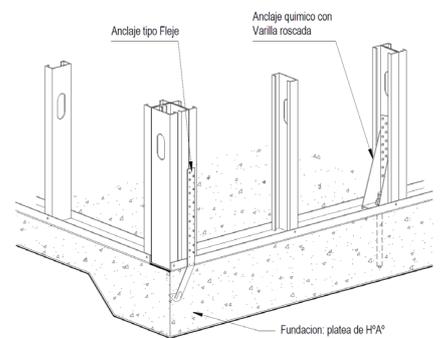


FIGURA 65: Solera con los anclajes tipo para fijar los paneles.

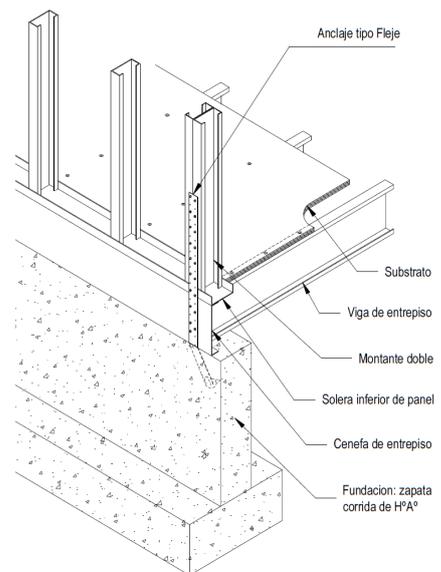


FIGURA 66: Zapata corrida mostrando el anclaje y la cámara.

4.2.2. Sistema Portante.

El concepto principal de las estructuras resueltas con Steel Framing es dividir la estructura en una gran cantidad de elementos estructurales, de manera que cada uno resista una porción de la carga total. Con este criterio, es posible utilizar elementos más esbeltos, más livianos y fáciles de manipular. Así pues, la estructura del Steel Frame se basa en elementos lineales y portantes quienes reciben todas las cargas del edificio. Estos elementos lineales se convierten en las paredes del proyecto, que en el Steel Framing son paneles creados a través de perfiles metálicos galvanizados laminados en frío tipo “C” llamados montantes, y un perfil metálico galvanizado tipo “U”, llamados travesaños, que une los montantes en sus extremos superior e inferior. La colocación seriada de montantes unidos en la parte inferior y superior por los travesaños es lo que genera un panel en el Steel Frame, que puede ser portante o no portante. Para unir las distintas piezas entre sí del panel se utilizan distintos tipos de fijaciones. La separación entre montantes o modulación adoptada estará directamente relacionada con las solicitaciones a las que cada perfil se vea sometido. A mayor separación entre montantes, mayor será la carga que cada uno de ellos deberá resistir. *ConsulSteel / Sarmanho Freitas & Moraes de Crasto, 2007.*

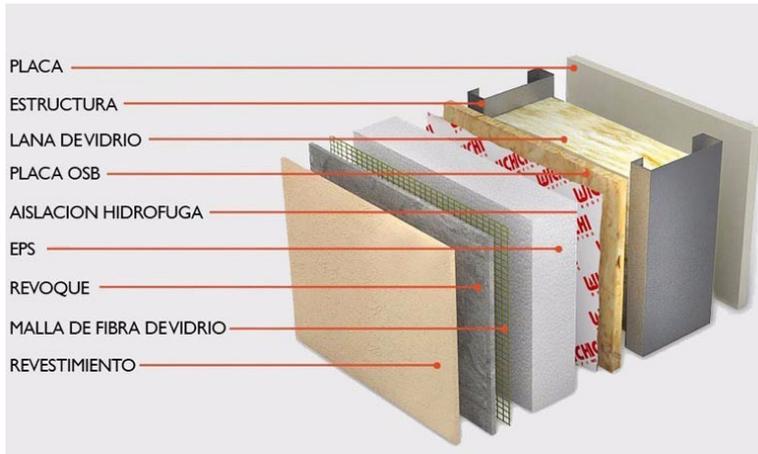


FIGURA 67: Capas que componen un panel de Steel Frame con el exterior en la parte izquierda.

En el caso de los paneles portantes, debido a que tiene que absorber solicitaciones hay que tener cuidado tanto en los huecos de las ventanas por lo que se colocará un Dintel más complejo, así como con los propios montantes que al ser muy finos pueden pandear o deformarse la retícula del panel por lo que habrá que colocar una serie de rigidizadores cada cierta distancia. En estructuras resueltas con Steel Framing los dinteles son resueltos con piezas pre-armadas, combinando un conjunto de perfiles “C” y “U”. Mientras que para rigidizar, se colocará un fleje cada 1,3m. *Sarmanho Freitas & Moraes de Crasto, 2007.*

En el caso de los paneles no portantes bastará con colocar algunos rigidizadores para protegerse de las acciones horizontales que puedan deformar estos paneles pero como en su mayoría estarán en el interior de los edificios, no requerirán soluciones más complejas como es el caso de los dinteles y las jambas de los paneles que sí son portantes. *ConsulSteel.*

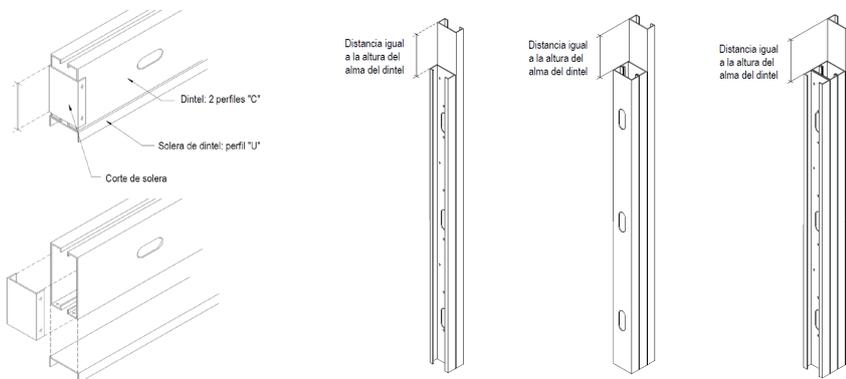


FIGURA 70: Conformación del dintel estructural.

FIGURA 71: Conformación de tres tipos de jambas según su necesidad estructural.

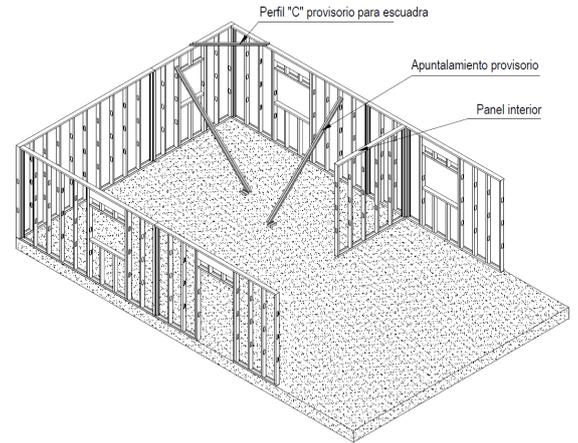


FIGURA 68: Montaje de los paneles estructurales sobre solera.

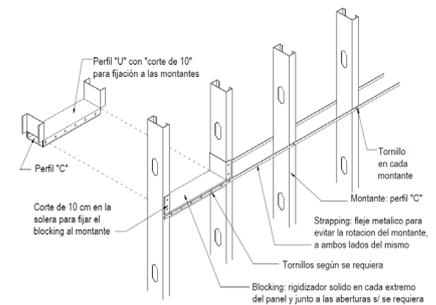


FIGURA 69: Rigidizador tipo para los dos tipos de paneles.

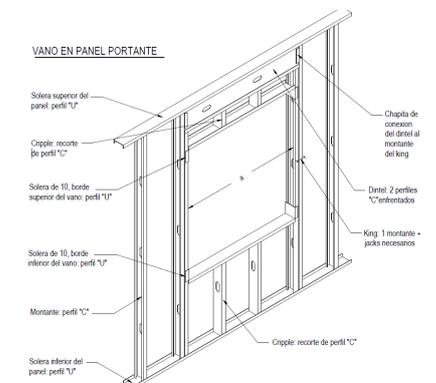


FIGURA 72: Construcción general de un panel estructural.

4.2.3. Uniones de tabiques

Los encuentros entre los paneles se resuelven a través de perfiles simples o piezas pre-armadas con el objetivo de crear un nudo en el que se aumenta mucho la rigidez, por lo que actúa como una especie de pilar. Estas piezas se conforman a partir de montantes unidos entre sí con tornillos. Hay tres tipos de uniones en las estructuras de Steel Frame: Las uniones en **L**, las uniones en **T**, y las uniones en **Cruz**. *ConsulSteel*.

Unión en L (Doble): En este tipo de unión se utilizan dos montantes tipo C atornillados por el alma. El uso más frecuente de esta pieza es en la materialización del encuentro de esquina entre dos paneles. Para aumentar la rigidez del travesaño superior, en uno de los paneles éste debe ser 75 mm más largo que el travesaño de la pared perpendicular para que su conexión esté más entrelazada. *ConsulSteel / Sarmanho Freitas & Moraes de Crasto, 2007*.

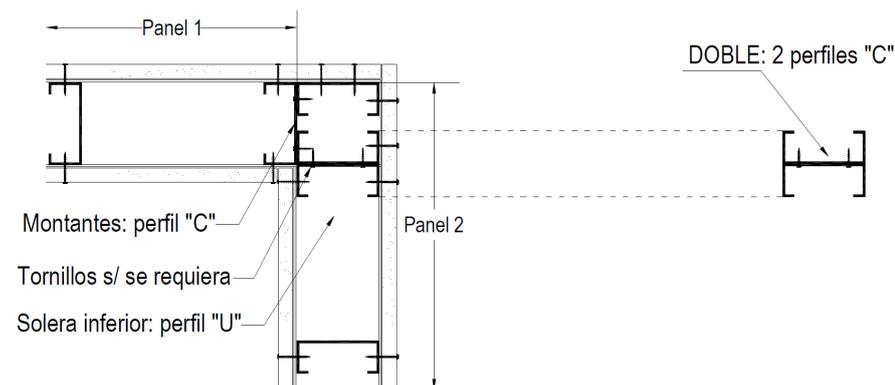


FIGURA 73: Planta de la unión tipo L.

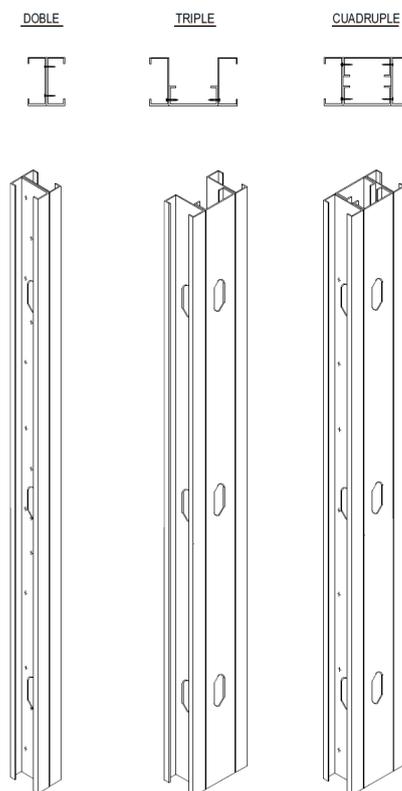


FIGURA 74: Axonometría de las uniones.

Unión en T (Triple): Esta unión está compuesta por tres montantes tipo C, uno de los cuales (el central) está rotado 90° respecto de los otros dos. De este modo, la superficie del alma del perfil rotado permite la fijación del montante de inicio de una unión en "T", sirviendo como base para que arranque el tabique o panel perpendicular. *ConsulSteel*.

Unión en Cruz (Cuádruple): En este tipo de encuentro uno de los paneles no debe ser interrumpido y no deberá tener contacto con los travesaños (inferior y superior) del otro panel. Se compone de cuatro montantes tipo C, dos de los cuales (los centrales) están rotados 90° respecto de los otros dos, generando la superficie de fijación de los montantes de inicio de dos paneles a uno y otro lado del panel, al igual que pasa con la unión tipo T. *ConsulSteel / Sarmanho Freitas & Moraes de Crasto - 2007*.

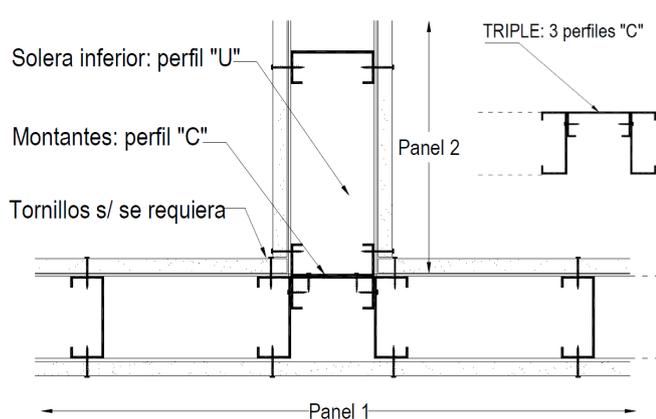


FIGURA 75: Planta de la unión tipo T.

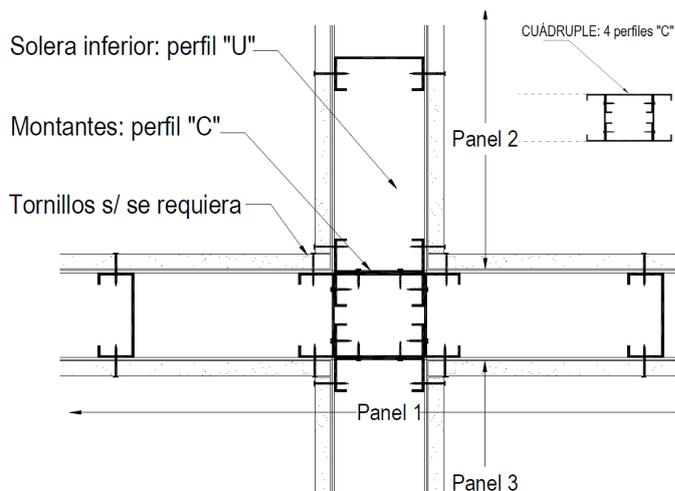


FIGURA 76: Planta de la unión tipo Cruz.

4.2.4. Forjados

Partiendo del mismo criterio que define a los paneles, el concepto principal de una estructura de forjado resuelta con Steel Framing es dividir la estructura en una gran cantidad de elementos estructurales equidistantes (vigas), de manera que cada uno resista una porción de la carga total. A diferencia de un forjado de hormigón, cuya descarga se realiza enteramente sobre las vigas y estas cargas son de carácter lineal, en un forjado resuelto con Steel Framing la carga se transmite a través de muchas pequeñas vigas y estas a su vez recaen sobre los montantes de la planta baja dejando una carga puntual sobre éstos. Por lo tanto, una de las cosas más importantes es tener alineada toda la estructura y perfectamente modulada con el fin de transmitir las cargas puntuales planta a planta. *ConsulSteel. / Sarmanho Freitas & Moraes de Crasto - 2007.*

Al igual que para los paneles, la separación entre vigas o modulación adoptada estará directamente relacionada con las solicitaciones a las que cada perfil se vea sometido. A mayor separación entre vigas, mayor será la carga que cada uno de ellos deba resistir, y por lo tanto, mayor será la sección de la viga. En la mayoría de los casos, se utilizará una misma modulación para todo el proyecto. Es decir que las vigas del forjado se modularán con la misma separación que los montantes de los paneles de las plantas inferiores o superiores. En los casos en que la modulación entre paneles y entrepiso difiera (si difiere se podría poner una viga cada dos montantes) y por lo tanto no se respete el “in line Framing”, deberá colocarse una viga dintel corrida justo debajo de las vigas normales (viga tubo), capaz de transmitir la carga de las vigas que no apoyan directamente sobre los montantes. *ConsulSteel.*

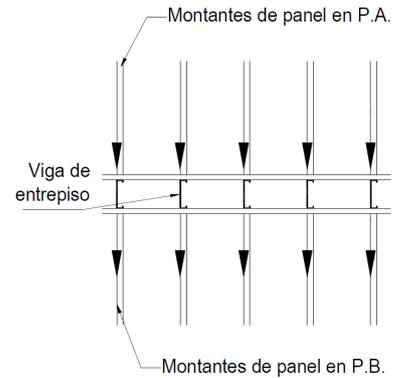


FIGURA 77: Coincidencia de montantes y vigas.

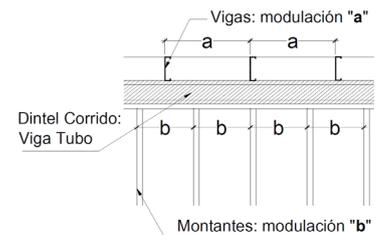


FIGURA 78: Viga tubo para transmitir las cargas no lineales.

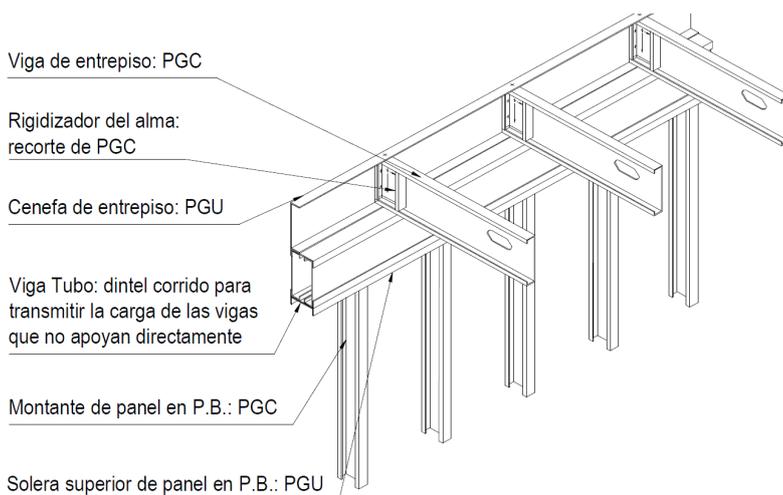


FIGURA 79: Forjado donde las vigas no coinciden linealmente con los montantes, debiendo construirse una viga tubo.

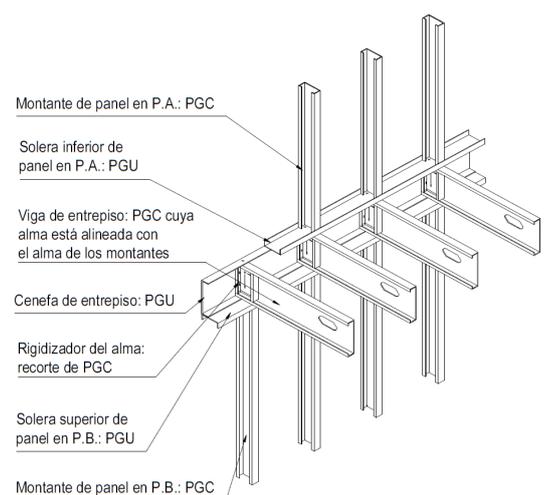


FIGURA 80: Unión del extremo de un forjado con los montantes.

Tanto la modulación como la luz entre apoyos de la viga, serán los factores que determinen la sección de los perfiles adoptados. Por ello, en general, las vigas se orientan en la dirección que genere la menor distancia entre apoyos, para así usar los perfiles con la menor sección posible pudiendo ahorrar costos y aligerando la estructura. *ConsulSteel.*

Además, hay otros factores para tener en cuenta en la direccionalidad de las vigas de un forjado, por ejemplo, evitar la perforación de las vigas para el pase de las instalaciones por zonas donde no hay agujeros nominales llamados “punch”. En aquellos casos en que la perforación standard de las vigas “punch” no sea suficiente para pasar las cañerías deberá comprobarse la capacidad estructural de la viga y la posibilidad o no de perforarla. En algunos casos, y según indique el cálculo estructural, deberá reforzarse el perímetro de la nueva perforación con rigidizadores, con el fin aumentar el momento de inercia. En ningún caso de debe cortar el ala de un perfil que actúa como viga. *ConsulSteel.*

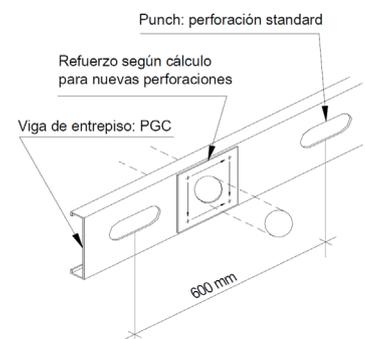


FIGURA 81: Refuerzo en una perforación para el paso de instalaciones.

4.2.5. Elementos de los forjados.

Viga: Compuesta por un perfil tipo C dispuesto en forma horizontal para recibir una porción de la carga total del forjado y que la transmitirá a través de sus apoyos hasta la cimentación. Las resistencia final de la viga estará dada por una combinación entre su canto y el espesor de la chapa. *ConsulSteel.*

Cenefa: Conformada por un perfil tipo U que une las vigas en sus extremos, de modo que las mismas se mantengan en su posición ya que las ata y asegura su correcta separación. Las vigas dan en sentido perpendicular a la cenefa, y también a la viga tubo que se proyecta y construye en los bordes. *ConsulSteel.*

Rigidizador: Es un recorte de un perfil C (es un montante de muy poca altura) donde el Alma del perfil que está dispuesto en forma vertical se une al alma de la viga mediante atornillado, su principal función es la de evitar las posibles abolladuras de las vigas a causa de las cargas concentradas. Las abolladuras se tienen que calcular previamente en la fase de proyecto como método de comprobación de E.L.S de las vigas. *ConsulSteel.*

Viga-Tubo de borde: La viga tubo se proyectará en el borde del forjado paralelo a las vigas como remate de estas (sería el equivalente a un zuncho, aunque estas vigas sí tienen función estructural. Las vigas tubo junto con las cenefas conformarán el perímetro del forjado y atarán todas las vigas. En la mayoría de los casos, también sirve para permitir el apoyo del panel de planta alta. *ConsulSteel.*

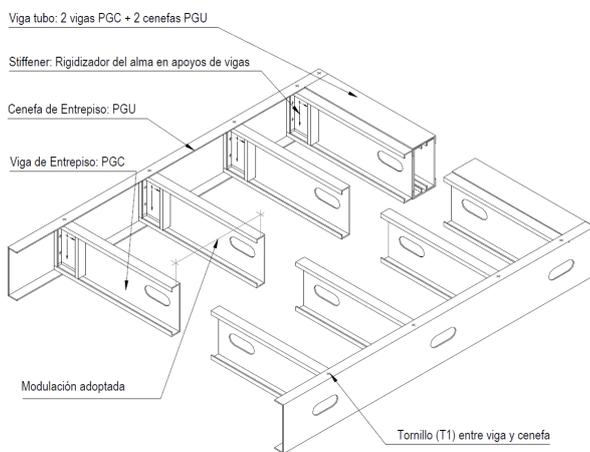


FIGURA 82: Elementos que conforman un forjado de Steel Frame.

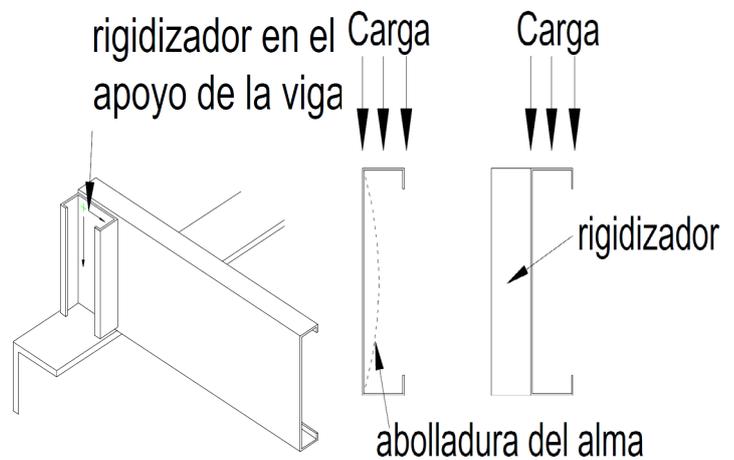


FIGURA 83: Abolladuras y rigidizadores

Ya que la altura del alma del perfil será la que más contribuya al espesor final del forjado, en muchos casos deberá limitarse. De esta manera para lograr la resistencia requerida, podrá optarse por aumentar el espesor de la chapa o recurrir a vigas dobles. Cuando las cargas que deba soportar la viga sean demasiado grandes y no sea posible utilizar una viga simple, también se recurrirá a la utilización de vigas compuestas, que surgen de la combinación de dos o más perfiles, según sea la carga que deban resistir y su luz entre apoyos. El espesor de la chapa y la altura del alma del perfil variará según cálculo. *ConsulSteel. / Sarmanho Freitas & Moraes de Crasto - 2007.*

2 Vigas: PGC +
2 Soleras: PGU

1 Viga: PGC +
1 Cenefa: PGU

2 Vigas: PGC +
2 Soleras: PGU +
1 Rigidizador: PGC

2 Vigas: PGC

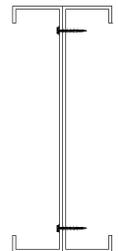
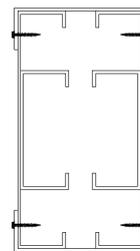
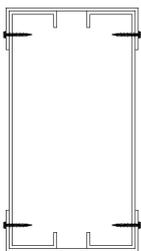


FIGURA 84: Distintas secciones de vigas donde las tres primeras son compuestas (con el fin de reducir el canto a base de aumentar la inercia) y la última de ella es doble.

4.2.6. Forjados húmedos y secos.

Las vigas servirán como estructura de apoyo al conjunto de elementos constructivos que acaban de conformar la superficie del forjado. La elección del tipo de terminación estará dada principalmente por las pautas constructivas, la elección de materiales y de diseño del proyecto de arquitectura. Existen dos modos de construir los forjados, y ambos sistemas proveen al forjado de vigas, la rigidez que necesita. Estos tipos de forjado son: *ConsulSteel*.

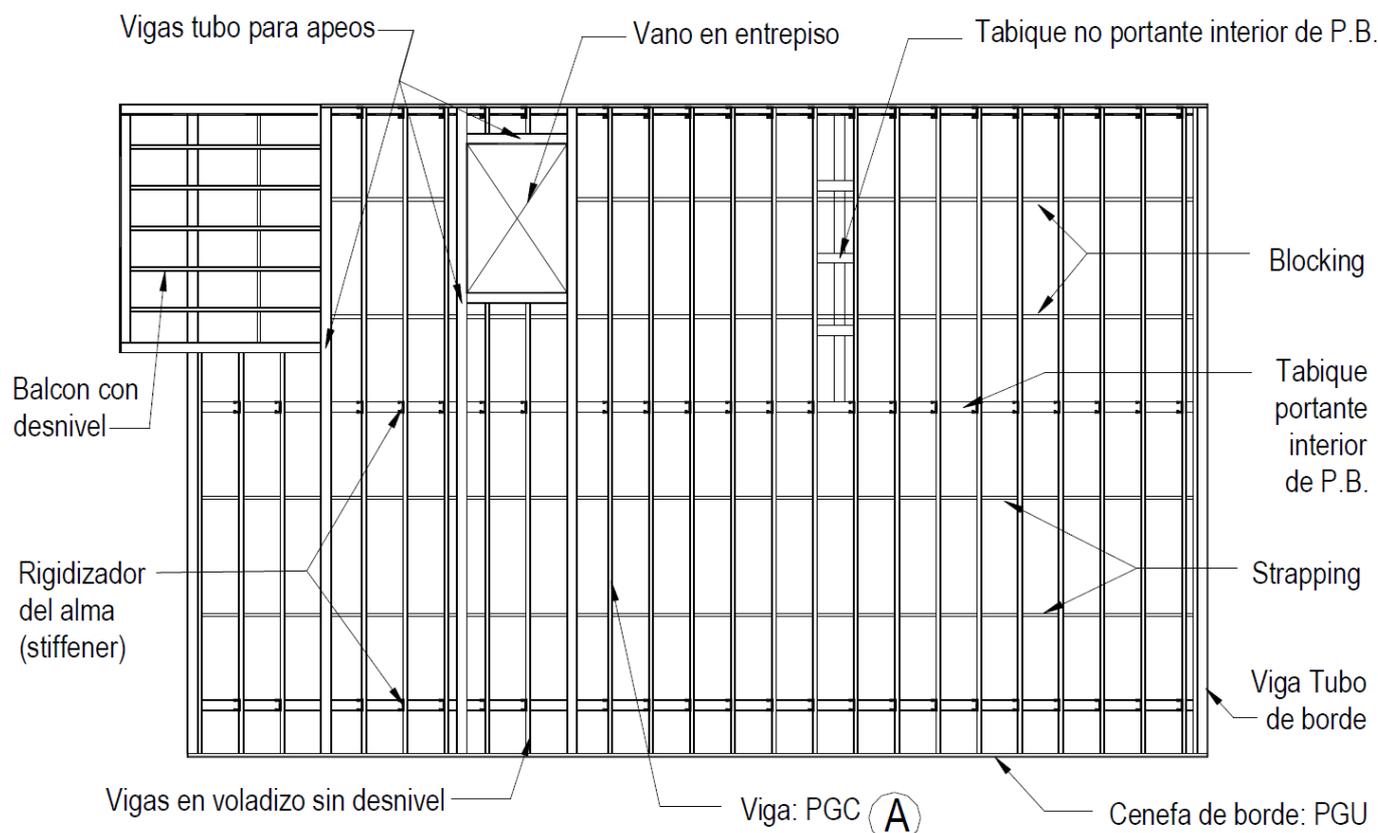


FIGURA 85: Planta de un forjado tipo construido a través de Steel Frame con sus componentes.

Forjado húmedo: En el Steel Frame es considerado forjado húmedo aquel que posee una capa de hormigón pobre para dar un soporte al acabado final de piso. Estos forjados están compuestos por una chapa ondulada de acero que se atornilla a las vigas, esta chapa sirve como encofrado perdido y a su vez como elemento rigidizador del forjado. Antes de colocar esta chapa se deberá fijar un perfil "L" en todo el perímetro del forjado que funcionará como vaso estanco completando así el vaso estanco de cara al hormigón que se verterá. *ConsulSteel*.

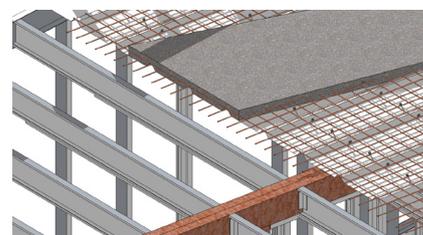


FIGURA 86: Distintas capas de un forjado húmedo.

Forjado seco: Un forjado seco es aquel en el que la rigidización horizontal de la estructura se obtiene mediante placas atornilladas a las vigas. La característica principal de los forjados secos, en relación a los húmedos, es la menor carga por peso propio. Además, como no hay que esperar a que se seque el hormigón ni colocar el mallazo de armadura, se facilita y acelera la ejecución del trabajo. *ConsulSteel*.

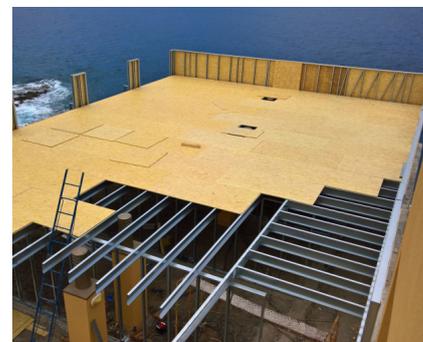


FIGURA 87: Construcción de un forjado de Steel Frame seco.

La elección del tipo de placa (la cual va atornillada a las vigas tipo C) y el espesor de la misma está relacionado con la deformación requerida por estructura y por el suelo que se le vaya a aplicar. La placa más comúnmente utilizada es el Multilaminado Fenólico de 25 mm de espesor. Para la colocación de un piso cerámico es necesaria una placa del tipo cementicia o celulósica que permita el pegado directo de los cerámicos utilizando los adhesivos tradicionales. Además, siempre deberá aplicarse una banda elástica sobre el borde superior del perfil, y por debajo de la placa. *ConsulSteel/Sarmahna Freitas & Moraes de Crasto - 2007*.

4.2.7. Cubiertas

En las cubiertas se sigue el mismo sistema que en los forjados y los paneles donde se tiene que mantener la linealidad en toda la estructura. Del mismo modo que pasa con los forjados, si esta linealidad no se respeta, se puede construir una viga tubo donde descansarán a su vez las vigas de la cubierta a fin de repartir las cargas de la misma. Una estructura resuelta en Acero, como ya se ha visto en entresijos y paneles, necesita un elemento rigidizador capaz de resistir y transmitir los esfuerzos horizontales debidos principalmente a la acción de viento y sismos. *ConsulSteel.*

En el caso de los techos ejecutados con Steel Framing la resistencia a las cargas laterales, que aparecen perpendicularmente al propio plano de la cabriada o cercha, se pueden obtener mediante arriostramiento longitudinal o a través de un diafragma de rigidización. En cuanto al tipo de cubiertas, el Steel Framing admite la materialización de techos tanto inclinados como planos. En el caso de una cubierta inclinada, al igual que para una cubierta de construcción tradicional con estructura de madera por ejemplo, hay dos maneras posibles de resolver la estructura de techos: mediante cabios o cerchas. *ConsulSteel. /Elaboración propia.*

En el techo plano, en la mayoría de lo casos, se resuelve como un forjado húmedo variándose el espesor del hormigón con el fin de obtener las pendientes de escurrimiento necesarias. En los techos planos resueltos a modo de forjado, el rigidizador será los propios materiales, ya sea chapa o multilaminado fenólico. *ConsulSteel./ Sarmanho Freitas & Moraes de Crasto - 2007.*

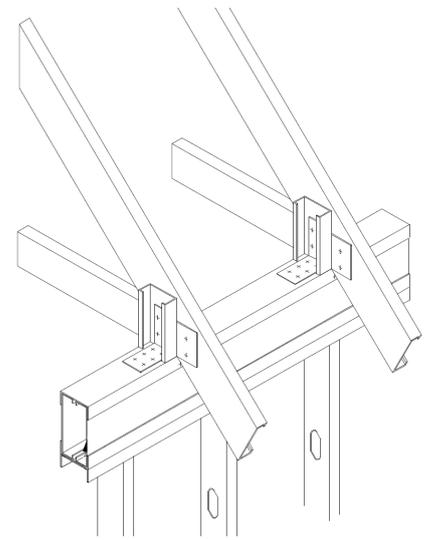


FIGURA 88: Viga tubo para repartir las cargas en cubierta.

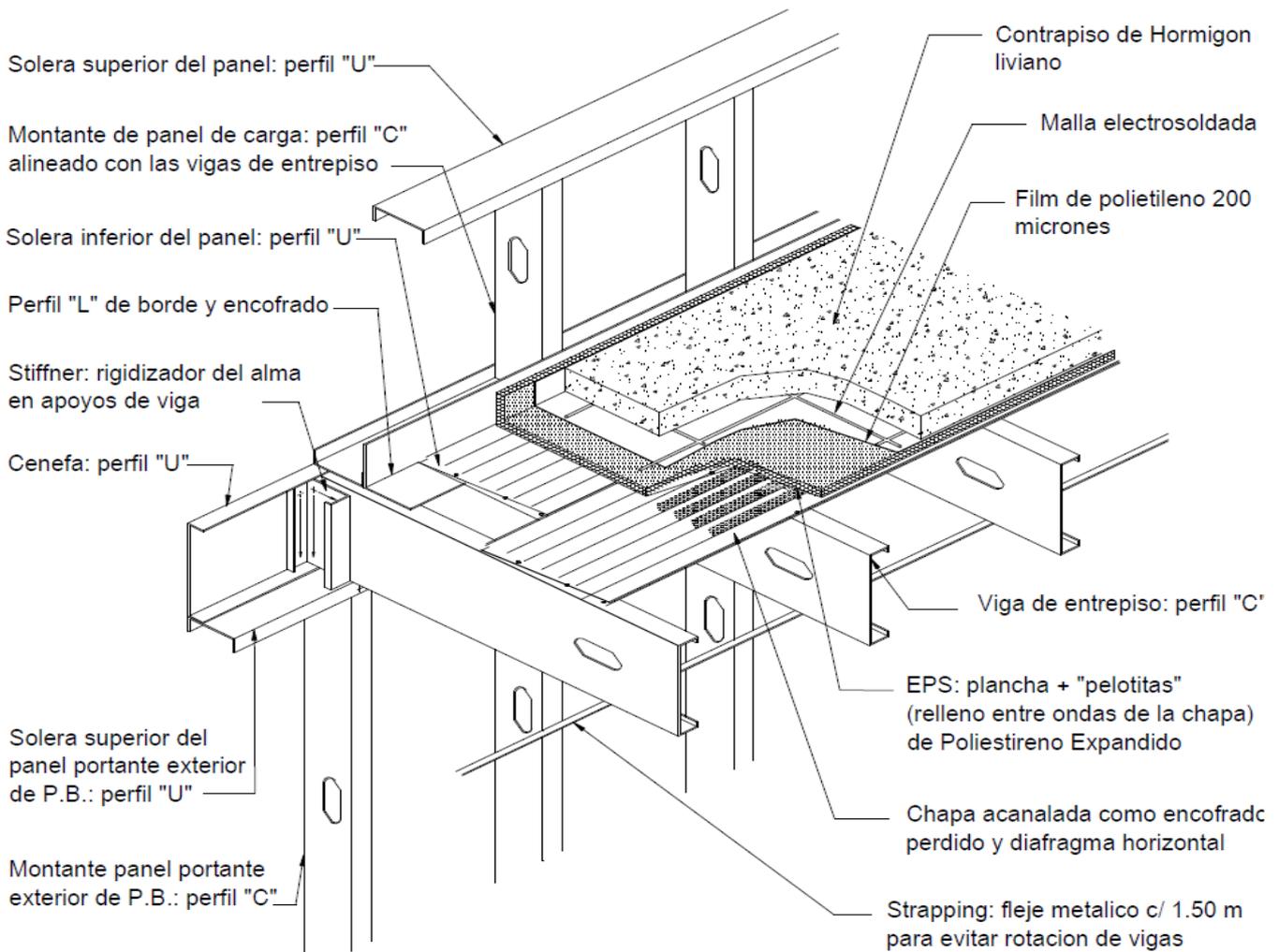


FIGURA 89: Estructura de una cubierta plana resuelta con Steel Framing.

La estructura de cabios de Acero se resuelve con un criterio similar al de las vigas de un forjado, salvo que están inclinadas. Los cabios son perfiles “C” o “vigas inclinadas” que, como toda viga, deberán apoyarse en ambos extremos. *ConsulSteel.*

En muchos casos no es posible contar con un apoyo continuo en uno de los extremos (suponiendo, por ejemplo, una cubierta a dos aguas de una vivienda tipo, donde lo más probable es que en el encuentro entre ambas vigas no exista un panel de apoyo, por lo que será necesaria la colocación de una viga tubo en la zona de la cumbrera que servirá de apoyo. *ConsulSteel./ Sarmanho Freitas & Moraes de Crasto - 2007.*

La siguiente figura muestra una manera posible de sujetar los cabios a la cumbrera, mediante una pieza especial denominada “hanger”. Esta pieza es la que, sujeta a la viga de cumbrera y posibilita su apoyo sin necesidad de paneles. *ConsulSteel.*

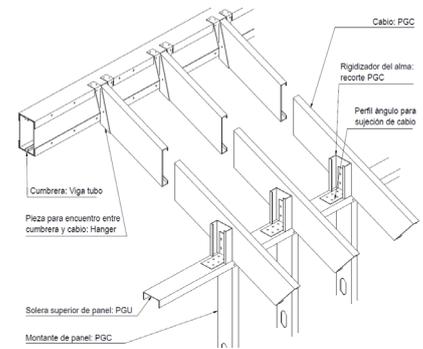


FIGURA 90: Viga tubo en la cumbrera para apoyar las vigas.

La utilización de cerchas en la construcción con Acero, es una metodología muy rápida y sencilla, una de las razones por las que se la utiliza más frecuentemente. Las cerchas están compuestas por un conjunto de elementos (perfiles galvanizados) que unidos entre sí, permiten cubrir grandes luces libres entre apoyos, sin necesitar puntos de apoyo intermedios. Además, la estructura de cerchas otorga una gran ventaja a la construcción, en especial si se trata de una vivienda ya que la posibilidad de generar un espacio en el ático que permita la circulación de un volumen de aire favorece la ventilación del mismo y como consecuencia de la vivienda. *ConsulSteel.*

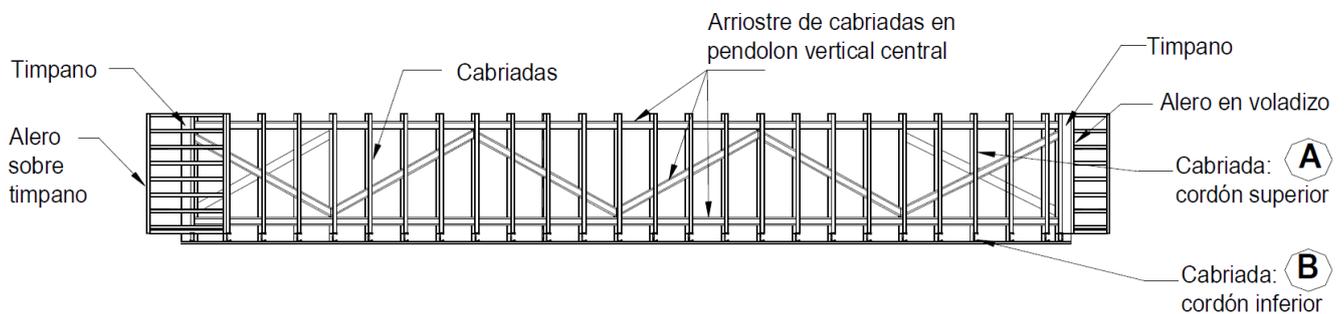


FIGURA 91: Vista lateral de una cabriada o cercha de una cubierta inclinada resuelta con Steel Framing donde se pueden ver los rigidizadores para absorber esfuerzos perpendiculares al plano de las cerchas.

Cordón superior: Perfil **tipo C** que está inclinado y por lo tanto da forma a la pendiente de la cubierta inclinada. Este cordón es el que sujetará a su vez los materiales de recubrimiento como el aislamiento térmico, la lámina impermeable, el acabado exterior, etc. *ConsulSteel.*

Cordón inferior: Perfil **tipo C** que está dispuesto de una forma horizontal y forma el techo de la planta inferior y el suelo de la posible buhardilla de la planta superior. También sirve como estructura que sujeta el falso techo *ConsulSteel.*

Pendolones: Perfiles **tipo C** dispuestos en forma vertical que vinculan el cordón superior con el cordón inferior con el fin de dar integridad estructural a la cercha o viga en celosía. *ConsulSteel.*

Diagonales: Perfiles **tipo C** inclinados que vinculan el cordón superior con el cordón inferior. Su función es muy similar a la de los pendolones y ayudan a trabajar a la estructura. *ConsulSteel.*

Rigidizadores de apoyo: Recorte de perfil **tipo C** colocado en los puntos de apoyo de la cercha, donde se produce la transmisión de los esfuerzos con el objetivo de evitar la abolladura del alma de los perfiles del cordón superior e inferior. *ConsulSteel.*

Genefa: Perfil **tipo U** que une los extremos de los cordones de cercha que conforman la cubierta en el sentido perpendicular a éstas con el fin de que estén fijas en su posición y la cubierta trabaje como una estructura única. *ConsulSteel.*

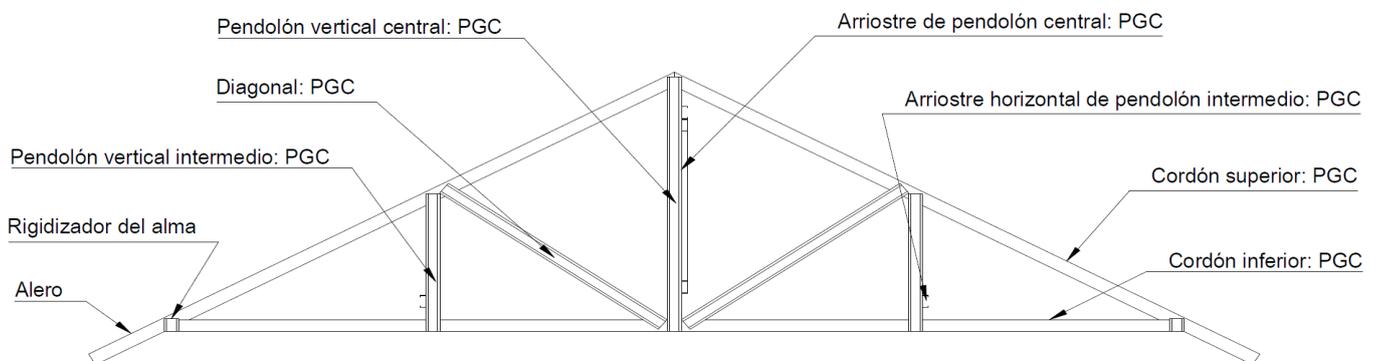


FIGURA 92: Alzado de una cercha de una cubierta inclinada resuelta con Steel Framing con sus elementos básicos.

5. PROYECTOS DE ESTUDIO

5.1. Casa en Puerto Varas.

Arquitectura: Andres Sandoval Espinosa, Isla & Sandoval Arquitectos Asociados.

Ubicación: Puerto Varas, Sector Rio Pescado, Región de Los Lagos, Chile.

Año: 2014.

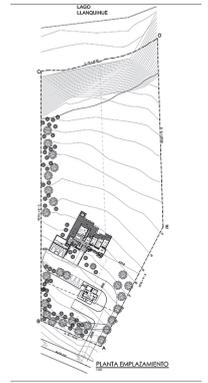


FIGURA 93: Fotografía general de la vivienda, objeto de proyecto.

La casa se sitúa en lo alto de una ladera que da al lago Llanquihue, el segundo lago más grande de Sudamérica después del Titicaca con las montañas al fondo incluyéndose un volcán a lo lejos. La estrategia de emplazamiento es eficaz y devela un orden que se reconoce pero que, especialmente, se apreciará según se vaya consolidando la estancia sobre el lugar. Este orden se aplica también en el desarrollo del proyecto de la casa que separa en dos bloques claramente diferenciados los sectores público y privados del programa, agregando en un segundo piso sobre el primero de ellos el programa íntimo, la suite y terraza de los dueños de casa. Así, en el área pública del primer piso están la sala de estar, comedor y cocina, separados del sector de las habitaciones y estar familiar mediante hall de acceso y biblioteca. *Arquitectura + Acero.*



FIGURA 94: Construcción de la casa donde se muestra la estructura resistente junto con el refuerzo de la estructura del steel frame.

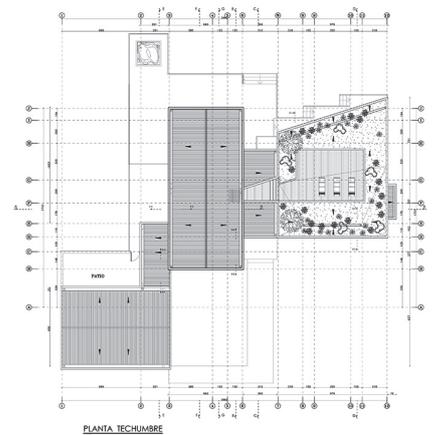


FIGURA 95: Planta general de la vivienda.

La estructura básica está concebida en base a columnas de pilares tubulares de sección cuadrada de 100x100mm y vigas de sección rectangular. Mientras que las tabiquerías de cerramiento y divisiones interiores están ejecutadas en paneles de perfiles de acero galvanizados de bajo espesor, tipo steel frame. La cimentación de la estructura está conformada a través de una serie de pequeñas zapatas (su pequeño tamaño es debido a que son bastantes, en comparación con otro edificio de similares características) bajo cada pilar. *Arquitectura + Acero. / Elaboración propia.*

Si bien el steel frame no es el sistema básico estructural, tiene funciones importantes puesto que los cerramientos, forjados y cubiertas sí que están ejecutados con este sistema. Así mismo, los pilares, al estar conformados por perfiles muy esbeltos requiere de perfiles diagonales que puedan soportar las cargas laterales y un arriostramiento en los dos sentidos de inercia que se verán reforzado con los paneles de steel frame. *Arquitectura + Acero*



FIGURA 96: Vivienda en construcción las zonas de steel frame.



FIGURA 97: Vista desde la terraza donde a lo lejos está el lago.

Finalmente, la piel de la fachada de la casa se completa con unos revestimientos exteriores de tejas de fibrocemento que no hacen visible la estructura, pero dejando a su vez grandes zonas de vidrio con la idea de que penetre la luz y dar a su vez vistas al lago. Esta vivienda ejemplifica la posibilidad de construir viviendas y construcciones con steel frame en zonas con pendiente debido a que son ligeras y no generan un bulbo de presiones en el terreno tan grande. *Arquitectura + Acero. / Elaboración propia.*

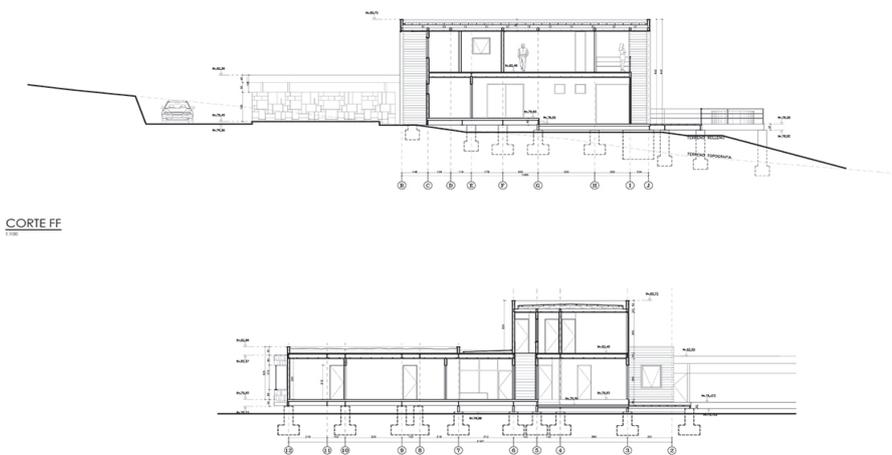


FIGURA 98: Sección de la vivienda que muestra la pendiente y las múltiples zapatas bajo la estructura.



FIGURA 99: Render trasero de la vivienda.

5.2. Casa TY

Arquitectura: Somigli-Moreno-Lama Arquitectos Asociados (Franco Somigli- Felipe Moreno- Juan Sebastian Lama.

Ubicación: La Reina, Santiago de Chile.

Año: 2010.

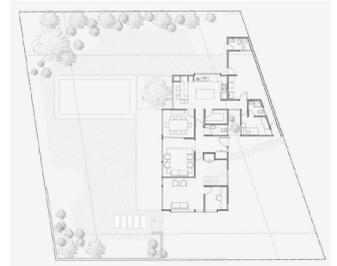


FIGURA 100: Vista general de la vivienda con la cordillera de fondo.

Esta casa se sitúa en un barrio de pie de monte de la ciudad de Santiago de Chile, muy cercano a la cordillera y con buenas vistas sobre la ciudad, las que se destacan especialmente de noche. El terreno tiene una ligera pendiente y está rodeado de construcciones de viviendas de un barrio relativamente nuevo en consolidación, de ahí que la estrategia básica del proyecto de situarse en la cota superior del terreno sea acertada: se mejoran las vistas y simultáneamente se controla la privacidad tanto del jardín como del espacio construido. Es muy cerrada al oriente y al poniente (la calle) y también es cerrada al sur, que provee luz indirecta y ventilación (esto se debe a que en el hemisferio sur la orientación potente de asoleo es la del norte). *Arquitectura + Acero. / Elaboración propia.*



FIGURA 101: Construcción de la vivienda a base de la estructura de steel frame.



FIGURA 102: Planta baja de la vivienda.

La estructura está íntegramente construida a base de marcos metálicos de perfiles galvanizados conformados en frío, también conocido como steel frame. Se trata de un sistema constructivo muy eficiente que ha ganado legítimamente un espacio en la arquitectura y la construcción entre otras cosas debido a que es un sistema constructivo que se ejecuta en frío y que se ahorra cierta cantidad de tiempo. *Arquitectura + Acero. / Elaboración propia.*

Un requisito fundamental era proponer un diseño flexible y de bajo mantenimiento, razón por la cual se escogió el acero como material estructural. De esta manera, la estructura se plantea como un sistema de pilares y vigas metálicas que sirven a su vez como terminación exterior en el borde del forjado y se prolonga para conformar una estructura de envigado en la terraza. Esta estructura se complementa con tabiques a base de perfiles de acero galvanizado los cuales pueden ser removidos con el tiempo de acuerdo a las distintas necesidades del programa. *Arquitectura + Acero.*



FIGURA 103: Construcción casi terminada de la vivienda.



FIGURA 104: Vista trasera de la vivienda.

Térmicamente, en este caso, la estrategia de utilizar ventanas de doble vidriado hermético y en dimensiones reducidas enfrentando las fachadas de importantes ganancias solares (Oriente y Poniente) y a las fachadas frías (sur) y de enfrentarlas con estos cerramientos bien aislados es muy adecuada al clima de la ciudad. Además, el control del asoleamiento en la fachada norte permite tener luz y un buen asoleamiento en los meses de invierno y protección solar en los meses calurosos del verano. *Arquitectura + Acero.*



FIGURA 105: Secciones longitudinales de la Vivienda



FIGURA 106: Entrada de la casa.

6. CONCLUSIÓN

Normalmente, los sistemas constructivos más utilizados han sido el hormigón, los aceros, los cerámicos y la madera (aunque éste último en menos medida, sobre todo en occidente) e incluso la combinación entre ellos. Sin embargo, aunque estos materiales son muy usados y están muy estudiados, hay algunos sistemas constructivos que no son tan conocidos. Entre estas nuevas formas de construir, está el steel frame que se ha ido poniendo el alza en todo el mundo durante los últimos años, teniendo un gran auge en Estados Unidos y en Latinoamérica.

Cuando pensamos en estructuras de acero, se suele hablar de las estructuras metálicas a base de perfiles laminados en caliente, no en vano estos perfiles muy estudiados en las escuelas de arquitectura como base de la construcción en acero.

El steel frame es una mezcla entre los paneles de yeso laminado no estructurales y las estructuras propias de acero, es muy parecido al wood frame tan popular en Estados Unidos, que se basa en la madera y sí que es un sistema mucho más usado.

También cambia el concepto de la propia estructura ya que las solicitaciones a soportar se divide en multitud de pequeñas cargas puntuales absorbidas por los delgados perfiles (que aquí están conformados en frío), a diferencia de otro tipo de estructuras que aunque el edificio sea muy similar, genera mucha carga en perfiles mucho más grandes. Así pues, las diferencias del steel frame en comparación con las estructuras metálicas convencionales pueden ser:

Tiempo de ejecución: El tiempo en este tipo de construcciones se reduce hasta un 70% en comparación a una construcción convencional. Como no es en seco, no se necesita esperar tiempos de fraguado y el clima tampoco es un problema pues si hay inclemencias meteorológicas, los paneles pueden venir montados en taller.

Economía: Como el tiempo de ejecución es más corto y existe la posibilidad de que los paneles vengan en taller, se reduce la mano de obra necesaria y por lo tanto el presupuesto. Además de que se tiene mucho más control de lo que cuestan los perfiles, tornillos, placas...

Sin embargo, puede ser que se requiera de mano de obra especializada (sobretudo si viene de taller) ya que es un sistema no muy usado, sobretudo en España. Por último, el transporte se puede realizar de una sola sentada con un camión ya que las piezas no son voluminosas, lo que lo hace idea en entornos escarpados o en casas con pendiente donde las piezas prefabricadas son difíciles de transportar.

Comportamiento Termo-Acústico: Al existir muchos tipos de placas de yeso laminado (Ignífuga, Con poca absorción de agua, para exteriores, con mayor resistencia, con mayor dureza superficial...) hay una gran versatilidad para muchos tipos de necesidades, que junto al poliestireno de su interior proporciona un buen aislamiento tanto térmico como acústico.

El problema de estos perfiles es que al tener poco peso hace que no haya tan buen aislamiento acústico aéreo. Otra desventaja es que el aislamiento térmico se ve interrumpido en los perfiles lo que origina puentes térmicos, y como tienen poca inercia térmica, el calor se puede escapar más fácilmente (la falta de inercia térmica es buena en usos puntuales ya que permite caldear el ambiente con velocidad, pero es ineficiente en estancias prolongadas).

Dimensiones: Como los paneles son más delgados que en las estructuras convencionales, permite un mayor uso del espacio útil y un mayor control del mismo a la hora de proyectar. Debido a su ligereza las estructuras no tienen tanto impacto en el terreno pudiendo construirse en terrenos de menor carga admisible.

Sostenibilidad: Todos los materiales usados para este sistema constructivo son reciclables y no son nocivos para el medio ambiente. Sin embargo, conformar perfiles metálicos es menos sostenible que hacerlos de madera ya que se gasta muchísima más energía, pero los perfiles conformados en frío son una solución intermedia puesto que se requiere muchísimo menos material y la forma en la que están fabricados requiere también de mucha menos energía. Lo ideal a la hora de reciclar sería que los perfiles fueran de Aluminio pero no tienen tan buena relación reciclaje-resistencia que el Acero.

Estructura: Los perfiles tienen muy buena resistencia para el poco material que tienen y el hecho de que sean estructuras ligeras las hace muy viables. Triangulando los montantes se consigue una gran estabilidad de cara a las cargas horizontales. Sin embargo, debido a la naturaleza de la propia estructura, no puede soportar solicitaciones tan grandes como los perfiles laminados en caliente por lo que se ve limitada su altura a unas pocas plantas.

Otro inconveniente es que se tiene que respetar en “in line framing” lo que condiciona a los arquitectos a proyectar con esa variable con el fin de tener un óptimo transporte de cargas hasta la cimentación. Se puede romper el “in line framing” pero eso exige el diseño de vigas tubo para la redistribución de cargas lo que hace menos viable la estructura y encarece la obra.

Tras lo aprendido a la hora de realizar el presente trabajo, se deduce que es un sistema muy asequible en la construcción de casas unifamiliares ya que presenta el sistema constructivo óptimo para ello. También es muy eficiente para pequeños edificios residenciales de baja altura. Sin embargo, para mejorar sus prestaciones y a pesar de que tiene el aislamiento en la propia estructura, las capas exteriores del cerramiento deberían mejorar el aislamiento.

Además, esta capa exterior deberá de dar un poco más de peso para asegurar una buena inercia térmica y un buen aislamiento acústico aéreo. Por último, el sistema steel framing permite una gran discreción en la estructura pues no deja pilares embebidos en las paredes y permite una gran cantidad de acabados, lo que hace posible acabados muy limpios y modernos, que junto con la posibilidad de poder pasar las instalaciones en sus paredes, evita que éstas se vean en los espacios interiores.

Por último, este sistema se podría implementar exitosamente en España puesto que existe una potente industria y este sistema ya se ha empezado a usar (aunque de una forma muy puntual). En este país se usan frecuentemente las estructuras de los perfiles laminados en caliente y los sistemas de compartimentación interior como los paneles de yeso laminado con una estructura interna de perfiles galvanizados conformados en frío por lo que este sistema no sería tan difícil de arraigar ya que no es demasiado diferente.

7. BIBLIOGRAFÍA

Arquitectura en acero: - <http://www.arquitecturaenacero.org/>

Barberá, E (2018): *Construcción 3* - Valencia - Escuela técnica superior de arquitectura de Valencia, Universidad politécnica de Valencia.

Barbieri: *Sistemas de construcción en acero - Steel Framing, Manual de apoyo* - Argentina - <https://www.adbarbieri.com/productos/sistemas-de-construccion-en-acero/steel-frame>

Consulsteel (2011): *Manual de procedimiento* - Buenos Aires, Argentina- <http://consulsteel.com/>

Construcción 2 (2019): *Unidad Docente* - Valencia - Temas 3, 8 y 9 - Escuela técnica superior de arquitectura de Valencia, Universidad politécnica de Valencia.

Estructuras I (2016): *Introducción a las estructuras de edificación* - Valencia - Escuela técnica superior de arquitectura de Valencia, Universidad politécnica de Valencia.

Goitia, A (2010): *Norman Foster - Colección de arquitectos Pritzker* - Madrid - Fundación banco Santander.

Heredia Ávalos, S (2011): *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias* - vol 8 - pp.466 a 475 - Experiencias sobre corrosión en metales de uso cotidiano.

José Monfort Leonart (2019): *Estructuras metálicas para edificación - Adaptado al CTE* - Valencia - Escuela técnica superior de arquitectura de Valencia, Universidad politécnica de Valencia. Editorial: Universidad politécnica de Valencia, primera edición - 2006 - pp. 14 - 22.

John Hill (2017): *Cómo construir un rascacielos* - Madrid - H. Blume - Ediciones Akal - pp. 6

Marlene Pérez Toribio, Y. (2013): *Aplicabilidad del sistema Steel-Frame en viviendas económicas de República Dominicana* - Barcelona - Máster universitario: TECNOLOGÍA EN LA ARQUITECTURA - Línea de construcción arquitectónica e innovación tecnológica - Escuela técnica superior de arquitectura de Barcelona, Universidad politécnica de Cataluña.

Materiales de construcción (2018): *Materiales metálicos 1, 2, 3 y 4* - Valencia - Escuela técnica superior de arquitectura de Valencia, Universidad politécnica de Valencia.

Pardo, J.L. (2019): *Estructuras 3* - Valencia - Escuela técnica superior de arquitectura de Valencia, Universidad politécnica de Valencia.

Peñaloza, C y Báez, J: *Acedur - Casas de Acero* - Córdoba, Argentina - <http://www.acedur.com/inicio/>

Reliance Foundry (2018) : *Introducción a los metales, ferrosos y no ferrosos* - <https://www.reliance-foundry.com/blog/metales-ferrosos-no-ferrosos-es#gref>

Romani, J.M. : *Apuntes sobre materiales ferrosos* - Barcelona- - Escuela técnica superior de arquitectura de Barcelona.

Sarmanho Freitas, A. M. & Morales de Castro, R. C. (2007): *Steel Framing, Arquitectura* - Brasil - Ilafa - Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero, traducido de: instituto brasileiro de siderurgia centro brasileiro de construção em aço.

Tikal arquitectum: *Rascacielos, los 101 edificios más altos del mundo* - Madrid - Susaeta Ediciones.

8. FIGURAS

- Figura 1** Diego Velázquez, La fragua de Vulcano - 1930
- Figuras 2 y 3** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=943&tbm=isch&sa=1&ei=zVIZXZqu-H4yUsAflhjqw&q=puede+de+coalbrookdale&oq=puede+de+coal&gs_l=img.1.0.0l2j0i24.35629.36061..38149...0.0.118.415.1j3.....0....1..gws-wiz-img.....0i8i30._AalcjVumyw#imgcr=Esdw4UTJTGVriM:
- Figuras 4 y 5** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=943&tbm=isch&sa=1&ei=IihdXZrw-FsvIaMqmjPAH&q=isotrop%C3%ADa+estructuras+cristalinas&oq=isotrop%C3%ADa+estructuras+cristalinas&gs_l=img.3...2166.6919..7042...0.0.0.206.2179.22j1j1.....0....1..gws-wiz-img.....0i30j0i24j0i10i24.J7JZREoghss&ved=0ahUKEwiaiZqt65PkAh-VLJBoKHUoTA34Q4dUDCAY&uact=5#imgdii=SmnB6bvezEr9FM:&imgcr=lp2w7JExa7Ld8M:
- Figura 6** Elaboración Propia
- Figura 7** Elaboración Propia
- Figura 8** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=943&tbm=isch&sa=1&ei=0ltdXa3W-FYTWxgOcwKbADg&q=ductilidad+metales&oq=ductilidad+metales&gs_l=img.3..0i8i30.574479.576304..576410...1.0.0.362.1107.4j-1j1j1.....0....1..gws-wiz-img.....0i67j0i30j0i24.MGPXlhFK64c&ved=0ahUKEwith9rSnJTKAhUEuHEKHRygCegQ4dUDCAY&uact=5#imgdii=g3BPM79TwdRFM:&imgcr=Nxmi4Bm0epX32M:
- Figura 9** Elaboración Propia
- Figura 10** Elaboración Propia
- Figura 11** Elaboración Propia
- Figura 12** https://www.google.com/search?q=puede+del+jamonero&rlz=1C1CHBF_esES824ES824&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiqmqmY8pzkAhUSsXEKHYiQCCIQAUIESgB&biw=1920&bih=943
- Figura 13** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=943&tbm=isch&sa=1&ei=AedhXeWGH-CJ1fAP_YOPwAk&q=bobina+de+aluminio%C2%B4&oq=bobina+de+aluminio%C2%B4&gs_l=img.3..0l2j0i8i30j0i30l3j0i24.11605.14861..14863...0.0.0.570.1968.4-2j2.....0....1..gws-wiz-img.sHLUsecHXFM&ved=0ahUKEwili_v48ZzkAhXgRBUIHf3BA5gQ4dUDCAY&uact=5#imgcr=fZ7w-NUYls_PsM:
- Figura 14** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=943&tbm=isch&sa=1&ei=ZOdhXa-FHce-KlwTK-ZXoAg&q=Cables+de+puentes&oq=Cables+de+puentes&gs_l=img.3..35i39j0.531378.536420..537246...7.0.0.139.2792.1j25.....0....1..gws-wiz-img.....0i67j0i30j0i5i30j0i8i30.dWQAqav7cJM&ved=0ahUKEwivx5Oo8pzkAhVHxYUKHcp8BS0Q4dUDCAY&uact=5#imgcr=C9Qi1bw9WeTN2M:
- Figura 15** https://www.google.com/search?q=pendulo+de+Charpy&rlz=1C1CHBF_esES824ES824&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi915P0iKHkAhUK3xoKHfljA2YQAUIESgB&biw=1920&bih=882#imgdii=XArew9G1PuRsmM:&imgcr=K-3SOf2-1WhmRpM:
- Figura 16** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=943&tbm=isch&sa=1&ei=UdNiXbbSO-cHeajWg7gM&q=resiliencia+ingenieria&oq=resiliencia+ingen&gs_l=img.3.0.0.231258.233476..234987...3.0.0.237.1131.0j8j1.....0....1..gws-wiz-img.....0i67j0i8i30j0i24.Y_S2c4mV4Go#imgcr=4gBjMU6X7zEhlM:
- Figura 17** https://www.google.com/search?q=corrosion+electrolitica&rlz=1C1CHBF_esES824ES824&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi8t6_vgaPkAhWM34UKH05AJ0QAUIESgB&biw=1920&bih=943#imgcr=4PgMoL5G4q6xsM:
- Figura 18** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=943&tbm=isch&sa=1&ei=aRdlXcr-cl4-ca8Xqh-AD&q=corrosi%C3%B3n+pilares&oq=corrosi%C3%B3n+pilares&gs_l=img.3...8141.9331..9436...0.0.0.145.854.5j3.....0....1..gws-wiz-img.....0i67j0i8i30j0i24.OjHqHiXNlxA&ved=0ahUKEwiKtfvD_KLkAhUPzhoKHUX1ATwQ4dUDCAY&uact=5#imgcr=OxeZBjSlW85j1M:

- Figura 19** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&tbm=isch&q=galvanizado+arquitectura&chips=q:galvanizado+arquitectura,online_chips:acero+galvanizado&sa=X&ved=0ahUKEwj7gpjXm6PkAhXMzoUKHSEhDzEQ4YIMCgF&biw=1920&bih=943&dpr=1#imgrc=k9URmrgtPg-3rM:
- Figuras 20 y 21** Tabla Periódica
- Figura 22** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=943&tbm=isch&sa=1&ei=N45lXarGEIfYaI2mksAK&q=soldabilidad&oq=solda&gs_l=img.3.0.0i67110.2741180.2741964..2743741...0.0.0.225.639.1j3j1.....0....1..gws-wiz-img.....0j35i39.b-4FbCSAieE#imgrc=ELVYJEOXD_ELdM:
- Figura 23** https://www.google.com/search?q=edificio+windsor+incendio&rlz=1C1CHBF_esES824ES824&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEWjg5ZP2-KPkJAhVBzoUKHa7NAWkQ_AUIESgB&biw=1920&bih=943#imgrc=P7McaEWntnIFM:
- Figura 24** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=943&tbm=isch&sa=1&ei=-5h1Xei-9GueN1fAPhZGUYA&q=incendio+estructuras+metales&oq=incendio+estructuras+metales&gs_l=img.3...2694.4312..4489...0.0.0..106.1164.7j5.....0....1..gws-wiz-img.spjez14KVt4&ved=0ahUKEWjop8qM-KpKAhXnRhUIHYUIBQwQ4dUDCAY&uact=5#imgrc=E4iXoaea03bxxM:
- Figura 24** Estructuras metálicas para edificación - José Monfort Lleonart.
- Figuras 26 a 29** CTE perfiles metálicos.
- Figura 30** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=943&tbm=isch&sa=1&ei=9o-hvXaOnCPChjLsP3v-GMA&q=perfil+conformado+C&oq=perfil+conformado+C&gs_l=img.3..0j0i8i30.2249545.2249545..2249864...0.0.0.85.85.1.....0....1..gws-wiz-img.G4xrniyezyc&ved=0ahUKEWj-vac8rbkAhXwA2MBHd6_AQYQ-4dUDCAY&uact=5#imgrc=yw7lru12WPOf5M:
- Figura 31** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=943&tbm=isch&sa=1&ei=w-JFvXfyOLNidjLsP7ZGGMAM&q=perfil+conformado+U&oq=perfil+conformado+U&gs_l=img.3..35i39.27873.28169..28444...0.0.0.87.147.2.....0....1..gws-wiz-img.....0j0i30j0i8i30j0i24.EmoaN6nKWqA&ved=0ahUKEWj87o-vO-rbkAhXYDmMBHe2IATMQ4dUDCAY&uact=5#imgdii=NZ6Up5mfkvqrXM:&imgrc=hr3t_OJcKPkY-M:
- Figura 32** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=882&tbm=isch&sa=1&ei=Hp-JvXbrDOqqgwfyLGoaAQ&q=perfil+conformado+Omega&oq=perfil+conformado+Omega&gs_l=img.3..35i39.88414.89539..89744...0.0.0.63.360.6.....0....1..gws-wiz-img.....0j0i30j0i8i30j0i24.FeVmGuhBczU&ved=0ahUKEWj6yoP7-rbkAhUr1eAKHXVkdBUQ4dUDCAY&uact=5#imgrc=GuGtYAERL8SYVM:
- Figura 33** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=943&tbm=isch&sa=1&ei=TZ9vXZrD-HauDjLsPwwG88Ao&q=tabique+knauf+simple&oq=tabique+knauf+simple&gs_l=img.3...52192.53042..53214...0.0.0.137.647.4j3.....0....1..gws-wiz-img.....35i39j0i30j0i24.f4MQGKgeRFs&ved=0ahUKEWjjanZDEh7fkAhWrAWMBHcI4D64Q4dUDCAY&uact=5#imgrc=L.PuArY4UZhvFVM:
- Figura 34** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=943&tbm=isch&sa=1&ei=N5tvXaPNGKK-qgwft5PADA&q=trasdosado+knauf+perfil+omega&oq=trasdosado+knauf+perfil+omega&gs_l=img.3...127058.129811..130040...1.0.0.175.1090.8j4.....0....1..gws-wiz-img.....0i8i30.NPPUTirjKB4&ved=0ahUKEWjjxKjRg7fkAhUi1eAKHfzbBMgQ4dUDCAY&uact=5#imgrc=EeRxfIAHhE5l0M:
- Figura 35** Elaboración propia
- Figura 36** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=943&tbm=isch&sa=1&ei=2-5vXcW-TO4-uUuH6gDA&q=fundicion+gris&oq=fundicion+gris&gs_l=img.3..35i39j0i4j0i30j0i5i30l2.24041.26603..26717...0.0.0.1.742.2675.4j-5j2j5-1j1.....0....1..gws-wiz-img.....0i67.QRNnNssis5k&ved=0ahUKEWjF7c-z07fkAhUPLxQKHWE9AAYQ4dUDCAY&uact=5#imgrc=DcDSP-IE-KfPHM:
- Figura 37** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=882&tbm=isch&sa=1&ei=9-5vXemRE-LaDjLsPk6_yAs&q=fundicion+blanca&oq=fundicion+blanca&gs_l=img.3..35i39j0i3j0i8i30j0i24l4.173029.173777..173851...0.0.0.66.370.6.....0....1..gws-wiz-img.....0i5i30.LcQ0J8rmtU&ved=0ahUKEWj6dHA07fkAhW2AWM-BHRLnD7kQ4dUDCAY&uact=5#imgrc=RN38Ju5-K_t8fM:

- Figura 38** [DtG422UumNu_gI&q=acero+inoxidable+cubiertos&oq=acero+inoxidable+cubiertos&gs_l=img.3..0j0i8i30l9.17520.19028..19174..0.0.0.143.742.9j1.....0....1..gws-wiz-img.....0i67j0i5i30.Bj5YYNYuSK0&ved=0ahUKEwiA58Oc3LfkAhUNmxQKHenGD08Q4dUD-CAY&uact=5#imgrc=vn-ALFOWMSxd6M:](https://www.google.com/search?rlz=C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=882&tbm=isch&sa=1&ei=aQNwXdPqI-ZLFUjpjouqAN&q=museo+guggenheim+bilbao&oq=museo+guggen&gs_l=img.1.1.0110.10773.13313..14718...1.0..0.242.1281.9j3j1.....0....1..gws-wiz-img.....35i39j0i67j0i10.To_hs17juwk#imgrc=42t-ILWfLAJZM:)
- Figura 39** Materiales de construcción.
- Figura 40** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=882&tbm=isch&sa=1&ei=aQNwXdPqI-ZLFUjpjouqAN&q=museo+guggenheim+bilbao&oq=museo+guggen&gs_l=img.1.1.0110.10773.13313..14718...1.0..0.242.1281.9j3j1.....0....1..gws-wiz-img.....35i39j0i67j0i10.To_hs17juwk#imgrc=42t-ILWfLAJZM:
- Figura 41** https://www.google.com/search?q=metales+no+ferrosos+uso&rlz=1C1CHBF_esES824ES824&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiMg7Ha5rfkAhV87OAKHXAhDawQ_AUIEigB&biw=1920&bih=882#imgrc=nKvNdl25h1HwM:
- Figura 42** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=882&tbm=isch&sa=1&ei=ggJwXfL3BN6DjLsP_c-BkAs&q=cadena+de+oro&oq=cadena+de+oro&gs_l=img.3..0i67j0i67i-2j0l6.64830.66328..66513..0.0..0.88.839.13.....0....1..gws-wiz-img.....35i39.bYcN5KniNig&ved=0ahUKEwjjwJWS5rfkAhXcAWMBHF-1nALIQ4dUDCAY&uact=5#imgrc=bW9wELUJL.RyERM:
- Figura 43** [:https://www.google.com/search?q=lata+de+aluminio&rlz=1C1CHBF_esES824ES824&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiuOni5rfkAhWr5OAKHTSwd4kQ_AUIEigB&biw=1920&bih=882#imgdii=z8-TnBjoI2fM2M:&imgrc=7Z7sIb2keU-bEXM:](https://www.google.com/search?q=lata+de+aluminio&rlz=1C1CHBF_esES824ES824&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiuOni5rfkAhWr5OAKHTSwd4kQ_AUIEigB&biw=1920&bih=882#imgdii=z8-TnBjoI2fM2M:&imgrc=7Z7sIb2keU-bEXM:)
- Figura 44** :Materiales de construcción
- Figura 45** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=943&tbm=isch&sxsr=ACYBGNSYcur-fh5InwoPhE3tNdLkCkUKhHw%3A1567836963501&sa=1&ei=I0tzXdubHoe1U9Wzq-gP&q=Naves+industriales+estructura&oq=Naves+industriales+estructura&gs_l=img.3..0l2j0i8i30l2.3985.5484..5714...0.0..0.187.1035.8j3.....0....1..gws-wiz-img.....0i67j0i30j0i5i30.uQVN1giUEQs&ved=0ahUKEwibuZnqh77kAhWH2hQKHdXZCv0Q4dUDCAY&uact=5#imgrc=d27SyflnFHJJsM:
- Figura 46** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=943&tbm=isch&sxsr=ACYBGNT-PdxG-vE3l8zNBoBCU7ah_7MR11g%3A1567831730091&sa=1&ei=sjZzXaqXBaqdjLsPwPCP4AU&q=estructuras+met%3A1lica+edificio&oq=estructuras+met%3A1lica+edificio&gs_l=img.3..14461.19647..19909...3.0..0.175.1071.5j5.....0....1..gws-wiz-img.8-xbcNDL-bfU&ved=0ahUKEwiquNuq9L3kAhWqDmMBHUD4A1wQ4dUDCAY&uact=5#imgrc=JE7fAgziehqMtM:
- Figura 47** https://www.google.com/search?q=Torre+sears&rlz=1C1CHBF_esES824ES824&sxsr=ACYBGNQ8j0LGi5TAKjw7_VtEKP3EavL_uQ:1567830804309&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjZnKLx8L3kAhVd8OAKHf1ZBxkQ_AUIEigB&biw=1920&bih=943#imgrc=ITFTQEKqNP6xJM:
- Figura 48** https://www.google.com/search?q=Naves+industriales+estructura&rlz=1C1CHBF_esES824ES824&sxsr=ACYBGNT20q9WFou_zFnUDPVsVj3bmKJkzQ:1567971290681&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjE7bGe_MHkAhXjA2MBHZFWAzYQ_AUIEigB&biw=1920&bih=943
- Figura 49** Folleto de la Torre Sears – G. Binder/Buldings & Data SA.
- Figura 50** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&tbm=isch&sxsr=ACYBGNS0Nufxm8I2OW6YRH7R1Y-YEAA8I9Q:1567842225451&q=vigas+de+alma+aligerada&chips=q:vigas+de+alma+aligerada,g_1:perfiles&sa=X&ved=0ahUKEwis-p6W3m77kAhW3AmMBHW12BJ8Q4YIKigA&biw=1920&bih=882&dpr=1#imgrc=_
- Figura 51** Elaboración propia
- Figura 52** Elaboración propia
- Figura 53** https://www.google.com/search?q=Salisbury+center+norman+foster&tbm=isch&tbs=rimg:CQGCBKlZ3BsImBNcrGGYrDcSt1fa4RTJJuAlrlyknI60-vbBWoDs5TVqWuZpTM2_1PFnAJpiUymbEOH7LOmOZryA9ZAEYr7k-kY-TtLsuwIcvzA_1x4b8twcIS1D5nzPvnbfcmTbZp0uO7Z9EqEgINcrGGYrDcShGeDFW23bb2mSoScd1fa4RTJJuAlEezw6CQFMjvsKhIJrIyknI6ovbAR4mmWnp1N0McqEgIWoDs5TVqWuRFTkZ3BTLu1ICoSCzPTM2_1PFnAEUx3hcDfrWXSKhIJpiUymbEOH4R1A7HSazdodUqEgnLOmOZryA9ZBGeDFW23bb2mSoSCQEYr7k-kY-TEQwEYUvi-dDIKHlJtLsuwIcvzA8RYvPzoFueD6kqEgnx4b8twcIS1BHbSIIgWVlotSoSCT5nzPvnbfcmEU1Y0jC014qsKhIJTbZp0uO7Z9ERoB7j49f2OOM&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKEwjmqcqorb7kAhXLAGMBHX92AW4QuIIBegQIARAv&biw=1920&bih=943&dpr=1#imgrc=z1qkwobxO9zXtM:

- Figura 54** https://www.google.com/search?biw=1920&bih=943&tbm=isch&csxsr=ACYBGNTwvKz5Yu6jOfV11ruHsOhmqcOQBA%3A1567847170942&sa=1&ei=AnNzXd-WOfSGjLsPuree8A0&q=Salisbury+center+norman+foster+secc%3%B3n&oq=Salisbury+center+norman+foster+secci%3%B3n&gs_l=img.3...908238.909486..909718...0.0.124.654.5j3.....0...1..gws-wiz-img.rLiF7UGKw7w&ved=0ahUKEwjfn77rb7kAhV0A2MBHbqb-B94Q4dUDCAY&uact=5#imgrc=4V7fXdy-Hyz8kM:
- Figuras 55 a 57** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=882&tbm=isch&csxsr=ACYBGNTOMv-83Y8RyWzjoixyQ9a-flhVpEug%3A1567863856168&sa=1&ei=MLRzXYHxCYGYjLsPyd6s2AY&q=tabiques+de+yeso+laminado+simple+plano&oq=tabiques+de+yeso+laminado+simple+plano&gs_l=img.3..35i39.1074606.1075234..1075412...0.0.1.198.509.5j1.....0...1..gws-wiz-img.rivBB707ykQ&ved=0ahUKEwiB-yc-B7L7kAhUBDGBMHUkvC2sQ4dUDCAY&uact=5#imgrc=9qGyj6cep-pd2M:
- Figura 58** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=882&tbm=isch&csxsr=ACYBGNTkx-uv780gXtjSFhMktIxbbh-vTg%3A1567863487958&sa=1&ei=v7JzXYOWOvajLsP__252Ak&q=tabiques+de+yeso+laminado+doble+plano&oq=tabiques+de+yeso+laminado+doble+plano&gs_l=img.3..35i39.362269.367608..367745...7.0.0.192.1427.9j6.....0...1..gws-wiz-img.le7SPfthKjw&ved=0ahUKEwjD8YXS6r-7kAhX2BGBMHf9-DpsQ4dUDCAY&uact=5#imgdii=fPafXc_223r2jM:&imgrc=1-gdHq4UcdtUOM:
- Figura 59** https://www.google.com/search?q=steel+frame&rlz=1C1CHBF_esES824ES824&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj41P-E3r-nkAhWHkxQKHx9PCjwQ_AUIEigB&biw=1920&bih=943#imgrc=5LqAkBkAO_pH0M:
- Figura 60** Barbieri
- Figura 61** ConsulSteel
- Figuras 62 y 63** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=943&tbm=isch&sa=1&ei=ACpxXYrbF-uugweWzLXYBQ&q=steel+frame+taller&oq=steel+frame+taller&gs_l=img.3...20645.25044..25173...0.0.0.162.759.7j2.....0...1..gws-wiz-img.....35i39j0j0i30j0i19j0i8i30i19.dzTWEHwoxOE&ved=0ahUKEwiK25H5_7nkAhVr1-AKHRZmDVsQ4dUDCAY&uact=5#imgrc=_
- Figuras 64 y 65** ConsulSteel
- Figura 66** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=943&tbm=isch&sa=1&ei=MUVxXcbyIsbgUeu1uOgM&q=panels+de+steel+Frame+axonometria&oq=paneles+de+steel+Frame+axonometria&gs_l=img.3...89839.92260..92784...0.0.0.70.743.12.....0...1..gws-wiz-img.....0i30.qdzG6Y8iV0M&ved=0ahUKEwiGz77wbrkAhVGcBQKHesaDs0Q4dUDCAY&uact=5#imgrc=2f49jwFzMXrVeM:
- Figuras 67 a 84** Consulsteel
- Figura 85** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=943&tbm=isch&csxsr=ACYBGNTRelwM-r56v3YmXXmXsyof-C0_VH%3A1567732846549&sa=1&ei=brRxXYSRICOHjLsPocy7iAY&q=Forjado+de+steel+frame+seco&oq=Forjado+de+steel+frame+seco&gs_l=img.3...27359.27914..28302...0.0.0.64.247.4.....0...1..gws-wiz-img.S9ZQgbFh2y8&ved=0ahUKEwiEgK_7g7vkAhXDA2MBHSHmDmEQ4dUD-CAY&uact=5#imgrc=ULKJI0XQWgzHTM:
- Figura 86** https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBF_esES824ES824&biw=1920&bih=882&tbm=isch&csxsr=ACYBGNTIq8X7f0jDqgXT_ugPwE9Pc-F5zZQ%3A1567733210238&sa=1&ei=2rVxXaWbDuyBjLsP1de0yA8&q=Forjado+de+steel+frame+seco&oq=Forjado+de+steel+frame+seco&gs_l=img.3..35i39.74092.76124..76428...1.0.0.61.290.5.....0...1..gws-wiz-img.jF_5XO7zP4s&ved=0ahUKEwil8OSohbvkAhXsAGMBHDUrDfkQ4dUD-CAY&uact=5#imgrc=ULKJI0XQWgzHTM:
- Figuras 87 a 92** ConsulsSteel
- Figura 93 a 106** Arquitectura + acero