COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA
ICAI

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

MÁSTER DE INGENIERIA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UNA VIVIENDA DE BAJO COSTE PARA LAS ALDEAS DE QUICHÉ (GUATEMALA)

Autor: Gonzalo García-Monsalve Olábarri
Director: Jesús Jiménez Octavio

Madrid, Enero 2019

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor **D. Gonzalo García-Monsalve Olábarri**

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra:

Diseño de una vivienda de bajo coste para las aldeas de Quiché (Guatemala),

que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar "marcas de agua" o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente)*.

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e

intereses a causa de la cesión.

d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusive del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 21 de enero de 2019

ACEPTA

Fdo.....Gonzalo.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título:

Diseño de una vivienda de bajo coste para las aldeas de Quiché, Guatemala.

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2018/2019 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Gonzalo García-Monsalve Olábarri

Fdo: Gonzalo Fecha: 21/01/2019

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Jesús Jiménez Octavio

Fdo.: Fecha: 21/ 01/ 2019

COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA
ICAI

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

MÁSTER DE INGENIERIA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UNA VIVIENDA DE BAJO COSTE PARA LAS ALDEAS DE QUICHÉ (GUATEMALA)

Autor: Gonzalo García-Monsalve Olábarri
Director: Jesús Jiménez Octavio

Madrid, Enero 2019

DISEÑO DE UNA VIVIENDA DE BAJO COSTE PARA LAS ALDEAS DE QUICHÉ (GUATEMALA).

Autor: García-Monsalve Olábarri, Gonzalo

Director: Jiménez Octavio, Jesús

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

El objetivo principal de este proyecto es dar una respuesta a uno de los principales problemas sociales que existen en las aldeas de Quiché, Guatemala, el acceso a una vivienda digna.

En concreto, se trata diseñar una vivienda que sea económica, de materiales resistentes y duraderos, y que sirva de solución a los principales problemas de la sociedad rural guatemalteca: Problema social que generan las actuales viviendas, escasez de agua, inexistencia de saneamiento y deforestación.

En la siguiente tabla se muestra de forma esquemática los diferentes problemas que existe en la sociedad rural guatemalteca y las soluciones que propone la vivienda.

Problemas Guatemala Rural	Soluciones Vivienda
Problema económico: Sin capacidad económica para tener una vivienda digna (viviendas inestables de barro y palos de madera).	Casa de bajo coste, resistente y de calidad: Estructura metálica Steel Framing (Acero galvanizado) con paneles de cerramientos
Problema social de la vivienda: Familias de 10 personas viviendo en un único espacio.	Vivienda Semi-Modular: Estructura fija, Pero con paneles modulares que pueden ir cambiando (Añadir una habitación, quitarla, dividir el salón, etc)
Escasez de agua: Falta de agua, y la poca que tienen esta contaminada	Recoger agua por la cubierta, y llevarla a través de un canalón a un depósito. Antes del depósito se filtrará el agua y pasará por una pequeña etapa de desinfección
Viviendas sin saneamiento: Utilizan pozo ciego	Letrinas aboneras
Deforestación	Utilización del abono producido en las letrinas para la plantación

En resumen, la vivienda se trata de una estructura de acero galvanizado, con paneles modulares que hacen de paredes y que se pueden cambiar de disposición según los requerimientos de la familia. Además, tiene un sistema de recogida y depuración del

agua de la lluvia y dispone de una letrina abonera exterior a la vivienda. Por último, se puede aprovechar el abono generado en la letrina abonera para plantar.

En la siguiente imagen se puede ver un boceto del proyecto.

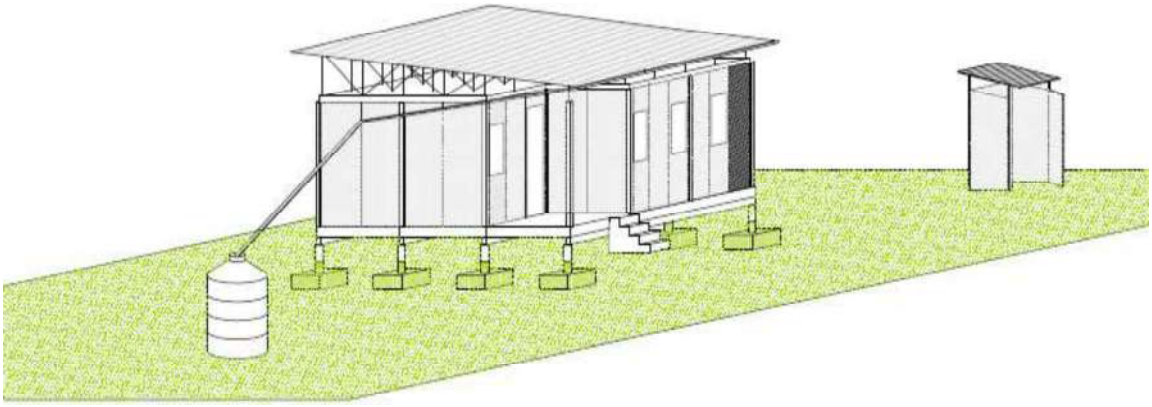


Ilustración 1: Boceto del proyecto

Este proyecto se divide en tres partes, el diseño de la vivienda el sistema de recogida de agua y el diseño de la letrina abonera, si bien el grueso principal está en el diseño de la vivienda. Esto es el diseño estructural, los materiales, la modularidad mediante paneles, etcétera.

El cálculo estructural se ha realizado de acuerdo a la norma española CTE. En primer lugar se ha calculado las cargas de la vivienda y más adelante se ha calculado la estructura. Para ello se ha utilizado el programa de cálculo estructural CYPE 3D.

Para la cimentación se han utilizado zapatas aisladas de hormigón armado HA-25.

La estructura metálica es de acero galvanizado debido a las numerosas ventajas que presenta, la principal, una estructura ultraligera. En la siguiente imagen se puede ver el diseño de la estructura.

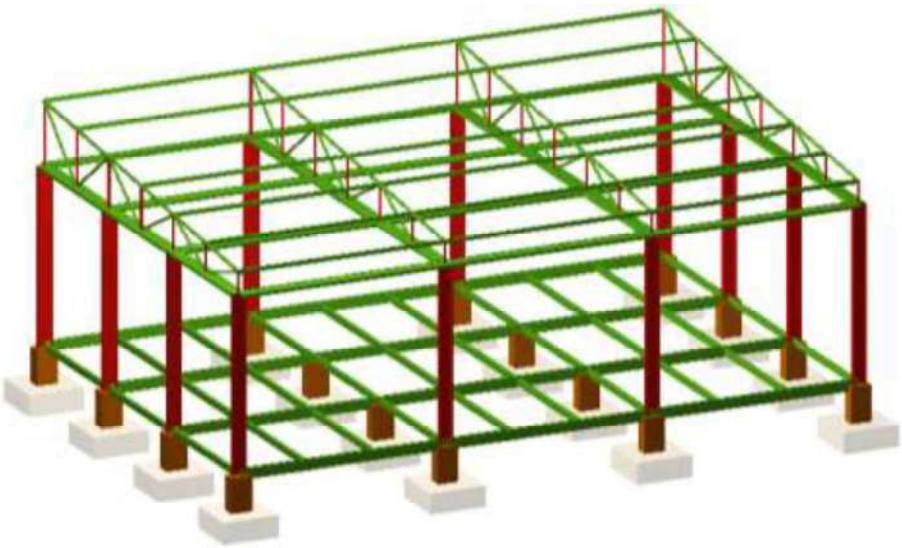


Ilustración 2: Diseño de la estructura

Para las uniones se utilizan uniones atornilladas y así se evita la soldadura y la mano de obra cualificada que ello supone.

Además, se ha diseñado una pieza para unión entre las vigas del techo y los paneles de las paredes. Esta pieza permite que se puedan quitar y poner los paneles con cierta facilidad a través de unos tornillos.

Para comprobar que resistía estructuralmente se ha utilizado el software de elementos finitos ANSYS. En la siguiente imagen se puede ver el diseño.

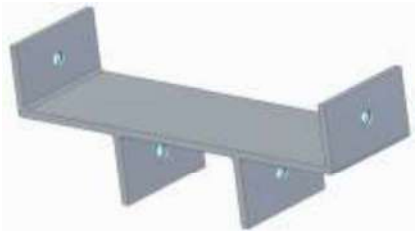


Ilustración 3: Pieza unión paneles techo

Finalmente se dimensiona el sistema de saneamiento y el sistema de recogida de agua.

El sistema de saneamiento es una letrina abonera. Este tipo de letrina consta de dos cámaras. Mientras una está en reposo y en periodo de desintegración durante seis meses, la otra se utiliza para almacenar las heces hasta que se llene y luego se intercambian. Las dimensiones de las cámaras de la letrina son: 0.5 x 0.75 x 1 m es decir un volumen de 0.375 m^3.

El sistema de recogida y depuración de agua es un sistema que lleva el agua de la lluvia recogida por el tejado a un depósito. El depósito se ha dimensionado con un volumen de 10,000 litros. La depuración es simplemente una etapa de filtración a la entrada del depósito y luego una cloración.

Para la cloración se echa una pastilla de 3.6 gramos de hipoclorito de calcio cada 15 días. Con esto será suficiente para que el agua este en buenas condiciones.

Finalmente se muestra una tabla resumen con el presupuesto del proyecto.

		Precio (Q)	Precio (€)
Vivienda	Estructura	Q 15857,70	1744,35 €
	Uniones	Q 4600,63	526,31 €
	Cimentaciones	Q 5341,91	587,61 €
	Precio Vivienda	**Q 25800,24**	**2858,27 €**
Depósito		**Q 9930**	**1092,3 €**
Letrina abonera		**Q 5254,4**	**577,984 €**
Mano de obra		**Q 3500**	**385 €**
Presupuesto total del proyecto		**Q 44484,64**	**4913,55 €**

DESIGN OF A LOW-COST HOUSING FOR THE VILLAGES OF QUICHÉ, GUATEMALA.

Author: García-Monsalve Olábarri, Gonzalo

Directors: Jiménez Octavio, Jesús

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

ABSTRAC

The main objective of this project is to provide an answer to one of the biggest social problems in rural Guatemala, the poverty and lack of decent housing.

Mainly, the project seeks to design a house that is affordable, resistant and durable, and capable of providing a solution to the main problems of Guatemalan rural society: Housing poverty and all the social problems that entails, lack of sanitation and deforestation.

The following table shows schematically the different problems in Guatemalan society an the solutions proposed by the house.

Guatemalan rural Problems	Housing solutions
Economic problem: With no economic capacity to have a decent home (unstable houses of adobe and wooden sticks	Low cost housing, resistant and with good quality: Steel framing structure with enclosure panels.
Social problema of housing: Families of ten people living in a single space.	Semi-Modular house: Fixed structure with modular panel that can be changed (add a room, remove it, etc)
Shortage of water: Lack of water, and the little they have is contaminated.	Collect water from the roof, and conduct it through a gutter system to the water tank. Before the tank, the water will be filtered and go through a small disinfection stage.
Houses without sanitation: They use cesspit	Composting latrine.
Deforestation	Use of fertilizer produced in latrines for planting

To sum-up, the house is steel framing structure, with modular panels that can be changed according to the family's requirements. Moreover, the house has a colleting and

purification system for rainwater, and it has a composting latrine outside the house. Finally, it the fertilizer generated in the latrine it can be used for planting.

The following sketch shows the design of the whole project.

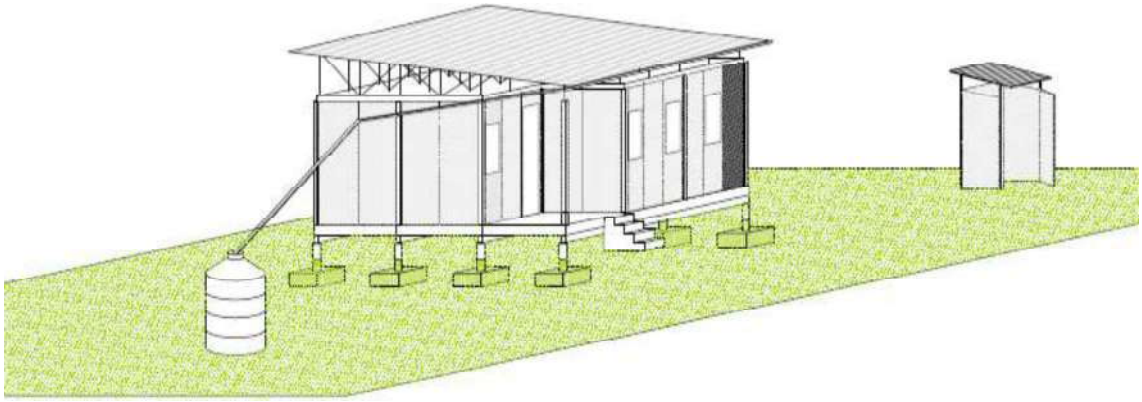


Ilustración 4: Sketch of the house

This project is divided in three parts, the design of the house, the water collection system and the design of the composting latrine. The design of the house includes the structural design, the materials, the modular panels, and so on.

The structural calculation has been carried out according to the Spanish CTE standard. Firstly, the loads of the house have been calculated so the structure can be calculated. To do so, it has been used the software CYPE 3D.

Reinforced concrete footings has been used for the foundation. In particular, concrete HA-25 according to the Spanish CTE standard.

The steel framing structure has many advantages. The most important one is the structural lightness. The following image shows the design of the structure.

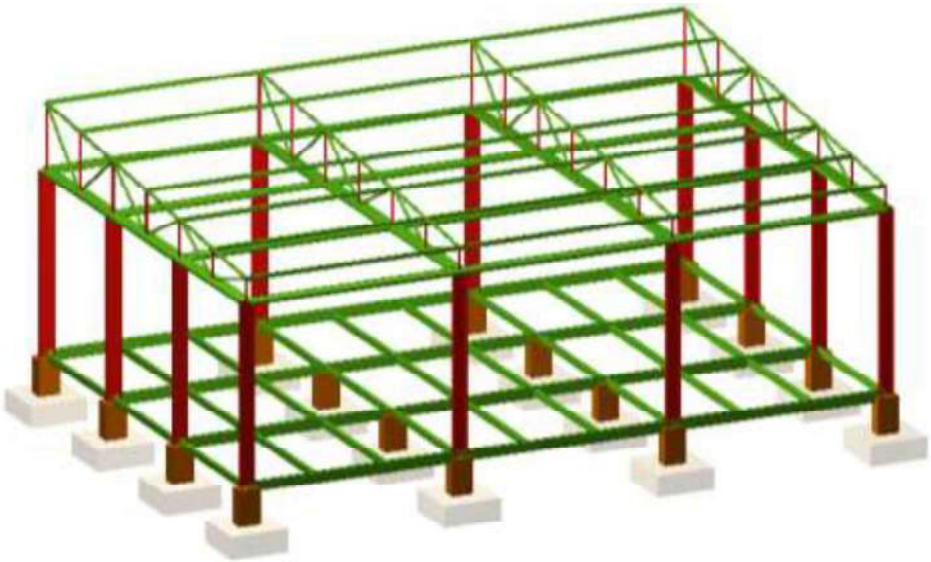


Illustration 5: Structural design

Bolted connections are used for joints, thus avoiding welding and the skilled labour that this entails.

Additionally, it has designed a piece to connect panel walls to the ceiling beams. This piece allows you to remove and change the panels easily. It has two screws that can be remove without difficulty. These pieces make the house flexible and modular in some way.

In order to verify that the structurally resist the efforts, it has been used the finite element software ANSYS. The following image shows the design of the piece.

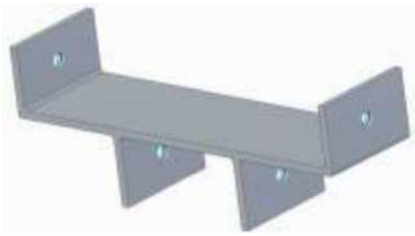


Illustration 6: Connector piece between panel wall and ceiling beams

Finally, the sanitation system and the water collection system are sized.

The sanitation system is a composting latrine. This type of latrine has two chambers. While one is subject to the disintegration process for six months, the other one is used to store the stool until it is full and then exchanged. The dimensions of the latrine chambers are: 0.5 x 0.75 x 1 m, that is a volume of 0.375 m^3.

The water collection and purification system is a system that carries the rainwater collected by the roof to a deposit. The tank has been sized with a volume of 10,000 litters. The purification is simply a filtration stage at the entrance of the tank, and afterward a chlorination.

For chlorination, a tablet of 3.6 grams of calcium hypochlorite is added every 15 days. With this it will be enough for the water to be in good condition.

Finally, a summary with the project's budget is shown

		Price (Q)	Price (€)
House	Structure	Q 15857,70	1744,35 €
	Connectors	Q 4600,63	526,31 €
	Foundation	Q 5341,91	587,61 €
	Housing price	**Q 25800,24**	**2858,27 €**
Water tank		**Q 9930**	**1092,3 €**
Composting latrine		**Q 5254,4**	**577,984 €**
Workforce		**Q 3500**	**385 €**
Total Budget of the project		**Q 44484,64**	**4913,55 €**

Índice de documentos

Documento 1. Memoria

1. Introducción
2. Memoria descriptiva
3. Memoria Constructiva
4. Bibliografía

Anexos a la memoria

Anexo 1. Cáculos estructurales

Anexo 2. Catálogo: Vigas Ferromax

Anexo 3. Catálogo: SIMPSON Strong-Tie

Documento 2. Planos

1. Lista de Planos
2. Planos

Documento 3. Pliego de condiciones

1. Pliego de condiciones generales
2. Pliego de condiciones técnicas

Documento 4. Presupuesto

Documento 1: Memoria

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Capítulo 1. Introducción 11
1.1. Introducción 13
1.2. Motivación 15
1.3. Objetivos 17
Capítulo 2. Memoria descriptiva 21
2.1. Emplazamiento 23
2.1.1. Geología y geotecnia 25
2.1.1.1. Clasificación Geomorfológica del área de Chicamán 26
2.1.1.2. Riesgos geotécnicos del municipio de Chicamán 28
2.1.2. Climatología 31
2.1.2.1. Temperaturas 31
2.1.2.2. Pluviometría 34
2.1.2.3. Humedad relativa 38
2.1.2.4. Clasificación climática 41
2.2. Normativa 44
2.3. Antecedentes 45
2.3.1. La vivienda rural en Guatemala 45
2.3.2. Estado de la cuestión 45
2.3.2.1. Elementos estructurales 46
2.3.2.2. Materiales 50
2.3.2.3. Fabricación, montaje y transporte 54
2.3.2.4. Modularidad 54
2.3.2.5. Factor económico 55
Capítulo 3. Memoria constructiva 57
3.1. Descripción de la solución 59
3.1.1. Concepto 59
3.1.1.1. Estructura Steel Framing 60
3.1.1.2. Modular 60
3.1.1.3. Sistema de recogida de agua 62
3.1.1.4. Letrinas aboneras 63
3.1.2. Diseño de la estructura 64
3.1.3. Materiales empleados 66

3.1.4. Uniones 66
3.1.5. Transporte....66
3.1.6. Boceto 67
3.2. Calculo estructural 68
3.2.1. Cargas....68
3.2.1.1. Cargas permanentes 68
3.2.1.1.1. Elementos estructurales 68
3.2.1.1.2. Cubierta 68
3.2.1.1.3. Techo....69
3.2.1.1.4. Suelo 69
3.2.1.1.5. Paneles paredes....69
3.2.1.2. Cargas variables 69
3.2.1.2.1. Sobrecarga de uso....70
3.2.1.2.2. Cargas de viento 70
3.2.1.3. Cargas accidentales....72
3.2.1.3.1. Carga sísmica....72
3.2.1.4. Resumen de las cargas....74
3.2.2. Pandeo y flecha....75
3.2.2.1. Límite de pandeo 75
3.2.2.2. Límite de flecha....75
3.2.3. Perfiles de acero galvanizado 76
3.2.3.1. Pilares....76
3.2.3.2. Vigas y viguetas del techo....79
3.2.3.3. Vigas y viguetas del suelo 81
3.2.3.4. Cerchas y correas de la cubierta 83
3.2.4. Cimentación 86
3.2.4.1. Tipología....86
3.2.4.2. Disposición de las zapatas....87
3.2.4.3. Dimensionamiento de zapatas 87
3.2.4.4. Cálculo de la placa de anclaje 89
3.2.4.5. Cálculo de pilotes sobre la zapata 92
3.2.5. Uniones 94
3.2.5.1. Unión pilar/cimentación 95
3.2.5.2. Unión viga/viga 95

3.2.5.3. Unión en los nudos de la cercha 98
3.2.5.4. Unión panel/viga techo....99
3.2.5.4.1. Ensayo y resultados de Ansys 101
3.3. Depósito de captación de agua de lluvias....103
3.3.1. Dimensionamiento del depósito....103
3.3.1.1. Aportaciones....103
3.3.1.2. Demanda....104
3.3.1.3. Tamaño del depósito 105
3.3.2. Tratamiento de depuración 106
3.3.3. Materiales y alternativas 108
3.4. Sistema de saneamiento....109
3.4.1. Dimensionamiento de la letrina abonera 109
3.4.2. Elementos 111
Capítulo 4. Bibliografía 113
4.1. Referencias 115
ANEXOS A LA MEMORIA 117
Anexo 1. Cálculos estructurales....119
1.1. Cálculos de la estructura metálica 121
1.1.1. Pilares....122
1.1.1.1. Pilares Centrales 122
1.1.1.2. Pilares Laterales 132
1.1.2. Techo....141
1.1.2.1. Vigas....141
1.1.2.2. Viguetas 150
1.1.3. Suelo 158
1.1.3.1. Vigas Centrales....158
1.1.3.2. Vigas Laterales 168
1.1.3.3. Viguetas 178
1.1.4. Cubierta 188
1.1.4.1. Montantes....188
1.1.4.2. Diagonales....192
1.1.4.3. Cordón superior....200
1.1.4.4. Correas....211
1.2. Cálculos cimentación 221

1.2.1. Zapata aislada 221
Anexo 2. Catálogo: Vigas Ferromax 223
Anexo 3. Catálogo: Simpson Strong-Tie.....225

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Objetivos de desarrollo sostenible. *Fuente: ONU* 15

Ilustración 2: Vivienda tipo de las aldeas de Quiché 17

Ilustración 3: Fotografía de una olla hirviendo agua en Quiché. 18

Ilustración 4: Letrina en Santa Cruz Chut, Quiché 18

Ilustración 5: Mapa geográfico de Guatemala. A la izquierda el mapa con las 8 regiones y a la derecha los 22 departamentos. En rojo se encuentra enmarcado el departamento de Quiché. *Fuente: Wikipedia* 23

Ilustración 6: Mapa político del departamento de Quiché. *Fuente: Gifex* 24

Ilustración 7: Mapa de las placas tectónicas y las falla en Guatemala 25

Ilustración 8: Mapa topográfico de la Sierra de los Chucumatanes. *Fuente: [GON18]* 27

Ilustración 9: Áreas susceptibles a deslizamiento según registro histórico. Método Mora-Vahrson. Registro CONRED de eventos históricos de deslizamiento. Escala 1:250,000 . *Fuente: [UNISDR]* 29

Ilustración 10: Mapa de los niveles de humedad relativa en Guatemala. *Fuente: [INSVMH]* 38

Ilustración 11: Vivienda tipo Guatemala. Fuente: Periódico Michiquimula 45

Ilustración 12: Unicón por encaje. Fuente: Pirwi 47

Ilustración 13: Diseño vivienda de madera Pirwi 48

Ilustración 14: Vivienda SHouse en Vietnam por VTM Architecs: Fuente: VTN Architecs.. 49

Ilustración 15: Full Fill House. Fuente: ANupama Kundoo Architec..... 50

Ilustración 16: S House 2. Vietnam. Fuente: VTN Architecs..... 51

Ilustración 17: Full Fill House. Fuente: Anupama Kundoo Architec 52

Ilustración 18: Vista interior de la S House 3, donde se puede ver la estructura de acero galvanizado. Fuente: VTN Architecs. 53

Ilustración 19: Vivienda modular hexagonal para un campo de refugiados. Fuente: Achitecs for society..... 55

Ilustración 20: Proceso de optimizadión económica. Fuente VTN Architecs..... 56

Ilustración 21: Disposición de la planta de la vivienda..... 61

Ilustración 22: Variantes modulares de la vivienda 62

Ilustración 23: Letrina abonera 63

Ilustración 24: Escuela en Burkina Faso. Se puede observar el sistema para disminuir el calor en días de verano. Fuente: Francis Kéré 64
Ilustración 25: Estructura de la vivienda diseñada en CYPE..... 65
Ilustración 26: Boceto de la vivienda, la letrina y el depósito de agua 67
Ilustración 27: Direcciones de las cargas del viento. Fuente: [CAST14]..... 71
Ilustración 28: Cargas del viento sobre la cubierta 72
Ilustración 29: Mapa del índice de sismicidad según la norma guatemalteca. Fuente: CYPE 73
Ilustración 30: Espectro de frecuencias. Fuente: CYPE 73
Ilustración 31: Perfiles utilizados para los pilares. Vista: Perfil izquiedo 77
Ilustración 32: Perfiles utilizados para los pilares. Vista: Alzado 77
Ilustración 33: Perfiles utilizados en el techo..... 80
Ilustración 34: Perfiles utilizados en la estructura del suelo..... 82
Ilustración 35: Perfiles utilizados en la cercha 84
Ilustración 36: Perfiles utilizados para las correas de la cubierta 85
Ilustración 37: Zapata aislada. Fuente: CYPE..... 86
Ilustración 38: Disposición de las zapatas 87
Ilustración 39: Dimensiones de la zapata aisalada..... 88
Ilustración 40: Imagen de la placa de anclaje..... 91
Ilustración 41: Imagen de la placa de anclaje con los tornillos..... 95
Ilustración 42: Placa RCA333 utilizada en para las uniones. Fuente: SIMPSON Strong Tie 96
Ilustración 43: Patrones de colocación de los tornillos. Fuente: SIMPSON Strong-Tie 96
Ilustración 44: Dirección de las fuerzas que sufre la placa: Fuente: SIMPSON Strong-Tie . 97
Ilustración 45: Placa RCA227 utilizada en para las uniones. Fuente: SIMPSON Strong Tie 98
Ilustración 46: Patrones de colocación de los tornillos. Fuente: SIMPSON Strong-Tie 98
Ilustración 47: Esfuerzos que aguanta la placa RCA227. Fuente: SIMPSON Stron-Tie 99
Ilustración 48: Diseño de un sistema de unión a través de apriete 100
Ilustración 49: Pieza diseñada para la unión de las placas el techo..... 100
Ilustración 50: Dimensiones de la pieza diseñada..... 100
Ilustración 51: Tensiones y deformada de la pieza calculado en ANSYS 101

Ilustración 52: Deformada y mapa de tensiones calculado con ANSYS 102

Ilustración 53: Depósito de agua de 10,000 litros..... 108

Ilustración 54: Dibujo letrina abonera. Fuente: [GON17] 110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estaciones meteorológicas en la municipalidad de Chicamán 31

Tabla 2: Precipitación media anual según datos de la estación de San Sebastián de Belejú en el año 2016. 35

Tabla 3: Número de días que las precipitaciones son superiores a 1 mm 36

Tabla 4: Número de días que las precipitaciones son superiores a 10 mm 37

Tabla 5: Clasificación climática según el índice de Köppen. *Fuente: [INECO]* 41

Tabla 6: Resumen de los índices climáticos en Chicamán..... 43

Tabla 7: Preblemas sociales en Chicamá y respuestas que ofrece la vivienda 59

Tabla 8: Cargas de viento 72

Tabla 9: Resumen de las cargas que influyen en la estructura de la vivienda 74

Tabla 10: Resumen de las dimensiones de la placa de anclaje 92

Tabla 11: Esfuerzos que aguanta la placa RCA333. Fuente: SIMPSON Stron-Tie..... 97

Tabla 12: Precipitaciones y aportaciones de agua al depósito 104

Tabla 13: Resumen de la demanda de agua..... 105

Tabla 14: Volumen de agua en el depósito por mes 106

Tabla 15: Análisis del microbiológico del agua recogida de lluvia: Fuente [GON17]..... 107

Capítulo 1. Introducción

1.1. Introducción

"La Declaración Universal de los Derechos humanos reconoce el derecho de toda persona a un nivel de vida adecuado, incluida una vivienda adecuada. (…) Este derecho debe considerarse más bien como el derecho a vivir en seguridad, paz y dignidad en alguna parte. (…). El derecho a una vivienda adecuada incumbe a todos los Estados, puesto que todos ellos han ratificado por lo menos un tratado internacional relativo a la vivienda adecuada"

Así es como las Naciones Unidas comienza explicando el derecho a una vivienda digna que toda persona debe tener. Sin embargo, debido a la pobreza que existe en gran cantidad países, no todo el mundo puede gozar de este derecho fundamental.

El proyecto a realizar se sitúa en este contexto. Más en concreto, se centra en el derecho a una vivienda digna en la región Quiché, Guatemala. ¿Y por qué en Guatemala y en particular en esta región?

Según los datos publicados en 2015 por el Instituto Nacional de Estadística de Guatemala (INE), el 59.3 % de la población guatemalteca vive por debajo del límite de pobreza. En esta línea, el índice de desarrollo humano coloca a Guatemala en el puesto 133 de 187 países.

En concreto, el departamento de Quiché, una de las regiones más pobres del país y de toda Hispanoamérica, el 81% de la población sobrepasa los límites de pobreza y el 41.8 % se considera que vive en pobreza extrema, es decir que no llegan a cubrir el consumo mínimo de alimentos. A esto hay que añadir que la mayor parte de las aldeas y de la población rural del departamento no tiene acceso a agua potable ni a saneamiento.

Además del agua, el recurso más importante para los guatemaltecos es la leña, ya que el 74% de la población depende de ella como única fuente de energía. Estos niveles de dependencia se elevan notablemente en el departamento de Quiché que es principalmente rural. Sin embargo, este recurso es cada vez menor debido a la sobreexplotación, la tala ilegal, los incendios y a la poca inversión que hace el gobierno en estas áreas. Se estima que en veinticinco años los bosques se habrán reducido a la mitad.

Esta deforestación incrementa el problema del agua, ya que afecta directamente a la hidrología de la zona. Menos bosques implica menos leña, menos ríos, menos manantiales y menos agua.

Por tanto, este nivel de pobreza y falta de necesidades básicas, provoca que gran parte de la población viva bajo unas condiciones poco dignas para cualquier ser humano. El modelo de casa tradicional consiste en un espacio cuadrado o rectangular de unos 20 o 40 m^2, dependiendo de la capacidad económica y del terreno, en donde viven familias de 7 u 8 personas y en algunos casos extremos viven varias familias, y que generalmente, se utiliza

ese único espacio para procrear, dormir, cocinar, y almacenar alimentos. Todo ello sin ningún tipo de ventilación, higiene, ni saneamiento. Además, la mayoría de las casas están hechas de adobe, bajareque y caña de fibras vegetales, siendo estas muy poco resistentes, teniendo en cuenta las fuertes lluvias y que es una zona de alta actividad sísmica.

En este contexto surge este proyecto. El diseño de una vivienda social de bajo coste, con el objetivo de satisfacer las necesidades básicas, de las comunidades rurales, principalmente indígenas mayas, del departamento de Quiché, Guatemala, de forma integral, ecológica y sostenible. Con esta vivienda se busca resolver los principales problemas de la población rural. Problemas tales como la falta de agua, saneamiento, problema social, deforestación, etcétera. No obstante, este proyecto se centrará fundamentalmente en el diseño estructural, materiales, fabricación, construcción y en la vivienda en general en cuanto diseño del espacio y necesidades. Sin embargo, quedará abierto para una posible incorporación de otros posibles proyectos. Ya sean un sistema de saneamiento con un posible aprovechamiento energético (biogás), un sistema de recogida y depuración de agua, un sistema de saneamiento y diseño de una “estufa mejorada” para aprovechar el calor y así reducir la tala de árboles.

1.2. Motivación

Este proyecto tiene como principal motivación dar una respuesta y una solución a uno de los principales problemas sociales que existen en las aldeas de Quiché, Guatemala, el acceso a una vivienda digna. Derecho fundamental que cualquier persona debería tener.

Sin embargo, no se trata de dar una solución cualquiera, sino de una solución sostenible que resuelva los diferentes problemas que tiene la población y que sirva para dar un salto en la calidad de vida de estas personas. Tratándose de una solución sostenible no solo en términos económicos si no también en términos globales. Es decir, a nivel económico, a nivel medioambiental y a nivel social.

En general, se trata de ofrecer una solución orientada a los objetivos de desarrollo sostenible: Pobreza, salud y bienestar, acceso a agua y saneamiento, acceso a energía, industria, innovación e infraestructuras, ciudades sostenibles, combatir el cambio climático, etcétera. Objetivos todos ellos encaminados a tres logros principales: *"erradicar la pobreza extrema, combatir la desigualdad y la injusticia y solucionar el problema cambio climático"*.

Ilustración 1: Objetivos de desarrollo sostenible. ***Fuente: ONU***

Por otro lado, también se buscar crear una cadena de proyectos de cooperación. Es decir, empezar con este proyecto pero que de pie a la incorporación de otros proyectos relacionados con la vivienda y con los objetivos de desarrollo sostenible ya mencionados anteriormente. Ya sean proyectos de implementación de un sistema de saneamiento

mejorado, un sistema de recogida, depuración y bombeo de agua, que les de acceso desde sus casas, o una “estufa mejorada” para el aprovechamiento energético y así reducir la tala de árboles, etcétera.

1.3. Objetivos

El principal objetivo de este proyecto es el diseño de una vivienda social para las aldeas de Quiche, en Guatemala.

Esta vivienda tiene como fines ser sostenible, ecológica y que resuelva los diferentes problemas de la población. Problemas tales como:

1. El problema social: Viviendas de apenas 40 m^2, donde llegan a vivir familias de más de 10 personas, con un solo espacio para cocinar, dormir, comer, asearse, almacenar alimentos, etcétera. Además de no tener ningún tipo de ventilación, con todos los problemas de higiene que esto genera. En la fotografía de abajo se puede ver un ejemplo de una vivienda tipo.

Ilustración 2: Vivienda tipo de las aldeas de Quiché

   Se diseñará una casa separada en diferentes espacios (Cocina, cuartos, comedor) y haciendo una vivienda más resistente y duradera de forma económica. Siendo así una casa más digna donde vivir.

2. Falta de agua: La mayor parte de aldeas no tienen acceso a agua potable. Algunas tienen que andar 3 km al yacimiento más cercano, y otras ni si quiera tienen acceso a ningún yacimiento, teniéndose que "conformar" con el agua contaminada de los ríos, si los hay, o la poca agua que captan de la lluvia.

Por tanto, se busca crear un sistema que recoja las aguas pluviales a través del techo y la filtre para su posterior uso.

Ilustración 3: Fotografía de una olla hirviendo agua en Quiché.

El filtrado es una etapa fundamental ya que es muy frecuente que el agua recogida de la lluvia se contamine debido a insectos, polvo y metales pesados arrastrados por el tejado, o por la propia oxidación del mismo, ya que Quiché tiene una elevada humedad, causado problemas respiratorios y digestivos

Hervir el agua como suelen hacer en las comunidades no es suficiente.

3. Saneamiento: Casi todas las viviendas de las aldeas carecen de un sistema de saneamiento. Muchas ni siquiera tienen letrinas y las que si tienen carecen de cualquier saneamiento. Tienen simplemente un pozo ciego, y cada cierto tiempo, cuando se llena el pozo, lo tapan y cambian la letrina de lugar.

   Como consecuencia de ello el suelo se acidifica, haciendo menos fértil el terreno.

   En la ilustración 3 se puede observar una de estas letrinas con pozo ciego

Ilustración 4: Letrina en Santa Cruz Chut, Quiché

La solución ideal sería incluir un cuarto de baño en la casa (ya sea fuera o dentro) con saneamiento. Quizás una fosa séptica para luego generar compost y así poder plantar y sembrar.

Otra solución que mejoraría la actual, sería diseñar una letrina con ventilación, retrete y saneamiento (fosa séptica)

4. Deforestación: Una de las mayores amenazas que sufre Guatemala, y en concreto Quiché, es la deforestación. Los bosques son la fuente de recursos más importante. Es fundamental para existencia de recursos tan importantes como el agua o la madera para la leña, principal fuente de energía de la población rural. Esta deforestación está motivada principalmente por la tala ilegal, la ganadería, la tala incontrolada y los incendios, haciendo retroceder los bosques poco a poco.

   Con un proyecto apenas se puede acercar solucionar este problema, sería una utopía. Es un problema más de fondo, estructural, donde el gobierno se tiene que implicar, tomando medidas y por otro lado debe haber un cambio en los hábitos de la población y concienciarse con el problema. Por tanto, una la vivienda podría ir en esa línea. Que sea sostenible en cuanto a materiales, pero además, e podría aprovechar el compost generado en la fosa séptica para plantar más árboles. De este modo habría una doble función: "Repoblar" los bosques y concienciar a la población del problema de la deforestación.

   También cabría la posibilidad de añadir una etapa de generación de biogás en el saneamiento y así no depender tanto de la leña.

El proyecto intentará abarcar y dar una solución a todos estos problemas. De este modo se centrará en el primer punto, proponiendo también una solución para el saneamiento y un sistema de recogida de agua con su posterior depuración.

Por tanto, el objetivo de este proyecto es el diseño de una vivienda económica, sostenible y que tenga en cuenta los diferentes problemas de la población. Haciendo un diseño global y atendiendo a los diferentes objetivos, pero profundizando únicamente en el primero de ellos con un nivel de detalle exhaustivo. Es decir, el diseño espacial de la vivienda, la estructural, los materiales y construcción.

Capítulo 2. Memoria descriptiva

2.1. Emplazamiento

El proyecto a desarrollar este situado en **Guatemala**.

Guatemala es un país centroamericano, fronterizo con México y Belice al norte y Honduras y El Salvador al sur. Su organización territorial está dividida en 22 departamentos, agrupándose en 8 regiones. En la ilustración 6 se puede observar unos mapas que representan la organización territorial ya comentada. A su vez consta de 340 municipios a lo largo de sus departamentos. Y pese a ser un país pequeño tiene más de 17 millones de habitantes, siendo el país con mayor población de Centroamérica.

Ilustración 5: Mapa geográfico de Guatemala. A la izquierda el mapa con las 8 regiones y a la derecha los 22 departamentos. En rojo se encuentra enmarcado el departamento de Quiché. ***Fuente: Wikipedia***

Quiché es el departamento donde se encuadra este proyecto. Se encuentra situado en la región noroccidental del país. Está formado por veintiún municipios y es uno de los departamentos más grandes de Guatemala. Es un departamento fundamentalmente rural, con un censo de 1,088,942 habitantes (en 2015, según INE).

En la ilustración 6 se pude ver un mapa político de Quiché y los veintiún municipios que lo componen. De todos ellos, Santa Cruz de Quiché es la capital y Chicamán es el municipio donde se realizará el proyecto.

Ilustración 6: Mapa político del departamento de Quiché. ***Fuente: Gifex***

Chicamán es un municipio principalmente rural e indígena, en el que conviven diferentes etnias y se habla diferentes dialectos mayas (K'iche', ixil, poqomchi'-uspanteko, k'iche'-sakapulteko, ixil-uspanteko y uspanteko). El municipio esta constituido por la cabecera municipal y 18 aldeas, teniendo una población total de 25.280 habitantes. Además tiene una extensión territorial de 516 km^2.

Las 18 aldeas son:

- La Cruz,
- El Amay,
- **Belejú**
- Los Pajales
- Chixoy
- El Pajuil
- San Antonio
- La Esperanza
- Cumbre de Las Flores
- Agua Blanca
- Rosario Monte María
- Chitás
- Sac Rabinak Grande
- La Unión
- La Campana
- Los Plátanos,
- Las Anonas y Chocorral
- San José El Soch

Se ha escogido Belejú como referencia donde realizar el proyecto, aunque podría ser extrapolable al resto de aldeas de Chicamán.

Belejú es una aldea perteneciente a Chicamán, con una población de 1001 habitantes y con 123 casas. Se divide en cuatro "barrios":

S. Pedro Belejú
S. Sebastián de Belejú
S. Antonio
S. Marcos

Como todas las aldeas de esta zona, no tiene ni electricidad, ni saneamiento, ni agua potable, ni carreteras asfaltadas. Es un área rural de gran pobreza.

2.1.1. Geología y geotecnia

Guatemala es un país situado en una región terrestre de alta actividad sísmica. Está comprendida entre tres placas tectónicas (dos placas continentales y una oceánica) o parte de ellas:

1. El bloque maya de la *placa de América del Norte* (placa continental).
2. La parte norte de la *placa de Cocos* (placa oceánica).
3. El bloque Chortís dela a *placa del Caribe* (placa oceánica).

Estas placas tectónicas quedan delimitadas por diversas fallas. Los contactos entre las placas dan origen a gran cantidad de seísmos y formaciones volcánicas.

Ilustración 7: Mapa de las placas tectónicas y las falla en Guatemala

Además, tanto la sismicidad como el vulcanismo, entre otros fenómenos, son causantes de la generación de zonas de inestabilidad y desprendimiento del terreno.

El Instituto Geológico Nacional de Guatemala (IGN) clasifica a esta en cuatro provincias fisiográficas:

- La cadena Volcánica o cinturón volcánico
- La cuenca sedimentaria de El Petén
- La planicie costera del Pacífico
- La cordillera central de Guatemala

A su vez IGN hace una clasificación de subregión fisiográficas, así como de grandes paisajes y unidades fisiográficas-geomorfológicas. La clasificación en orden cronológica es la siguiente:

- Tierras Altas Cristalinas
- Montañas Mayas
- Tierras Altas Sedimentarias
- Cinturón Plegado del Lacandón
- Plataforma de Yucatán
- Tierras Altas Volcánicas
- Pendiente Volcánica reciente
- Llanura costera del Pacífico
- Planicie Interior de Petén
- Depresión de Izabal
- Depresión de Motagua

Más en concreto, **Chicamán** se encuentra en la provincia fisiográfica de la *Cordillera Central de Guatemala*, en la región de *Tierras Altas Sedimentarias* y en la subregión de la *Cordillera de los Chucumatanes*. Siendo los grandes paisajes del área:

- Macizo Norte de los Chucumatanes
- Montañas y Laderas de los Chucumatanes
- Laderas Degradadas de los Chucumatanes
- Altiplanicies de la Cordillera de los Chucumatanes

A continuación, se muestra una clasificación geomorfológica del área de Chicamán, describiendo la región subregión y los grandes paisajes.

2.1.1.1. Clasificación Geomorfológica del área de Chicamán

– **Región Fisiográfica de las Tierras Altas Sedimentarias:**

En el altiplano de Guatemala se pueden diferenciar tres regiones según el tipo de rocas que predomina. Una de ellas es la región de las Tierras Altas sedimentarias.

- ***Subregión Cordillera de los Chucumatanes***

  Esta subregión fisiográfica se encuentra en el departamento de Quiché.

  La región esta comprendido entre los 800 m y los 3,828 m de altitud.

  El terreno está caracterizado por rocas sedimentarias, carbonatadas, clásticas, calizas y dolomías. Se estima que pertenecen en torno al final del periodo del Cretácico y el inicio del Terciario.

En la siguiente ilustración se puede observar un mapa topográfico de la Sierra de los Chucumatanes.

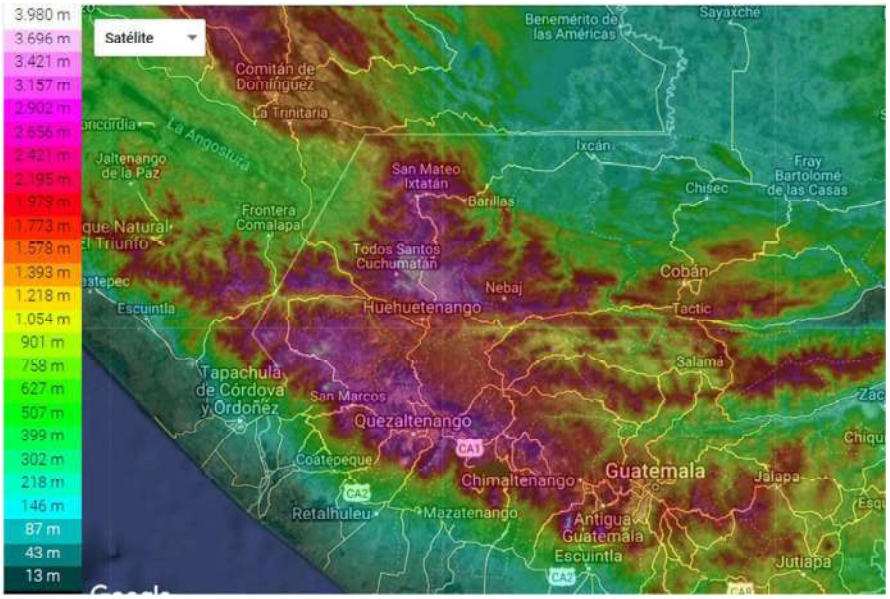


Ilustración 8: Mapa topográfico de la Sierra de los Chucumatanes. ***Fuente: [GON18]***

Dentro de esta subregión se diferencian cuatro grandes paisajes con las siguientes características morfológicas:

- **<u>Gran Paisaje: Macizo Norte de los Chucumatanes</u>**

Morfografía: Esta formado por numerosos cerros orientados hacia el noreste, con desviaciones laterales hacia el noroeste. Presenta grandes pendientes en las laderas (de más del 57 por ciento) formándose angostos valles.

Tipos de Roca: Existen diferentes tipos de rocas.

a) Se encuentran rocas sedimentarias, principalmente pizarras, calizas, filíticas y dolomías.

b) Al noreste se encuentran rocas metamórficas como mármoles, filitas, gneises, migmatitas y esquistos.

c) En el extremo del paisaje se encuentran las capas rojas: areniscas, conglomerados, lutitas y limonitas.

- **<u>Gran Paisaje: Montañas y Ladera de Los Chucumatanes</u>**

Morfografía: Serranía de montañas que se eleva desde los 800 metros hasta los 3838 en la altiplanicie. También esta formada por profundas pendientes.

Tipos de Roca: Esta formado por rocas graníticas (las más antiguas de la región), rocas sedimentarias como las clásticas, rocas calizas y rocas dolomías, siendo las dos últimas las más abundantes.

- **Gran Paisaje: Laderas Degradadas de los Chucumatanes**

Morfografía: Esta formado una franja estrecha, entre uno y cuatro kilómetros de ancho y varios kilómetros de largo. También tiene grandes pendientes (más del 50 %), que generalmente acaban en los cauces de los ríos. A veces las laderas corresponden a los levantamientos producidos por las fallas (escarpe de la falla).

Tipo de Roca: Esta unidad esta formado en su mayoría por rocas sedimentarias principalmente carbonatos. También puede encontrarse rocas clásticas.

- **Gran Paisaje: Altiplanicies de la Cordillera de los Chucumatanes**

Morfografía: Es el territorio mas alto dentro de la cordillera. Sen encuentra entorno a los 3000 y 3840 metros de altura. Presenta una superficie ondulada limitada por laderas de grandes pendientes que en algunos llegan a ser casi verticales.

Tipo de Roca: El terreno está formado principalmente por dos tipos de rocas, rocas calizas y dolomías. Estas se encuentran en grandes capas. También existe algún afloramiento de areniscas, lutitas y limonitas.

2.1.1.2. Riesgos geotécnicos del municipio de Chicamán

Como se ha comentado antes, la alta actividad sistémica que hay en Guatemala es el resultado de la confrontación de tres placas tectónicas considerables. Por aquella razón, todo el país es susceptible a fuertes seísmos en mayor o menor medida.

Más en concreto Quiché y el municipio de Chicamán se encuentran con alto riesgo de sismos y deslizamientos tectónicos.

En la ilustración 9, se puede ver un mapa de colores que representa las áreas de amenaza y de riesgo de deslizamiento de placas y por tanto de seísmos. Para elaborar el mapa se ha utilizado el método Mora-Vahrson.

El método Mora-Vahrson utiliza una serie de parámetros morfodinámicos, su situación espacial y un registro histórico de datos sobre deslizamientos en la región a estudiar, para determinar el grado de susceptibilidad al deslizamiento. A partir de

ello hace una clasificación diferenciando 5 niveles de susceptibilidad a deslizamientos: Muy baja, baja, moderada, alta y muy alta.

En concreto, en la ilustración 9, se utiliza un código de cuatro colores equivalente a los niveles. En rojo se puede observar las regiones con riego muy alto, en naranja riesgo alto, en amarillo riesgo moderado y en verde riesgo bajo.

El municipio de Chicamán está localizado en el mapa en una zona generalmente naranja con algunos tonos amarillos y otros rojos. Esto quiere decir que Chicamán esta en una región con cierto riesgo a sismos.

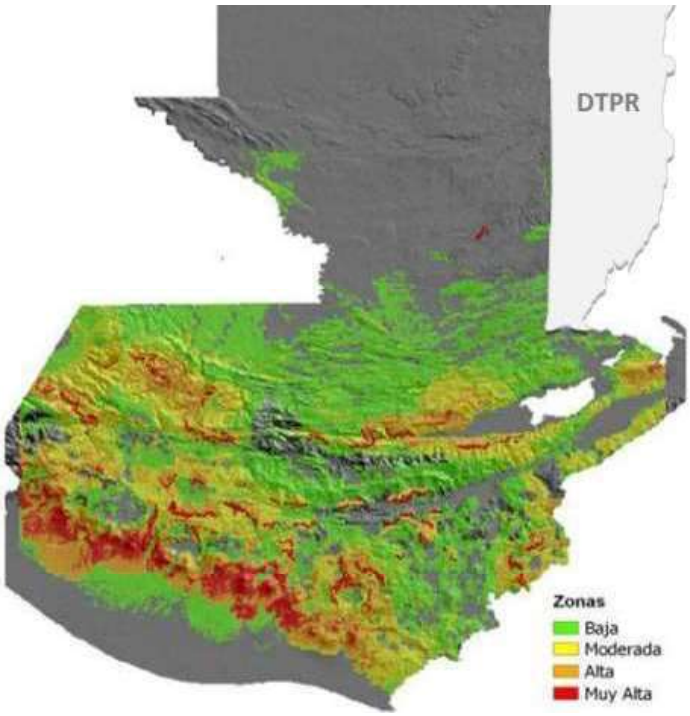


Ilustración 9: Áreas susceptibles a deslizamiento según registro histórico. Método Mora-Vahrson. Registro CONRED de eventos históricos de deslizamiento. Escala 1:250,000 . ***Fuente: [UNISDR]***

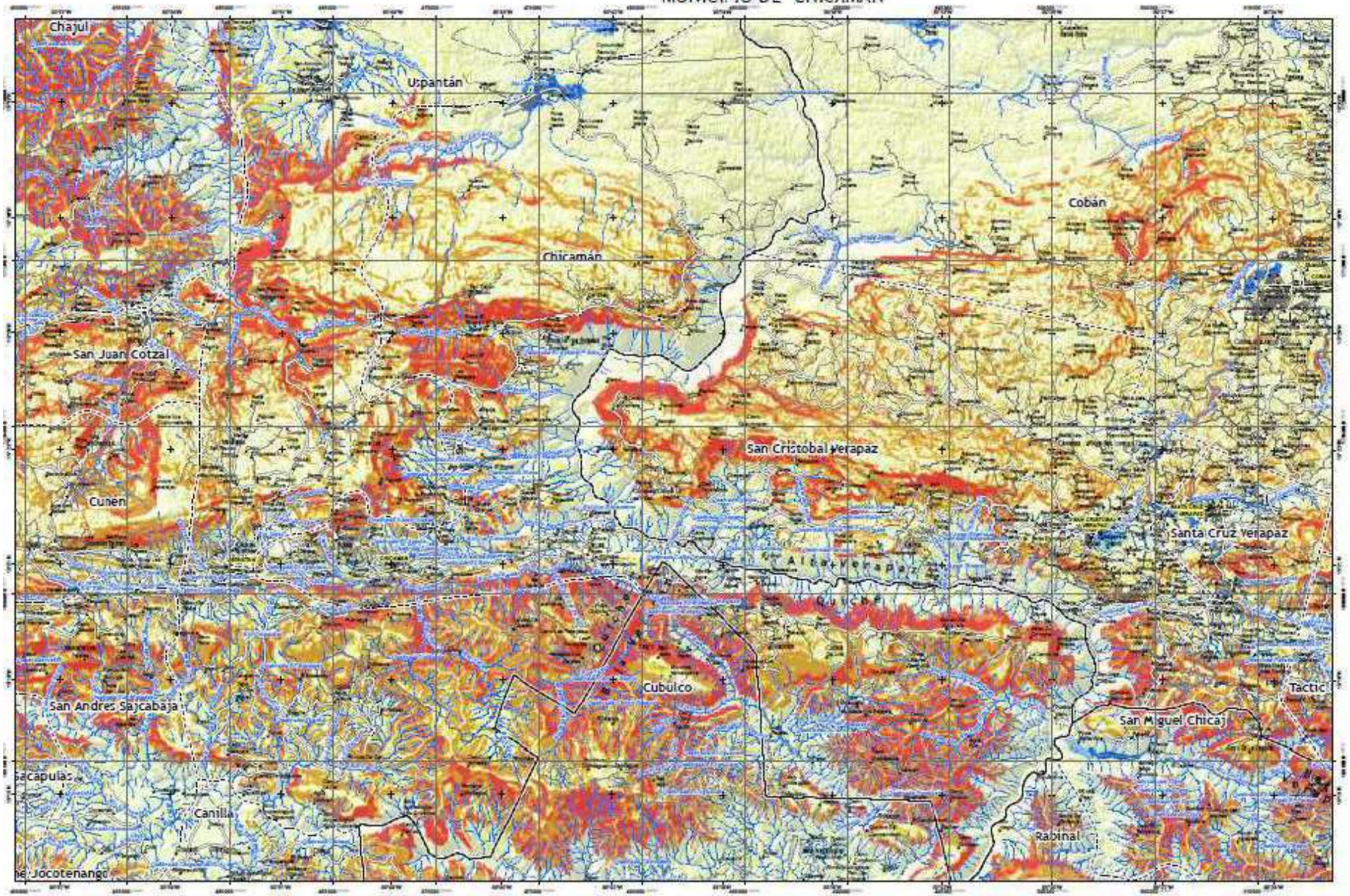
A continuación, se muestra un mapa con las amenazas por deslizamientos e inundaciones, desarrollado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). La elaboración del mapa sigue la misma metodología que el anterior, el método Mora-Vahrson, método que además de identificar las amenazas por deslizamientos también identifica las amenazas por inundaciones.

CODIGO:
1419

AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS E INUNDACIONES

DEPARTAMENTO DE QUICHÉ

MUNICIPIO DE CHICAMÁN



AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS

La predicción de esta amenaza utiliza la metodología reconocida de Mora-Vahrson, para estimar las amenazas de deslizamientos a un nivel de detalle de 1 kilómetro. Esta compleja modelación utiliza una combinación de datos sobre la litología, la humedad del suelo, pendiente y pronósticos de tiempo en este caso precipitación acumulada que CATHALAC genera diariamente a través del modelo mesoscale PSU/NCAR, el MM6.

Se estima esta amenaza en términos de 'Baja', 'Media' y 'Alta'.

Alta

AMENAZA POR INUNDACIONES

La predición de esta amenaza utiliza la metodología de TerraView 4.2.2 y su plugin TerraHydro (S.Rossiri). Para estimar las amenazas de inundaciones a un nivel de detalle de 1 kilómetro. Esta compleja modelación utiliza una combinación de datos sobre la profundidad del terreno así como su topografía natural, orientación de la pendiente, y datos de precipitación promedio anual para la República de Guatemala de INSIVUMEH considerando tres escenarios con periodos de retorno de 10, 100 y 500 años. En el análisis no se consideraron los canales y cauces artificiales, obras de mitigación los cuales alteran el drenajes en el área urbana, este factor se deberá considerar en futuros análisis

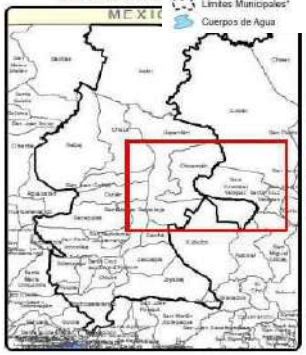
Se estima la amenaza en términos de 'Baja', 'Media', 'Alta' y 'Muy Alta'.

NIVEL DE AMENAZA
- Muy Alta
- Alta
- Media
- Baja

La metodología para el modelaje de ambas amenazas fue desarrollado sobre el modelo de elevación digital de 1 arco segundo (30 mts. de resolución) de la Misión Topográfica Shuttle Radar (acrónimo en inglés SRTM, de Shuttle Radar Topography Mission) que es un proyecto internacional entre la Agencia Nacional de Inteligencia-Geoespacial, NGA, y la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, NASA.

LEYENDA:
- Centros Poblados
- Cabeceras Municipales
- Autopista
- Pavimentado
- Sendero o Vereda
- Rio Permanente
- Rio Intermitente
- Limites Departamentales
- Limites Municipales*
- Cuerpos de Agua

AMPLIA DEPARTAMENT



FUENTES DE LA INFORMACION:
Amenaza por deslizamientos: NASA - CATHALAC 2010
Amenaza por inundación: CONRED 2015, TERRAHYDRO 4.2.2
Cartografía Básica: INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL 2010-2015.
Modelo de Elevación Digital: Misión Topográfica Shuttle Radar de NGA, NASA.
Edición de este mapa: SIG- SE-CONRED 2015. (D. Juarez, A.Pacheco)

Escala Gráfica = 1:90,000

2 1 0 2 4 6 8 10 12 14 16
Kilometros

REFERENCIA ESPACIAL:

CON EL APOYO DE:

2.1.2. Climatología

En Guatemala existe gran variedad de climas debido a su diversidad geográfica. En las regiones costeras el clima es tropical, siendo la costa caribeña más húmeda que la del pacífico. Por otro lado, en la meseta central y en las áreas montañosas existe un clima más templado durante todo el año, con una temperatura media de 15 °C.

Al contrario que en el hemisferio norte, que tiene generalmente cuatro estaciones, en Guatemala existen dos: La estación de lluvias, entre mayo y octubre, y la estación seca, de noviembre a abril.

Estas condiciones descritas son de carácter general, no obstante, cada región tiene sus propias características climatológicas. Para este proyecto, se estudiará las condiciones climatológicas de la región climática del altiplano central, en concreto en el municipio de Chicamán, Quiche. Región generalmente montañosa con algunos tramos llanos, que cuenta con un clima templado.

A continuación, se realizará un análisis meteorológico tanto de la temperatura como de la pluviometría y humedad relativa del municipio de Chicamán. Por último, se realizará una clasificación climática del lugar a partir de diferentes índices climáticos.

Para realizar el estudio meteorológico se han conseguido datos procedentes de tres estaciones meteorológicas de la municipalidad. Se han escogido estas tres estaciones de forma que sean representativas de la municipalidad. Tienen diferentes altitudes y situaciones geográficas:

Nombre	Latitud	Longitud	Altitud
San Sebastián de Belejú	15°19'37.1"N	90°37'26.6"W	1800-1900 m
Ojo de Agua	15°18'51.1”N	90°40'10.3"W	1200-1300 m
Los López	15°33'39.1"N	90°50'01.6"W	700-900 m

Tabla 1: Estaciones meteorológicas en la municipalidad de Chicamán

Los registros de estas estaciones van desde enero de 2016 has la fecha actual. Por otro lado, también se han obtenido los registros del pueblo de Chicamán desde 1990 hasta la actualidad.

2.1.2.1. Temperaturas

En los gráficos siguientes ser representan las temperaturas mensuales comparando las temperaturas máximas, mínimas y medias. También se encuentra al final unos gráficos con las temperaturas anuales de los tres sitios.

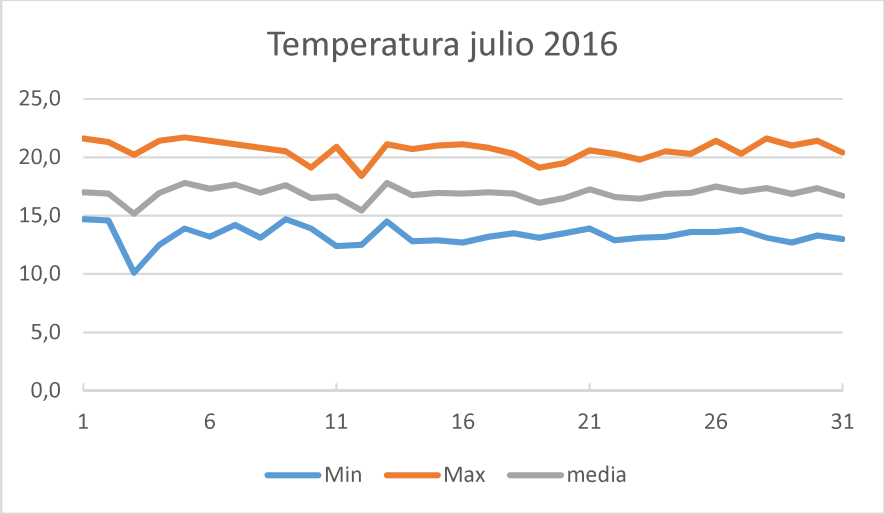


Gráfico 1: Temperaturas máximas, mínimas y medias de julio 2016

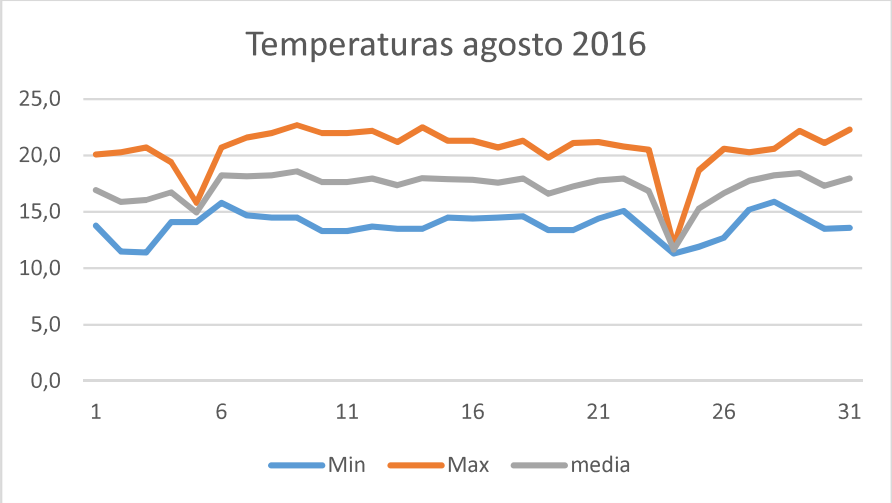


Gráfico 2: Temperaturas máximas, mínimas y medias de agosto 2016

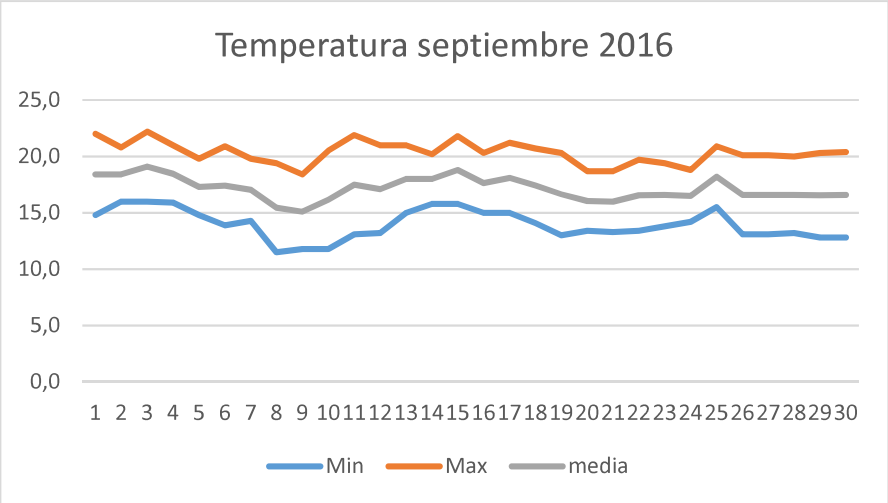


Gráfico 3: Temperaturas máximas, mínimas y medias de septiembre 2016

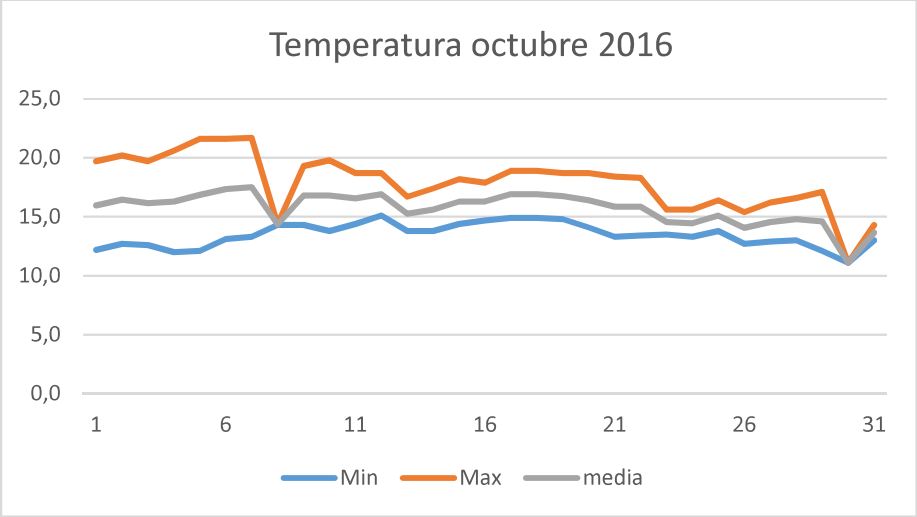


Gráfico 4: Temperaturas máximas, mínimas y medias de septiembre 2016

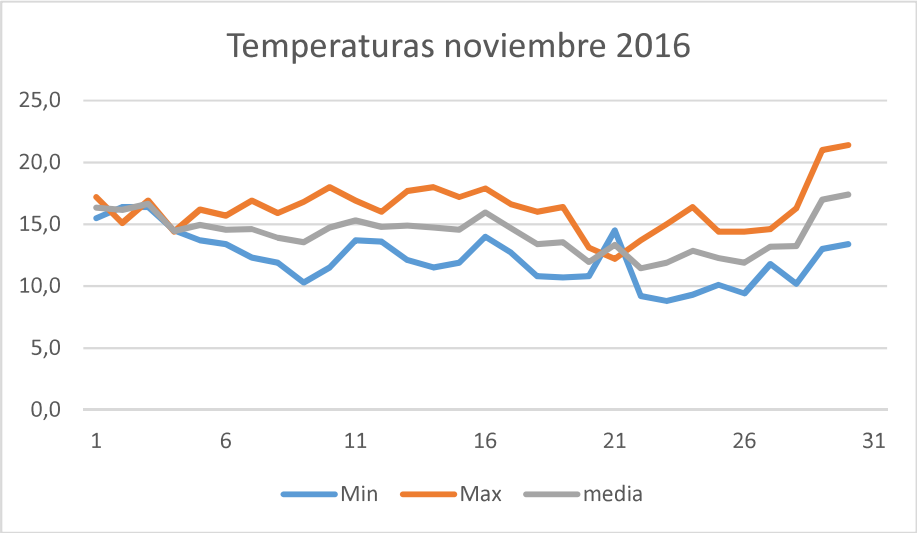


Gráfico 5: Temperaturas máximas, mínimas y medias de noviembre 2016

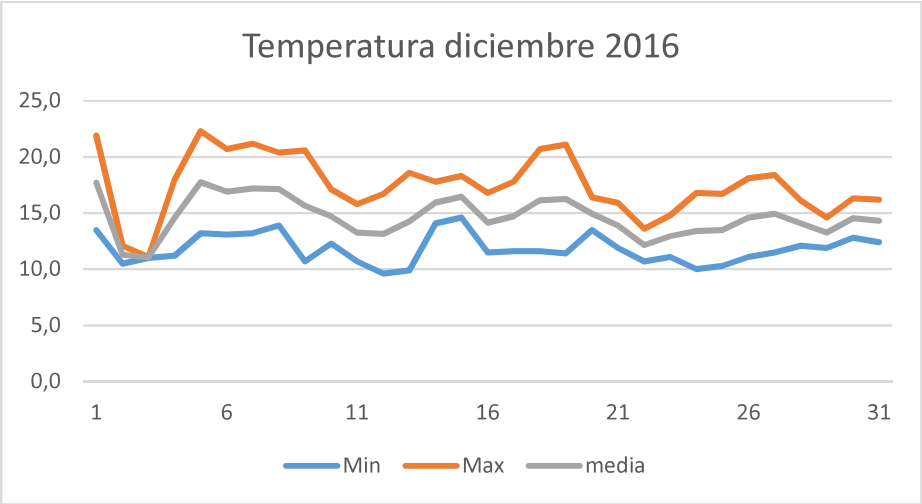


Gráfico 6:Temperaturas máximas, mínimas y medias de diciembre 2016

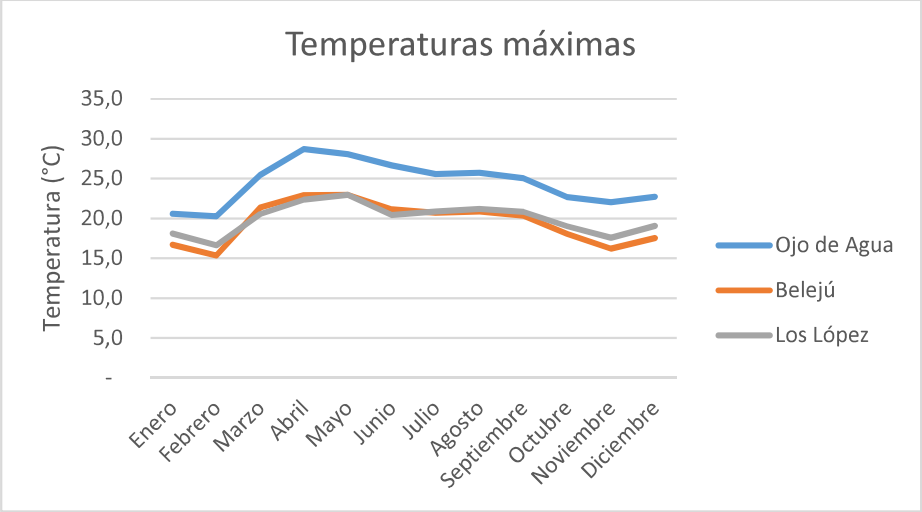


Gráfico 7: Temperaturas máximas de las tres estaciones 2016

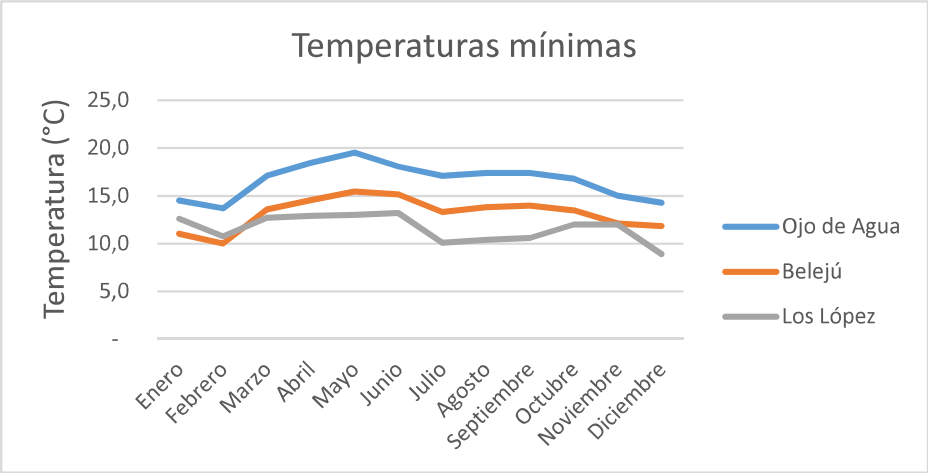


Gráfico 8: Temperaturas mínimas de las tres estaciones 2016

De los gráficos se pude concluir que Chicamán presenta unas temperaturas similares a lo largo de todo el año. Prácticamente no existen estaciones.

Las temperaturas, al ser un paisaje generalmente montañoso son templadas a lo largo de todo el año, siendo la diferencia entre los meses de invierno y de verano de unos 10 °C. En las zonas más bajas como Ojo de Agua, donde rondas los 800 metros, se encuentra temperaturas 5 °C grados superiores al resto, es decir temperaturas más cálidas. Esto como es lógico es debido a la diferencia de altitud.

2.1.2.2. Pluviometría

La pluviometría es la rama de la meteorología que estudia las precipitaciones, la cuantía, frecuencia e intensidad.

Es importante su estudio, por un lado, porque es necesario para el diseño de cualquier vivienda, y por otro porque uno de los mayores problemas de Chicamán es el acceso al agua y de ahí podría partir una posible solución.

A continuación, se muestra una tabla con la precipitación media anual que recoge la estación de San Sebastián de Belejú. Los datos se muestran en milímetro.

Mes	PMA (mm)
Enero	23,20
Febrero	64,7
Marzo	16,5
Abril	46,7
Mayo	56,4
Junio	319,9
Julio	137,9

Mes	PMA (mm)
Agosto	228,2
Septiembre	294,6
Octubre	98,0
Noviembre	76,0
Diciembre	61,0
ANUAL	1423,1

Tabla 2: Precipitación media anual según datos de la estación de San Sebastián de Belejú en el año 2016.

Para mayor facilidad visual se representa en el siguiente gráfico la precipitación media por meses en Belejú.

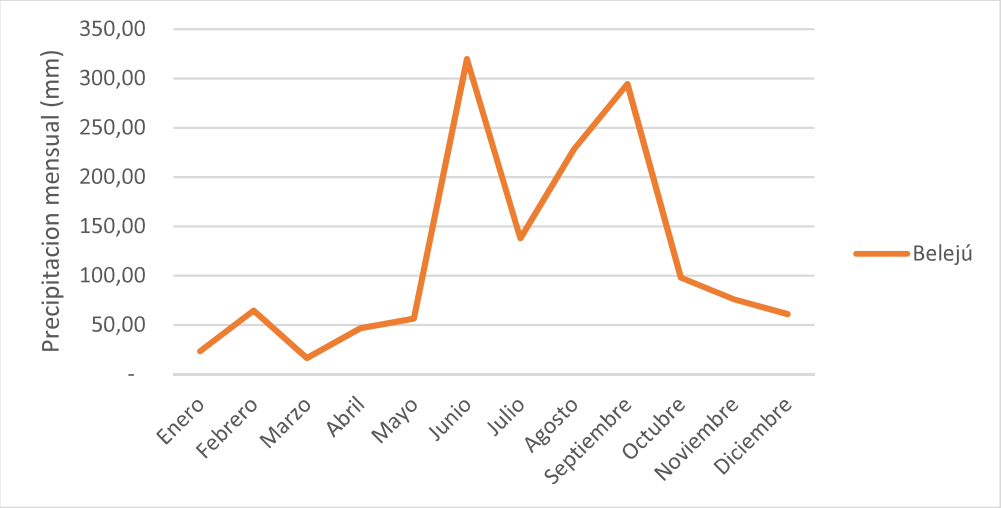


Gráfico 9: Precipitación media por meses según datos de la estación de San Sebastián de Belejú.

Como se había comentado antes, se puede observar claramente que se divide en dos épocas o estaciones. Por un lado, la estación de lluvias, que comprende los meses entre junio y octubre y por otro lado la estación seca que es el resto del año.

Durante los meses de época de lluvias, se puede observar que la precipitación es mayor de 200 mm al mes.

A continuación, se muestra las precipitaciones superiores a 1 mm y a 10 mm por día cada mes.

Generalmente se establece que un milímetro de lluvia caída, equivale a un litro de agua caída por metro cuadrado. Por tanto, 10 mm de agua supone que ha caído 10 litros de lluvia en cada metro cuadrado. Es un buen indicador de como relevante es la lluvia en Chicamán.

P>1mm	Ojo de Agua	Belejú	Los López
Enero	5	4	13
Febrero	6	10	15
Marzo	6	5	10
Abril	5	4	7
Mayo	9	6	11
Junio	20	23	23
Julio	13	17	28
Agosto	16	18	30
Septiembre	17	19	28
Octubre	19	17	28
Noviembre	8	13	22
Diciembre	15	10	17
ANUAL	139	146	232

Tabla 3: Número de días que las precipitaciones son superiores a 1 mm

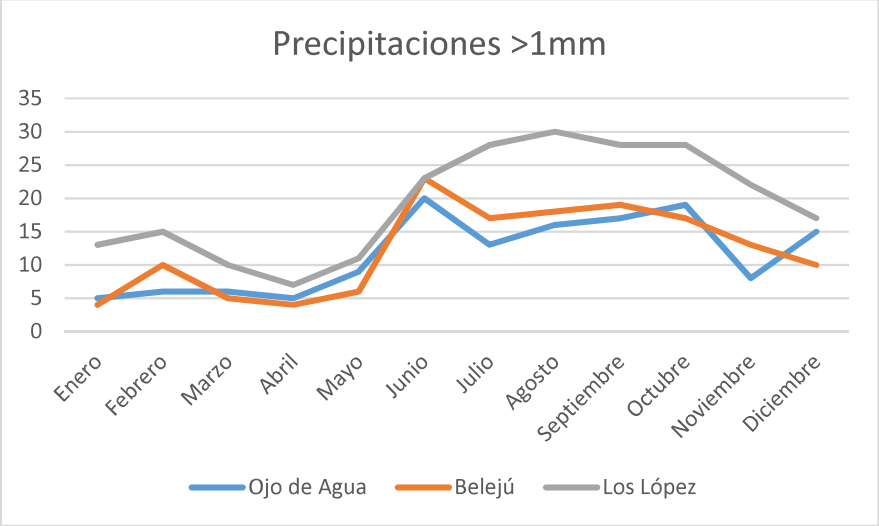


Gráfico 10: Días que las precipitaciones son superiores a 1 mm

A continuación, se representa la misma tabla y gráfico, pero con 10 mm de agua caída en vez de 1 mm:

P>10mm	Ojo de Agua	Belejú	Los López
Enero	0	1	8
Febrero	0	2	6
Marzo	1	0	5
Abril	3	1	3

Mayo	4	3	6
Junio	5	12	12
Julio	5	5	10
Agosto	5	6	13
Septiembre	3	6	17
Octubre	1	2	19
Noviembre	0	1	11
Diciembre	4	2	12
ANUAL	31	41	122

Tabla 4: Número de días que las precipitaciones son superiores a 10 mm

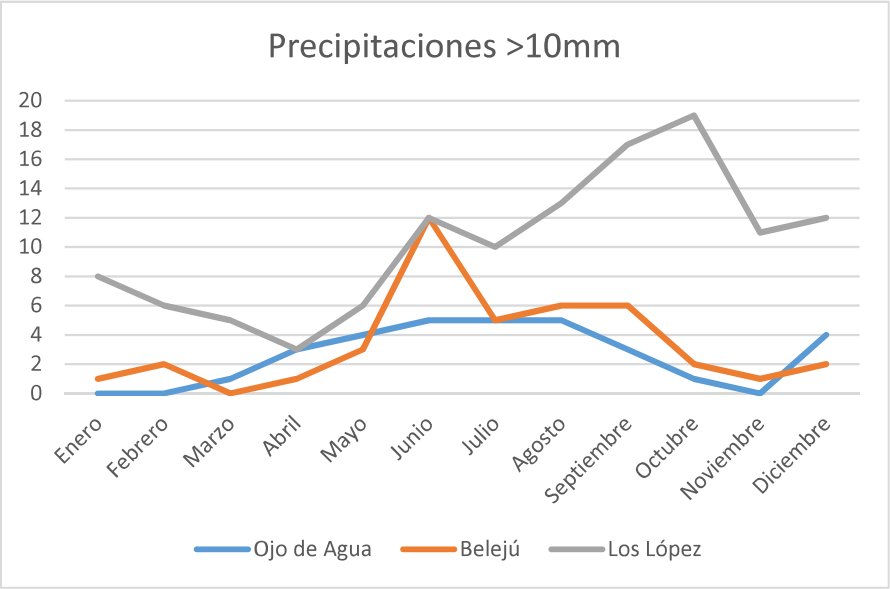


Gráfico 11: Días que las precipitaciones son superiores a 10 mm

En vista de los resultados, sobre todo en los meses de lluvia, se puede concluir que el impacto de las precipitaciones en grande. Por tanto, podría se una posible solución al problema de acceso al agua que tienen.

2.1.2.3. Humedad relativa

EL estudio de la humedad relativa puede ser determinante en un proyecto de una construcción. Puede influir tanto en la elección de los materiales como en el método de construcción y en el mantenimiento.

La humedad es la cantidad de agua que esta presente en el aire. La humedad relativa es la relación entre la cantidad de vapor de agua que hay en el aire y la cantidad máxima de vapor que el aire puede contener. Se expresa en tanto por ciento y también depende de la temperatura y de la presión. Cuanta mayor sea la temperatura y menor la presión, más cantidad de vapor de agua puede contener.

A continuación, se muestra un mapa con el tanto por ciento de humedad relativa en Guatemala. Se puede observar que el país en general es un lugar bastante húmedo pero en la región de Quiché supera el 80 por ciento de humedad relativa.

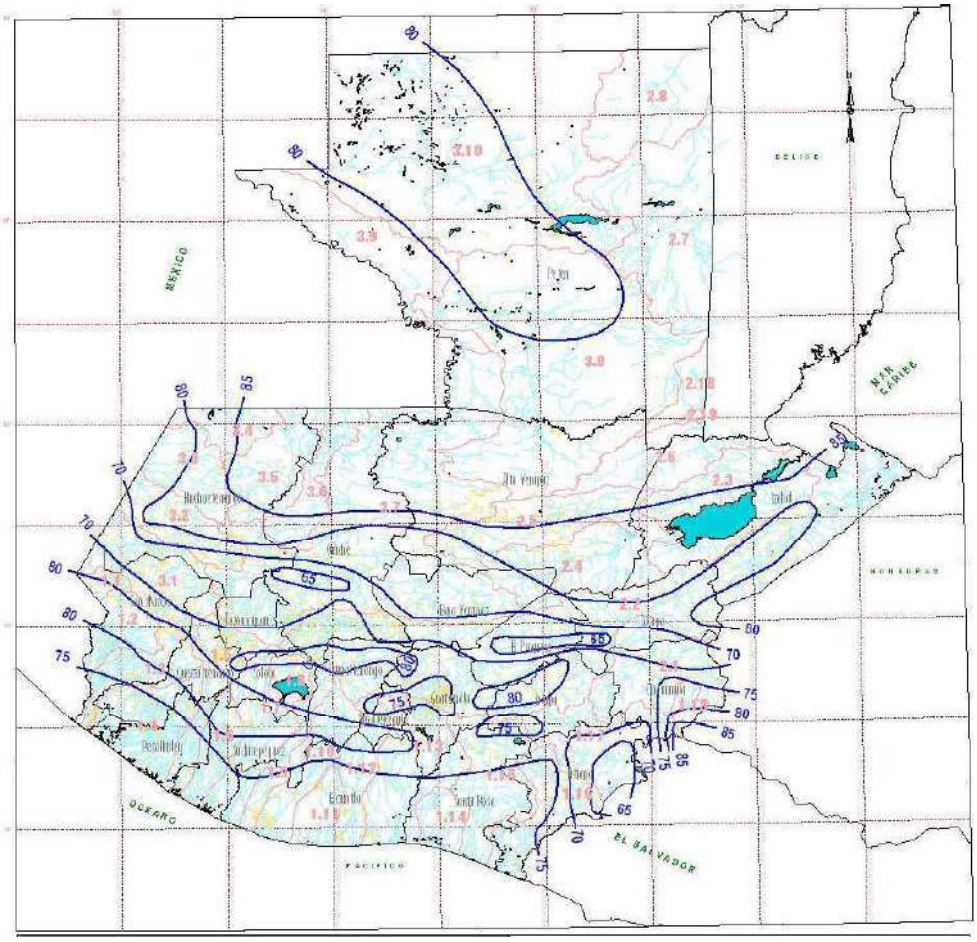


Ilustración 10: Mapa de los niveles de humedad relativa en Guatemala. ***Fuente: [INSVMH]***

A continuación, se muestran registros de las tres estaciones de humedad relativa en 2016:

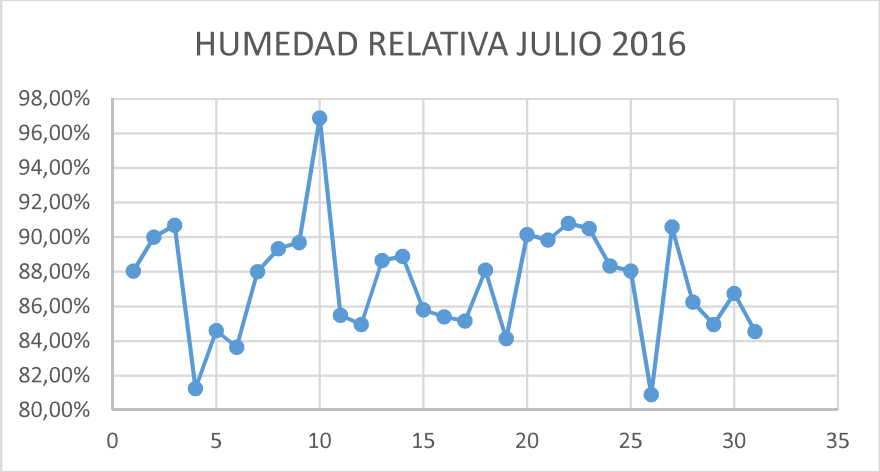


Gráfico 12: Humedad relativa julio 2016

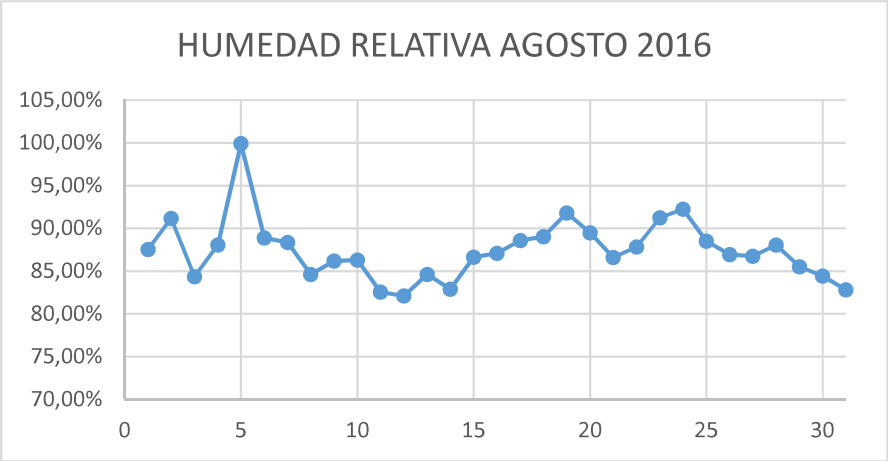


Gráfico 13: Humedad relativa agosto 2016

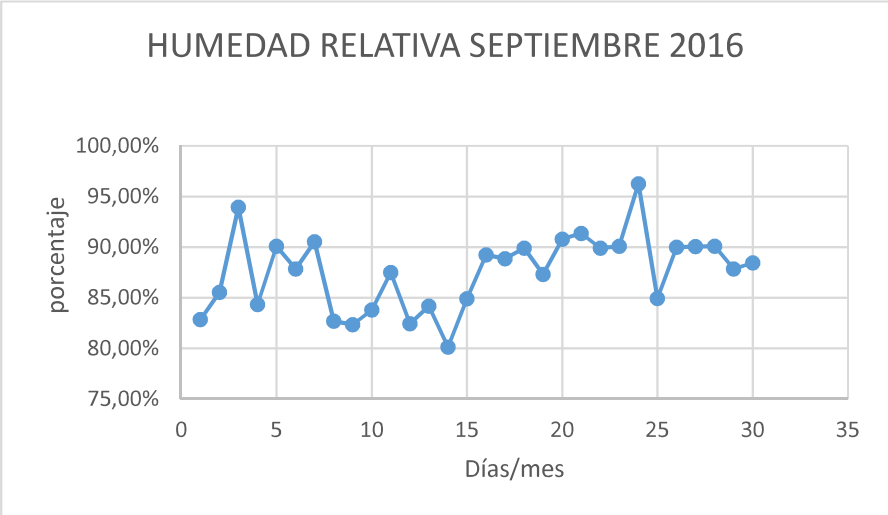


Gráfico 14: Humedad relativa septiembre 2016

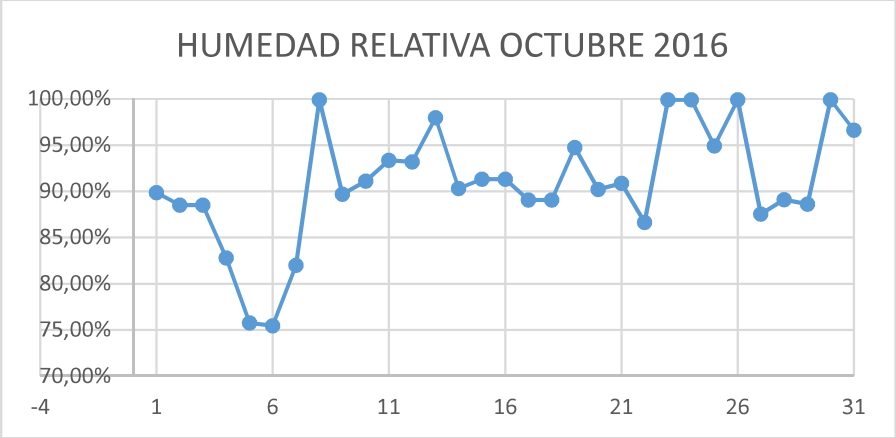


Gráfico 15: Humedad relativa octubre 2016

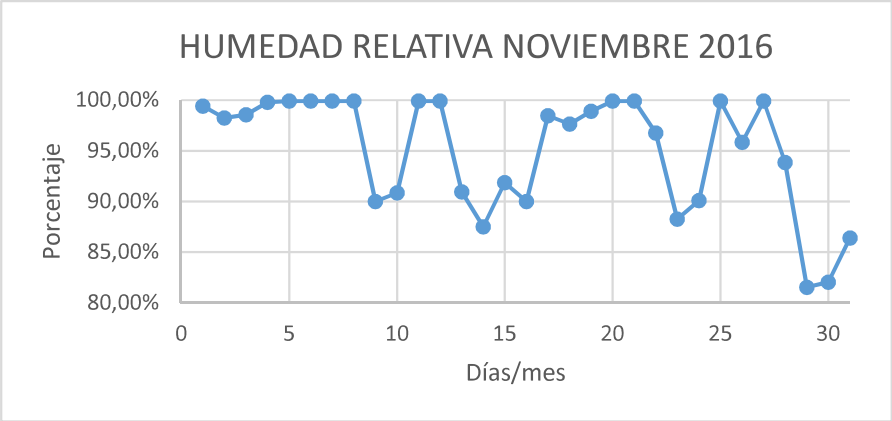


Gráfico 16: Humedad relativa noviembre 2016

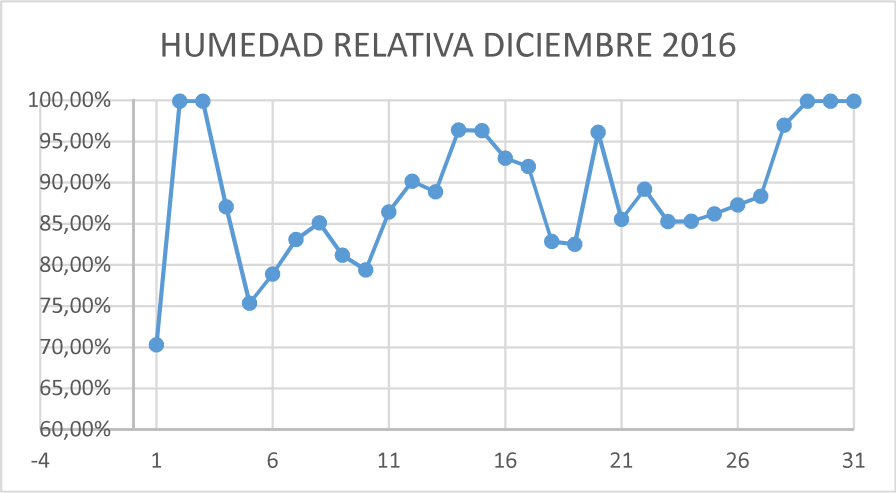


Gráfico 17: Humedad relativa diciembre 2016

Como se aprecia en los gráficos, Chicamán es un área de alta humedad relativa en las dos estaciones, en época de lluvias y en época seca. Casi todo el año supera el 80 por ciento de humedad relativa y en gran parte de los meses lluviosos el 90 por ciento.

2.1.2.4. Clasificación climática

A continuación, se realizará una clasificación climática de Chicamán. Se utilizará diferentes índices y métodos que determinarán el tipo de clima, en función de la temperatura media anual, la precipitación media y las condiciones del suelo.

Los diferentes métodos son: el índice de Köppen, el factor de pluviosidad de Lang, el índice de aridez de Martonne y el índice de Dantín Cerceda-Revenga Carbonell.

Índice de Köppen

El índice de Köppen divide al planeta en cinco regiones a los cuales les asignaba una letra (A, B, C, D, E). La clasificación de los grupos depende de los efectos sobre la vegetación.

A su vez se subdivide en varios subtipos de climas, dependiendo de la temperatura y las precipitaciones.

Tipo		Descripción	Subtipo	Descripción
A	Tropical lluvioso	-Temperatura media normal del mes más frio > 18 °C -Precipitación anual > 750 mm	**Af**	Selva tropical lluviosa
			Am	Bosque tropical monzónico
			Aw	Sabana lluviosa
B	Seco	-Precipitación anual normal < k	**Bs**	Desierto: Precipitación > k/2
			Bw	Desierto: Precipitación < k/2
C	Templado húmedo	-Temperatura media normal del mes más frio superior a -3 °C e inferior a 18 °C. -Precipitación anual > k	**Cw**	Lluvioso en verano
			Cs	Lluvioso en invierno
			Cf	Lluvioso en verano
D	Frío	-Temperatura media normal del mes más frio < -3 °C - Temperatura media normal del mes más cálido > 10 °C -Precipitación anual > k	**Dw**	Lluvioso en verano
			Df	Lluvioso todo el año
			Dc	Clima subártico de tipo taiga
E	Polar	-Temperatura media normal del mes más frio < -3 °C - Temperatura media normal del mes más cálido > 10 °C -Precipitación anual > k	**Et**	Tundra - Temperatura del mes cálido > 0°C
			Ef	Helado - Temperatura del mes más cálido < 0°C

Tabla 5: Clasificación climática según el índice de Köppen. ***Fuente: [INECO]***

Como se puede apreciar en la tabla, el parámetro k es muy importante. Este se define de la siguiente manera, siendo t la temperatura media anual:

- Si el régimen pluvioso es uniforme K = 2t + 14
- Si presenta un máximo en verano K = 2t + 28
- Si lo presenta en invierno K = 2t

Chicamán presenta las siguientes características:

- t = 19.8 °C (temperatura media anual)
- El regime pluvioso presenta un máximo en verano por tanto k tomará la forma: k = 2t + 28 = 2*19.8 + 28 = 67.6 mm
- Veranos lluviosos
- Precipitación media anual: 1423 mm > k

Por tanto, según las características mencionadas, se podría clasificar el clima como tipo C: templado lluvioso y subtipo Cw: Mesotermal (templado) húmedo, con invierno seco, y verano lluvioso.

Factor de pluviosidad de Lang

El factor de pluviosidad de Lang viene expresado por la siguiente expresión, donde P es la precipitación media anual en mm y Tm la temperatura media anual.

$$I_l = \frac{P(mm)}{Tm(°C)} = \frac{1423}{19{,}8} = 71{,}86$$

Los límites del índice son:

- Clima árido: I<40
- Clima húmedo 40<I<160
- Clima Superhúmedo I>160

Por tanto, según el índice de Lang Chicamán se encuentra en un clima húmedo.

Índice de aridez de Martonne

Martonne propuso un índice que viene dado por a siguiente expresión:

$$I_a = \frac{P}{Tm + 10} = \frac{1423}{19{,}8 + 10} = 47{,}75$$

Los rangos del índice son:

- 0-5 Desiertos
- 5-10 Semidesiertos
- 10-20 Semiárido (tipo mediterráneo)
- 20-30 Subhúmedo
- 30-60 Húmedo
- > 60 Perhúmedo

Por tanto, Chicamán tiene un clima húmedo segúnel índice de Martonne.

Índice de Dantín Cerceda-Revenga Carbonell

El índice de Cerceda y Carbonell se halla en función de la temperatura media anual en °C y la precipitación media anual en mm de la siguiente forma:

$$I_{tp} = 100 * T/P$$

Teniendo el siguiente rango:

- 0-2 Zona húmeda
- 2-3 Zona semiárida
- 3-6 Zona árida
- >6 Zona subdesértica

Según las características de Chicamán: I_{tp} = 1.39, por tanto esta en zona húmeda.

Resumen de los índices climáticos

Índice	Clasificación
Köppen	Tipo **Cw** templado lluvioso: Mesotermal (templado) húmedo, con invierno seco y verano húmedo
Lang	Templado húmedo
Martonne	Clima húmedo
Cerceda-Revenga	Zona húmeda

Tabla 6: Resumen de los índices climáticos en Chicamán

2.2. Normativa

El presente proyecto se elaborará de acuerdo con la normativa española que regula la construcción, el Código Técnico de la Edificación.

Los documentos del CTE que serán necesarios para el correcto diseño de la vivienda son:

- DB-SE AE, Documento Básico de Seguridad Estructural: Acciones en la edificación. Este documento define los valores de las cargas que pueden influir en la vivienda.
- DB-SE A, Documento Básico de Seguridad estrctural: Acero. Será utilizado para el dimensionamiento de los elementos de acero de la edificación
- DB-SE C, Documento Básico de Seguridad estrctural, cimietnos: Será utilizado para el dimensionamiento de la cimentación.

Además, para el dimensionamiento del hormigón se utiliza la Instrucción de Homigón Estructural (EHE).

Por otro lado, para el cáculo de la acción sísmica, debido a que es un factor muy importante a tener en cuenta en Guatemala, se utilizará la Norma de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestrcutura para la República de Guatemala (NSE-10). Se utiliza este documento y uno el del CTE, ya que el CTE contempla las acciones sísmicas como acciones accidentales. Sin embargo, la norma guatemalteca lo tiene más en cuenta, como es lógico.

2.3. Antecedentes

2.3.1. La vivienda rural en Guatemala

Uno de los mayores problemas Guatemala es que un alto porcentaje de la población rural vive en lo que actualmente se denomina como viviendas improvisadas.

Este tipo de vivendas son principalmente de adobe, palos de madera, fibras vegetales siendo así casa muy endebles. El prototipo de vivienda suelen ser una única habitación de 40 m^2 donde vive una familia de 8 o 10 personas. Allí cocinan, duermen, comen y realizan todas las tareas del hogar. Además, son casas sin ningún tipo de ventilación y poco higiénicas. Esto genera grandes problemas de salud.

En la siguiente imagen se puede observar un prototipo de casa:

Ilustración 11: Vivienda tipo Guatemala. Fuente: Periódico Michiquimula

2.3.2. Estado de la cuestión

En cuanto al estado del arte, no hay ninguna vivienda única ni método concreto correcto. Hay cantidad de arquitectos e ingenieros investigando diferentes soluciones para viviendas sociales de bajo coste. Cada proyecto es muy distinto y depende de los diferentes problemas sociales, del clima,

del terreno, los materiales que haya en el lugar, de los conocimientos de construcción locales, etcétera.

No obstante, las viviendas sostenibles en países en vías de desarrollo siguen diferentes patrones, tendencias y métodos de construcción. En este sentido, se podría diferenciar entre las viviendas que son prefabricadas y las que no. Las viviendas que no lo son, por lo general siguen métodos de construcción más convencionales (aunque no tiene porqué), y pueden ser una excelente solución para viviendas sostenibles. Por el otro lado se encuentran las viviendas prefabricadas. Estas últimas están apareciendo cada vez con más fuerza, debido al avance de la técnica, la tendencia hacia la sostenibilidad y las diversas ventajas que pueden conseguir.

Las viviendas prefabricadas pueden ser totalmente o parcialmente. La construcción de la vivienda prefabricada se realiza en dos etapas, la fabricación y el montaje. Dentro del proceso de fabricación se diferencia entre si producción se lleva a cabo en fábrica o bien a pie de obra. Las principales ventajas que presentan este tipo de viviendas son principalmente económicas, tanto en la fabricación como en el montaje y en el transporte.

En este contexto, se analiza diferentes elementos que influyen en las viviendas de bajo coste y se muestran ejemplos del estado de la técnica actual en diferentes proyectos existentes. Para ello, se analiza los diferentes elementos estructurales, los materiales que se utilizan, y otros factores que influyen en una vivienda social, como el factor económico, además del transporte, la fabricación, el montaje, la ventilación, aislamiento y la modularidad (en el caso de que las viviendas sean prefabricadas).

2.3.2.1. Elementos estructurales

Los principales elementos estructurales que se encuentran en una vivienda son el suelo, techo, uniones, esqueleto de la estructura, las paredes y la cimentación entre otros. A continuación, se realiza una descripción de cada uno de los elementos con ejemplos de viviendas sociales en países en vías de desarrollo.

- Techos:

El cerramiento superior es un elemento vital en una vivienda social. En países en vías de desarrollo estos elementos dependen fundamentalmente del clima. Por ejemplo, techos de viviendas en climas con fuertes lluvias pueden ser muy distintos a techos en climas secos con mucho calor.

Entre otros proyectos, el estudio VTN Architecs, diseñó una vivienda social en Vietnam, en la cual la cubierta tenía un doble techo con paneles de palma de nipa (típicos de la región) y otros paneles de cemento corrugado para una mayor protección frente a la lluvia. Además este techo también ayuda a forzar la ventilación natural, como se explicará más adelante en otro apartado.

No obstante, la lluvia no es siempre un inconveniente. En muchos países con escasez de agua potable, una técnica normal en viviendas sostenibles es la recogida de agua a través de la cubierta. También existen proyectos donde se purifica esta agua.

Hay que diferenciar también que entre los techos que se componen de paneles prefabricados y los que no.

- Paredes:

Las paredes pueden ser de dos tipos, por un lado se encuentran las paredes portantes o muros de carga y por el otro lado las paredes que son no portantes.

Los muros portantes son las paredes que tienen función estructural y soportan cargas. Suelen ser de materiales más resistentes como hormigón, maderas o ladrillo macizo. En cambio, los muros "no portantes" al no tener que soportar carga estructural actúan simplemente como cerramientos y divisiones. En estos casos se encuentra en muchas ocasiones paneles de materiales ligeros entre las estructuras.

- Uniones:

En cuanto a las uniones, se encuentran diversos tipos. Uniones soldadas, atornilladas e incluso por adherencia. No obstante, en una vivienda social en países en vías de desarrollo estos métodos muchas veces pueden ser muy caros y se buscan otras alternativas.

Una alternativa muchas veces utilizada en viviendas sociales es la unión mecánica por encaje, es decir, la unión de elementos a partir de su geometría. Esta técnica se consigue con mayor facilidad mediante elementos prefabricados.

En esta línea, la vivienda de Pirwi, diseñada por el estudio de arquitectura at103, es una vivienda prefabricada con un diseño funcional, en la que todos sus elementos son de madera y sus uniones, con inspirados en el ensamblaje japonés, no requiere clavos ni atornillamientos y donde las piezas de madera se ensamblan y funcionan mecánicamente. En la siguiente figura se observar un diseño de la vivienda a la derecha y un isométrico del ensamblaje a la izquierda.

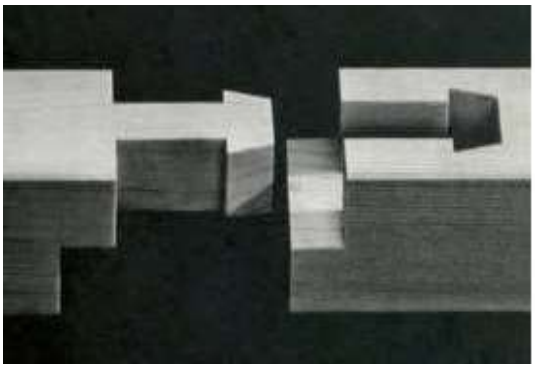


Ilustración 12: Unicón por encaje. Fuente: Pirwi

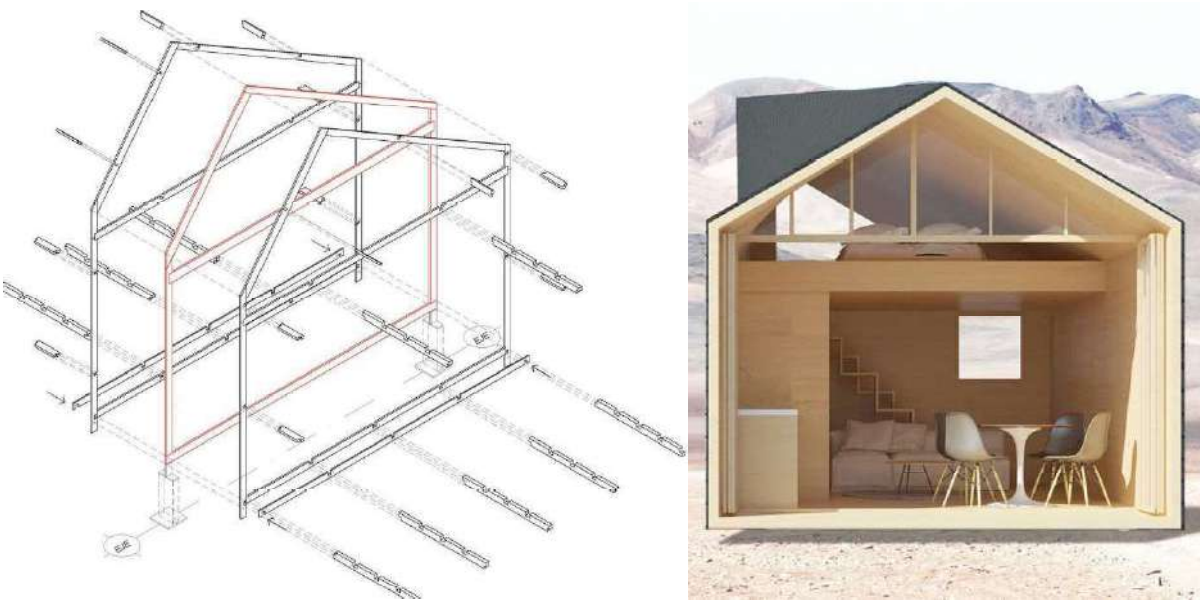


Ilustración 13: Diseño vivienda de madera Pirwi

Otra alternativa encontrada es la unión de elementos por superposición, en la cual los elementos se colocan unos encima de otros, y consiguen mantener su posición por fricción, por geometría o por la suma de los dos. Un proyecto diseñado por el estudio Anupama Kundoo Arquitechs, del que se hablará más adelante con mayor detalle, utiliza esta técnica con bloques de ferrocemento en alguno de sus prototipos.

- Suelos:

El suelo en una vivienda es un elemento fundamental. Además de soportar su propio peso y las cargas de uso, puede servir de aislante térmico y como ventilación en lugares calurosos.

En la mayoría de casos el suelo está en contacto con el terreno. Sin embargo, hay muchos proyectos donde elevado. Por ejemplo, la casa diseñada por at103, comentada previamente, esta elevada para que cuando haya fuertes lluvias y riadas, el agua pueda fluir por debajo. Esto además puede servir, en lugares calurosos, para ventilar y que el calor no se acumule en la vivienda.

Por otro lado, el suelo también puede ser prefabricado y puede estar formado mediante paneles de cementos, maderas o diversos materiales.

- Cimentación:

La función principal de la cimentación es transmitir las cargas estructurales de la casa al terreno. En viviendas en países en vías de desarrollos, y más si es en un lugar rural puede ser indispensable. Hay muchos ejemplos de casas que han sido arrastradas por fuertes lluvias o por crecidas de ríos al no tener cimentación.

No obstante, en este tipo de viviendas, al tener una estructura ligera, basta con poner cimentaciones superficiales, ya que son más baratas y pueden realizar la función con éxito. Este tipo de cimentaciones suelen ser zapatas aisladas, aunque también existen zapatas corridas, combinadas e incluso losas de cimentación.

En la siguiente imagen se puede observar una sección de la casa desarrollada por VTN Architecs (ya mencionada antes) en la que la cimentación son zapatas aisladas de hormigón prefabricado sobre las cuales se apoyan os pilares. Es importante destacar que no son muy grandes, ya que al ser piezas prefabricadas requiere de transporte y en este proyecto en concreto a través de barcas.

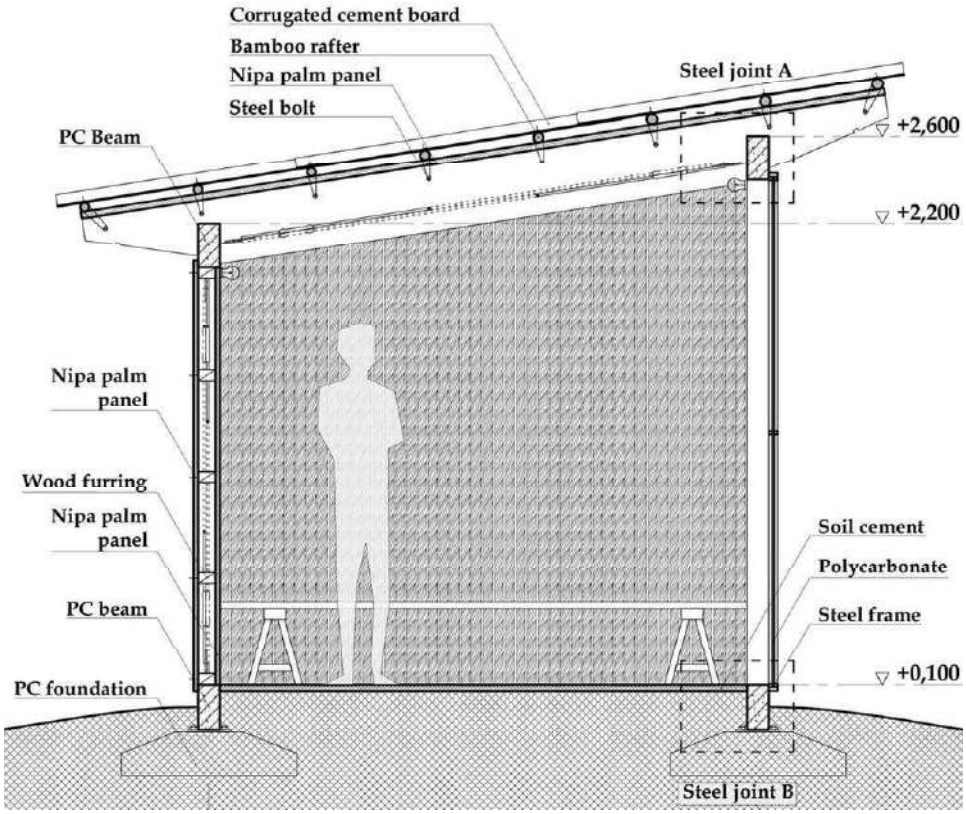


Ilustración 14: Vivienda SHouse en Vietnam por VTM Architecs: Fuente: VTN Architecs

Por último, también se han encontrado proyectos en los que la cimentación era una losa formada por una mezcla de cementos con materiales reciclados de tal forma que se creaba una masa. Además, tenía la peculiaridad de que la losa además de hacer de cimentación hacía de suelo. Esta losa de cimentación se puede observar con más detalle en la Figura 5 donde aparece la casa Full Fill House realizada por el estudio de arquitectura Anupama Kundoo Architecs. Se hablará con más detalle de este proyecto más adelante, en la sección de materiales, debido a la originalidad y funcionalidad que se les dan a estos.

Ilustración 15: Full Fill House. Fuente: ANupama Kundoo Architec

2.3.2.2. Materiales

Uno de los elementos más importantes en el diseño de una vivienda social es el material con el que va a construir. A la hora de seleccionar los diferentes materiales es necesario tener en cuenta diferentes variables. Por un lado, han de tener unas propiedades físicas, tales como resistencia, durabilidad y aislamiento térmico entre otras. Y por otro lado, y no menos importante que el anterior, en la selección de materiales, se ha de tener en cuenta el factor económico. Fundamental en una vivienda social, ya que reducir al máximo los costes es uno de los principales objetivos. Si la vivienda es demasiado cara, el proyecto nunca saldrá adelante. Además de estos dos, se tienen otros factores como el impacto medioambiental, el clima del lugar, los recursos de los que se dispone, etcétera.

De este modo, se podría hacer una clasificación de los materiales más utilizados en viviendas sociales en países en vías de desarrollo.

- <u>Hormigón/Hormigón prefabricado:</u>

Puede ser usado para cualquier tipo de elemento estructural en viviendas, ya sean paredes, vigas, columnas y cimientos. La principal ventaja es que tiene buenas propiedades físicas, funciona muy bien a compresión, es duradero y resistente al fuego. Además, el hormigón es relativamente económico y no necesita una tecnología muy avanzada.

Una variante cada vez más utilizada en este tipo de viviendas es el hormigón prefabricado. La principal ventaja es que ayuda a controlar tanto la calidad como los costes.

Esta es la técnica utilizada por VTN Architecs, en el diseño de la S House 2 (Figura 4 y Figura 6), donde todos los elementos que soportan carga estructural están formados por

hormigón prefabricado. Los cimientos (ya comentados previamente), los pilares, las vigas, etcétera. En la siguiente imagen (Figura 6), se puede ver a la izquierda la S house 2 ya terminada, y a la derecha la estructura de hormigón prefabricado de una nueva casa.

Ilustración 16: S House 2. Vietnam. Fuente: VTN Architecs.

- Ferrocemento:

El ferrocemento es un material cada vez más utilizado en la construcción de viviendas sociales en países en vías de desarrollo debido a su versatilidad, durabilidad, su bajo coste, mano de obra no especializada y su fácil reparación y mantenimiento. Además, también puede ser un material prefabricado. Está formado por cemento, arena, agua y una red de alambre que hace de alma. Suele tener un grosor de entre 10 y 30 mm.

Debido a este pequeño grosor, no suele ser utilizado como estructura, sino que se suele utilizar como cerramientos de la estructura. Es decir, paneles de ferrocemento colocados en las paredes y en el techo apoyados en la estructura (de acero, hormigón, etc).

Sin embargo, el estudio de arquitectura de Anupama Kundoo, ha diseñado una vivienda con bloques de ferrocemento huecos de diferentes tamaños y colores, de tal forma que se van colocando unos sobre otros como piezas de lego y van formando la estructura.

Estos bloques están huecos principalmente por dos razones. Por un lado, sirven para dar más solidez y resistencia a la estructura, ya que las placas de ferrocemento son muy finas (25 mm de grosor). Por otro lado, los huecos están diseñados para que los habitantes puedan almacenar todas sus necesidades. Ropa, alimentos, utensilios, y así ahorran espacio y dinero al no tener que comprarse muebles para ello. De este modo se puede observar como la solución a unos de los problemas del ferrocemento como es su falta de resistencia estructural, se le ha encontrado otra aplicación muy útil para una vivienda social, a través de una arquitectura funcional.

Tanto en la Figura 5 (ya mostrada) como en la Figura 7, se puede ver un ejemplo de esta vivienda, la Full Fill Home.

Ilustración 17: Full Fill House. Fuente: Anupama Kundoo Architec

- Madera:

A la hora de diseñar una vivienda social, se busca que sea lo más barato posible. En muchos países lo más barato es la materia prima local que hay, en concreto, la madera de los árboles puede ser una excelente solución y más si en el lugar hay árboles y vegetación en abundancia, como ocurre en muchas ocasiones.

La madera tiene diversas ventajas, es un material barato, es ligero y se comporta como un magnífico aislante térmico. Además, debido a su flexibilidad es capaz de contrarrestar ciertos sismos en función de la intensidad de estos. También los periodos de construcción de viviendas de madera son menores que con otros materiales. Sin embargo, la madera también tiene ciertos inconvenientes. No tiene una gran durabilidad y no resiste mecánicamente tanto como hormigones, aceros y otros materiales. Además, también es un material combustible.

Por otro lado, en áreas rurales es importante la sostenibilidad medioambiental. Por tanto, utilizar materiales del lugar y biodegradables como la madera es positivo para el medioambiente. Es por ello por lo que en muchos proyectos utilizan materiales como el bambú, la palma de nipa, y otras maderas. En concreto en el proyecto mencionado antes S house 2, por VTN Architects utilizan paneles de palma de nipa para los cerramientos (Figura 6).

Otro proyecto interesante, es el de la empresa mexicana de muebles Pirwi que quisieron diseñar viviendas prefabricadas con un enfoque sostenible utilizando sus maderas. De ahí que contrataron a 3 estudios de arquitectura para que les diseñara unos prototipos. Uno de ellos, es el ya mostrado en la Figura 2 y en la Figura 3 diseñado por el estudio at103.

- Acero:

El acero es un material muy utilizado en la industria de la construcción debido a sus buenas propiedades estructurales, tales como durabilidad, resistencia y versatilidad. En casas sostenibles suele ser utilizado como esqueleto de la estructura, el cual soporta las cargas y sobre el que se apoyan los cerramientos (paneles de hormigón, madera, etc.).

Su alto coste en comparación con otros materiales es quizás su máximo inconveniente. No obstante, en casas sostenibles en países en vías de desarrollo, es cada vez más común, gracias en parte a la prefabricación, que permite controlar costes y optimizar tiempos.

Un ejemplo de ello, es el tercer prototipo de vivienda social diseñado por VTN Architecs, S House 3, en el cual en vez de utilizar hormigón prefabricado como en la S House 2, utilizan elementos estructurales de acero prefabricado, optimizando el tiempo de montaje y con costes bajos.

En este caso en particular se ha utilizado un acero ligero galvanizado, haciendo que sea muy ligero y ahorrando en costes de montaje y mano de obra.

Ilustración 18: Vista interior de la S House 3, donde se puede ver la estructura de acero galvanizado. Fuente: VTN Architecs.

- Ladrillo:

El ladrillo es uno de los materiales de construcción más antiguos que se siguen utilizando en la actualidad. Se utiliza principalmente para paredes y muros. Tiene buenas propiedades físicas y mecánicas, como resistencia (tanto a compresión con tracción), durabilidad, ligereza, porosidad y es buen aislante térmico.

Es una de las soluciones escogidas en viviendas sociales debido que es barato y no requiere de mano de obra cualificada, además de todas las propiedades ya mencionadas.

- Adobe:

Por último se encuentra el adobe. Pese a que a priori puede parecer la última solución para una vivienda social, en muchas ocasiones es la mejor solución. De ahí que haya muchos arquitectos trabajando con estos materiales.

Tiene la ventaja de que es muy barato y está disponible en cualquier lugar, además de las excelentes propiedades térmicas y que es un material inerte, es decir que no se quema. La principal desventaja es que no es tan resistente como otras alternativas y que requiere un constante mantenimiento.

2.3.2.3. Fabricación, montaje y transporte

Es fundamental, en una vivienda social, no solo el diseño y la elección de los materiales y los diferentes elementos de la estructura, sino también como la construyes, como transportas esos materiales, como se fabrican, etcétera.

Se tienen básicamente dos alternativas, o construir a pie de obra, o prefabricar, transportar y finalmente montar. La primera alternativa es la más convencional y la más utilizada actualmente. Sin embargo, poco a poco se va industrializando más el proceso y se van diseñando cada vez más casas prefabricadas como viviendas sociales en países en vías de desarrollo.

Por tanto, mediante la prefabricación se puede controlar más el proceso. En primer lugar, se controla la calidad del producto en fabrica, también diseñas como se va a montar la estructura para optimizar tiempos, y finalmente puedes diseñar cada uno de los elementos de la vivienda para que sea transportada de la forma más optima y sencilla posible.

Por ejemplo, la S House 2, mencionada previamente, está diseñada para que cada uno de los elementos de la vivienda no pese más de 60 kg y pueda ser transportada con facilidad. Más aún en aquel proyecto que tenía que ser transportado en barquitas rurales. Con el siguiente prototipo, S House 3, consiguieron, además de que todas las piezas pesaran menos de 60 kg, que se pudiese montar en apenas tres horas, reduciendo los costes y controlando la calidad a través de la prefabricación.

2.3.2.4. Modularidad

A raíz de la prefabricación surgió el concepto de casas modulares. Cada módulo está formado por elementos prefabricados de tal forma que también se controla calidad, costes y tiempos. La principal ventaja de estas casas es la flexibilidad. Puedes añadir o quitar módulos según las necesidades de cada lugar y de cada familia. Incluso, están pensadas para empezar

solo con un módulo y a medida que vas necesitando más, vas añadiendo (por ejemplo, si una familia crece).

Además, al ir añadiendo módulos puedes crear formas e ir creando espacios, como patios, jardines.

Hay diversos proyectos de viviendas modulares sociales. Se podría destacar el de Achitecs for Society, el cual creo unas viviendas hexagonales modulares para un campo de refugiados. De tal forma que según las necesidades de cada familia iba añadiendo módulos que iban creando formas y espacios con ellos y con los vecinos. De esta forma también urbanísticamente se creaba un barrio de casas modulares. En la Figura 9 se puede ver una imagen de estas viviendas.

Ilustración 19: Vivienda modular hexagonal para un campo de refugiados. Fuente: Achitecs for society

2.3.2.5. Factor económico

El factor económico es quizás la componente más importante hoy en día en una vivienda social. La razón principal por la que hay que hay que construir una vivienda social es justamente por la falta de recursos económicos de esa familia y de la población. Por tanto, es un factor fundamental a tener en cuenta.

Para ello se estudia el diseño, los materiales, la fabricación, el montaje y todas aquellas variables que se han descrito previamente. La mayoría de arquitectos buscan la sencillez y la funcionalidad para optimizar los recursos. Se buscan soluciones económicas a través de métodos tradicionales, conocimiento y participación de la población local y la utilización de materiales que hay en el lugar. Sin embargo, hay otros arquitectos que además de lo comentado buscan soluciones económicas a través de nuevas tecnologías y métodos de construcción, y en particular muchos utilizan la prefabricación para ello.

La prefabricación interviene en todas las variables ya mencionadas en las secciones anteriores y lo que busca es llegar a un producto de calidad, optimizando recursos y tiempo.

En el proyecto descrito antes de VTN, la S House 2, explican muy bien los pasos necesarios que han llevado a que su vivienda sea de bajo coste en un país en vías de desarrollo como es Vietnam.

En la Figura 10 se puede ver el esquema realizado por el propio estudio VTN Architecs.

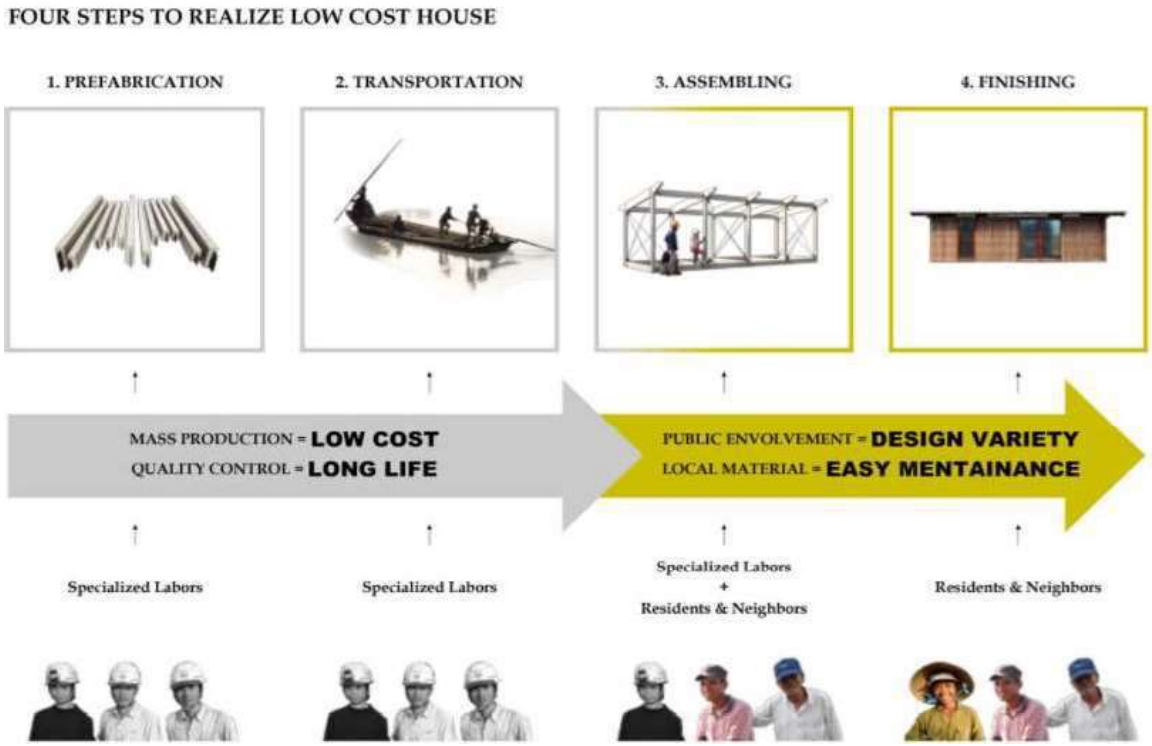


Ilustración 20: Proceso de optimizadión económica. Fuente VTN Architecs

Capítulo 3. Memoria constructiva

3.1. Descripción de la solución

La finalidad de este proyecto es el diseño de una vivienda que cumpla los requerimientos y resuelva los problemas ya mencionados en el capítulo 1.

En concreto se busca una vivienda económica, de materiales resistentes y duraderos, y que sirva de solución a los principales problemas de la sociedad rural guatemalteca: Problema social que generan las actuales viviendas, escasez de agua, inexistencia de saneamiento y deforestación.

3.1.1. Concepto

Para entender mejor el concepto de la vivienda, a continuación se expone una tabla con los problemas de la población rural de Chicamán y las soluciones que la vivienda daría:

Problemas Chicamán	Soluciones Vivienda
Problema económico: Sin capacidad económica para tener una vivienda digna (viviendas inestables de barro y palos de madera).	Casa de bajo coste, resistente y de calidad: Estructura metálica Steel Framing (Acero galvanizado) con paneles de cerramientos
Problema social de la vivienda: Familias de 10 personas viviendo en un unico espacio.	Vivienda Semi-Modular: Estructura fija, Pero con paneles modulares que pueden ir cambiando (Añadir una habitación, quitarla, Dividir el salón, etc)
Escasez de agua: Falta de agua y la pocaque tienen esta contaminada	Recoger agua por la cubierta, y llevarla a traves de un canalon a un depósito. Antes del depósito se filtrará el agua y pasará por una pequeña etapa de desinfección
Viviendas sin saneamiento: Utilizan pozo ciego	Letrinas aboneras
Deforestación	Utilización del abono producido en las letrinas para la plantación

Tabla 7: Preblemas sociales en Chicamá y respuestas que ofrece la vivienda

En resumen, la vivienda se trata de una estructura metálica fija de acero galvanizado, con paneles modulares que se pueden cambiar de disposición según los requerimientos de los habitantes, que recoge y filtra agua de la lluvia y que dispone de una letrina abonera exterior a la vivienda, pudiéndose aprovechar el abono para plantar.

A continuación, se irá explicando con mayor detalle las ventajes de cada solución:

3.1.1.1. Estructura Steel Framing

Como ya se ha comentado la vivienda se basa en el sistema constructivo Steel Framing. Este sistema constructivo, muy utilizado en Estados Unidos y en algunos países hispoamericanos, puede ser una excelente solución para proyectos de coperación y viviendas de bajo coste en países en vías de desarrollo.

El Steel Framing es un sistema estructural metálico de acero galvanizado. El acero galvanizado, es un tipo de acero, que para mejorar sus propiedades mecánicas (dureza, límite elástico, etcétera), lo sumergen en zinc a altas temperaturas, creando unas capas de aleación de acero y zinc. Estas capas de zinc aumentan considerablemente la dureza y protegen al acero frente a oxidaciones.

El acero galvanizado tiene numerosas ventajas, pero la principal es que, debido a su alta dureza (entre 450 MPa y 600 MPa), el espesor que requiere cada uno de los perfiles para conseguir la misma resistencia estructural, es mucho menor que el necesita un acero convencional. Esto se traduce en perfiles mucho más pequeños, menos material, y por tanto, una estructura ultraligera.

Esta ligereza estructural tiene como consecuencia un importante ahorro en costes:

- Tiempo de montaje: No existe una obra como tal. Al ser tan ligero se puede llegar a montar una vivienda de tales caractésticas en unos pocos días.
- Maquinaria (grúas): Tampoco se necesita grúas, ni otro tipo de máquinas. Un perfil de acero galvanizado se puede manipular con mucha facilidad entre un par de personas.
- Mano de obra: No se requiere mano de obra cualificada para su montaje. No hace falta manejar grúas, ni maquinaria de alta cualificación. Tampoco hay ningún otro proceso complejo.
- Cimentaciones: Al ser una estructura mucho más liviana no requiere de grandes cimentaciones.
- Duración: El acero galvanizado es más duradero que el acero convencional. Además de su mayor dureza, el cinc lo portegue frente a la corrosión.
- Transporte: El transporte es mucho menos costoso.

Además, de estas ventajas económicas este sistema presenta otras ventajas. Al estar formado por un material ultraliviano y duro, resiste mejor a eventualidades sísmicas. Dato importante en Guatemala, debido al alto riesgo de sismos que hay.

3.1.1.2. Modular

Otra de las características que presenta la vivienda es su flexibilidad. La casa presenta una estructura fija, sin embargo, tiene unos paneles modulares que se pueden “quitar y poner” con cierta facilidad.

De esta manera se pueden modificar los espacios de la vivienda según sus necesidades: Añadir una habitación, quitarla, agrandar el salón o incluso agrandar la casa quitando los patios.

A continuación, se ve el diseño inicial de la planta de la casa. En rojo se ve el contorno de lo que seía la cubierta, en negro la planta de la casa (42 m^2), y en azul una posible disposición de los muebles.

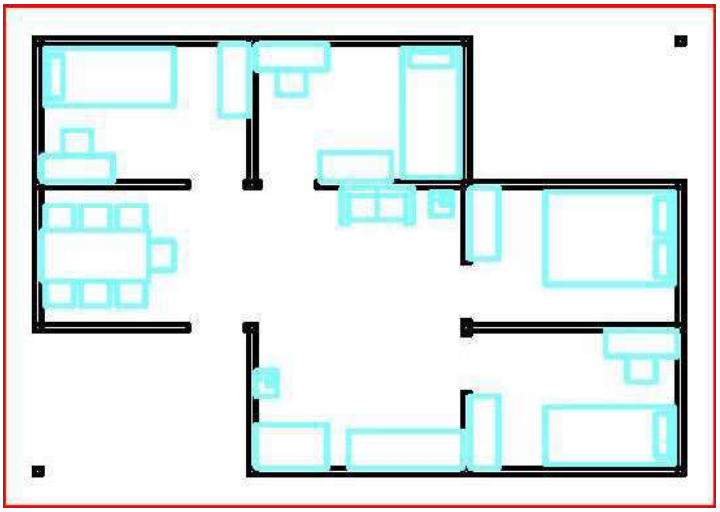


Ilustración 21: Disposición de la planta de la vivienda

Se puede ver como la casa dispone de una entrada donde nada más entrar se encuentra un salón-comedor conectado también a la cocina. Además, dispone de cuatro habitaciones de 6 m^2. Si en cada habitación hubiese una litera, además de la cama de matrimonio del cuarto de los padres, como está representado en la imagen, en esta casa de 42 m^2 cabría una familia de 8 personas dignamente, el cual era uno de los objetivos a cumplir.

Esta modularidad está pensada para que la casa pueda adaptarse a las necesidades de la familia. Tal es así, que inicialmente la casa está pensado para que tengán dos espacios a modo terraza, quizás en uno puedan tener una mesa donde comer y en el otro un lugar donde tender la ropa bajo la cubierta los días de lluvia. Sin embargo, si la familia lo necesitase, también se podría aprovechar esos espacios modificando o poniendo paneles nuevos.

En la siguiente imagen se puede ver un esquema de algunas de las variantes que tendría la casa gracias a los paneles modulares.

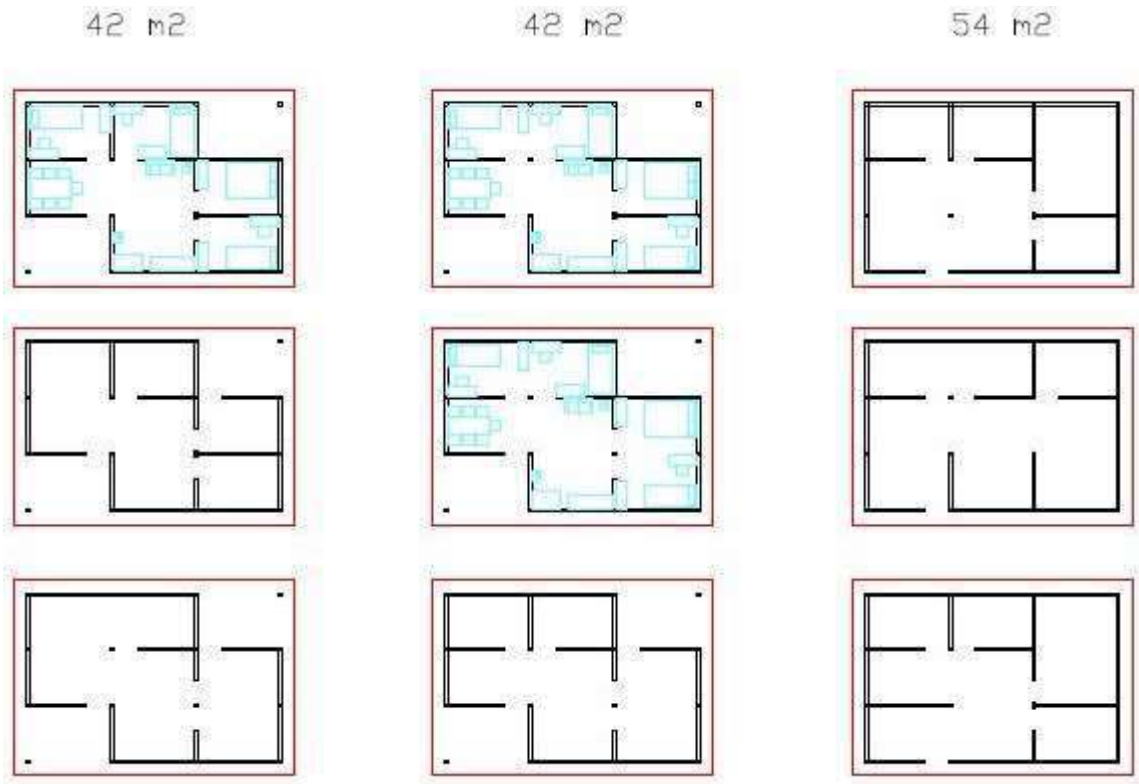


Ilustración 22: Variantes modulares de la vivienda

Por último, para conseguir que los paneles sean modulares, se ha diseñado una unión que hace que los paneles cuelguen y descuelguen fácilmente de las vigas del techo. De este modo las vigas del techo actuarían como guías donde se pueden colgar los paneles.

3.1.1.3. Sistema de recogida de agua

Una posible solución para poder mejorar la situación de escasez de agua es diseñar un sistema de recogida, limpieza y almacenamiento de agua.

La vivienda tendrá una cubierta a un agua para la recogida del agua de lluvia. Esta cubierta, visto desde la planta, medirá 70 m^2, ya que sobresale medio metro por cada lado hasta llegar a 10 m x 7 m.

El agua recogida por la cubierta será llevada mediante un canalón a un depósito. En la entrada del depósito habrá un filtro para que este no se llene de ramas, hoja, etcétera. Como el agua al pasar por la cubierta puede coger metales pesados y algunos patógenos, se le aplicará un pequeño proceso de depuración. Posiblemente una cloración.

3.1.1.4. Letrinas aboneras

Actualmente, la mayoría de viviendas rurales de la municipalidad de Chicamán no tienen ni si quiera letrinas, y los que la tienen no realizan ningún tipo de saneamiento, simplemente hacen un agujero en el terreno y lo utilizan de pozo ciego. De este modo se contamina y acidifica el terreno.

Para solucionar este problema, la vivienda contará con una letrina abonera. La letrina se localizará en el exterior para adaptarse más a la cultura local y un poco a lejada de la vivienda.

Con esta solución se conseguirá que no se acidifique el terreno y que siga pudiendo cultiva y que crezca la vegetación, y por el otro utilizar el abono como ferctilizante para poder realizar un huerto o plantar árboles. De este modo la población local se irá concienciando del grave problema que tienen.

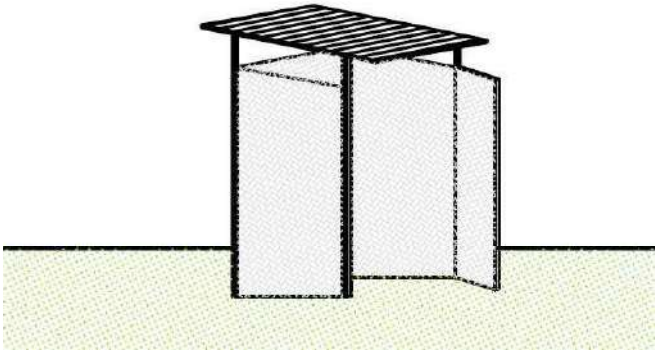


Ilustración 23: Letrina abonera

3.1.2. Diseño de la estructura

El diseño de la estructural ha quedado supeditado en gran parte a los condicionantes ya mencionados (Steel framing, modularidad, cubierta a un agua, etc).

El carácter modular de la vivienda, hace que las vigas del techo actúen como si fueran unas guías donde se cuelgan las paredes. De este modo, hay tantas vigas en el techo como paredes pueda tener la vivienda.

Por otro lado, hace falta una cubierta con una pequeña inclinación para la recogida del agua. No obstante, se ha decidido aprovechar este elemento para que tenga otra función. Al separar la cubierta del techo, elevándola mediante unas cerchas, el aire fluye por la cámara intermedia. Esto hace que los días calurosos de verano, cuando pegué el sol fuerte en la cubierta, la vivienda se mantenga fresca de manera natural.

La siguiente imagen es de una escuela en Burkina Faso del arquitecto Francis Kéré. En ella se puede ver como funciona este efecto:

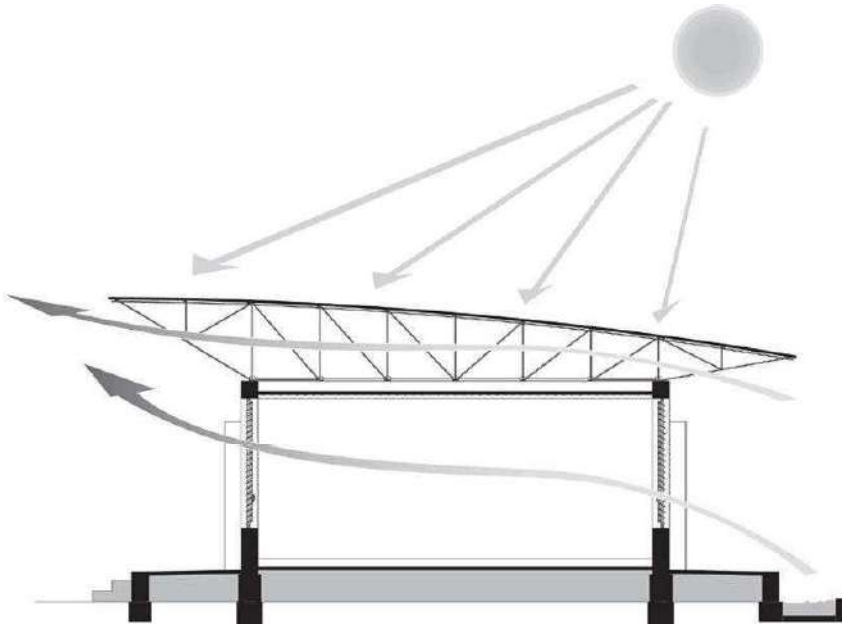


Ilustración 24: Escuela en Burkina Faso. Se puede observar el sistema para disminuir el calor en días de verano. Fuente: Francis Kéré

Otro elemento que se le añade a la estructura son unos pilotes de hormigón. Para evitar que la vivienda sea arrastrada o que se inunde cuando vengan fuertes riadas, la estructura estará elevada a través de unos pilotes de hormigón que están conectados a la cimentación. Se pondrá un pilote debajo de cada pilar y cuatro en el medio para sostener el suelo y poder utilizar perfiles más estrechos.

A continuación, se expone brevemente todos los elementos de la estructura:

- Cimentación: Formado por zapatas aisladas y unos pilostes que sirven para elevar la estructura
- Pilares: Son 12, van unidos a la cimentación, soportan la estructura.
- Suelo: Esta formado por vigas y viguetas. Soportan las cargas de uso,
- Techo: Esta formado por vigas y viguetas. De el se cuelgan los cerramientos
- Nivel Cubierta: Sirve para recoger el agua y mantener la casa más fresca. Además, soporta las cargas de viento que hay sobre la cubierta. Está elevada por medio de un sistema de cerchas y correas. La cercha a su vez está formada por cordones, diagonales y montantes.

A continuación, se muetra en la siguiente figura el diseño de la estructura. En el se puede observar todos los elementos ya mencionados.

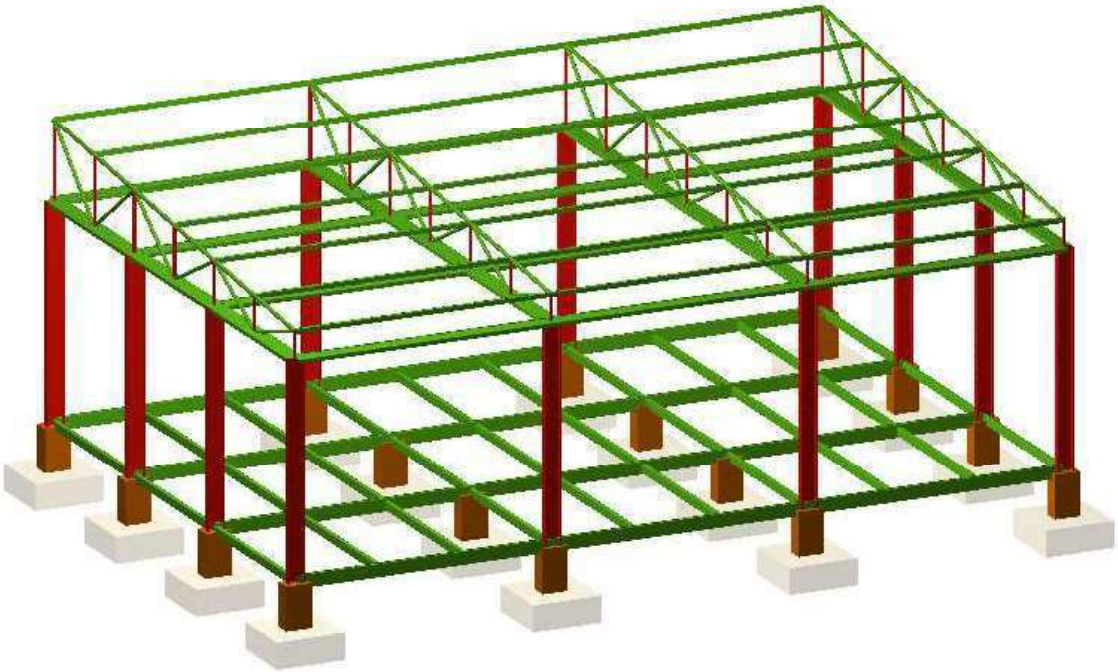


Ilustración 25: Estructura de la vivienda diseñada en CYPE

A continuación, se va a exponer otros elementos que son parte de la solución de la vivienda. Son tales como los materiales empleado en toda la vivienda, el método de uniones que se ha optado como solución, transporte, etcétera.

3.1.3. Materiales empleados

En cuanto a los materiales empleado en la vivienda se ha de distinguir el tipo de elemento y su función dentro de la casa.

- Estructura: Como ya se ha comentado, la estrura esta formada por acero galvanizado.
- Cimentación: tanto la cimentación como los pilotes que elevan la estructura son de hormigón armado.
- Cerramiento Techo: El cerramiento del techo esta formado por unos paneles sándwich que aíslan térmicamente.
- Cubierta: La cubierta de la vivienda, como está al exterior y su única función es recoger el agua, es una chapa metálica.
- Cerramientos laterales: Estan formados por unos paneles tipo sándwich. No obstante, aquí habrá tres tipos de panel, uno con ventana, otro con puerta y otro con cerrado por completo, tipo pared.
- Suelo: El suelo esta formado por unos paneles de materiales compuestos reciclados que resisten las sobrecargas de uso necesarias.
- Depósito: Se selecciona un depósito de pvc debido a su bajo precio en comparación con uno de hormigón.

3.1.4. Uniones

En cuanto a las uniones, se ha decidido no utilizar soldadura, ya que de este modo no es necesario mano de obra cualificada, difícil y costoso de encontrar en aquellas zonas rurales.

Además, es muy típico en las viviendas de Steel framign utilizar simplente uniones atornilladas.

Para la unión del pilar con la cimentación se utilizará una placa de anclaje, el resto de unión se utilizarán piezas de catálogos especializados en uniones de acero galvanizado, y para la unión de las vigas del techo con los paneles laterales se diseña un sistema especial.

En el apartado de uniones dentro de cálculo estructural , se puede ver más en detalle

3.1.5. Transporte

En cuanto al transporte de los elementos, a parte de su ligereza, se ha diseñado para que la pieza más grande no supere los 3 m. Por tanto, esta pensado para que los mismos dueños de la

vivienda puedan hacer el tranporte ellos mismos en las propias pick ups de las aldeas y así no necesitar de camiones.

De este modo se reduciría costes en el tranporte. Además, hay lugares de difícil acceso y donde sería casi imposible de otra manera, sin que los precios se disparen.

3.1.6. Boceto

A continuación, se muestra un dibujo del diseño conceptual de la vivienda.

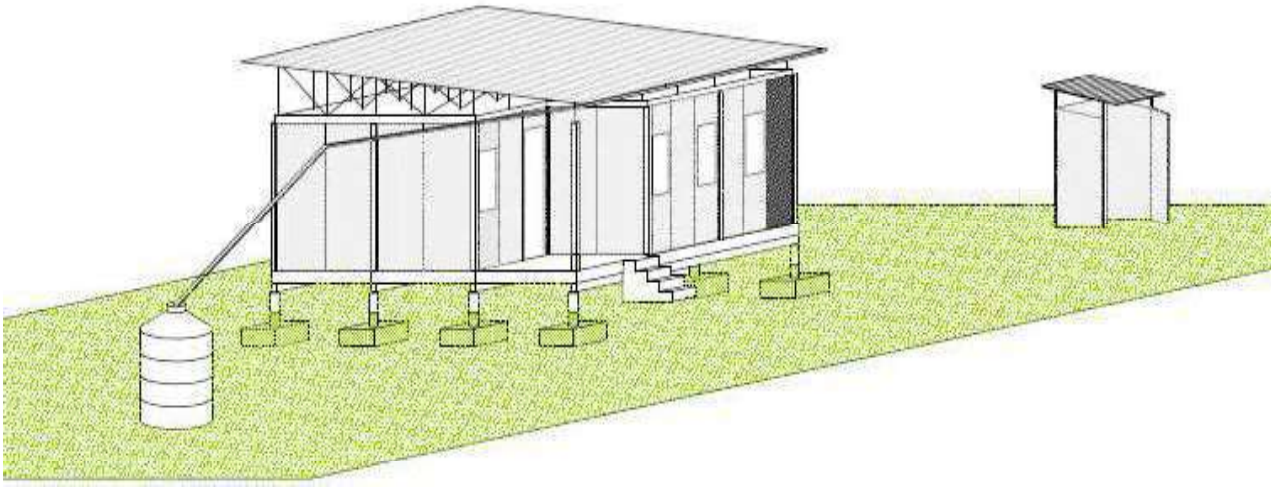


Ilustración 26: Boceto de la vivienda, la letrina y el depósito de agua

3.2. Calculo estructural

3.2.1. Cargas

Para el cálculo y el correcto dimensionamiento de la estructura mediante CYPE 3D se necesita realizar previamente un estudio de las cargas que afectan a la vivienda.

A fin de tener en cuenta las diversas acciones se consideran las cargas que indica el CTE (Código Técnico de la Edificación) y las cargas generadas por los materiales de la cubierta, el techo, el suelo y los cerramientos laterales. Para ello se va a diferenciar entre cargas variables y cargas permanentes.

Además, en este proyecto también se ha de consideran un tipo de carga que es accidental, las cargas símicas

3.2.1.1. Cargas permanentes

Se denomina cargas permanentes aquellas acciones fijas producidas por el peso propio, tanto de elementos estructurales como no estructurales. En este caso se considera el peso de las vigas, pilares, viguetas, cercha, correas y montantes como elementos estructurales. Además, se considera peso propio de los paneles que actúan como cerramientos (cubierta, techo, suelos y paredes).

A continuación, se analiza las cargas de los elementos mencionados.

3.2.1.1.1. Elementos estructurales

En este caso, CYPE ya considera el peso de los elementos estructurales de forma automática, por tanto, no hace falta realizar el cálculo.

3.2.1.1.2. Cubierta

Se consideran cargas de la cubierta, las generadas por los paneles de chapa metálica, cuya función es simplemente recoger el agua de lluvia.

Para ello se utilizará una chapa metálica de acero galvanizado (calibre 28), tomándose un valor de $50\,\frac{N}{m^2}$ para el dimensionamiento.

No obstante, se mayora el valor a $\mathbf{100}\,\frac{\boldsymbol{N}}{\boldsymbol{m^2}}$ para tener en cuenta las cargas generadas por elementos auxiliares como tornillos, tuercas o el propio canalón.

3.2.1.1.3. Techo

Para el cálculo de las cargas generadas por el techo, se considera únicamente los paneles sándwich. Estos sirven tanto de aislante térmico como de cerramiento.

Las cargas generadas por estos paneles son de 100 $\frac{N}{m^2}$, que finalmente se tomara un valor de **125** $\boldsymbol{\frac{N}{m^2}}$ para considerar los valores de tornillería y otros elementos auxiliares que intervengan en las uniones.

3.2.1.1.4. Suelo

Para el cálculo de las cargas generadas por el suelo, se considera únicamente los paneles sándwich que componen el suelo. Estos sirven tanto de aislante térmico como de cerramiento.

Los paneles generan una cara de 200 $\frac{N}{m^2}$ pero se tomará **250** $\boldsymbol{\frac{N}{m^2}}$ como valor mayorado para considerar la tornillería y demás elementos auxiliares que intervengan en las uniones.

3.2.1.1.5. Paneles paredes

Para el cálculo de las cargas producidas por las paredes, nos pondremos en el peor caso, es decir, un número máximo de habitaciones y por tanto paredes.

Teniendo en cuenta que los paneles son los mismos que los del techo, proporcionando aislamiento térmico y actuando de cerramientos.

Las cargas generadas por estos paneles son de 100 $\frac{N}{m^2}$, que finalmente se tomara un valor de **125** $\boldsymbol{\frac{N}{m^2}}$ para considerar los valores de tornillería y otros elementos auxiliares que intervengan en las uniones

3.2.1.2. Cargas variables

Se denominan cargas variables a aquellas acciones que no actúan constantemente en el tiempo y en el lugar. Son, por ejemplo, las cargas de viento, las de nieve, las de mantenimiento las sísmicas y las cargas ejercidas por ocupantes, mobiliario, equipamiento o todo aquello que no tenga una posición permanente.

Para este caso, las cargas de nieve no se tienen en cuenta al ser Quiché un clima templado en donde nunca nieva.

A continuación, se analiza las cargas variables que intervienen en la vivienda, es decir, la sobrecarga de uso y las carga generadas por el viento.

3.2.1.2.1. Sobrecarga de uso

La sobrecarga de uso es el peso de todo aquello que puede gravitar sobre la vivienda por el propio uso.

Al ser una vivienda residencial el CTE la recoge en la categoría de uso A (zona residencial) y subcategoría de uso A1 (vivienda) tomando una carga uniforme de $2\,\frac{kN}{m^2}$.

3.2.1.2.2. Cargas de viento

La carga de viento es la fuerza que ejerce el viento sobre la vivienda. Puede ser tanto fuerza de presión como fuerza de succión.

La carga del viento sobre una superficie se obtiene mediante la expresión:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

Siendo:

- q_b la presión dinámica del viento. Cuya expresión es: $q_b = 0{,}5 * \delta * v_b^2$, con δ como densidad del aire.
  En el departamento de Quiché en Guatemala se considera una presión dinámica de 0.474 $\frac{kN}{m^2}$ (474 Pa), correspondientes a la velocidad básica de viento de 100 $\frac{km}{h}$ (como aconseja la normativa guatemalteca, NSE).
- c_e el coeficiente de exposición, que varía con la altura del punto considerado y con el grado de aspereza del entorno.
  Al encontrarse en una zona rural con algunos obstáculos como árboles u otras viviendas, se toma un grado de aspereza de III. Por tanto, se tomará el valor de c_e como 1.6.
- c_p coeficiente eólico de presión. Varía según la forma y orientación de la superficie, de la dirección relativa del viento, de su esbeltez y de su área de influencia.

Para el cálculo de las cargas de viento, se considera que el viento puede venir de cuatro sentidos. Esto es debido a que la planta de la vivienda es rectangular y que el viento siempre hay que considerarlo como una fuerza de presión perpendicular a la superficie. Por otro lado, como es lógico, el viento solo puede venir en una única dirección. Si viene de una dirección intermedia se considerará combinación lineal de las otras dos. Por ejemplo, viento que te viene del noroeste, se considera como la “suma” de vientos del norte y del oeste.

Así pues, en el CYPE se introducirá, para hacerlo más desfavorable posible, vientos de dos direcciones.

Además, se ha de tener en cuenta que cada fuerza de viento provoca una fuerza de presión y otra de succión. Para ello en CYPE se crearán cuatro "paños" para introducir las cuatro fuerzas, dos en cada sentido, de presión y succión.

En la siguiente figura se puede ver un esquema de la planta de la vivienda con las fuerzas, tanto de presión como de succión, provenientes de los cuatro sentidos del viento. En CYPE se introducirá por ejemplo V1 y V3.

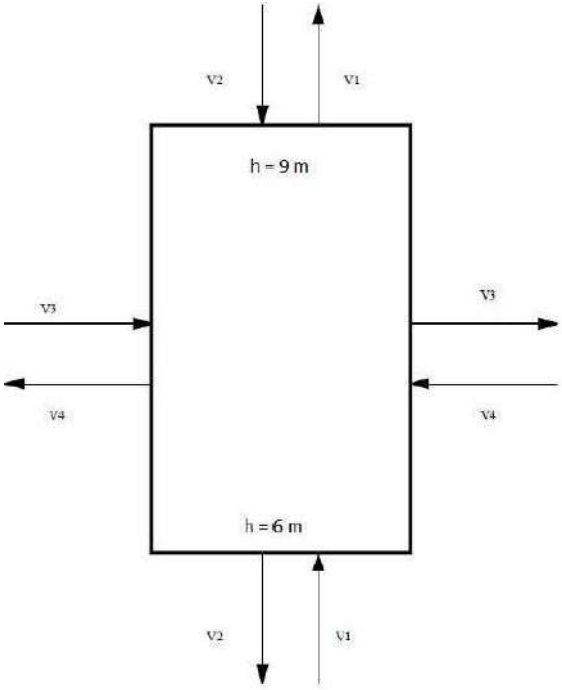


Ilustración 27: Direcciones de las cargas del viento. Fuente: [CAST14]

Por otro lado, se tiene una cubierta a un agua con una inclinación de 5.71° que también hay que tener en consideración. Para ello se creará un quinto "paño" en CYPE para introducir una fuerza perpendicular a esa superficie. Por tanto, será necesario proyectar la fuerza del viento, perpendicular al plano de la cubierta. También, se realizará una pequeña aproximación sumando la fuerza de presión y la de succión sobre el paño de la cubierta, ya que van el mismo sentido. Lógicamente, se dimensionará con el viento en la dirección mas desfavorable, es decir aquella que intenta "hundir" la cubierta y no "levantarla", ya que el acero trabaja mejor a tracción que a compresión.

En la siguiente ilustración se puede ver un dibujo del alzado de la casa con la fuerza del viento sobre la cubierta (con el sentido del viento más desfavorable).

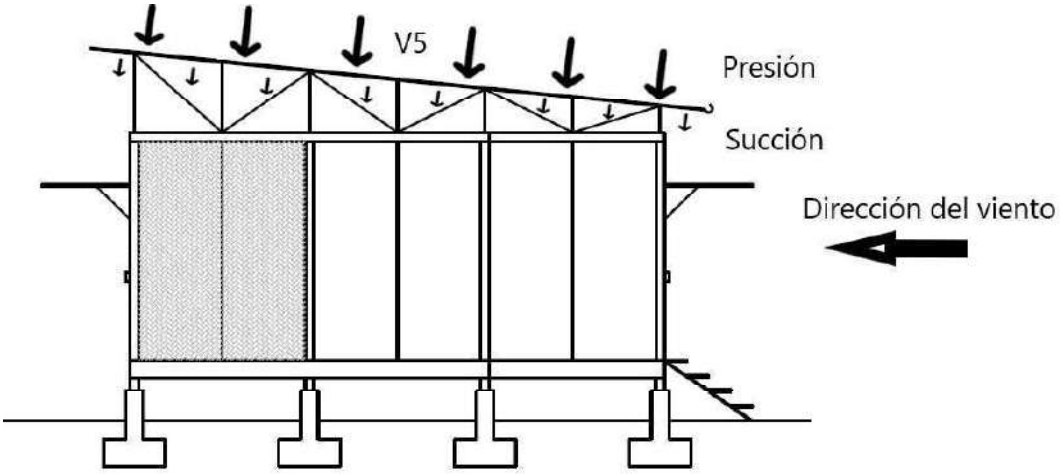


Ilustración 28: Cargas del viento sobre la cubierta

Finalmente, aplicando las pautas que dicta el CTE para el cálculo de los coeficientes de presión (relación de esbeltez, área de influencia, pendiente de la cubierta, etcétera) y entrando en las tablas D1 de parámetros verticales y D3 de cubiertas a un agua, se obtienen los coeficientes de presión y de succión sobre cada superficie.

En la siguiente tabla se muestra la presión dinámica, los coeficientes de exposición, de presión y de succión calculados para cada superficie, y finalmente la fuerza de presión y de succión que ejerce sobre casa superficie. Es decir, las cargas que habrá que introducir sobre los paños.

	q_b (kN/m^2)	c_e	c_p	c_s	F_p (kN/m^2)	F_s (kN/m^2)
V_1	0,474	1,6	0,7	-0,3	0,53	-0,23
V_2	0,474	1,6	0,7	-0,3	0,53	-0,23
V_3	0,474	1,6	0,7	-0,36	0,53	-0,27
V_4	0,474	1,6	0,7	-0,36	0,53	-0,27
V_5	0,474	1,6	0	-0,6	0,00	-0,46

Tabla 8: Cargas de viento

3.2.1.3. Cargas accidentales

3.2.1.3.1. Carga sísmica

En cuanto a las acciones sísmicas, son muy importantes tenerlas en cuenta ya que el emplazamiento tiene un riesgo sísmico considerable. No obstante, con CYPE se puede introducir de

forma automática, de manera que tenga en cuenta la acción sísmica en Guatemala siguiendo la normativa guatemalteca (NSE).

A continuación, se ve una imagen proporcionada por CYPE con el mapa sísmico de Guatemala indicando el índice de sismicidad y diferentes parámetros espectrales acordes a la normativa guatemalteca.

Chicamán según la norma guatemalteca tiene un índice de sismicidad 4.

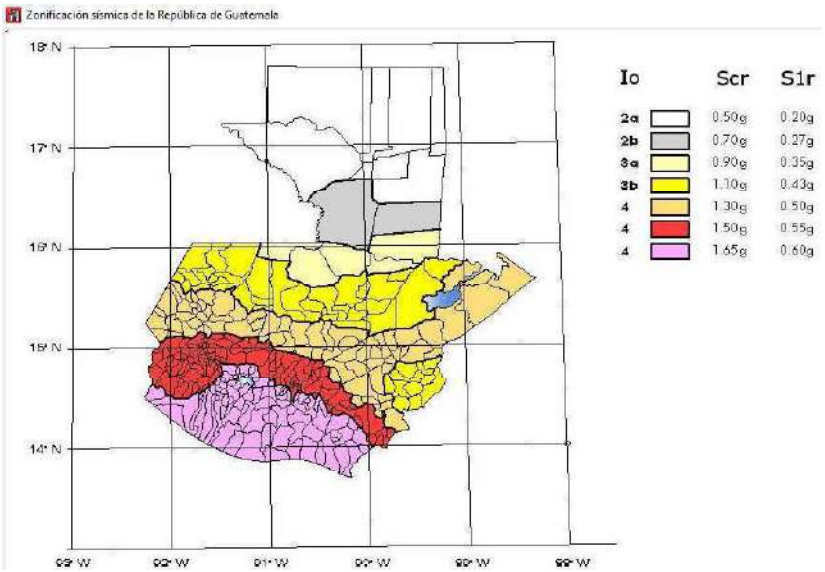


Ilustración 29: Mapa del índice de sismicidad según la norma guatemalteca. Fuente: CYPE

Este índice indica es una medida relativa de la severidad de esperada del sismo en una localidad, e incide en la selección del espectro sísmico de diseño.

El espectro de diseño es un gráfico que indica las frecuencias fundamentales de la estructura.

En la siguiente imagen se puede ver el espectro de frecuencia. Con ello CYPE calcula la estructura para aquellos valores donde frecuncias alejados de la fundamental.

Ilustración 30: Espectro de frecuencias. Fuente: CYPE

3.2.1.4. Resumen de las cargas

A continuación, en la siguiente tabla se muestra un resumen de las cargas que se acaban de calcular. Las cargas sísmicas y el peso propio lo calcula automáticamente CYPE por lo tanto no se pondrán.

Cargas de la casa		
Cargas permanentes		
Paneles Cubierta (chapa)		100 N/m2
Paneles Techo (panel sandwich)		125 N/m2
Paneles Cerramientos Laterales (sandwich)		250 N/m2
paneles Suelo		250 N/m2
Pesos Propio		Calculadas por CYPE
Cargas Variables		
Sobrecarga de uso		2 kN/m
Cargas de Viento	V1 (Presión)	0,53 kN/m^2
	V1 (Succión)	-0,23 kN/m^2
	V3 (Presión)	0,53 kN/m^2
	V3 (Succión)	0,27 kN/m^2
	V5	-0,46 kN/m^2
Cargas sísmicas		Calculadas por CYPE

Tabla 9: Resumen de las cargas que influyen en la estructura de la vivienda

3.2.2. Pandeo y flecha

3.2.2.1. Límite de pandeo

El pandeo es un fenómeno que se produce cuando un elemento estructural, normalmente un pilar o una columna, está sometido a una comprensión de cierta importancia, provocando desplazamientos trasversales a la dirección del esfuerzo axil. Este fenómeno limita la capacidad portante de la estructura ya que al superar ciertos límites provocaría el colapso de la misma.

De este modo, es necesario dimensionar teniendo en cuenta las limitaciones de pandeo. Para ello, antes de nada, hay que especificar el coeficiente de pandeo de cada una de las barras de la estructura. El coeficiente de pandeo es un valor mayor o igual que 0 que pondera la longitud de la barra, dando lugar a la longitud de pandeo. Esta longitud representa la distancia entre dos puntos de momento nulo.

El CTE DB SE-A especifica los coeficientes de pandeo para cada condición de contorno (empotramiento, articulación y apoyo simple). Para esta vivienda se contemplan dos casos:

- Pilares que están unidos a la cimentación: Unidos a la zapata mediante una placa de anclaje, se considera como un pilar empotrado en el extremo inferior. Por otro lado, en el extremo superior está unido al resto de la estructura mediante una unión fija pero no se puede asegurar su empotramiento. De este modo se considerará una barra empotrada articulada en los dos planos de pandeo. Con estas condiciones de contorno el CTE define un coeficiente de pandeo de 0.7 en cada plano.
- Restos de vigas, pilares y barras de la estructura: Al igual que antes, pese a ser uniones rígidas no pueden asegurar su empotramiento y por tanto, se podría asemejar a barras articuladas los dos extremos. Por tanto, se consideran barras biarticuladas en los dos planos de pandeo, con un coeficiente de pandeo, según la norma, de 1.

3.2.2.2. Límite de flecha

Una estructura al soportar una carga se deforma. Esta deformación, en un punto determinado, se le llama flecha, es decir, el desplazamiento que sufre ese punto debido a la carga. Como es de esperar se ha dimensionar la estructura de tal forma que no supere el valor máximo admisible establecido.

El CTE DB-SE y en concreto el artículo 4.3.3 dicta los valores límites establecidos para las flechas en estructuras de acero. Define que la flecha relativa ha de ser menor que 1/300.

En CYPE con introducir la flecha relativa máxima de cada barra (1/300) te calcula la deformada y te realiza todas estas comprobaciones.

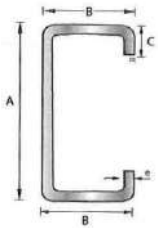
3.2.3. Perfiles de acero galvanizado

A continuación, se mostrarán unas tablas con los resultados de los perfiles de acero dimensionados mediante CYPE. En ellas vendrán propiedades, tanto mecánicas como de longitud y peso, de los perfiles utilizados.

Los perfiles son los proporcionados por el proveedor guatemalteco Ferromax, cuyas características se muestran en anexo de perfiles de acero galvanizado.

3.2.3.1. Pilares

Para los pilares se ha utilizado vigas de acero galvanizado Ferromax y en concreto se ha utilizado unos perfiles con forma de C. En la siguiente imagen podemos ver la sección de un perfil general:



Para más información sobre los perfiles consultar el anexo 1 de perfiles.

A continuación, se muestra una tabla con las características de los perfiles calculados en CYPE para el dimensionamiento de los pilares.

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
1	N1/N2, N3/N4, N5/N6, N7/N8, N13/N14, N19/N20, N21/N22 y N23/N24
2	N9/N10, N11/N12, N15/N16 y N17/N18

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm^2)	Avy (cm^2)	Avz (cm^2)	Iyy (cm^4)	Izz (cm^4)	It (cm^4)
Tipo	Designación								
Acero galvanizado Ferromax	Viga C GHT	1	8 x 3 GH8	8.85	2.83	4.78	556.09	70.61	0.16
		2	8 x 3 GH4	12.17	3.89	6.60	755.58	94.15	0.42

Notación:
Ref.: Referencia
A: Área de la sección transversal
Avy: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'
Avz: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'
Iyy: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'
Izz: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'
It: Inercia a torsión
Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.

Para que visualmente sea más sencillo, se muestra unos dibujos donde se puede observar un alzado y un perfil de la estructura con los perfiles que se utilizan.

Se puede observar como los 8 pilares situados en las caras laterales de 6 metros (alzado y cara contraria) utilizan un perfil 8 x 3 GH8. Por otro lado los pilares centrales utilizan perfiles también de 8 x 3, pero más gruesos, ya que requieren de mayor resistencia como es lógico. Se puede ver en la segunda imagen que estos perfiles son de 8 x 3 GH4.

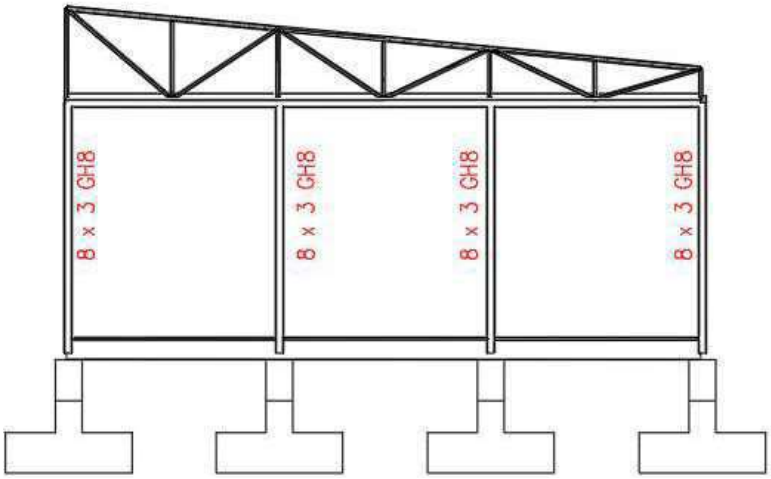


Ilustración 31: Perfiles utilizados para los pilares. Vista: Perfil izquiedo

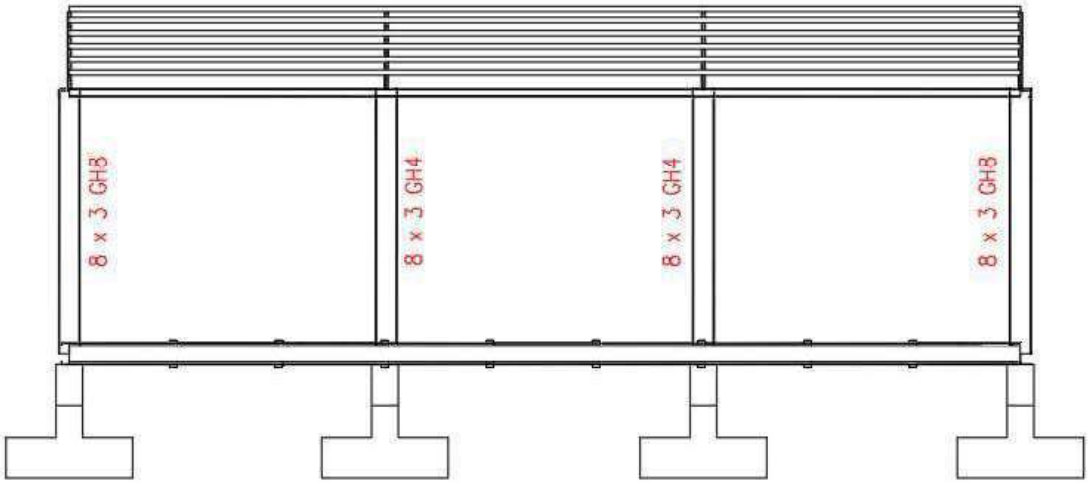


Ilustración 32: Perfiles utilizados para los pilares. Vista: Alzado

Por otro lado, la siguiente tabla, indica el peso, longitud y volumen de cada perfil. Hay que destacar que estos perfiles de acero galvanizado, al ser tan duros (450 MPa) necesitan secciones mucho más pequeñas (menos grosor) que los aceros convencionales. Una consecuencia de ello es lo que se muestra en la siguiente tabla, los bajos pesos de cada perfil, donde el perfil más pesado no llega a 25 kg. Esto abarata enormemente los costes de mano de obra y de montaje. Al ser tan ligueros lo puede levantar una persona o un grupo de personas de manera sencilla, y no requiere de mano de obra cualificada, ni maquinaria tipo grúas.

Tabla de medición						
Material		Pieza (Ni/Nf)	Perfil (Serie)	Longitud (m)	Volumen (m^3)	Peso (kg)
Tipo	Designación					
Acero galvanizado Ferromax	Viga C GHT	N1/N2	8 x 3 GH8	2.500	0.002	17.36
		N3/N4	8 x 3 GH8	2.500	0.002	17.36
		N5/N6	8 x 3 GH8	2.500	0.002	17.36
		N7/N8	8 x 3 GH8	2.500	0.002	17.36
		N9/N10	8 x 3 GH4	2.500	0.003	23.88
		N11/N12	8 x 3 GH4	2.500	0.003	23.88
		N13/N14	8 x 3 GH8	2.500	0.002	17.36
		N15/N16	8 x 3 GH4	2.500	0.003	23.88
		N17/N18	8 x 3 GH4	2.500	0.003	23.88
		N19/N20	8 x 3 GH8	2.500	0.002	17.36
		N21/N22	8 x 3 GH8	2.500	0.002	17.36
		N23/N24	8 x 3 GH8	2.500	0.002	17.36

Notación:
Ni: Nudo inicial
Nf: Nudo final

Se puede observar como el perfil más pesado pesa 23.88 kg.

Además, los pilares miden cada uno 2.5 m, haciendo sencillo el transporte.

3.2.3.2. Vigas y viguetas del techo

La estructura del techo se divide en vigas y viguetas. Las vigas van a lo largo de los 6 metros del ancho de la vivienda y las viguetas van de viga a viga. No obstante, para facilitar el transporte de las vigas, en vez de ser de 6 metros de largo, se han dividido en tres pedazos de 2 metros cada una y se tendrán que unir en la obra.

Tanto vigas como viguetas utilizan perfiles de acero galvanizado Ferromax, con secciones con forma de C como la mostrada en el apartado anterior.

A continuación, se muestra una tabla con las características de los perfiles calculados en CYPE para el dimensionamiento de las vigas y viguetas del techo.

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
1	N2/N8, N20/N14, N16/N10 y N18/N12
2	N8/N14, N2/N20, N4/N22 y N6/N24

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm²)	Avy (cm²)	Avz (cm²)	Iyy (cm4)	Izz (cm4)	It (cm4)
Tipo	Designación								
Acero galvanizado Ferromax	Viga C GHT	1	8 x 2 GH16	3.21	0.83	1.94	185.68	10.06	0.01
		2	8 x 2 GH10	6.02	1.55	3.66	342.73	17.91	0.07

Notación:
Ref.: Referencia
A: Área de la sección transversal
Avy: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'
Avz: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'
Iyy: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'
Izz: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'
It: Inercia a torsión
Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.

En la siguiente imagen se muestra la disposición de los perfiles de las vigas y de las viguetas. Como se puede ver en el dibujo, tanto las vigas como las viguetas son todas de 8 x 2, cambiando únicamente el espesor según si son vigas o viguetas, o según el tipo de viga.

Las vigas utilizan perfiles 8 x 2 GHT10 (1.9 mm de espesor), mientras que las viguetas utilizan perfiles 8 x 2 GHT16 (1 mm de espesor). Tiene un menor espesor ya que no necesitan soportar tanta carga.

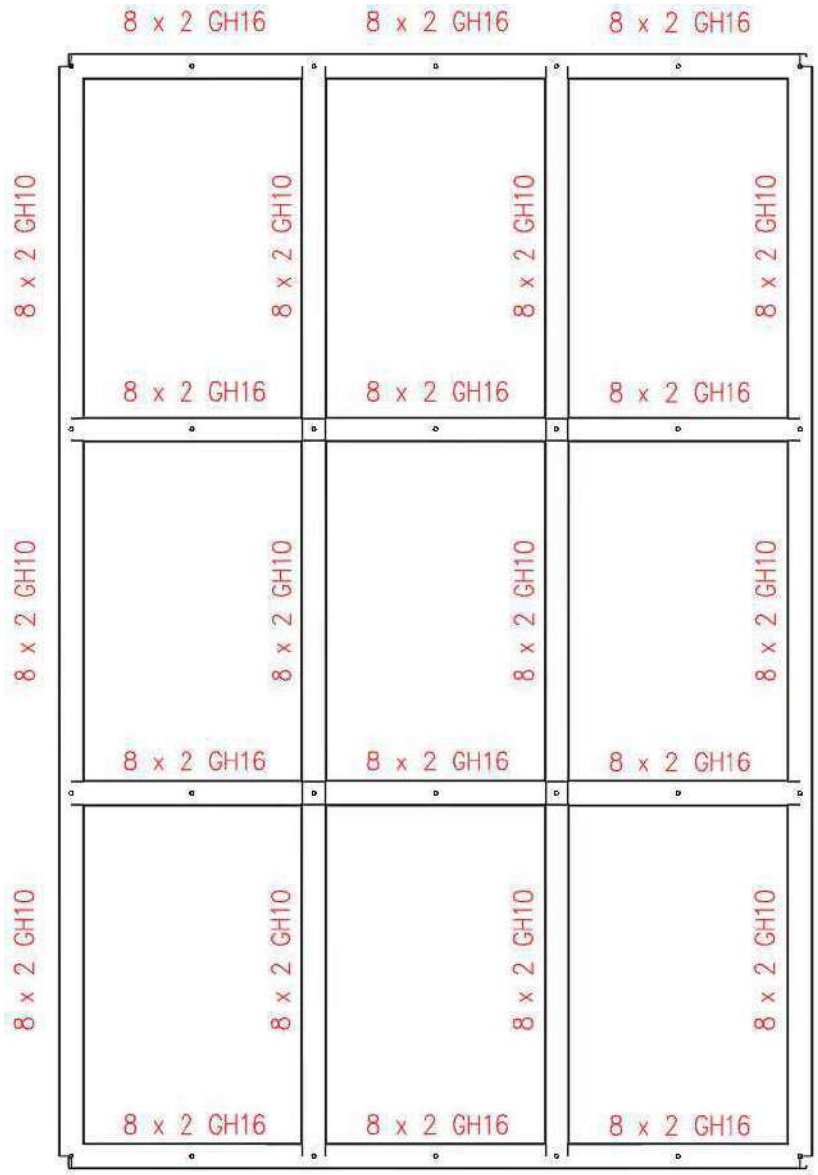


Ilustración 33: Perfiles utilizados en el techo

En la siguiente tabla se muestran las longitudes y pesos de los perfiles de las vigas y viguetas. Además también indica el número de perfiles necesarios.

Tabla de medición						
Material		Perfil (Serie)	Nº de perfiles	Longitud (m)	Volumen (m³)	Peso (kg)
Tipo	Designación					
Acero galvanizado Ferromax	Viga C GHT	8 x 2 GH16	12	2	0.005	5.04
		8 x 2 GH10	12	3	0.005	14.17

Se puede ver como las longitudes de cada perfil son de 3 y 2 m, siendo buscado para facilitar el transporte. También se puede comprobar como el peso de cada perfil, al ser tan fino, es muy bajo, siendo el mayor de apenas 14 kg. De esta manera se abaratan costes de montaje y de mano de obra.

3.2.3.3. Vigas y viguetas del suelo

La estructura del suelo se divide en vigas y viguetas. Las vigas van de lado a lado, a lo largo de los 9 metros del largo de la vivienda, y las viguetas unen las vigas.

Por otro lado, el suelo esta elevado y se apoya en pilotes de hormigón que van unidas a las zapatas de cimentación. Para que las vigas sean más pequeñas y así utilizar perfiles más estrechos y ahorra en acero galvanizado, se han puesto cuatro pilotes por viga separados a 3 metros de distancia.

De este modo, y también para el ahorrar en costes, se han dividido las vigas en 3 partes cada 3 metros, es decir en cada pilote. Esto facilita y abarata tanto la tarea del transporte como la de la manipulación de cada viga en el montaje de la vivienda.

Tanto vigas como viguetas utilizan perfiles de acero galvanizado Ferromax, con secciones con forma de C como la mostrada en el apartado anterior.

A continuación, se muestra una tabla con las características de los perfiles calculados en CYPE para el dimensionamiento de las vigas y viguetas del suelo.

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
1	N1/N19 y N7/N13
2	N25/N26, N27/N28, N17/N11, N29/N30, N31/N32, N15/N9, N33/N34 y N35/N36
3	N3/N21 y N5/N23
4	N1/N3, N3/N5, N5/N7, N19/N21, N21/N23 y N23/N13

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm²)	Avy (cm²)	Avz (cm²)	Iyy (cm4)	Izz (cm4)	It (cm4)
Tipo	Designación								
Acero galvanizado Ferromax	Viga C GHT	1	6 x 2 GH16	2.70	0.83	1.52	93.55	9.25	0.01
		2	4 x 2 GH16	2.20	0.83	1.09	36.31	8.06	0.01
		3	6 x 2 GH10	5.05	1.55	2.86	171.82	16.46	0.06
		4	4 x 2 GH12	3.26	1.23	1.63	53.20	11.65	0.02

Notación:
Ref.: Referencia
A: Área de la sección transversal
Avy: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'
Avz: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'
Iyy: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'
Izz: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'
It: Inercia a torsión
Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.

En la siguiente figura se puede ver un dibujo de la disposición de las vigas y las viguetas del suelo.

Dentro de las vigas se pueden diferenciar entre las vigas centrales y las vigas laterales. Las vigas centrales sufren una mayor carga y por tanto tienen una sección con un espesor mayor. Así pues, las

vigas centrales son 6 x 2 GH10 (1.9 mm de espesor) mientras que las laterales son 6 x 2 GHT16 (1 mm de espesor). En cuanto a las viguetas, todas son de 4 x 2 GH16 (1 mm de espesor), menos las de los extremos que son 4 x 2 GH12 (1.5 mm de espesor).

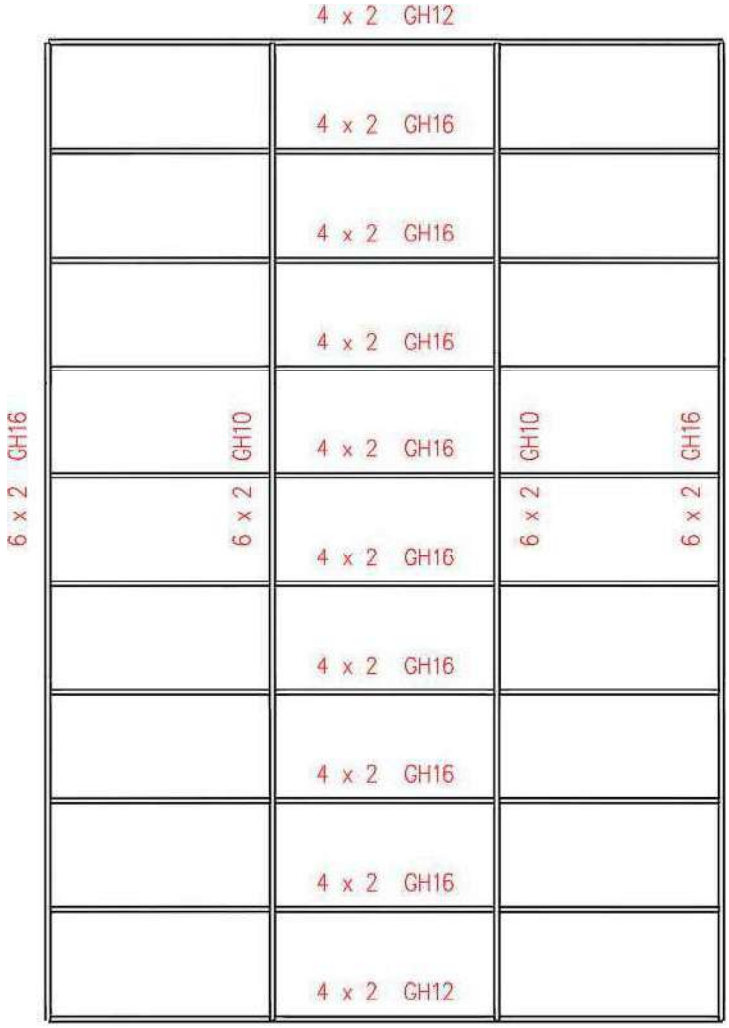


Ilustración 34: Perfiles utilizados en la estructura del suelo

A continuación, se muestra la tabla con la longitud y peso de cada perfil de acero. Como se ha ido comentando en todos estos apartados anteriores, la pequeña longitud y peso de los perfiles supone ahorros en los costes de transporte, de montaje y de mano de obra.

Tabla de medición						
Material		Perfil (Serie)	Nº de perfiles	Longitud (m)	Volumen (m^3)	Peso (kg)
Tipo	Designación					
Acero galvanizado Ferromax	Viga C GHT	4 x 2 GH16	8	2	0.001	3.45
		4 x 2 GH12	2	3	0.005	11.60
		6 x 2 GH16	6	3	0.005	11.60
		6 x 2 GH10	6	2	0.001	5.11

Se puede ver como el perfil más grande no supera los 12 kg y la barra más larga no supera los 3 metros.

3.2.3.4. Cerchas y correas de la cubierta

La cubierta se divide básicamente en dos elementos estructurales, por un lado se encuentran las cerchas, que son los elementos de primer orden que soportan las cargas, y por el otro están las correas que unen las cerchas.

Dentro de una cercha se puede distinguir el cordón superior, los montantes y las diagonales. La estructura del techo hará de cordón inferior, y por tanto ya está dimensionada unos apartados atrás. Hay que tener en cuenta que todos los nudos de la cercha están articulados. Por tanto, todos los elementos son pequeñas barras que se unen a través de uniones articuladas.

Los perfiles utilizados para las barras de las cerchas son de acero galvanizado Ferromax. Los montantes, las diagonales y el cordón superior utilizan un perfil de tubo cuadrado con diferentes espesores y diámetros según las necesidades.

Por otro lado, las correas se utilizan perfiles en C de pequeñas dimensiones, también de acero galvanizado Ferromax .

A continuación, se muestra una tabla con las características de los perfiles calculados en CYPE para el dimensionamiento de la cubierta.

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas (de nudo N_ a nudo N_)
1	N2/N41, N4/N43, N6/N45, N8/N47, N16/N48, N37/N50, N40/N52, N10/N54, N18/N55, N38/N57, N39/N59, N12/N61, N20/N62, N22/N64, N24/N66, N14/N68, N85/N42, N86/N44, N87/N46, N88/N49, N89/N51, N90/N53, N91/N56, N92/N58, N93/N60, N94/N63, N95/N65 y N96/N67
2	N47/N41, N54/N48, N61/N55 y N68/N62
3	N41/N62, N43/N64, N45/N66, N47/N68, N42/N63, N44/N65 y N46/N67
4	N85/N41, N85/N43, N86/N43, N86/N45, N87/N45, N87/N47, N88/N48, N88/N50, N89/N50, N89/N52, N90/N52, N90/N54, N91/N55, N91/N57, N92/N57, N92/N59, N93/N59, N93/N61, N94/N62, N94/N64, N95/N64, N95/N66, N96/N66 y N96/N68

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm²)	Avy (cm²)	Avz (cm²)	Iyy (cm4)	Izz (cm4)	It (cm4)
Tipo	Designación								
Acero galvanizado Ferromax	Tubo Cuadrado	1	25.4 GHT18	0.79	0.38	0.79	0.79	0.79	1.19
	Tubo Cuadrado	2	38.1 GHT14	1.77	0.86	0.86	4.02	4.02	6.04
	Tubo Cuadrado	3	31.75 GHT16	1.99	0.98	0.98	8.24	8.24	12.36
	Perfil en C	4	3 x 2 GH16	1.99	0.83	0.88	19.54	7.62	0.01

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm²)	Avy (cm²)	Avz (cm²)	Iyy (cm4)	Izz (cm4)	It (cm4)
Tipo	Designación								

Notación:
Ref.: Referencia
A: Área de la sección transversal
Avy: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'
Avz: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'
Iyy: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'
Izz: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'
It: Inercia a torsión
Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.

A continuación, se ve un dibujo esquemático del alzado de la estructura, y en concreto se ve cada uno de los elementos de la cercha con el perfil dimensionado mediante CYPE. Los montantes son los que menos sección necesitan y por tanto son los de menor espesor y diámetro, 25.4 GHT18 (25.4 mm de diámetro y 0.8 mm de espesor). Las diagonales utilizan un perfil 31.75 GHT16 (31.75 mm de diámetro y 1 mm de espesor). Y por último, el cordón superior utiliza el mayor perfil 38.1 GHT14 (38.1 mm de diámetro y 1.2 mm de espesor)

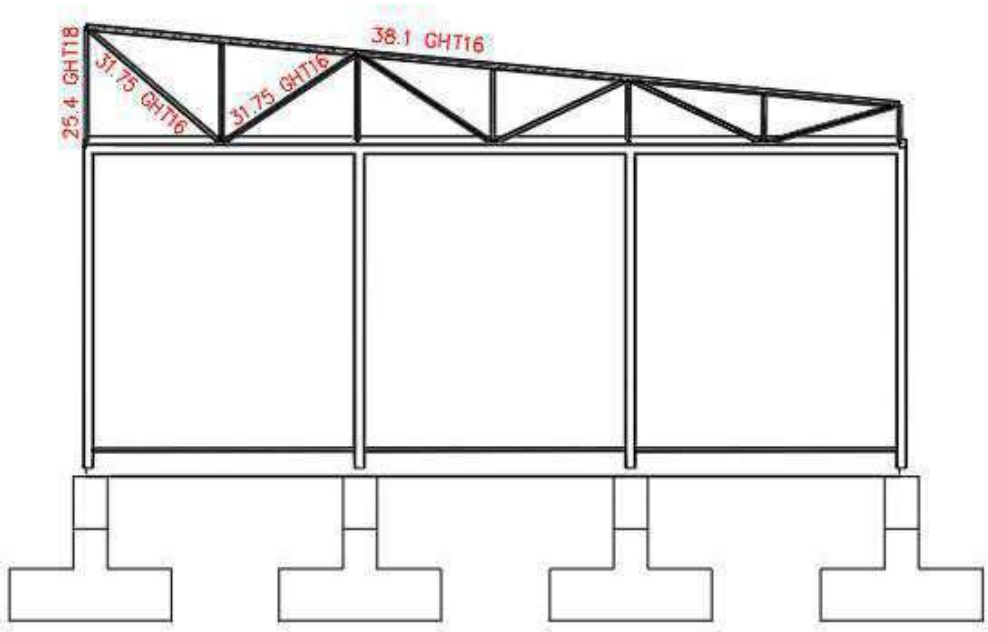


Ilustración 35: Perfiles utilizados en la cercha

Seguidamente se muestra en la siguiente figura otro dibujo del perfil derecho de la vivienda. En el se puede ver las correas que une las cerchas. Hay 7 correas pararelas que van a lo largo de toda la cubierta. Como ya ha ocurrido con otros elementos, se dividen en tres partes para facilitar su transporte. Para las correas se utilizan perfiles en C de 3 x 2 GH16.

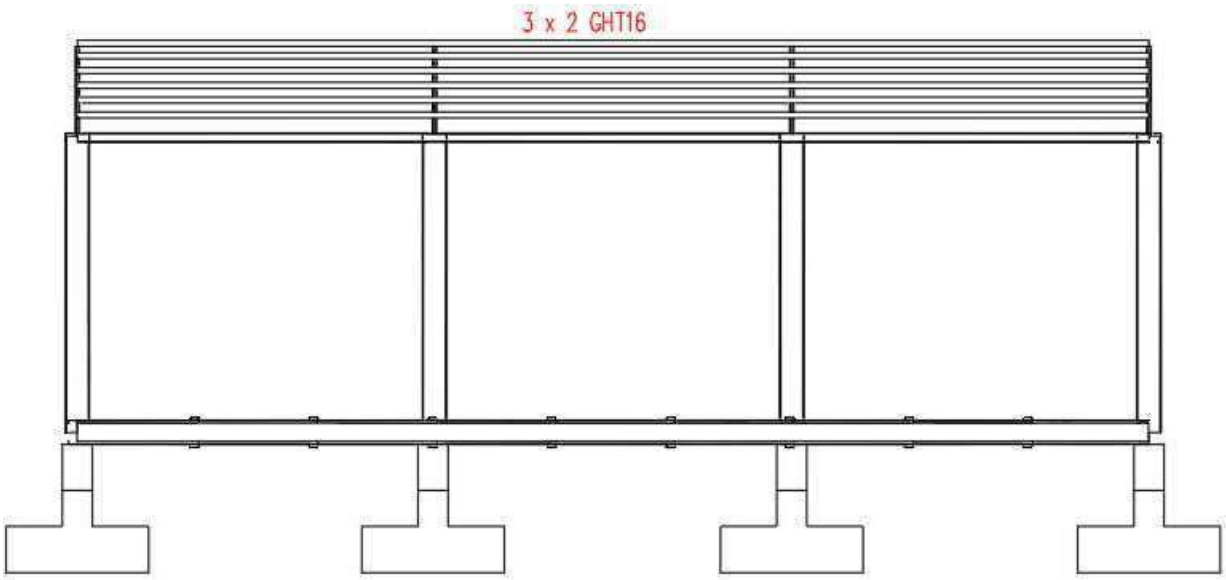


Ilustración 36: Perfiles utilizados para las correas de la cubierta

A continuación, se muestra la tabla con la longitud y peso de cada perfil de acero. Se puede ver como la longitud y el peso de cada perfil siguen cumpliendo con los requisitos buscados. Por un lado, que sea ligero y por otro que no mida más de 3 metros para facilitar el transporte.

Tabla de medición							
Material		Elemento	Perfil (Serie)	Nº de perfiles	Longitud (m)	Volumen (m³)	Peso (kg)
Tipo	Designación						
Acero galvanizado Ferromax	Tubo Cuadrado	Montantes	25.4 GHT18	4	0.900	0.000	0.56
			25.4 GHT18	4	0.800	0.000	0.49
			25.4 GHT18	4	0.700	0.000	0.43
			25.4 GHT18	4	0.600	0.000	0.39
			25.4 GHT18	4	0.500	0.000	0.31
			25.4 GHT18	4	0.400	0.000	0.25
			25.4 GHT18	4	0.300	0.000	0.19
		Diagonales	31.75 GHT16	4	1.345	0.000	1.30
			31.75 GHT16	4	1.221	0.000	1.18
			31.75 GHT16	4	1.221	0.000	1.18
			31.75 GHT16	4	1.118	0.000	1.08
			31.75 GHT16	4	1.118	0.000	1.08
			31.75 GHT16	4	1.044	0.000	1.01
		C. Superior	38.1 GHT14	24	1.005	0.000	1.40
	Perfil en C	Correas	3 x 2 GHT16	21	3.000	0.001	4.69

Se puede ver como ningún perfil es supera los requisitos de peso y longitud buscados. El perfil de longitud mayor es un perfil de las correas que miden 3 metros, siendo también el perfil más pesado, 4.69 kg.

3.2.4. Cimentación

La cimentación es el elemento estructural que se encarga de transmitir todas las cargas que sufre la estructura al terreno sin que se supere la tensión admisible del mismo.

La cimentación se ha calculada mediante el programa CYPE. En primer lugar, se meten las cargas y se dimensiona la estructura y luego pasa al dimensionamiento de las cimentaciones.

La cimentación se ha calculado de acuerdo a la normativa española CTE DB SE-C.

A continuación, se muestra la tipología de la cimentación escogida, la disposición de la cimentación y el dimensionamiento de la misma. Además, se realiza un cálculo de los pilotes de hormigón que van unidos a la cimentación y elevan la estructura, y por último se calcula la placa de anclaje, para que los pilares esten empotrados en la cimentación.

3.2.4.1. Tipología

Al tratarse de una estructura liviana la cimentación necesaria para soportar la estructura es superficial. En concreto, se ha escogido zapatas de hormigón aisladas, de forma que amplie la superfie de apoyo, hasta lograr que el terreno soporte fácilmente la carga de la estructura.

Se utilizará un hormigón armado HA-25 con armadura de acero B400S.

En la siguiente imagen se puede observar un ejemplo de la zapata de hormigón armada.

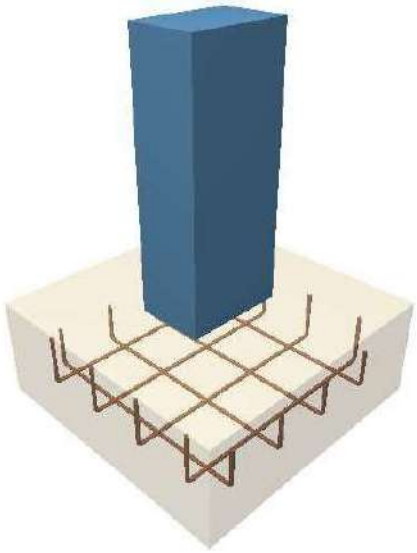


Ilustración 37: Zapata aislada. Fuente: CYPE

3.2.4.2. Disposición de las zapatas

Las zapatas serán colocagas debajo de cada pilar, es decir ocho, y habrá otras cuatro zapatas en el centro que soportan el suelo. En total habrá dieciseis pequeñas zapatas aisladas, todas del mismo tamaño, y posicionadas en forma de cuadrícula (4-4-4-4). Es decir, separadas a 3 metros en una dirección y a 2 en otra.

En la siguiente imagen se puede ver la disposición de las zapatas visto desde la planta.

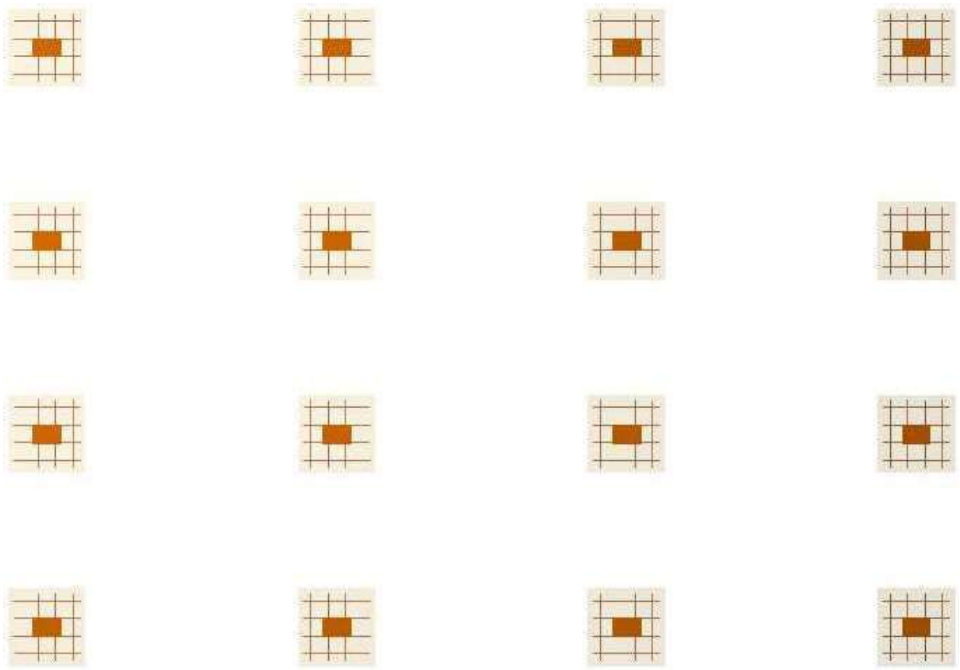


Ilustración 38: Disposición de las zapatas

3.2.4.3. Dimensionamiento de zapatas

Para el dimensionamiento de las zapatas, lo primero que hay que tener en cuenta son las condiciones geotécnicas del lugar.

Como ya se vió en el capitulo 2, el departamento de Quiché y en este caso Chicamán tiene unos terrenos arcillosos. Considerandose una tensión admisible entre 0.15 MPa y 0.125 MPa. Para estar hacia el lado de la seguridad, se tomará paraeste proyecto como tensión admisible del terreno: 0.125MPa (1.25 kg/cm2) y se tomará un valor de 0.29 MPa para situaciónes sísmicas o accidentales.

Por otro lado, como todas las zapatas tienen las mismas dimensiones, para realizar el cáculo basta con coger la más desfavorable y dimesionarlo para ella.

De este modo, los resultados optenidos por CYPE tras el dimensionamiento de las zapatas aparecen en la siguiente tabla:

Referencias	Geometría	Armado
N97, N100, N104, N108, N112, N101, N105, N109, N110, N111, N98 y N99	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 41.5 cm Ancho inicial Y: 40.0 cm Ancho final X: 38.5 cm Ancho final Y: 40.0 cm Ancho zapata X: 80.0 cm Ancho zapata Y: 80.0 cm Canto: 30.0 cm	X: 4 Ø12c/18 Y: 4 Ø12c/18
N106, N107, N102 y N103	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 40.0 cm Ancho inicial Y: 40.0 cm Ancho final X: 40.0 cm Ancho final Y: 40.0 cm Ancho zapata X: 80.0 cm Ancho zapata Y: 80.0 cm Canto: 30.0 cm	X: 4 Ø12c/18 Y: 4 Ø12c/18

A continuación, se muestra las tres vistas de una de las zapatas dimensionadas:

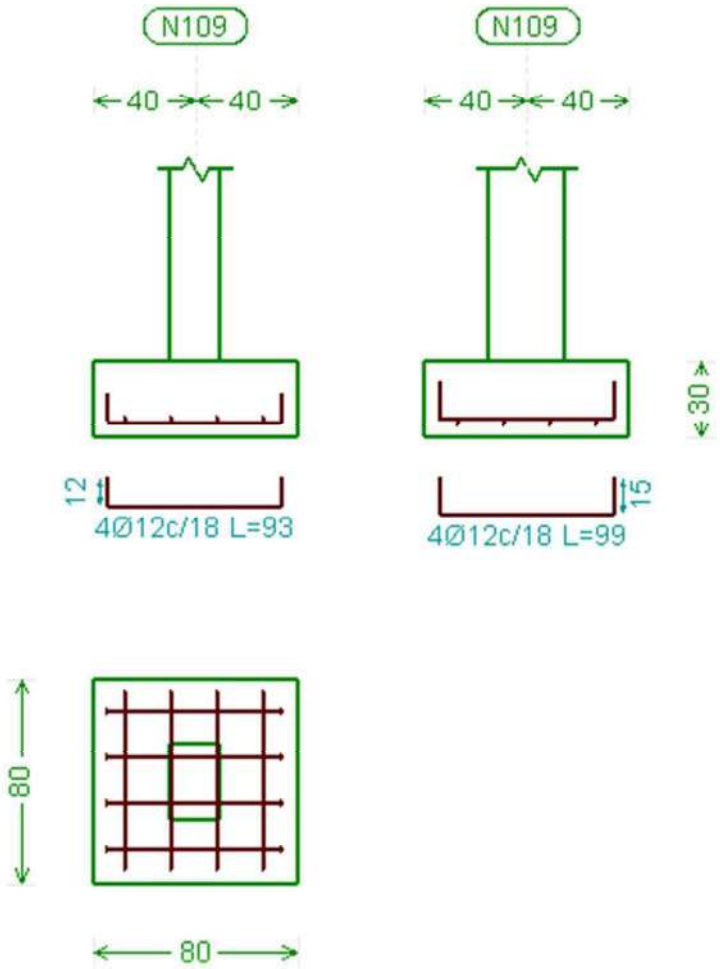


Ilustración 39: Dimensiones de la zapata aisalada

3.2.4.4. Cálculo de la placa de anclaje

La placa de anclaje es un elemento fundamental para conectar la estructura de acero galvanizado con los pilotes de hormigón armado. La placa tiene la función de asegurar el empotramiento del pilar en la cimentación.

En este apartado se dimensiona tanto el espesor, como las medidas del largo y ancho y los tornillos de fijación, de la placa de anclaje. Las dimensiones de la placa vendrán determinadas por las cargas que tiene el pilar y por las condiciones del hormigón de base.

Como todos los pilares tienen las mismas dimensiones, se realizará el cálculo de la placa de anclaje para el pilar que mayor axil soporte. A continuación, se muestran los axiles pésimos de cada barra.

Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (kN)	Vy (kN)	Vz (kN)	Mt (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)		
N1/N2	77.14	0.000	-2.234	-1.116	0.413	0.00	1.03	-2.79	GV	Cumple
N3/N4	93.08	0.000	-4.230	-1.116	1.171	0.00	2.92	-2.79	GV	Cumple
N5/N6	93.46	0.000	-4.462	-1.116	1.173	0.00	2.93	-2.79	GV	Cumple
N7/N8	76.98	0.000	-2.006	-1.117	0.414	0.00	1.04	-2.79	GV	Cumple
N9/N10	97.74	0.000	-10.498	-2.043	0.561	0.00	1.41	-5.11	GV	Cumple
N11/N12	97.68	0.000	-10.499	-2.042	0.559	0.00	1.40	-5.10	GV	Cumple
N13/N14	76.46	0.000	-1.737	-1.114	0.411	0.00	1.03	-2.79	GV	Cumple
N15/N16	99.35	0.000	-10.744	-2.092	0.558	0.00	1.39	-5.23	GV	Cumple
N17/N18	99.29	0.000	-10.742	-2.090	0.556	0.00	1.39	-5.23	GV	Cumple
N19/N20	76.63	0.000	-1.964	-1.113	0.410	0.00	1.02	-2.78	GV	Cumple
N21/N22	92.46	0.000	-3.960	-1.113	1.161	0.00	2.90	-2.78	GV	Cumple
N23/N24	92.85	0.000	-4.192	-1.114	1.163	0.00	2.91	-2.78	GV	Cumple

Por tanto, el mayor esfuerzo axil que soporta un pilar es de:

N_d = 10.744 kN

A continuación, se muestran datos adicionales necesarios para el cáculo de la placa de anclaje:

- Acero Placa S-275:
  - Coeficiente de mayoración acero: $\gamma_s = 1.05$
  - Resistencia de cálculo del acero: $f_{yd} = 26.19$ kN/cm^2
- Hormigón HA-25
  - Coeficiente de mayoración hormigón: $\gamma_c = 1.5$
  - Resistencia de cálculo del hormigón: $f_{yd} = 26.19$ kN/cm^2
- Coeficiente de mayoración de cargas: $\gamma_f = 1.45$
- Vuelo mínimo: 50 mm

- Medidas Pilar: Pilar en C de 8 x3 pulgadas o 20.3 cm x 7.62 cm

En primer lugar, se va a calcular la dimensión mínima de la placa. Para ello se utilizarán dos procedimientos y se escogerá el más restrictivo:

- La placa ha de tener un vuelvo mínimo. Según la norma, este vuelo mínimo ha de ser tres veces el diámetro del tornillo. Como aún no se ha dimensionado el tornillo supondremos un vuelo mínimo de 5 cm y al fnal se comprobará.

  $A \geq 5\ cm + 5\ cm + 20.3\ cm = 30.3\ cm$
  $\mathrm{B} \geq 5\ cm + 5\ cm + 7.62\ cm = 17.62\ cm$

  $\mathrm{A} * \mathrm{B} \geq 534.24\ cm^2$

- $A * B \geq \frac{\gamma_f\ * N_d}{0.85 * f_{cd}}$; $\mathrm{A} * \mathrm{B} \geq 11\ \mathrm{cm}^2$ (menos restrictivo)

Como se ha podido ver, el vuelo mínimo de 5 cm es más restrictivo, por tanto, las dimensiones A y B de la placa de anclaje serán:

A = 31 cm; B = 18 cm;

A continuación, se calcula el espesor mínimo de la placa:

$$e\ \geq \frac{vuelo\ máximo}{2} = \frac{5.35}{2} = 2.1\ cm$$

Por tanto, el espesor de la placa será de **e = 2.1 cm**

Con el espesor obtenido no es necesario poner cartelas.

Una vez dimensionada la placa, se dimensionan los tornillos.

En primer lugar, se calcula el axil que sufre el tornillo:

$$T_d\ \geq \frac{M_d - N_d\ (\frac{D}{2} - \frac{D}{8})}{d - A/8}$$

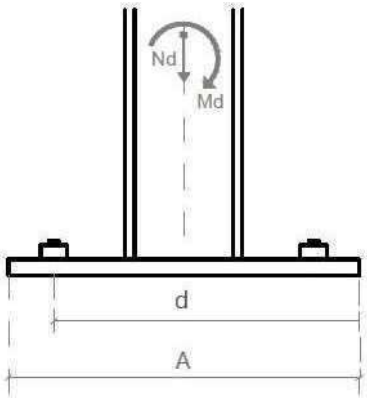


Ilustración 40: Imagen de la placa de anclaje

Siendo "d" la distancia entre le perno y el borde opuesto. La norma dice que como mínimo debe ser dos veces el diámetro del tornillo. Como aún no se ha calculado se tomará **3 cm** como distancia mínima entre el borde de la placa y el perno y después se comprobará. Por tanto:

d = 28 cm

M_d el momento que genera el axil sobre los extremos del pilar. Es decir, la presión que ejerce el pilar sobre la placa.

Se calcula el T_d para las dos direcciones y se dimensionará la más restrictiva:

- Para D = A = 20.3 cm
  M_d = 158.12 kN*cm
  T_d = -0.95 kN
- Para D = B = 7.62 cm
  M_d = 59.35 kN*cm
  T_d = 4.15 kN

Como T_d es mayor para D = B dimensionaremos los tornillos para esa dirección.

A raíz de los esfuerzos calculados (T_d) se halla el área que necesita el perno:

$$A_p = \frac{|T_d|}{f_{yd}} = 13.71\ m$$

Es decir, unos tornillos de diámetro mínimo de: ϕmin = 4.17 mm

Por tanto, se utilizarán **4 tornillos M6**.

Se comprueba que para unos tornillos de diámetro 6 mm supera el vuelo mínimo y la distancia mínima al borde de la placa.

Por último, se comprueba que el hormigón resista tales esfuerzos:

$$n^{\underline{o}}{}_{de\ tornillos} * \frac{(N_d + T_d)}{A * B} \leq 0.85 * f_{cd}$$

$$n^{o}{}_{de\ tornillos} * \frac{(N_d + T_d)}{A * B} \leq 0.85 * f_{cd}$$

$$0.086\ kN/cm^2 \leq 1.42\ kN/cm^2$$

Vemos como el hormigón resiste perfectamente los esfuerzos. De este modo los tornillos quedan perfectamente dimensionados.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las características de la placa de anclaje y de los tornillos de fijación

Tabla resumen Placa de Anclaje		
Placa	Material	Acero S-275
	A	31 cm
	B	18 cm
	e	2,1 cm
Tornillos	Material	Acero S-275
	número	4
	Tipo	M6

Tabla 10: Resumen de las dimensiones de la placa de anclaje

3.2.4.5. Cálculo de pilotes sobre la zapata

A fin de poder levantar la estructura se han puesto 16 pilotes de hormigón armado HA-25. 8 debajo de cada pilar y 4 para soportar el suelo. Estos pilotes están unidos a las zapatas, de manera que son un mismo bloque de hormigón. En la parte superior de los pilotes, se encuentran empotrados los pilares de acero galvanizado gracias a la placa de anclaje.

De este modo la sección de los pilotes de hormigón será rectangular.

Como es lógico, las dimensiones del pilote han de ser un poco mayores que los de la placa de anclaje. En concreto, con 1 cm más por lado es suficiente. Por tanto, una restricción de dimensión mínima que tiene el pilote es la placa de anclaje.

En primer lugar, se va a comprobar si esta dimensión mínima bastaría para soportar toda la estructura. De ser así, no haría falta buscar la dimensión mínima del pilote ya que vendría determinada por el tamaño de la placa de anclaje.

La siguiente expresión indica el área necesaria de la sección del pilar:

$$A \geq \alpha \frac{N_d}{f_{ck}}$$

Siendo α un coeficiente del lado de la seguridad relacionado con la situación del pilar. Para este caso α = 4.6

$$A \geq 43\ cm^2$$

De este modo, se escogerán unos pilotes de hormigón armado HA-25 cuyas dimensiones quedan determinadas por le tamaño de la placa.

Por tanto, los pilotes tendrán una dimensión de **35 cm x 20 cm**, y una altura **de 0.5 m**.

3.2.5. Uniones

Las intersecciones entre elementos en una estructura metálica generan nudos. Para conectar los diferentes elementos que van a parar a un nudo es necesario realizar uniones.

La función principal de las uniones es garantizar el perfecto comportamiento de la estructura según el diseño. Es decir, deben asegurar la conexión entre los elementos y transmitir los esfuerzos de una pieza a otra.

Así pues, las uniones son los elementos más vulnerables de la estructura ya que han de no ser capaces de trasmitir los esfuerzos, una rotura de una unión podría suponer el colapso de la estructura.

Para este tipo de viviendas, de bajo coste en regiones rurales, se ha decidico que las uniones sean completamente atornilladas. De este modo, se evitan la soldadura y por tanto mano de obra cualificada. Además, este tipo de uniones son las más empleadas en estructuras de acero galvanizado.

Estas uniones atornilladas requieren elementos auxiliares metálicos para garantizar la unión. Estos elementos se adaptan a la forma según cada tipo de unión y son capaces de resistir los esfuerzos.

Para ello, se emplearán piezas ya diseñadas y normalizadas que cumplan con los requisitos, tanto de resistencia como de forma, para garantizar la unión. En concreto se va a utilizar el catálogo de piezas para estrcturas de acero galvanizado del proveedor SIMPSON Strong-Tie.

En primer lugar, para el dimensionamiento de las uniones se ha de tener en cuenta los esfuerzos máximos que sufre cada unión. Debido a la gran cantidad de uniones y a que el software CYPE no permite dimensionar este tipo de uniones, con el fin de simplificar los cálculos, se va a dimensionar tomando los esfuerzos máximos de cada tipo de unión.

De este modo, el cortante máximo (mayorado) que sufren las uniones entre las vigas es de 1.649kN, mientras que el axil máximo transmitido a la cimentación es de 10.75 kN.

A continuación, se define cada tipo de unión. La mayoría de uniones se obtienen del catálogo de SIMPSON Strong-Tie, no obstante hay una unión especial que requiere de un diseño concreto. Esta pieza es la que une las placas paredes con las vigas del techo. Por decirlo de alguna manera es el elemento que da modularidad a la vivienda.

3.2.5.1. Unión pilar/cimentación

Esta unión se realiza mediante la placa de anclaje. Debe garantizar el correcto empotramiento del pilar de acero galvanizado en el pilote de hormigón.

Esta placa de anclaje ya ha sido dimensionada en el apartado anterior de cimentaciones.

A continuación, se puede ver una vista del pilar cimentación, con su placa de anclaje y los cuatro tornillos. Hay una vista tanto del alzado como de la planta.

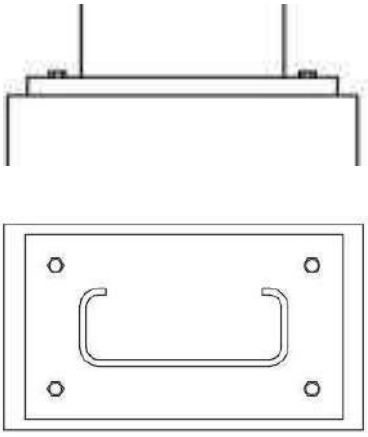


Ilustración 41: Imagen de la placa de anclaje con los tornillos

3.2.5.2. Unión viga/viga

La unión viga/viga engloba cualquier tipo de unión de la estructura entre vigas de acero galvanizado. Esto incluye las uniones entre vigas y viguetas, entre vigas y pilares y entre vigas y vigas.

Para este tipo de uniones se va a utilizar la unión RCA (rigid connector angles) de SIMPSON Strong-tie.

En la siguiente imagen se puede ver el modelo seleccionado y las medidas de la placa (modelo RCA333).

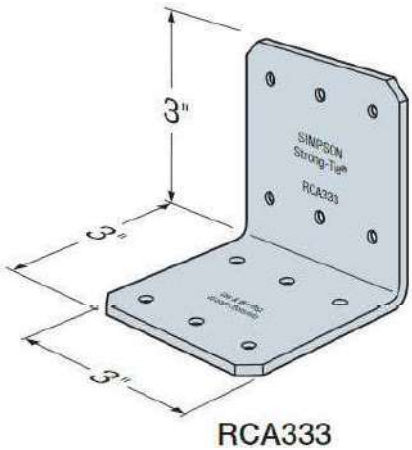


Ilustración 42: Placa RCA333 utilizada en para las uniones. Fuente: SIMPSON Strong Tie

Según el número de tornillos que se le pone a la pieza hay un patrón estandarizado por el proveedor de la colocación de los mismos. En la siguiente imagen se puede observar los diferentes tipos de patrones:

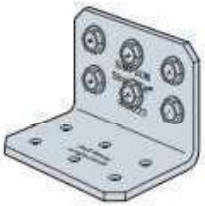
Models	Pattern 1	Pattern 2	Pattern 3
RCA223/54 RCA223/68 RCA223/97 RCA333/54 RCA333/68 RCA333/97			

Ilustración 43: Patrones de colocación de los tornillos. Fuente: SIMPSON Strong-Tie

Como se ha comentado antes, esta unión ha de resistir un cortante de **2.05 kN**. Como el frabricante de uniones es americano y los esfuerzos está calculados en libras, haciendo la conversión apropiada, la placa ha de resistir una fuerza de **461 lb**.

En la siguiente imagen se puede ver los tres sentidos de carga que la placa puede soportar. Se dimensionará de tal forma que en los tres sentidos aguante los 2 kN de cortante.

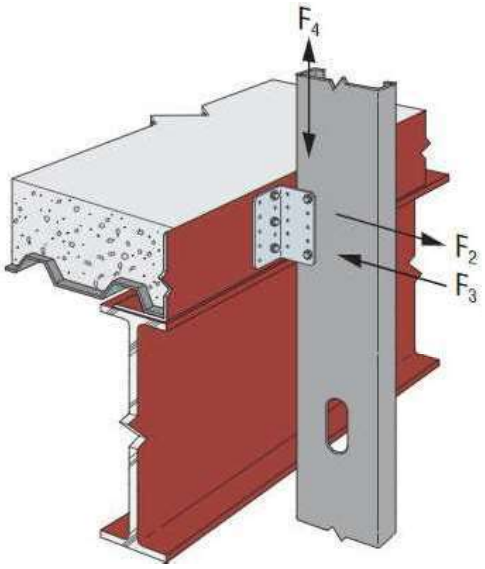


Ilustración 44: Dirección de las fuerzas que sufre la placa: Fuente: SIMPSON Strong-Tie

En la siguiente tabla se ve como el modelo **RCA33/68** con 4 tornillos (patrón 2) resiste hasta 470 lb (2.1 kN) en la dirección más débil (F2). Por tanto es la placa que se va a utilizar para este tipo de uniones.

Model	No. of #10 Screws[5,6]	Screw Pattern	Load Direction	Service Load Limit[11]	Stud Thickness and Yield Strength (lb)								
					33 mil (20 ga.) – 33 ksi			43 mil (18 ga.) – 33 ksi			54 mil (16 ga.) – 50 ksi		
					ASD	LRFD	Nominal	ASD	LRFD	Nominal	ASD	LRFD	Nominal
RCA333/68	3	1	F_2	—	310	470	520	310	470	520	310	470	520
			F_3	—	495	745	1,485	615	1,000	1,995	615	1,000	1,995
			F_4	260	130	190	385	195	295	590	395	590	1,185
	4	2	F_2	—	310	470	520	310	470	520	310	470	520
			F_3	—	660	990	1,980	805	1,305	2,610	805	1,305	2,610
			F_4	865	325	490	975	505	755	1,510	1,005	1,510	3,020
	6	3	F_2	—	310	470	520	310	470	520	310	470	520
			F_3	—	990	1,485	2,970	1,205	1,960	3,915	1,205	1,960	3,915
			F_4	865	430	650	1,295	665	1,000	2,000	1,335	2,000	3,785
RCA333/97	3	1	F_2	—	495	745	1,055	630	945	1,055	630	945	1,055
			F_3	—	495	745	1,485	765	1,150	2,295	1,065	1,730	3,460
			F_4	370	130	190	385	195	295	590	395	590	1,185
	4	2	F_2	—	630	945	1,055	630	945	1,055	630	945	1,055
			F_3	—	660	990	1,980	1,020	1,530	3,060	1,265	2,050	4,105
			F_4	1,230	325	490	975	505	755	1,510	1,005	1,510	3,020
	6	3	F_2	—	630	945	1,055	630	945	1,055	630	945	1,055
			F_3	—	990	1,485	2,970	1,530	2,295	4,590	1,895	3,080	6,155
			F_4	1,230	430	650	1,295	665	1,000	2,000	1,335	2,000	4,005

Tabla 11: Esfuerzos que aguanta la placa RCA333. Fuente: SIMPSON Stron-Tie

Para más información sobre la placa consultar el anexo de uniones donde se encuentra los catálogos de cada pieza.

3.2.5.3. Unión en los nudos de la cercha

Las uniones de la cubierta engloban los nudos que unen los elementos de la cercha y las correas.

Para realizar una correcta unión se utilizará también uniones RCA (rigid connector angles) de SIMPSON Strong-tie. Sin embargo, es necesario aumentar las dimensiones de la placa ya que abarca más elementos.

El modelo seleccionado es el RCA227. En la siguiente imagen se puede ver las dimensiones del modelo de placa seleccionado.

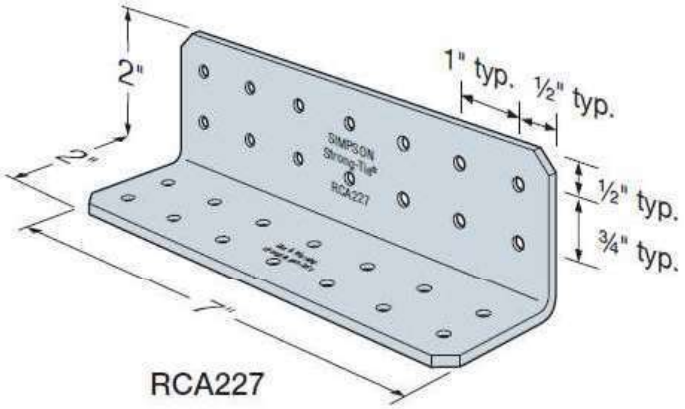


Ilustración 45: Placa RCA227 utilizada en para las uniones. Fuente: SIMPSON Strong Tie

Esta modelo de placa consta de 20 agujeros para atornillar y el frabricante propone los siguientes patrones. Según el patrón escogido los esfuerzos que puede sufrir la placa son diferentes.

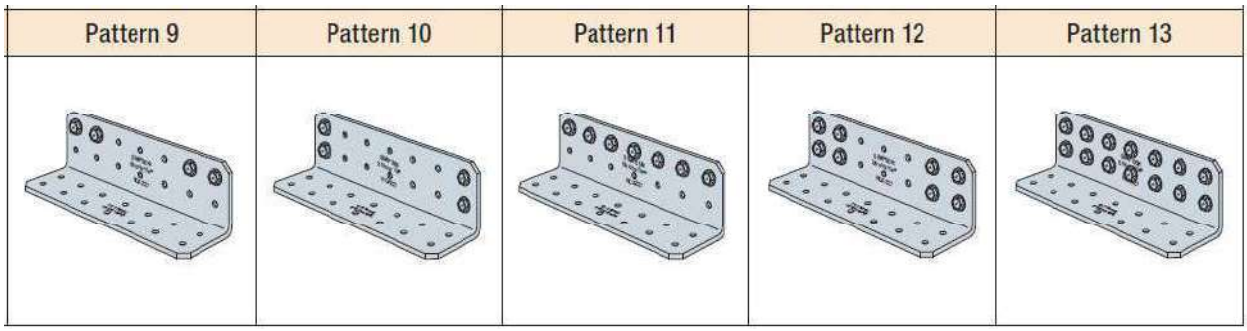


Ilustración 46: Patrones de colocación de los tornillos. Fuente: SIMPSON Strong-Tie

Se dimensionará de la misma forma que las placas del apartado anterior. La unión ha de resistir un cortante de 2.05 kN (461 lb).

En la siguiente tabla se observan los diferentes modelos y la resistencia que soporta cada uno de ellos. Como la placa tiene mayores dimensiones que la anterior se puede ver como resiste más en todas las direcciones.

El modelo seleccionado es el **RCA 227/97**. La dirección que más sufre es capaz de resistir 890 lb (3.96 kN), por tanto, cumple con creces los niveles mínimos de resistencia. Este modelo cuenta con cuatro tornillos con el patrón 10 descrito previamente.

Model	No. of #10 Screws[5,6]	Screw Pattern	Load Direction	Service Load Limit[11]	Stud Thickness and Yield Strength								
					33 mil (20 ga.) – 33 ksi			43 mil (18 ga.) – 33 ksi			54 mil (16 ga.) – 50 ksi		
					ASD	LRFD	Nominal	ASD	LRFD	Nominal	ASD	LRFD	Nominal
RCA227/97	4	9	F_2	—	660	990	1,980	1,020	1,530	2,455	1,470	2,210	2,455
			F_3	—	660	990	1,980	1,020	1,530	3,060	1,890	3,060	6,120
			F_4	1,435	545	815	1,630	840	1,260	2,515	1,675	2,515	5,030
	4	10	F_2	—	660	990	1,980	1,020	1,530	2,455	1,470	2,210	2,455
			F_3	—	660	990	1,980	1,020	1,530	3,060	1,265	2,050	4,105
			F_4	2,875	595	890	1,785	920	1,380	2,760	1,840	2,760	5,515
	7	11	F_2	—	1,155	1,735	2,455	1,470	2,210	2,455	1,470	2,210	2,455
			F_3	—	1,155	1,735	3,465	1,785	2,680	5,355	3,080	5,010	10015
			F_4	1,265	765	1,150	2,300	1,185	1,780	3,560	2,370	3,560	7,115
	8	12	F_2	—	1,320	1,980	2,455	1,470	2,210	2,455	1,470	2,210	2,455
			F_3	—	1,320	1,980	3,960	2,040	3,060	6,120	2,525	4,105	8,210
			F_4	2,875	1,120	1,680	3,360	1,730	2,595	5,190	3,460	5,190	10385
	14	13	F_2	—	1,470	2,210	2,455	1,470	2,210	2,455	1,470	2,210	2,455
			F_3	—	2,310	3,465	6,930	3,570	5,355	10710	4,420	7,180	14365
			F_4	2,875	1,685	2,530	5,055	2,605	3,905	7,815	4,490	6,915	12570

Ilustración 47: Esfuerzos que aguanta la placa RCA227. Fuente: SIMPSON Stron-Tie

Para más información sobre la placa consultar el anexo de uniones donde se encuentra los catálogos de cada pieza.

3.2.5.4. Unión panel/viga techo

La unión entre las vigas del techo y los paneles que forman las paredes es fundamental. Es uno de los elementos más importantes de la casa, ya que es la que permite que las paredes seán modulares, uno de los conceptos principales de la vivienda.

El diseño de la unión tiene que ser sencillo, que aseguré la fijación de los paneles, pero que se pueda quitar y poner fácil y rápidamente.

La idea es que las paredes se puedan colgar del techo y que según las necesidades de la vivienda se pueda poner o quitar paneles.

De este modo, se trata de crear un sistema que enganche el panel en los perfiles del techo, cuya forma es de C. Como el panel es mucho más pequeño que el hueco de la viga, hace falta un elemento que lo ajuste.

El concepto inicial de unión era el que se puede ver en la imagen, una especie de tornillo que atravesaba la viga y apretaba el panel.

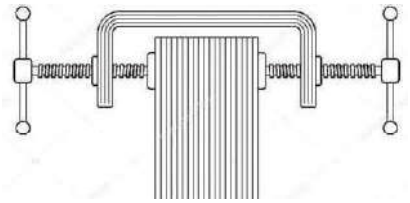


Ilustración 48: Diseño de un sistema de unión a través de apriete

Esta idea teniene el inconveniente de que no se aprieta bien el panel, puede caerse. Finalmente se encontró un sistema seguro y flexible. El diseño de una pieza que se atornille por un lado a la viga y por el otro con al panel.

Por cada panel se utilizará dos piezas como estas, una a cada extremo del panel.

En la siguiente imagen se puede ver un boceto 3D de la pieza.

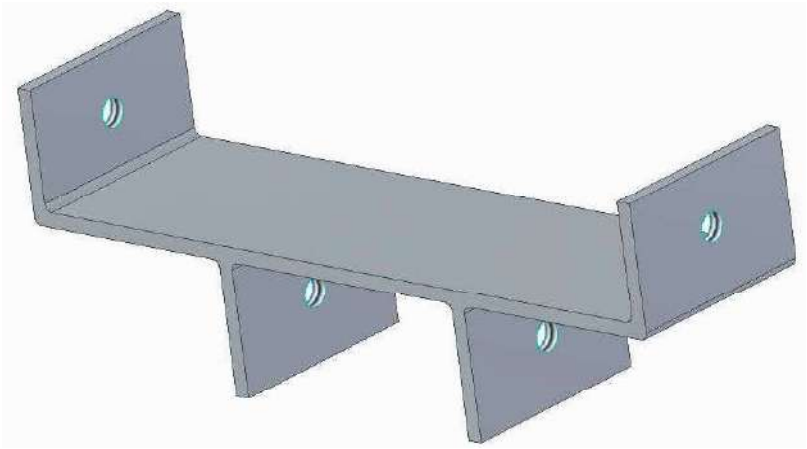


Ilustración 49: Pieza diseñada para la unión de las placas el techo

La parte de arriba se engancha al techo y la de abajo al panel. La pieza tiene dos agujeros roscados arriba y y dos abajo para poder pasar un tornillo y de esta forma atornillarse a los elementos (panel y viga).

El espesor de la pieza es de 5 mm y se utilizará un acero S-250. En cuanto a las dimensiones, en la siguiente imagen se pueden ver:

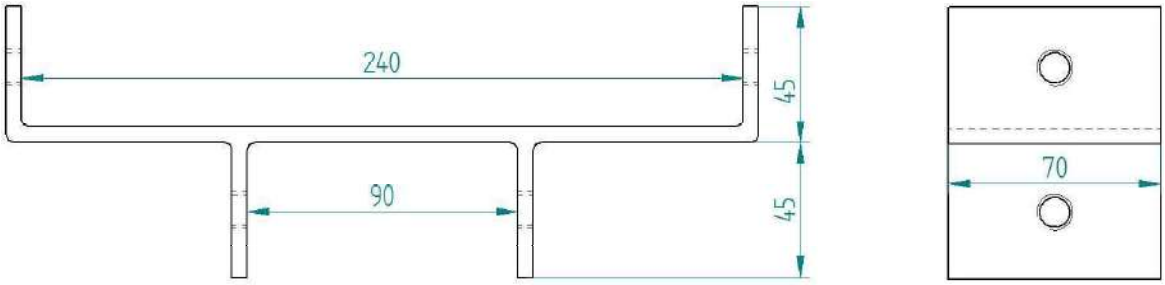


Ilustración 50: Dimensiones de la pieza diseñada

Para el diseño de la pieza se ha utilizado el software Solid Edge y para el cálculo estructural de la pieza se ha utilizado el software de elementos finitos Ansys.

3.2.5.4.1. Ensayo y resultados de Ansys

Para el diseño estructural de la pieza y comprobar que la pieza aguanta los esfuerzos requeridos se ha utilizado el programa ANSYS.

La pieza ha de soportar los esfuerzos provocados por la placa, es decir 125 N/m^2. Si este esrfuerzo se considera como carga puntual habrá que multiplicarlo por los 2.5 m de alto y por los 3 m de ancho en el caso más desfavorable. Por tanto sería una carga puntual de 937.5 N. Si embargo, por cada panel se le colocan dos piezas. Es decir, que cada pieza ha de soportar la mitad del esfuerzo, 468.75 N.

Finalmente, en ANSYS se ha sometido la pieza a dos fuerzas hacia abajo en los dos agujeros rocados inferiores, y los de arriba se han dejado emportados. En la siguiente imagen se puede ver la disposición de las fuerzas.

A continuación, se puede ver unas imágenes con las tensiones sufridas por la pieza y la deformada. El criterio de tresca utilizado para el cálculo es el de von-Mises. Se puede comprobar como la tensión máxima sufrida es de 45.78 MPa, muy inferior a los al límite elástico empleado para esta pieza (250 MPa).

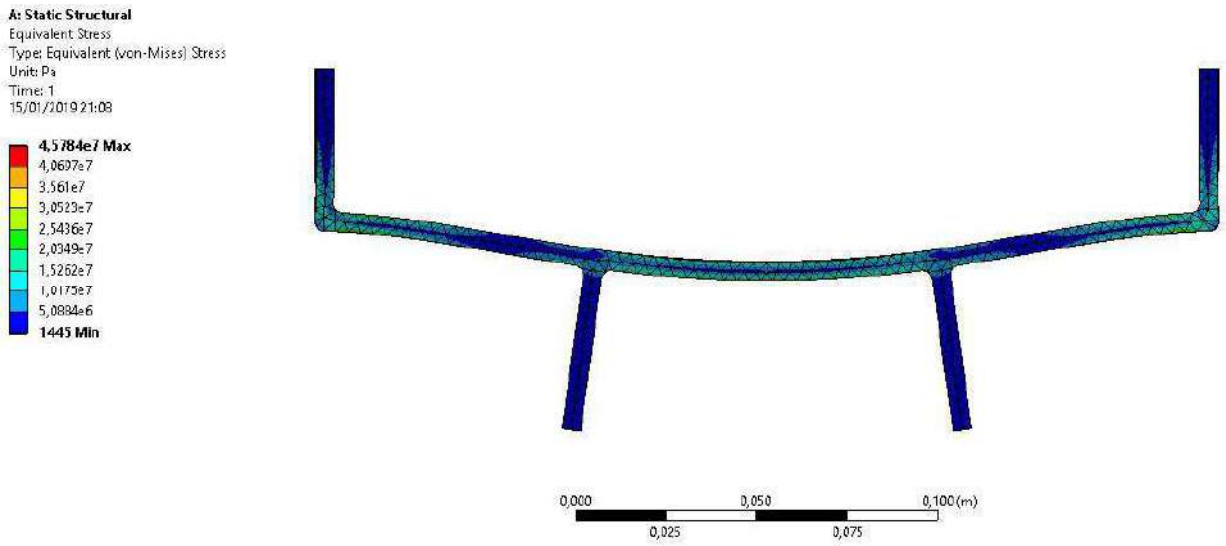


Ilustración 51: Tensiones y deformada de la pieza calculado en ANSYS

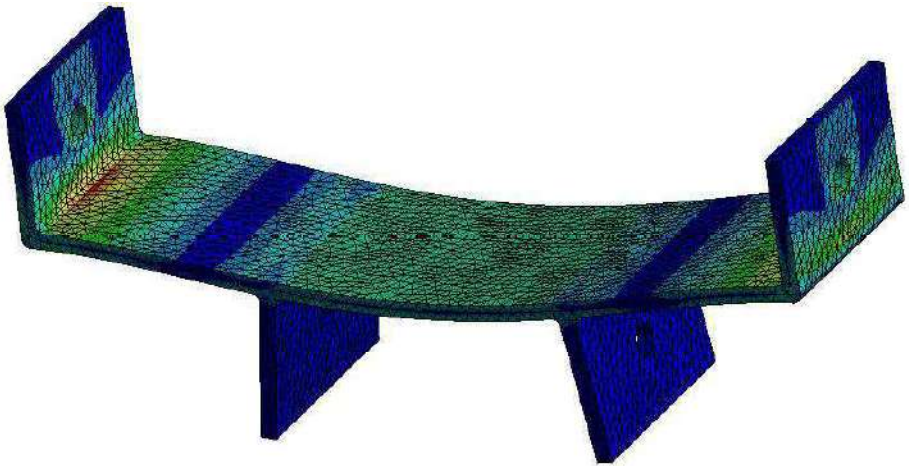


Ilustración 52: Deformada y mapa de tensiones calculado con ANSYS

Por tanto, se puede concluir que la pieza queda diseñada correctamente.

3.3. Depósito de captación de agua de lluvias

El sistema de recogida y depuración de agua a través de la cubierta es un elemento fundamental de la vivienda. El objetivo es recoger el agua por la cubierta y llevarla a través de un canalón a un depósito. En la entrada al depósito habrá un filtro para evitar que entren hojas, ramas, insectos o cualquier otra cosa que pueda contaminar el agua, y luego dentro del depósito se le hará un tratamiento sencillo de depuración.

El diseño del sistema incluye tres etapas:

- Dimensionamiento del depósito, es decir, el volumen del deposito necesario para abastecer a las personas de la vivienda.
- Tratamiento de algua. Con un filtro previo al deposito y un posterior tratamiento que consistirá en una cloración.
- Materiales y alternativas. En esta etapa se decide el material del depósito y que alternativas hay.

3.3.1. Dimensionamiento del depósito

A fin de poder realizar el dimensionamiento del depósito, en primer lugar, es necesario hacer un estudio de las aportaciones de agua al depósito y de la demanda que va a haber en la vivienda.

Para ello se ha obtener tanto los datos pluviométricos de Chicamán, como realizar un estudio de los hábitos y las necesidades de agua de la población e intentar mejorarlos.

3.3.1.1. Aportaciones

Para el cáculo de las aportaciones al depósito se ha de tener en cuenta por un lado los datos pluviométricos y por el otro el tamaño de superficie para la captación del agua.

Los datos pluviométricos son los ya expuestos en la memoria descriptiva. Datos procedentes de tres estaciones meteorológicas de Chicamán durante 2016.

La superficie máxima de captación de agua es el tamaño de la cubierta visto desde la planta. Esta cuenta con 70 m^2 para la recogida de agua.

A continuación, en la siguiente tabla se muestran la precipitación en milímetros de Chicamán y las aportaciones que con una cubierta de 70 m^2 hay.

Generalmente se establece que un milímetro de lluvia caída equivale a un litro de agua por metro cuadrado.

Año	Mes	Precipitación (mm)	Aportación (m^3)
2016	Enero	23,2	1,624
2016	Febrero	64,7	4,529
2016	Marzo	16,5	1,155
2016	Abril	46,7	3,269
2016	Mayo	56,4	3,948
2016	Junio	319,9	22,393
2016	Julio	137,9	9,653
2016	Agosto	228,2	15,974
2016	Septiembre	294,6	20,622
2016	Octubre	998	69,86
2016	Noviembre	76	5,32
2016	Diciembre	61	4,27

Tabla 12: Precipitaciones y aportaciones de agua al depósito

No obstante, para tener un calculo más realista se toma un coeficiente de escorrentía de 0.9. Esto quiere decir que no se aprovecha el cien por cien del agua que circula por la superficie de la corriente debido a diversos factores: Evaporación, evapotranspiración, almacenamiento, etcétera.

3.3.1.2. Demanda

Para entender la demanda en primer lugar hay que entender el contexto de la región. En los poblados rurales de Chicamán apenas tienen agua y la que tienen esta contaminada en su mayoría. La cantidad de agua media que consume una persona en un día es de alrededor a los 6 litros.

El objetivo de este proyecto es que el sistema de almacenamiento de agua sea capaz de aportar, en los meses de mayor sequía, al menos 15 litros de agua diarios por persona, adicionales a los que ya consumen.

Esto es, estimando que en la vivienda viven 8 personas, habría una demanda de 120 litros al día por vivienda, es decir, 3,600 litros al mes o lo que es lo mismo 3.6 m^3.

Para asegurar esta demanda el añadimos un coeficiente de mayoración hasta redondearla a 4 m^3 mesuales por vivienda.

En la siguiente tabla se ve un resumen de la demanda.

Demanda de agua	
Demanda diaria por persona	15 litros/día/persona
nº personas por vivienda	8 personas
Demanda diaria por vivienda	120 litros/día/vivienda
Demanda mensual por vivienda	3600 litros/mes/vivienda
Demanda mensual por vivienda	3,6 m^3/mes/vivienda
Demanda mensual mayorada	4 m^3/mes/vivienda

Tabla 13: Resumen de la demanda de agua

3.3.1.3. Tamaño del depósito

Se ha podido ver por los datos proporcionados en los dos apartados anteriores como en la época de lluvías hay excendente de agua. Llueve mucho más que la cantidad de agua que se demanda. Y en los meses de sequía pasa lo contrario, no tienen apenas auga. Lo que se busca con este proyecto es que los meses que sobre agua se pueda almacenar en el depósito para los meses que no tengan agua.

El cáculo del tamaño del depósito se ha realizado de tal manera que en ningún mes del año, en especial los de sequía, teniendo en cuenta las aportaciones de lluvia y la demanda de cada mes, el nivel del agua del depósito sea menor de 2.5 m^3 (2500 litros).

Tras muchas iteraciones, se ha llegado a un tamaño óptimo de depósito de **10 m^3 (10 litros)**. Con estas dimensiones se obtendrían los resultados que se muestran en la siguiente tabla. En la última columna se puede ver el volumen de agua que hay en el depósito en cada mes.

Para que se vea de forma más clara se ha considerado que el depósito empiece a funcionar en enero 2019. Como es lógico, el depósito empieza vacio y además, coincide con los meses de sequía. Es por ello que se ha esperado dos años para que se estabilice el volumen real de agua que habría en el depósito.

Año	Mes	Aportanción efectiva	Demanda	Volumen de Agua en el depósito (m^3)
2019	Enero	1,46 m^3	4 m^3	0,00
2019	Febrero	4,08 m^3	4 m^3	0,08
2019	Marzo	1,04 m^3	4 m^3	0,00
2019	Abril	2,94 m^3	4 m^3	0,00
2019	Mayo	3,55 m^3	4 m^3	0,00
2019	Junio	20,15 m^3	4 m^3	10,00
2019	Julio	8,69 m^3	4 m^3	10,00
2019	Agosto	14,38 m^3	4 m^3	10,00
2019	Septiembre	18,56 m^3	4 m^3	10,00
2019	Octubre	62,87 m^3	4 m^3	10,00
2019	Noviembre	4,79 m^3	4 m^3	10,00
2019	Diciembre	3,84 m^3	4 m^3	9,84

2020	Enero	1,46 m^3	4 m^3	7,30
2020	Febrero	4,08 m^3	4 m^3	7,38
2020	Marzo	1,04 m^3	4 m^3	4,42
2020	Abril	2,94 m^3	4 m^3	3,36
2020	Mayo	3,55 m^3	4 m^3	2,92
2020	Junio	20,15 m^3	4 m^3	10,00
2020	Julio	8,69 m^3	4 m^3	10,00
2020	Agosto	14,38 m^3	4 m^3	10,00
2020	Septiembre	18,56 m^3	4 m^3	10,00
2020	Octubre	62,87 m^3	4 m^3	10,00
2020	Noviembre	4,79 m^3	4 m^3	10,00
2020	Diciembre	3,84 m^3	4 m^3	9,84

Tabla 14: Volumen de agua en el depósito por mes

Como se puede observar en la tabla, mayo es el mes con menor cantidad de agua en el depósito. A pesar de ello y tras cubrir la demanda del mes el depósito tendría 2.92 m^3 extras (2,920 litros).

Por tanto, el depósito queda dimensionado para un tamaño de 10 m^3 o 10,000 litros.

3.3.2. Tratamiento de depuración

El tratamiento de depuración seleccionado es un filtrado a la entrada del depósito y una posterior cloración. Este tratamiento, es muy barato, efectivo y de fácil mantenimiento.

La etapa de filtración será un simple tamiz a la entrada del depósito para evitar que entren ramas, hojas, insectos o cualquier otro elemento que pueda contaminar el agua. Cada cierto tiempo será necesario limpiar el filtro para que no obstruya la entrada al depósito.

La cloración es empleada para la desinfección y para garantizar la inocuidad del agua. Su utilización es obligatoria en cualquier sistema de abastecimiento de agua para comsumo humano.

Previamente, es importante tener un estudio de la calidad actual del agua para saber cuales son las cantidades óptimas de cloro necesarias para desinfectar el agua.

Actualmente, se realizan medidas mensuales de coliformes, en la aldea de Belejú (Chicamán), para ver la calidad del agua que hay los tanques del poblado. En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos un día cualquiera en tres tanques del poblado. Además, se muestran las especificaciones necesarias para que el agua sea considerada potable.

Análisis Microbiológico de Agua		
Análisis	Agua de la muestra	Agua potable
Recuento aeróbico total	Menor de 1 UFC / 100 ml	Menor de 500 UFC / ml
Coliformes totales	39 UFC / 100 ml	Menor de 1 UFC / 100 ml
Coliformes fecales	Menor de 1 UFC / 100 ml	Menor de 1 UFC / 100 ml
Escherichia coli	Nula	Nula

Tabla 15: Análisis del microbiológico del agua recogida de lluvia: Fuente [GON17]

Por tanto, es necesario añadir cloro al agua para que cumpla con los niveles mínimos. El cloro se puede encontrar en formas diferentes: Cloro gas, Hipoclorito de sodio (líquido) e hipoclorito de calcio (sólido).

En este proyecto se va a utilizar pastillas de hipoclorito de calcio para que se disuelva en el agua. Es una forma muy sencilla de desinfectar, ya que simplemente cada cierto tiempo se ha de echar una pastilla en el tanque de agua.

Además, hay que tener en cuenta que las pastillas de hipocloruto sólido tienen un porcentaje de un 70 % de cloro activo.

El tiempo de cloración mínima del agua, para que se eliminen las bacterias presentes es de 30 minutos.

El cálculo de gramos necesarios de hipoclorito de calcio se calcula con la siguiente expresión:

$$P = \frac{V\ x\ D}{(\%\ hipoclorito\ de\ calcio) x\ 10}$$

Donde:

P = gramos de hipolorito necesarios en el tanque cada 15 días

D = Concentración de cloro calcio en el agua. 1.2 mg/l

% hipoclorito de calcio = porcentaje de cloro activo en el hipoclorito de calcio. 70 %

10 = Factor corversor para que el resultado sea en gramos

V = Volumen de agua a desinfectar. Este volumen es por tanto el volumen de agua que va entrando al depósito. Este dato se va a aproximar con la cantidad de agua demandada por la vivienda durante 15 días.

$$V = Q * t$$

Siendo

Q = El caudal de agua demandado (litros por segundo).

Teniendo en cuenta que son 8 personas por cada vivienda, que se consume 15 litros al día y considerando unas pérdidas físicas de un 20 %.

$$Q = nº\ personas\ \frac{consumo\ diario\ de\ agua}{(1 - \%\ PF)x\ 86400\ segundos/día} = 0.0017\ l/s$$

t = La frecuencia con la que se va a añadir las pastillas de hipoclorito, 15 días (en segundo)

$$V = Q * t = 2{,}100\ litros\ en\ 15\ días$$

Finalmente se tiene que los gramos de hipocloruto de calcio que hay que echar es:

$$P = 3.6\ gramos\ de\ hipoclorito\ de\ calcio$$

Hay que añadir cada 15 días al depósito de agua una pastilla de 3.6 gramos de hipoclorito de calcio al 70 %

3.3.3. Materiales y alternativas

En cuanto al los materiales, existen principalmente dos alternativas. Por un lado, un deposito de hormigón armado y por el otro un depósito de polietileno. Para este proyecto se ha escogido un deposito de polietileno debido al menor precio, a su flexibilidad y a que no hace falta realizar una obra.

Además, la mayoría de los fabricantes incluyen una bomba manual de agua y un filtro.

En la siguiente imagen se ve un ejemplo de como podría ser el depósito.

Ilustración 53: Depósito de agua de 10,000 litros

3.4. Sistema de saneamiento

El sistema de saneamiento es otro elemento fundamental de la vivienda. Este sistema tiene una serie de objetivos con el fin de mejorar las condiciones de vida de las personas. Los objetivos son:

- Una mejora de la higiene de las personas que viven la vivienda. Evitando posibles enfermedades.
- Proteger la naturaleza evitando la contaminación del suelo. Contaminación que repercute en las aguas de los ríos y manantiales, en la vegetación y en la agricultura, siendo esta la principal fuente de ingresos.
- Tratar las heces y la horina transformandola en abono y fertilizante.
- Transformar los residuos en posible fuente de ingresos, sea por la venta de compost o evitar la compra de abono.
- Fomentar la plantación de arboles, plantas y huertos y así además concienciar a la población sobre el grave problema de la deforestación.

Así pues, el sistema que se utilizará en la vivienda es una letrina abonera (alcalina) seca familiar (LASF). Este sistema es una alternativa muy buena para proyectos de este ámbito, cooperación en países en vías de desarrollo.

3.4.1. Dimensionamiento de la letrina abonera

Este sistema consta de dos cámaras impermeables para las heces y un recipiente para la orina. Al final del proceso, y tras su correcta utilización se puede obtener abono orgánico relativamente inocuo.

Se utilizan dos cámaras, para que mientras una esta en reposo en periodo de desintegración la otra se este utilizando para almacenar las heces hasta que se llene. De este modo se van intercambiando.

En la siguiente imagen se puede observar un esquema de la letrina abonera. Con las dos cámaras, la caseta, los tubos de ventilación, etcétera.

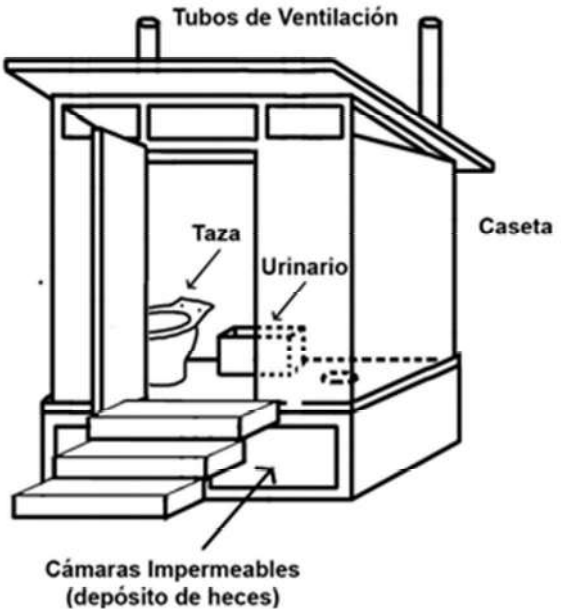


Ilustración 54: Dibujo letrina abonera. Fuente: [GON17]

Hay que tener en cuenta que para que el sistema funcione con éxito y salga un abono rico en nutrientes es necesario un periodo de degradación de seis meses.

Por tanto, el dimensionamiento de las cámaras está hecho de tal forma que una familia de 8 o 10 personas la llene a lo largo de 6 meses. Este dimensionamiento se ha estandarizado de acuerdo con diferentes experiencias realizadas por otros proyectos en la zona.

De este modo se calcula la capacidad de las cámaras a razón de 75 litros/persona/año. Es decir, tras un periodo de 6 meses, el volumen de cada una de las cámaras será de:

$$V_C = \frac{M\ x\ N}{1000}$$

Siendo:

V_C = volumen de la cámara fecal (m^3 / 6 meses)

M = flujo fecal (75 l/pers/año)

N = número de personas que utilizan la letrina (10 personas)

$$\boldsymbol{V_C} = \frac{75\frac{l}{persona\ x\ año}\ x\ 10\ personas\ x\ \frac{1\ año}{2\ x\ 6\ meses}}{1000\ \ l/m^3} = \mathbf{0.375\ m^3} cada\ 6\ meses$$

Por tanto, cada cámara tendrá un volumen de **0.375 m³** y unas dimensiones de **0.75m** de ancho x **0.5 m** de largo y una altura de **1 m**.

Además, cada cámara tendrá una compuerta de madera para extraer el abono tras los seis meses de reposo.

3.4.2. Elementos

El sistema de letrinas aboneras tiene una serie de elementos: Cámara, losa, escaleras de acceso, caseta y “retrete”.

- Cámaras: Como ya se ha comentado las cámaras tiene un volumen de 0.375 m^3 y unas dimensiones de 0.75 x 0.5 x 1 m. El material de la cámara es generalmente de bloques de ladrillo cemnto y se aisla e impermeabiliza para que no tenga contacto con el exterior. Ademas, cada cámara tendrá una compuerta de madera para extraer el abono tras los seis meses de reposo.
- Losa: generalmente de hormigónarmado, dejándose unos agujeros para las cámaras.
- Escaleras de aceso a las letrinas. Pueden ser de madera, adobes, bloques de hormigó, etcétera. Para este proyecto se opta por el adobe debido a sus bajos costes.
- Retrete. Pieza ligera generalmente de madera.
- Caseta. Lo más recomendrable y barato es aprovechar los materiales existentes y sobrantes en la comunidad. Madera o bloques de cemento principalmente. La cubierta del techo será de metálica. Además, tendrá unos tubos de ventilación.

Capítulo 4. Bibliografía

4.1. Referencias

[PNUD18] Programa de las naciones unidas para el desarrollo. Articulo: *"La pobreza, reflejo de la exclusión y la inequidad"*. Guatemala 2018

[UNISDR] Julio García (UNISDR) y Víctor Ramírez (CEPREDENAC). "*Informe sobre la gestión integral del riego de desastres en Guatemala 2013".* Guatemala, diciembre 2013.

[CONRED] Coordinadora Nacional para La Reducción de Desastres. Ciudad de Guatemala.

[MAGA01] Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. *"Mapa Fisiográfico-Geomorfológico de la República de Guatemala"*. Guatemala, junio del 2001.

[GON18] Carla González González, *"Mejora de Abastecimiento y Propuesta de Saneamiento en Viviendas Unifamiliares en la Aldea de Belejú, Chicamán, Guatemala"*. Proyecto fin de grado, Universidad Politécnica de Madrid. Julio 2018.

[QUICH13] Rubén Narciso, Marvin Reyes, Patricia Hernández y Sucely Donis, *"Caracterización departamental Quiché 2013"*. Gobierno de Guatemala y el Instituto Nacional de Estadística (INE). Guatemala, diciembre 2014.

[RGAC11] Gustavo Barrantes Castillo, Omar Barrantes Sotela, Oscar Núñez Román; *"Efectividad de la metodología mora-vahrson modificada en el caso de los deslizamientos provocados por el terremoto de cinchona, costa rica".* Revista Geográfica de América Central, volumen 2, número 47. Universidad Nacional Heredia, Costa Rica, julio-diciembre 2011.

[INSVMH] Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

[INECO] INECO, "Proyecto de trazado. Autovía A-49, del V. Cementerio. Vía de Servicio. Anexo 4. Climatología e hidrología". Ministerio de Fomento. 2017.

[FRAN15] Gabriela María Franco Rossal, "Elaboración de un mapa de clasificación climática para Guatemala". Tesis de grado, Universidad Rafael Landivar. Guatemala de la Asunción, noviembre de 2015.

[CAST14] Julio Castresana Pardo, "*Diseño estructural y construcción de un refugio de montaña*". Proyecto de fin de carrera, Universidad Pontificia de Comillas, ICAI. Madrid, Mayo 2014.

[FER14] Marta Irene Feria Cerrada, "Diseño estructural de un refugio de montaña bioclimático". Proyecto de fin de carrera, Universidad Pontificia de Comillas, ICAI. Madrid, Julio 2014.

[MUG16] Entique de Muguerza Peña, *"Cálculo estructural y certificación energética destiano a pabellón deportivo"*. Trabajo de fin de máster, Universidad Pontificia de Comillas, ICAI. Madrid, junio 2016.

[CUE16] Héctor Cuenca García, "*Proyecto de Estructura y certificación energética de edificio destinado a capilla"*. Trabajo fin de máster, Universidad Pontificia de Comillas, ICAI. Madrid, junio 2016.

ANEXOS A LA MEMORIA

Anexo 1. Cálculos estructurales

1.1. Cálculos de la estructura metálica

En este capítulo se expone los cálculos de la estructura metálica de la vivienda realizados por el software CYPE. Estos cálculos están realizados conforme a la normativa española CTE para aceros.

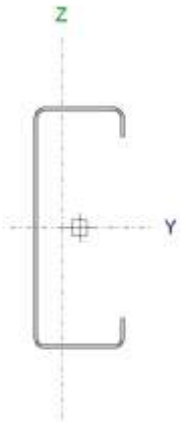
Se dimensiona todos los elementos estructurales de la vivienda ya descritos en el capítulo anterior. Es decir, los pilares, las vigas y viguetas tanto del techo como del suelo, la cubierta, y finalmente la cimentación de las zapatas.

Para las comprobaciones del dimensionamiento se escogerá siempre el perfil más desfavorable.

1.1.1. Pilares

1.1.1.1. Pilares Centrales

Perfil: 8 x 3 GH4
Material: Acero galvanizado



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	y_g(3) (mm)	z_g(3) (mm)
N15	N16	2.500	12.17	755.58	94.15	0.42	-14.63	0.00

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme
(3) Coordenadas del centro de gravedad

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	0.70	0.70	0.00	0.00
L_K	1.750	1.750	0.000	0.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Relación anchura / espesor (CTE DB SE-A, Tabla 5.5 y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

h / t : ***57.8*** ✓

b / t : ***18.1*** ✓

c / t : ***5.1*** ✓

Los rigidizadores proporcionan suficiente rigidez, ya que se cumple:

c / b : *0.280*

Donde:

h: Altura del alma. **h** : *184.80* mm
b: Ancho de las alas. **b** : *57.80* mm
c: Altura de los rigidizadores. **c** : *16.20* mm
t: Espesor. **t** : *3.20* mm

Nota: Las dimensiones no incluyen el acuerdo entre elementos.

imitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas no puede ser mayor que 2.0.

$\bar{\lambda}$: ***0.80*** ✓

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra. — A_{eff} : *9.60* cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_{yb} : *420.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo mínimo. — N_{cr} : *637.21* kN

El axil crítico elástico de pandeo **N_{cr}** se calcula según los apartados a) y b):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: *637.21* kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$N_{cr,FT}$: *5113.54* kN

Donde:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: *5113.54* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. — I_y : *755.58* cm4

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. — I_z : *94.15* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. — I_t : *0.42* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. — I_w : *8041.21* cm6

E: Módulo de elasticidad. — **E** : *210000.00* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. — **G** : *81000.00* MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. — L_{ky} : *1.750* m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. — L_{kz} : *1.750* m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. — L_{kt} : *0.000* m

β: Constante adimensional, obtenida mediante la siguiente expresión:

β : *0.69*

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_o : *10.09* cm

Siendo:

i_y, i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : *7.88* cm

i_z : *2.78* cm

y_o, z_o: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_o : *-5.66* cm

z_o : *0.00* cm

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.2)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.3)

Se debe satisfacer:

η : ***0.029*** ✓

η : ***0.039*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V5.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: *10.94* kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd}$: *383.82* kN

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra.

A_{eff} : *9.60* cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_{yb} : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo. (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd}$: *279.18* kN

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra. — A_{eff} : *9.60* cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_{yb} : *420.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M1} : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo. — χ : *0.73*

El coeficiente de reducción por pandeo es el menor de los coeficientes de reducción calculados:

χ_z : *0.73*

χ_{FT} : *0.97*

Siendo:

ϕ_z : *0.92*

ϕ_{FT} : *0.55*

α: Coeficiente de imperfección elástica. — α_z : *0.34*

α_{FT} : *0.34*

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_z$: *0.80*

$\bar{\lambda}_{FT}$: *0.28*

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z. — $N_{cr,z}$: *637.21* kN

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión. — $N_{cr,FT}$: *5113.54* kN

Resistencia a flexión. Eje Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : ***0.06*** / ***1*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones: 0.8·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V1(presión)+1.5·V1(succión).

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{y,Ed}^{+}$: *1.69* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles-0.3·SX-SY.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{y,Ed}^{-}$: *0.47* kN·m

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$M_{c,Rd}$: *27.56* kN·m

Donde:

W_{eff}: Módulo resistente eficaz correspondiente a la fibra de mayor tensión. W_{eff} : *68.90* cm³

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_{yb} : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : ***0.767*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+SX+0.3·SY.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{z,Ed}^{+}$: *1.13* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones:
1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{z,Ed}^{-}$: 5.14 kN·m

La resistencia de cálculo a flexión **$M_{c,Rd}$** viene dada por:

$M_{c,Rd}^{+}$: 6.29 kN·m

$M_{c,Rd}^{-}$: 6.70 kN·m

Donde:

W_{eff}: Módulo resistente eficaz correspondiente a la fibra de mayor tensión. W_{eff}^{+} : 15.73 cm³ W_{eff}^{-} : 16.76 cm³

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_{yb} : 420.00 MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : 1.05

Resistencia a flexión biaxial (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : **0.828** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V1(presión)+1.5·V1(succión)+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^{+}$: 1.69 kN·m $M_{z,Ed}^{-}$: 5.14 kN·m

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{cy,Rd}$: 27.56 kN·m $M_{cz,Rd}$: 6.70 kN·m

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

η : **0.020** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones:
1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *2.06* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *101.32* kN

Donde:

b_d: Ancho de las alas horizontales. b_d : *68.55* mm

t: Espesor. t : *3.20* mm

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_{yb} : *420.0* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

<u>Resistencia a corte Z</u> (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

η : **0.005** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones:
0.8·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V1(presión)+1.5·V1(succión).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *0.68* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{b,Rd}$** viene dado por:

$V_{b,R}$: *127.06* kN

Donde:

h_w: Altura del alma. h_w : *195.5* mm

t: Espesor. t : *3.20* mm

ϕ: Ángulo que forma el alma con la horizontal. ϕ : *90.0* grados

f_{bv}: Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

f_{bv} : 213.20 MPa

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$\bar{\lambda}_w$: 0.95

Donde:

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_{yb} : 420.00 MPa

E: Módulo de elasticidad. — **E** : 21000.00 MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : 1.05

Resistencia a tracción y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.8 y 6.3)

No hay interacción entre axil de tracción y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a compresión y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

Se debe satisfacer:

η : **0.576** ✓

η : **0.806** ✓

η : **0.999** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones:

1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V1(presión)+1.5·V1(succión)+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: *10.93* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}^{+}$: *1.69* kN·m

$M_{z,Ed}^{-}$: *5.14* kN·m

$\Delta M_{y,Ed}$: Momento adicional, respecto al eje Y, debido al desplazamiento de dicho eje al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. El momento adicional sólo se toma en consideración si su efecto es desfavorable.

$\Delta M_{y,Ed}$: *0.00* kN·m

Donde:

e_{Ny}: Desplazamiento del eje principal Y al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme.

e_{Ny} : *0.00* mm

$\Delta M_{z,Ed}$: Momento adicional, respecto al eje Z, debido al desplazamiento de dicho eje al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. El momento adicional sólo se toma en consideración si su efecto es desfavorable.

$\Delta M_{z,Ed}$: *-0.06* kN·m

Donde:

e_{Nz}: Desplazamiento del eje principal Z al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme.

e_{Nz} : *5.86* mm

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión. $N_{c,Rd}$: *383.8* kN

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{cy,Rd,com}$: *27.56* kN·m

$M_{cz,Rd,com}$: *10.71* kN·m

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{cy,Rd,ten}$: *29.14* kN·m

$M_{cz,Rd,ten}$: *6.70* kN·m

$N_{b,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión con pandeo. $N_{b,Rd}$: *279.1* kN

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{cy,Rd}$: *27.56* kN·m

$M_{cz,Rd}$: *6.70* kN·m

Resistencia a cortante, axil y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y axil, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $\mathbf{V_{y,Ed}}$ es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{y,c,Rd}}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N15, para la combinación de acciones: 1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4 (presión)+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

0.20 ≤ 5.164

Donde:

$\mathbf{V_{y,Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{y,Ed}}$: *2.06* kN

$\mathbf{V_{y,c,Rd}}$: Resistencia de cálculo a cortante. $\mathbf{V_{y,c,Rd}}$: *101.32* kN

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resumen de las comprobaciones

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	b / t	$\bar{\lambda}$	N_t	N_c	M_y	M_z	M_yM_z	V_y	V_z	$N_tM_yM_z$	$N_cM_yM_z$	$NM_yM_zV_yV_z$	$M_tNM_yM_zV_yV_z$	
N15/N16	b / t ≤ (b / t)Máx. Cumple	$\bar{\lambda}$ < 2.0 Cumple	N.P.(1)	x: 0 m η = 3.9	x: 0 m η = 6.1	x: 0 m η = 76.7	x: 0 m η = 82.8	η = 2.0	η = 0.5	N.P.(2)	x: 0 m η = 99.9	x: 0 m η < 0.1	N.P.(3)	**CUMPLE η = 99.9**

Notación:
- *b / t: Relación anchura / espesor*
- *$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez*
- *N_t: Resistencia a tracción*
- *N_c: Resistencia a compresión*
- *M_y: Resistencia a flexión. Eje Y*
- *M_z: Resistencia a flexión. Eje Z*
- *M_yM_z: Resistencia a flexión biaxial*
- *V_y: Resistencia a corte Y*
- *V_z: Resistencia a corte Z*
- *$N_tM_yM_z$: Resistencia a tracción y flexión*
- *$N_cM_yM_z$: Resistencia a compresión y flexión*
- *$NM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a cortante, axil y flexión*
- *$M_tNM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante*
- *x: Distancia al origen de la barra*
- *η: Coeficiente de aprovechamiento (%)*
- *N.P.: No procede*

Comprobaciones que no proceden (N.P.):

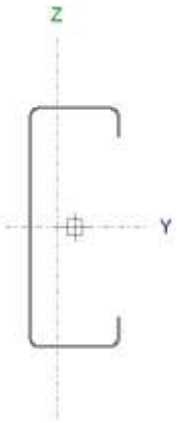
(1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

(2) No hay interacción entre axil de tracción y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

(3) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

1.1.1.2. Pilares Laterales

Perfil: 8 x 3 GH8
Material: Acero galvanizado



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	y_q(3) (mm)	z_q(3) (mm)
N5	N6	2.500	8.85	556.09	70.61	0.16	-14.64	0.00

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme
(3) Coordenadas del centro de gravedad

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	2.500	2.500	0.000	0.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Relación anchura / espesor (CTE DB SE-A, Tabla 5.5 y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

h / t : ***81.1*** ✓

b / t : ***25.9*** ✓

c / t : ***7.4*** ✓

Los rigidizadores proporcionan suficiente rigidez, ya que se cumple:

c / b : *0.287*

Donde:

h: Altura del alma. **h** : *186.60* mm
b: Ancho de las alas. **b** : *59.60* mm
c: Altura de los rigidizadores. **c** : *17.10* mm
t: Espesor. **t** : *2.30* mm

Nota: Las dimensiones no incluyen el acuerdo entre elementos.

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas no puede ser mayor que 2.0.

$\bar{\lambda}$: ***1.06*** ✓

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra. — A_{eff} : *6.23* cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_{yb} : *420.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo mínimo. — N_{cr} : *234.16* kN

El axil crítico elástico de pandeo **N_{cr}** se calcula según los apartados a) y b):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: *234.16* kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$N_{cr,FT}$: *1844.09* kN

Donde:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: *1844.09* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. — I_y : *556.09* cm4

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. — I_z : *70.61* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. — I_t : *0.16* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. — I_w : *6118.88* cm6

E: Módulo de elasticidad. — **E** : *210000.00* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. — **G** : *81000.00* MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. — L_{ky} : *2.500* m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. — L_{kz} : *2.500* m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. — L_{kt} : *0.000* m

β: Constante adimensional, obtenida mediante la siguiente expresión:

β : *0.68*

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_o : *10.20* cm

Siendo:

i_y, i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : *7.93* cm

i_z : *2.83* cm

y_o, z_o: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_o : *-5.76* cm

z_o : *0.00* cm

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.2)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.3)

Se debe satisfacer:

η : ***0.019*** ✓

η : ***0.033*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N5, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: *4.65* kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd}$: *249.05* kN

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra.

A_{eff} : *6.23* cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_{yb} : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo. (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd}$: *139.84* kN

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra. A_{eff} : *6.23* cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_{yb} : *420.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo. χ : *0.56*

El coeficiente de reducción por pandeo es el menor de los coeficientes de reducción calculados:

χ_z : *0.56*

χ_{FT} : *0.94*

Siendo:

ϕ_z : *1.20*

ϕ_{FT} : *0.60*

α: Coeficiente de imperfección elástica. α_z : *0.34*

α_{FT} : *0.34*

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_z$: *1.06*

$\bar{\lambda}_{FT}$: *0.38*

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: *234.16* kN

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión. $N_{cr,FT}$: *1844.09* kN

Resistencia a flexión. Eje Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : ***0.124*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N5, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V1(presión)+1.5·V1(succión).

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{y,Ed}^{+}$: *2.42* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N5, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles-0.3·SX-SY.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{y,Ed}^{-}$: *0.65* kN·m

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$M_{c,Rd}$: *19.45* kN·m

Donde:

W_{eff}: Módulo resistente eficaz correspondiente a la fibra de mayor tensión. W_{eff} : *48.63* cm³

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_{yb} : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : ***0.582*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N5, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+SX+0.3·SY.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{z,Ed}^{+}$: *0.76* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N5, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{z,Ed}^{-}$: *2.82* kN·m

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$M_{c,Rd}^{+}$: *4.16* kN·m

$M_{c,Rd}^{-}$: *4.84* kN·m

Donde:

W_{eff}: Módulo resistente eficaz correspondiente a la fibra de mayor tensión. W_{eff}^{+} : *10.39* cm³

W_{eff}^{-} : *12.10* cm³

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_{yb} : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a flexión biaxial (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : **0.706** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N5, para la combinación de acciones:

0.8·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V1(presión)+1.5·V1(succión)+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión)+1.5·V5

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}^{+}$: 2.42 kN·m

$M_{z,Ed}^{-}$: 2.82 kN·m

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{cy,Rd}$: 19.45 kN·m

$M_{cz,Rd}$: 4.84 kN·m

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

η : **0.015** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 1.13 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$V_{c,Rd}$: 74.06 kN

Donde:

b_d: Ancho de las alas horizontales. b_d : 69.71 mm

t: Espesor. t : 2.30 mm

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_{yb} : 420.00 MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

η : **0.015** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V1(presión)+1.5·V1(succión).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 0.97 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{b,Rd}$** viene dado por:

$V_{b,Rd}$: 65.64 kN

Donde:

h_w: Altura del alma. — h_w : 196.71 mm

t: Espesor. — t : 2.30 mm

ϕ: Ángulo que forma el alma con la horizontal. — ϕ : 90.0 grados

f_{bv}: Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

f_{bv} : 152.33 MPa

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$\bar{\lambda}_w$: 1.32

Donde:

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_{yb} : 420.00 MPa

E: Módulo de elasticidad. — E : 210000.00 MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : 1.05

Resistencia a tracción y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.8 y 6.3)

No hay interacción entre axil de tracción y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a compresión y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

Se debe satisfacer:

η : 0.578 ✓

η : 0.686 ✓

η : 0.910 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N5, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V1(presión)+1.5·V1(succión)+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. — $N_{c,Ed}$: 4.61 kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}^{+}$: 2.42 kN·m

$M_{z,Ed}^{-}$: 2.82 kN·m

$\Delta M_{y,Ed}$: Momento adicional, respecto al eje Y, debido al desplazamiento de dicho eje al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. El momento adicional sólo se toma en consideración si su efecto es desfavorable.

$\Delta M_{y,Ed}$: 0.00 kN·m

Donde:

e_{Ny}: Desplazamiento del eje principal Y al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. e_{Ny} : 0.00 mm

$\Delta M_{z,Ed}$: Momento adicional, respecto al eje Z, debido al desplazamiento de dicho eje al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. El momento adicional sólo se toma en consideración si su efecto es desfavorable.

$\Delta M_{z,Ed}$: -0.04 kN·m

Donde:

e_{Nz}: Desplazamiento del eje principal Z al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. e_{Nz} : 8.81 mm

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión. $N_{c,Rd}$: 249.05 kN

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{cy,Rd,com}$: 19.45 kN·m

$M_{cz,Rd,com}$: 6.56 kN·m

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{cy,Rd,ten}$: 21.17 kN·m

$M_{cz,Rd,ten}$: 4.84 kN·m

$N_{b,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión con pandeo. $N_{b,Rd}$: 139.84 kN

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{cy,Rd}$: 19.45 kN·m

$M_{cz,Rd}$: 4.84 kN·m

Resistencia a cortante, axil y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y axil, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $V_{y,Ed}$ es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{y,c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N5, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

0.1 ≤ 3.8

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{y,Ed}$: 1.13 kN

$V_{y,c,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante. $V_{y,c,Rd}$: 74.06 kN

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resumen de las comprobaciones

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	b / t	$\bar{\lambda}$	N_t	N_c	M_y	M_z	M_yM_z	V_y	V_z	$N_tM_yM_z$	$N_cM_yM_z$	$NM_yM_zV_yV_z$	$M_tNM_yM_zV_yV_z$	
N5/N6	b / t ≤ (b / t)$_{Máx.}$ Cumple	$\bar{\lambda}$ < 2.0 Cumple	N.P.(1)	x: 0 m η = 3.3	x: 0 m η = 12.4	x: 0 m η = 58.2	x: 0 m η = 70.6	η = 1.5	η = 1.5	N.P.(2)	x: 0 m η = 91.0	x: 0 m η < 0.1	N.P.(3)	**CUMPLE η = 91.0**

Notación:

b / t: Relación anchura / espesor
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_y: Resistencia a flexión. Eje Y
M_z: Resistencia a flexión. Eje Z
M_yM_z: Resistencia a flexión biaxial
V_y: Resistencia a corte Y
V_z: Resistencia a corte Z
$N_tM_yM_z$: Resistencia a tracción y flexión
$N_cM_yM_z$: Resistencia a compresión y flexión
$NM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a cortante, axil y flexión
$M_tNM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

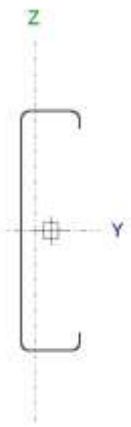
Comprobaciones que no proceden (N.P.):

(1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.
(2) No hay interacción entre axil de tracción y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
(3) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

1.1.2. Techo

1.1.2.1. Vigas

Perfil: 8 x 2 GH10
Material: Acero (S420)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	y_g(3) (mm)	z_g(3) (mm)
N4	N37	3.000	6.02	342.73	17.91	0.07	-13.23	0.00

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme
(3) Coordenadas del centro de gravedad

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	3.000	3.000	0.000	0.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Relación anchura / espesor (CTE DB SE-A, Tabla 5.5 y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

h / t : ***98.6*** ✓

b / t : ***18.4*** ✓

c / t : ***4.2*** ✓

Los rigidizadores proporcionan suficiente rigidez, ya que se cumple:

c / b : *0.229*

Donde:

h: Altura del alma. **h** : *187.40* mm
b: Ancho de las alas. **b** : *35.00* mm
c: Altura de los rigidizadores. **c** : *8.00* mm
t: Espesor. **t** : *1.90* mm

Nota: Las dimensiones no incluyen el acuerdo entre elementos.

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas no puede ser mayor que 2.0.

$\bar{\lambda}$: ***1.93*** ✓

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra. **A_{eff}** : *3.67* cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_{yb}** : *420.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo mínimo. **N_{cr}** : *41.24* kN

El axil crítico elástico de pandeo **N_{cr}** se calcula según los apartados a) y b):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: *41.24* kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$N_{cr,FT}$: *789.28* kN

Donde:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: *789.28* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. **I_y** : *342.73* cm4

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. **I_z** : *17.91* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. **I_t** : *0.07* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. **I_w** : *1425.26* cm6

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000.00* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *81000.00* MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. **L_{ky}** : *3.000* m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. **L_{kz}** : *3.000* m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. **L_{kt}** : *0.000* m

β: Constante adimensional, obtenida mediante la siguiente expresión:

β : *0.86*

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_o : *8.34* cm

Siendo:

i_y, i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : *7.55* cm

i_z : *1.72* cm

y_o, z_o: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_o : *-3.09* cm

z_o : *0.00* cm

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.2)

Se debe satisfacer:

η : ***0.002*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V1(succión).

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: *0.41* kN

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$N_{t,Rd}$: *240.76* kN

Donde:

A_g: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A_g : *6.02* cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_{yb} : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.3)

Se debe satisfacer:

η : ***0.008*** ✓

η : **0.038** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V1(presión)+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión).

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 1.23 kN

La resistencia de cálculo a compresión **$N_{c,Rd}$** viene dada por:

$N_{c,Rd}$: 146.69 kN

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra. A_{eff} : 3.67 cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_{yb} : 420.00 MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo. (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **$N_{b,Rd}$** en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd}$: 32.65 kN

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra. A_{eff} : 3.67 cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_{yb} : 420.00 MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo. χ : 0.22

El coeficiente de reducción por pandeo es el menor de los coeficientes de reducción calculados:

χ_z : 0.22

χ_{FT} : 0.91

Siendo:

ϕ_z : 2.66

ϕ_{FT} : 0.64

α: Coeficiente de imperfección elástica. α_z : 0.34

α_{FT} : 0.34

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_z$: 1.93

$\bar{\lambda}_{FT}$: 0.44

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: 41.24 kN

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión. $N_{cr,FT}$: 789.28 kN

Resistencia a flexión. Eje Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : ***0.13*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N37, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+SX+0.3·SY.

$\mathbf{M_{y,Ed}}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{M_{y,E}}$: *0.26* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N37, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

$\mathbf{M_{y,Ed}}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{M_{y,^-}}$: *1.51* kN·m

La resistencia de cálculo a flexión $\mathbf{M_{c,Rd}}$ viene dada por:

$\mathbf{M_{c,Rd}}$: *11.53* kN·m

Donde:

$\mathbf{W_{eff}}$: Módulo resistente eficaz correspondiente a la fibra de mayor tensión. $\mathbf{W_{eff}}$: *28.83* cm³

$\mathbf{f_{yb}}$: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_{yb}}$: *420.0* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *0*

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : ***0.100*** ✓

Para flexión positiva:

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **$M_{z,Ed}^{+}$** : *0.00* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.857 m del nudo N4, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V5.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **$M_{z,Ed}^{-}$** : *0.17* kN·m

La resistencia de cálculo a flexión **$M_{c,Rd}$** viene dada por:

$M_{c,Rd}^{+}$: *1.45* kN·m

$M_{c,Rd}^{-}$: *1.66* kN·m

Donde:

W_{eff}: Módulo resistente eficaz correspondiente a la fibra de mayor tensión. **W_{eff}^{+}** : *3.63* cm³ **W_{eff}^{-}** : *4.15* cm³

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_{yb}** : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a flexión biaxial (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : ***0.21*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N37, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente. **$M_{y,Ed}^{-}$** : *1.50* kN·m **$M_{z,Ed}^{+}$** : *0.11* kN·m

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente. **$M_{cy,Rd}$** : *11.53* kN·m **$M_{cz,Rd}$** : *1.45* kN·m

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.010*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N4, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V5.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *0.39* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *39.34* kN

Donde:

b_d: Ancho de las alas horizontales. **b_d** : *44.83* mm

t: Espesor. **t** : *1.90* mm

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_{yb}** : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.013*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *0.50* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{b,Rd}$** viene dado por:

$V_{b,R}$: *38.93* kN

Donde:

h_w: Altura del alma. **h_w** : *197.23* mm

t: Espesor. **t** : *1.90* mm

ϕ: Ángulo que forma el alma con la horizontal. **ϕ** : *90.0* grados

f_{bv}: Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

f_{bv} : *109.07* MPa

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$\bar{\lambda}_w$: *1.61*

Donde:

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_{yb}** : *420.00* MPa

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : 1.05

Resistencia a tracción y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.8 y 6.3)

Se debe satisfacer:

η : **0.137** ✓

η : **0.206** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N37, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V1(succión)+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $N_{t,Ed}$: 0.40 kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.
$M_{y,Ed}^-$: 1.50 kN·m
$M_{z,Ed}^+$: 0.11 kN·m

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo a tracción. $N_{t,Rd}$: 240.76 kN

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.
$M_{cy,Rd,ten}$: 13.00 kN·m
$M_{cz,Rd,ten}$: 5.65 kN·m

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.
$M_{cy,Rd,com}$: 11.53 kN·m
$M_{cz,Rd,com}$: 1.45 kN·m

Resistencia a compresión y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

Se debe satisfacer:

η : **0.216** ✓

η : **0.398** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N37, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V1(presión)+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 1.23 kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.
$M_{y,Ed}^-$: 1.50 kN·m
$M_{z,Ed}^+$: 0.11 kN·m

$\Delta M_{y,Ed}$: Momento adicional, respecto al eje Y, debido al desplazamiento de dicho eje al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. El momento adicional sólo se toma en consideración si su efecto es desfavorable.

$\Delta M_{y,Ed}$: 0.00 kN·m

Donde:

e_{Ny}: Desplazamiento del eje principal Y al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. e_{Ny} : *0.00* mm

$\Delta M_{z,Ed}$: Momento adicional, respecto al eje Z, debido al desplazamiento de dicho eje al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. El momento adicional sólo se toma en consideración si su efecto es desfavorable.

$\Delta M_{z,Ed}$: *-0.01* kN·m

Donde:

e_{Nz}: Desplazamiento del eje principal Z al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. e_{Nz} : *7.20* mm

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión. $N_{c,Rd}$: *146.69* kN

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{cy,Rd,com}$: *11.53* kN·m $M_{cz,Rd,com}$: *1.45* kN·m

$N_{b,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión con pandeo. $N_{b,Rd}$: *32.65* kN

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{cy,Rd}$: *11.53* kN·m $M_{cz,Rd}$: *1.45* kN·m

Resistencia a cortante, axil y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y axil, ya que los esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo $V_{y,Ed}$ y $V_{z,Ed}$ son menores o iguales que el 50% de los correspondientes esfuerzos cortantes resistentes de cálculo $V_{y,c,Rd}$ y $V_{z,w,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.214 m del nudo N4, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

0.030 ≤ 2.005

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{y,Ed}$: *0.29* kN

$V_{y,c,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante. $V_{y,c,Rd}$: *39.34* kN

0.051 ≤ 1.984

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{z,Ed}$: *0.50* kN

$V_{z,w,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante. $V_{z,w,Rd}$: *38.93* kN

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resumen de las comprobaciones

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	b / t	$\bar{\lambda}$	N_t	N_c	M_y	M_z	M_yM_z	V_y	V_z	$N_tM_yM_z$	$N_cM_yM_z$	$NM_yM_zV_yV_z$	$M_tNM_yM_zV_yV_z$	
N4/N37	b / t ≤ (b / t)Máx. Cumple	$\bar{\lambda}$ < 2.0 Cumple	η = 0.2	η = 3.8	x: 3 m η = 13.1	x: 0.857 m η = 10.0	x: 3 m η = 20.8	x: 0 m η = 1.0	η = 1.3	x: 3 m η = 20.6	x: 3 m η = 39.8	x: 0.214 m η < 0.1	N.P.(1)	**CUMPLE η = 39.8**

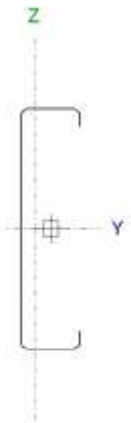
Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	b / t	$\bar{\lambda}$	N_t	N_c	M_y	M_z	M_yM_z	V_y	V_z	$N_tM_yM_z$	$N_cM_yM_z$	$NM_yM_zV_yV_z$	$M_tNM_yM_zV_yV_z$	

Notación:
- *b / t: Relación anchura / espesor*
- *$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez*
- *N_t: Resistencia a tracción*
- *N_c: Resistencia a compresión*
- *M_y: Resistencia a flexión. Eje Y*
- *M_z: Resistencia a flexión. Eje Z*
- *M_yM_z: Resistencia a flexión biaxial*
- *V_y: Resistencia a corte Y*
- *V_z: Resistencia a corte Z*
- *$N_tM_yM_z$: Resistencia a tracción y flexión*
- *$N_cM_yM_z$: Resistencia a compresión y flexión*
- *$NM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a cortante, axil y flexión*
- *$M_tNM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante*
- *x: Distancia al origen de la barra*
- *η: Coeficiente de aprovechamiento (%)*
- *N.P.: No procede*

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
- *(1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.*

1.1.2.2. Viguetas

Perfil: 8 x 2 GH16
Material: Acero (S420)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	y_g(3) (mm)	z_g(3) (mm)
N39	N93	1.000	3.21	185.68	10.06	0.01	-13.29	0.00

Notas:
- *(1) Inercia respecto al eje indicado*
- *(2) Momento de inercia a torsión uniforme*
- *(3) Coordenadas del centro de gravedad*

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	1.000	1.000	0.000	0.000
C_1	-		1.000	

Notación:
- *β: Coeficiente de pandeo*
- *L_K: Longitud de pandeo (m)*
- *C_1: Factor de modificación para el momento crítico*

Relación anchura / espesor (CTE DB SE-A, Tabla 5.5 y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

h / t : ***189.2*** ✓

b / t : ***36.8*** ✓

c / t : ***8.9*** ✓

Los rigidizadores proporcionan suficiente rigidez, ya que se cumple:

c / b : *0.242*

Donde:

h: Altura del alma. **h** : *189.20* mm

b: Ancho de las alas. **b** : *36.80* mm

c: Altura de los rigidizadores. **c** : *8.90* mm

t: Espesor. **t** : *1.00* mm

Nota: Las dimensiones no incluyen el acuerdo entre elementos.

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras traccionadas no puede ser mayor que 3.0.

$\bar{\lambda}$: ***0.80*** ✓

Donde:

$\mathbf{A_g}$: Área bruta de la sección transversal de la barra. $\mathbf{A_g}$: *3.21* cm²

$\mathbf{f_{yb}}$: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_{yb}}$: *420.00* MPa

$\mathbf{N_{cr}}$: Axil crítico elástico de pandeo mínimo. $\mathbf{N_{cr}}$: *208.53* kN

El axil crítico elástico de pandeo $\mathbf{N_{cr}}$ se calcula según los apartados a) y b):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$\mathbf{N_{cr,z}}$: *208.53* kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$\mathbf{N_{cr,FT}}$: *3848.43* kN

Donde:

$\mathbf{N_{cr,y}}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$\mathbf{N_{cr,y}}$: *3848.43* kN

$\mathbf{N_{cr,T}}$: Axil crítico de pandeo por torsión.

$\mathbf{N_{cr,T}}$: ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	I_y :	185.68	cm4
I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z :	10.06	cm4
I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t :	0.01	cm4
I_w: Constante de alabeo de la sección.	I_w :	811.88	cm6
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	210000.00	MPa
G: Módulo de elasticidad transversal.	**G** :	81000.00	MPa
L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	L_{ky} :	1.000	m
L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} :	1.000	m
L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} :	0.000	m
β: Constante adimensional, obtenida mediante la siguiente expresión:	β :	0.86	
i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i_o :	8.43	cm

Siendo:

i_y, i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	i_y :	7.60	cm
	i_z :	1.77	cm
y_o, z_o: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	y_o :	-3.19	cm
	z_o :	0.00	cm

<u>Resistencia a tracción</u> (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.2)

Se debe satisfacer:

η : ***0.214*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $N_{t,Ed}$: 27.46 kN

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$N_{t,Rd}$: *128.47* kN

Donde:

A_g: Área bruta de la sección transversal de la barra. — A_g : *3.21* cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_{yb} : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión. Eje Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : ***0.085*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N39, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles-0.3·SX-SY.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — $M_{y,Ed}^{+}$: *0.10* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N39, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V1(presión)+1.5·V1(succión).

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — $M_{y,Ed}^{-}$: *0.40* kN·m

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$M_{c,Rd}$: *4.69* kN·m

Donde:

W_{eff}: Módulo resistente eficaz correspondiente a la fibra de mayor tensión. — W_{eff} : *11.73* cm³

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_{yb} : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : ***0.111*** ✓

Para flexión positiva:

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **$M_{z,Ed}^{+}$** : *0.00* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.750 m del nudo N39, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V5.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **$M_{z,Ed}^{-}$** : *0.10* kN·m

La resistencia de cálculo a flexión **$M_{c,Rd}$** viene dada por:

$M_{c,Rd}^{+}$: *0.55* kN·m

$M_{c,Rd}^{-}$: *0.86* kN·m

Donde:

W_{eff}: Módulo resistente eficaz correspondiente a la fibra de mayor tensión. **W_{eff}^{+}** : *1.37* cm³ **W_{eff}^{-}** : *2.14* cm³

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_{yb}** : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a flexión biaxial (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : ***0.167*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.500 m del nudo N39, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V1(presión)+1.5·V1(succión)+1.5·V5.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente. **$M_{y,Ed}^{-}$** : *0.30* kN·m **$M_{z,Ed}^{-}$** : *0.09* kN·m

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente. **$M_{cy,Rd}$** : *4.69* kN·m **$M_{cz,Rd}$** : *0.86* kN·m

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.014*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N39, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(presión)+1.5·V5.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.30* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: *21.24* kN

Donde:

$\mathbf{b_d}$: Ancho de las alas horizontales. $\mathbf{b_d}$: *45.99* mm

$\mathbf{t}$: Espesor. $\mathbf{t}$: *1.00* mm

$\mathbf{f_{yb}}$: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_{yb}}$: *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.035*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V1(presión)+1.5·V1(succión).

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.20* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{b,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{V_{b,Rd}}$: *5.64* kN

Donde:

$\mathbf{h_w}$: Altura del alma. $\mathbf{h_w}$: *198.39* mm

$\mathbf{t}$: Espesor. $\mathbf{t}$: *1.00* mm

ϕ: Ángulo que forma el alma con la horizontal. ϕ : *90.0* grados

$\mathbf{f_{bv}}$: Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

$\mathbf{f_{bv}}$: *29.86* MPa

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$\bar{\lambda}_w$: *3.07*

Donde:

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_{yb} : 420.00 MPa

E: Módulo de elasticidad. — **E** : 210000.00 MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : 1.05

Resistencia a tracción y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.8 y 6.3)

Se debe satisfacer:

η : **0.365** ✓

η < **0.001** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.500 m del nudo N39, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V1(presión)+1.5·V1(succión)+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. — $N_{t,Ed}$: 27.46 kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{y,Ed}^{-}$: 0.30 kN·m; $M_{z,Ed}^{-}$: 0.09 kN·m

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo a tracción. — $N_{t,Rd}$: 128.47 kN

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{cy,Rd,ten}$: 6.32 kN·m; $M_{cz,Rd,ten}$: 0.86 kN·m

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{cy,Rd,com}$: 4.69 kN·m; $M_{cz,Rd,com}$: 1.01 kN·m

Resistencia a compresión y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

No hay interacción entre axil de compresión y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante, axil y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y axil, ya que los esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo $V_{y,Ed}$ y $V_{z,Ed}$ son menores o iguales que el 50% de los correspondientes esfuerzos cortantes resistentes de cálculo $V_{y,c,Rd}$ y $V_{z,w,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V1(presión)+1.5·V1(succión).

0.014 ≤ 1.083

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. — $V_{y,Ed}$: 0.14 kN

$V_{y,c,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante. — $V_{y,c,Rd}$: 21.24 kN

0.020 ≤ 0.288

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. — $V_{z,Ed}$: 0.20 kN

$V_{z,w,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante. — $V_{z,w,Rd}$: 5.64 kN

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resumen de las comprobaciones

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	b / t	$\bar{\lambda}$	N_t	N_c	M_y	M_z	M_yM_z	V_y	V_z	$N_tM_yM_z$	$N_cM_yM_z$	$NM_yM_zV_yV_z$	$M_tNM_yM_zV_yV_z$	
N39/N93	b / t ≤ (b / t)$_{Máx.}$ Cumple	$\bar{\lambda}$ ≤ 3.0 Cumple	η = 21.4	N.P.(1)	x: 0 m η = 8.5	x: 0.75 m η = 11.1	x: 0.5 m η = 16.7	x: 0 m η = 1.4	η = 3.5	x: 0.5 m η = 36.5	N.P.(2)	η < 0.1	N.P.(3)	**CUMPLE η = 36.5**

Notación:
- *b / t: Relación anchura / espesor*
- *$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez*
- *N_t: Resistencia a tracción*
- *N_c: Resistencia a compresión*
- *M_y: Resistencia a flexión. Eje Y*
- *M_z: Resistencia a flexión. Eje Z*
- *M_yM_z: Resistencia a flexión biaxial*
- *V_y: Resistencia a corte Y*
- *V_z: Resistencia a corte Z*
- *$N_tM_yM_z$: Resistencia a tracción y flexión*
- *$N_cM_yM_z$: Resistencia a compresión y flexión*
- *$NM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a cortante, axil y flexión*
- *$M_tNM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante*
- *x: Distancia al origen de la barra*
- *η: Coeficiente de aprovechamiento (%)*
- *N.P.: No procede*

Comprobaciones que no proceden (N.P.):

(1) *La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.*

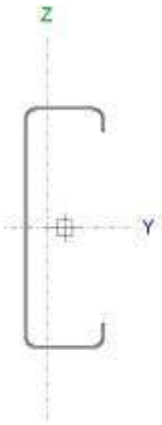
(2) *No hay interacción entre axil de compresión y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.*

(3) *La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.*

1.1.3. Suelo

1.1.3.1. Vigas Centrales

Perfil: 6 x 2 GH10
Material: Acero galvanizado



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	y_g(3) (mm)	z_g(3) (mm)
N79	N80	1.000	5.05	171.82	16.46	0.06	-11.09	0.00

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme
(3) Coordenadas del centro de gravedad

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	1.000	1.000	0.000	0.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Relación anchura / espesor (CTE DB SE-A, Tabla 5.5 y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

h / t : ***71.9*** ✓

b / t : ***18.4*** ✓

c / t : ***4.2*** ✓

Los rigidizadores proporcionan suficiente rigidez, ya que se cumple:

c / b : *0.229*

Donde:

h: Altura del alma. **h** : *136.60* mm
b: Ancho de las alas. **b** : *35.00* mm
c: Altura de los rigidizadores. **c** : *8.00* mm
t: Espesor. **t** : *1.90* mm

Nota: Las dimensiones no incluyen el acuerdo entre elementos.

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas no puede ser mayor que 2.0.

$\bar{\lambda}$: ***0.67*** ✓

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra. — A_{eff} : *3.62* cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_{yb} : *420.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo mínimo. — N_{cr} : *341.12* kN

El axil crítico elástico de pandeo **N_{cr}** se calcula según los apartados a) y b):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: *341.12* kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$N_{cr,FT}$: *3561.23* kN

Donde:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: *3561.23* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. — I_y : *171.82* cm4

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. — I_z : *16.46* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. — I_t : *0.06* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. — I_w : *755.39* cm6

E: Módulo de elasticidad. — **E** : *210000.00* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. — **G** : *81000.00* MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. — L_{ky} : *1.000* m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. — L_{kz} : *1.000* m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. **L_{kt}** : *0.000* m

β: Constante adimensional, obtenida mediante la siguiente expresión:

β : *0.75*

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_o : *7.05* cm

Siendo:

i_y, i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : *5.83* cm

i_z : *1.80* cm

y_o, z_o: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_o : *-3.52* cm

z_o : *0.00* cm

<u>Resistencia a tracción</u> (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.2)

Se debe satisfacer:

η : ***0.003*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+0.3·SX+SY.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. **$N_{t,Ed}$** : *0.64* kN

La resistencia de cálculo a tracción **$N_{t,Rd}$** viene dada por:

$N_{t,Rd}$: *202.15* kN

Donde:

A_g: Área bruta de la sección transversal de la barra. **A_g** : *5.05* cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_{yb}** : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.3)

Se debe satisfacer:

η : ***0.004*** ✓

η : ***0.006*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles-0.3·SX-SY.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: *0.64* kN

La resistencia de cálculo a compresión **$N_{c,Rd}$** viene dada por:

$N_{c,Rd}$: *144.78* kN

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra. A_{eff} : *3.62* cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_{yb} : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo. (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **$N_{b,Rd}$** en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd}$: *116.07* kN

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra. A_{eff} : *3.62* cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_{yb} : *420.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo. χ : *0.80*

El coeficiente de reducción por pandeo es el menor de los coeficientes de reducción calculados:

χ_z : *0.80*

χ_{FT} : *1.00*

Siendo:

ϕ_z : *0.80*

ϕ_{FT} : *0.52*

α: Coeficiente de imperfección elástica. α_z : *0.34*

α_{FT} : *0.34*

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_z$: *0.67*

$\bar{\lambda}_{FT}$: *0.21*

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z. — $N_{cr,z}$: *341.12* kN

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión. — $N_{cr,FT}$: *3561.23* kN

<u>Resistencia a flexión. Eje Y</u> (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : ***0.744*** ✓

Para flexión positiva:

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — $M_{y,Ed}^{+}$: *0.00* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N79, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+1.35·Suelo+0.8·Paneles+1.5·Sobrecargadeuso.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — $M_{y,Ed}^{-}$: *5.93* kN·m

La resistencia de cálculo a flexión **$M_{c,Rd}$** viene dada por:

$M_{c,Rd}$: *7.98* kN·m

Donde:

W_{eff}: Módulo resistente eficaz correspondiente a la fibra de mayor tensión. — W_{eff} : *19.94* cm³

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_{yb} : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

<u>Resistencia a flexión. Eje Z</u> (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : **0.262** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N79, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión).

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **$M_{z,Ed}^{+}$** : *0.39* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N79, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+SX+0.3·SY.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **$M_{z,Ed}^{-}$** : *0.32* kN·m

La resistencia de cálculo a flexión **$M_{c,Rd}$** viene dada por:

$M_{c,Rd}^{+}$: *1.50* kN·m

$M_{c,Rd}^{-}$: *1.65* kN·m

Donde:

W_{eff}: Módulo resistente eficaz correspondiente a la fibra de mayor tensión. **W_{eff}^{+}** : *3.74* cm³

W_{eff}^{-} : *4.13* cm³

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_{yb}** : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a flexión biaxial (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : **0.9** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N79, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+1.35·Suelo+0.8·Paneles+1.5·Sobrecargadeuso+0.9·V4(presión)+0.9·V4(succión).

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,E}^{-}$: *5.9* kN·m

$M_{z,}^{+}$: *0.2* kN·m

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{cy,}$: *7.9* kN·m

M_{czd} : *1.50* kN·m

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.015*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N80, para la combinación de acciones
PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles-SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *0.59* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *39.34* kN

Donde:

b_d: Ancho de las alas horizontales. **b_d** : *44.83* mm

t: Espesor. **t** : *1.90* mm

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_{yb}** : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.167*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N79, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+1.35·Suelo+0.8·Paneles+1.5·Sobrecargadeuso.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *7.46* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{b,Rd}$** viene dado por:

$V_{b,Rd}$: *44.79* kN

Donde:

h_w: Altura del alma. **h_w** : *146.43* mm

t: Espesor. **t** : *1.90* mm

ϕ: Ángulo que forma el alma con la horizontal. **ϕ** : *90.0* grados

f_{bv}: Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

f_{bv} : *169.05* MPa

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$\bar{\lambda}_w$: *1.19*

Donde:

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_{yb} :	420.00 MPa
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	210000.00 MPa
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} :	1.05

Resistencia a tracción y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.8 y 6.3)

Se debe satisfacer:

η : **0.179** ✓

η : **0.194** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N79, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+0.3·Sobrecargadeuso-SX+0.3·SY.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.	$N_{t,Ed}$:	0.19 kN
$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{y,Ed}^-$:	1.55 kN·m
	$M_{z,Ed}^+$:	0.00 kN·m

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo a tracción.	$N_{t,Rd}$:	202.15 kN
$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{cy,Rd,ten}$:	8.75 kN·m
	$M_{cz,Rd,ten}$:	4.44 kN·m
$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{cy,Rd,com}$:	7.98 kN·m
	$M_{cz,Rd,com}$:	1.50 kN·m

Resistencia a compresión y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

Se debe satisfacer:

η : **0.201** ✓

η : **0.293** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N79, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+0.3·Sobrecargadeuso-0.3·SX-SY.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: *0.64* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^{-}$: *1.55* kN·m; $M_{z,Ed}^{+}$: *0.00* kN·m

$\Delta M_{y,Ed}$: Momento adicional, respecto al eje Y, debido al desplazamiento de dicho eje al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. El momento adicional sólo se toma en consideración si su efecto es desfavorable.

$\Delta M_{y,Ed}$: *0.00* kN·m

Donde:

e_{Ny}: Desplazamiento del eje principal Y al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. e_{Ny} : *0.00* mm

$\Delta M_{z,Ed}$: Momento adicional, respecto al eje Z, debido al desplazamiento de dicho eje al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. El momento adicional sólo se toma en consideración si su efecto es desfavorable.

$\Delta M_{z,Ed}$: *0.00* kN·m

Donde:

e_{Nz}: Desplazamiento del eje principal Z al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. e_{Nz} : *5.30* mm

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión. $N_{c,Rd}$: *144.78* kN

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{cy,Rd,com}$: *7.98* kN·m; $M_{cz,Rd,com}$: *1.50* kN·m

$N_{b,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión con pandeo. $N_{b,Rd}$: *116.07* kN

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{cy,Rd}$: *7.98* kN·m; $M_{cz,Rd}$: *1.50* kN·m

Resistencia a cortante, axil y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y axil, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $V_{z,Ed}$ es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{z,w,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+0.3·Sobrecargadeuso-0.3·SX-SY.

0.200 ≤ 2.283

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **$V_{z,Ed}$** : *1.96* kN

$V_{z,w,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante. **$V_{z,w,Rd}$** : *44.79* kN

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resumen de las comprobaciones

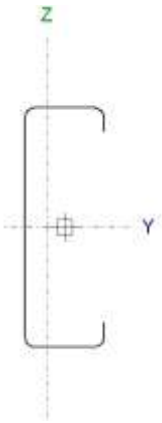
Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	b / t	$\bar{\lambda}$	N_t	N_c	M_y	M_z	M_yM_z	V_y	V_z	$N_tM_yM_z$	$N_cM_yM_z$	$NM_yM_zV_yV_z$	$M_tNM_yM_zV_yV_z$	
N79/N80	b / t ≤ (b / t)Máx. Cumple	$\bar{\lambda}$ < 2.0 Cumple	η = 0.3	η = 0.6	x: 0 m η = 74.4	x: 0 m η = 26.2	x: 0 m η = 90.1	x: 1 m η = 1.5	x: 0 m η = 16.7	x: 0 m η = 19.4	x: 0 m η = 29.3	η < 0.1	N.P.(1)	**CUMPLE η = 90.1**

Notación:
b / t: Relación anchura / espesor
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_y: Resistencia a flexión. Eje Y
M_z: Resistencia a flexión. Eje Z
M_yM_z: Resistencia a flexión biaxial
V_y: Resistencia a corte Y
V_z: Resistencia a corte Z
$N_tM_yM_z$: Resistencia a tracción y flexión
$N_cM_yM_z$: Resistencia a compresión y flexión
$NM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a cortante, axil y flexión
$M_tNM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
(1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

1.1.3.2. Vigas Laterales

Perfil: 6 x 2 GH16
Material: Acero galvanizado



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	y_q(3) (mm)	z_q(3) (mm)
N9	N32	1.000	2.70	93.55	9.25	0.01	-11.11	0.00

Notas:
(1) *Inercia respecto al eje indicado*
(2) *Momento de inercia a torsión uniforme*
(3) *Coordenadas del centro de gravedad*

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	1.000	1.000	0.000	0.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Relación anchura / espesor (CTE DB SE-A, Tabla 5.5 y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

h / t : ***138.4*** ✓

b / t : ***36.8*** ✓

c / t : ***8.9*** ✓

Los rigidizadores proporcionan suficiente rigidez, ya que se cumple:

c / b : *0.242*

Donde:

h: Altura del alma. **h** : *138.40* mm
b: Ancho de las alas. **b** : *36.80* mm
c: Altura de los rigidizadores. **c** : *8.90* mm
t: Espesor. **t** : *1.00* mm

Nota: Las dimensiones no incluyen el acuerdo entre elementos.

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas no puede ser mayor que 2.0.

$\bar{\lambda}$: ***0.54*** ✓

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra. **A_{eff}** : *1.35* cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_{yb}** : *420.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo mínimo. **N_{cr}** : *191.66* kN

El axil crítico elástico de pandeo **N_{cr}** se calcula según los apartados a) y b):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: *191.66* kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$N_{cr,FT}$: *1938.97* kN

Donde:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: *1938.97* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. **I_y** : *93.55* cm4

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. **I_z** : *9.25* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. **I_t** : *0.01* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. **I_w** : *432.91* cm6

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000.00* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *81000.00* MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. **L_{ky}** : *1.000* m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. **L_{kz}** : *1.000* m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. **L_{kt}** : *0.000* m

β: Constante adimensional, obtenida mediante la siguiente expresión:

β : *0.74*

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_o : *7.15* cm

Siendo:

i_y, i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : *5.88* cm

i_z : *1.85* cm

y_o, z_o: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_o : *-3.63* cm

z_o : *0.00* cm

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.2)

Se debe satisfacer:

η : ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+0.3·SX+SY.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: *0.14* kN

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$N_{t,Rd}$: *108.15* kN

Donde:

A_g: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A_g : *2.70* cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_{yb} : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.3)

Se debe satisfacer:

η : **0.003** ✓

η : **0.003** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles-0.3·SX-SY.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 0.14 kN

La resistencia de cálculo a compresión **$N_{c,Rd}$** viene dada por:

$N_{c,Rd}$: 54.03 kN

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra. A_{eff} : 1.35 cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_{yb} : 420.00 MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo. (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **$N_{b,Rd}$** en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd}$: 46.69 kN

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra. A_{eff} : 1.35 cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_{yb} : 420.00 MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo. χ : 0.86

El coeficiente de reducción por pandeo es el menor de los coeficientes de reducción calculados:

χ_z : 0.86

χ_{FT} : 1.00

Siendo:

ϕ_z : 0.71

ϕ_{FT} : 0.51

α: Coeficiente de imperfección elástica. α_z : 0.34

α_{FT} : 0.34

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_z$: 0.54

$\bar{\lambda}_{FT}$: 0.17

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : *191.66* kN

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión. **$N_{cr,FT}$** : *1938.97* kN

Resistencia a flexión. Eje Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : ***0.618*** ✓

Para flexión positiva:

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **$M_{y,Ed}^{+}$** : *0.00* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+1.35·Suelo+0.8·Paneles+1.5·Sobrecargadeuso.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **$M_{y,Ed}^{-}$** : *2.19* kN·m

La resistencia de cálculo a flexión **$M_{c,Rd}$** viene dada por:

$M_{c,Rd}$: *3.54* kN·m

Donde:

W_{eff}: Módulo resistente eficaz correspondiente a la fibra de mayor tensión. **W_{eff}** : *8.84* cm³

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_{yb}** : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : ***0.534*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión).

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **$M_{z,Ed}^{+}$** : *0.31* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+SX+0.3·SY.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **$M_{z,Ed}^{-}$** : *0.18* kN·m

La resistencia de cálculo a flexión **$M_{c,Rd}$** viene dada por:

$M_{c,Rd}^{+}$: *0.57* kN·m

$M_{c,Rd}^{-}$: *0.85* kN·m

Donde:

W_{eff}: Módulo resistente eficaz correspondiente a la fibra de mayor tensión. **W_{eff}^{+}** : *1.43* cm³

W_{eff}^{-} : *2.13* cm³

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_{yb}** : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a flexión biaxial (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : ***0.989*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+1.35·Suelo+0.8·Paneles+1.05·Sobrecargadeuso+
1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión).

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente. **$M_{y,Ed}^{-}$** : *1.61* kN·m **$M_{z,Ed}^{+}$** : *0.31* kN·m

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente. **$M_{cy,Rd}$** : *3.54* kN·m **$M_{cz,Rd}$** : *0.57* kN·m

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.036*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *0.7* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *21.2* kN

Donde:

b_d: Ancho de las alas horizontales. b_d : *45.99* mm

t: Espesor. t : *1.00* mm

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_{yb} : *420.0* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

<u>Resistencia a corte Z</u> (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.361*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+1.35·Suelo+0.8·Paneles+1.5·Sobrecargadeuso.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *2.74* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{b,Rd}$** viene dado por:

$V_{b,Rd}$: *7.58* kN

Donde:

h_w: Altura del alma. h_w : *147.59* mm

t: Espesor. t : *1.00* mm

ϕ: Ángulo que forma el alma con la horizontal. ϕ : *90.0* grados

f_{bv}: Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

f_{bv} : *53.95* MPa

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$\bar{\lambda}_w$: *2.28*

Donde:

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_{yb} : *420.00*	MPa
E: Módulo de elasticidad.	**E** : *210000.00*	MPa
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} : *1.05*	

Resistencia a tracción y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.8 y 6.3)

Se debe satisfacer:

η : ***0.127*** ✓

η : ***0.163*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+0.3·Sobrecargadeuso-SX+0.3·SY.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.	$N_{t,Ed}$: *0.04*	kN
$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{y,Ed}^-$: *0.58*	kN·m
	$M_{z,Ed}^+$: *0.00*	kN·m

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo a tracción.	$N_{t,Rd}$: *108.15*	kN
$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{cy,Rd,ten}$: *4.56*	kN·m
	$M_{cz,Rd,ten}$: *2.39*	kN·m
$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{cy,Rd,com}$: *3.54*	kN·m
	$M_{cz,Rd,com}$: *0.57*	kN·m

Resistencia a compresión y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.168*** ✓

η : ***0.251*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+0.3·Sobrecargadeuso-0.3·SX-SY.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: *0.14* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^-$: *0.58* kN·m; $M_{z,Ed}^+$: *0.00* kN·m

$\Delta M_{y,Ed}$: Momento adicional, respecto al eje Y, debido al desplazamiento de dicho eje al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. El momento adicional sólo se toma en consideración si su efecto es desfavorable.

$\Delta M_{y,Ed}$: *0.00* kN·m

Donde:

e_{Ny}: Desplazamiento del eje principal Y al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. e_{Ny} : *0.00* mm

$\Delta M_{z,Ed}$: Momento adicional, respecto al eje Z, debido al desplazamiento de dicho eje al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. El momento adicional sólo se toma en consideración si su efecto es desfavorable.

$\Delta M_{z,Ed}$: *0.00* kN·m

Donde:

e_{Nz}: Desplazamiento del eje principal Z al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. e_{Nz} : *8.15* mm

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión. $N_{c,Rd}$: *54.03* kN

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{cy,Rd,com}$: *3.54* kN·m; $M_{cz,Rd,com}$: *0.57* kN·m

$N_{b,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión con pandeo. $N_{b,Rd}$: *46.69* kN

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{cy,Rd}$: *3.54* kN·m; $M_{cz,Rd}$: *0.57* kN·m

Resistencia a cortante, axil y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y axil, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **$V_{z,Ed}$** es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{z,w,Rd}$**.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+0.3·Sobrecargadeuso-0.3·SX-SY.

0.074 ≤ 0.387

Donde:

$\mathbf{V_{z,Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{z,Ed}}$: *0.73* kN

$\mathbf{V_{z,w,Rd}}$: Resistencia de cálculo a cortante. $\mathbf{V_{z,w,Rd}}$: *7.58* kN

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resumen de las comprobaciones

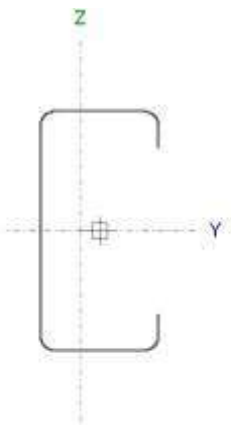
Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	b / t	$\bar{\lambda}$	N_t	N_c	M_y	M_z	M_yM_z	V_y	V_z	$N_tM_yM_z$	$N_cM_yM_z$	$NM_yM_zV_yV_z$	$M_tNM_yM_zV_yV_z$	
N9/N32	b / t ≤ (b / t)Máx. Cumple	$\bar{\lambda}$ < 2.0 Cumple	η = 0.1	η = 0.3	x: 0 m η = 61.8	x: 0 m η = 53.4	x: 0 m η = 98.9	x: 0 m η = 3.6	x: 0 m η = 36.1	x: 0 m η = 16.3	x: 0 m η = 25.1	η < 0.1	N.P.(1)	**CUMPLE η = 98.9**

Notación:
b / t: Relación anchura / espesor
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_y: Resistencia a flexión. Eje Y
M_z: Resistencia a flexión. Eje Z
M_yM_z: Resistencia a flexión biaxial
V_y: Resistencia a corte Y
V_z: Resistencia a corte Z
$N_tM_yM_z$: Resistencia a tracción y flexión
$N_cM_yM_z$: Resistencia a compresión y flexión
$NM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a cortante, axil y flexión
$M_tNM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
(1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

1.1.3.3. Viguetas

Perfil: 4 x 2 GH16
Material: Acero galvanizado



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	y_g(3) (mm)	z_g(3) (mm)
N72	N81	2.000	2.20	36.31	8.06	0.01	-7.92	0.00

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme
(3) Coordenadas del centro de gravedad

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	2.000	2.000	0.000	0.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Relación anchura / espesor (CTE DB SE-A, Tabla 5.5 y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

h / t : ***87.6*** ✓

b / t : ***36.8*** ✓

c / t : ***8.9*** ✓

Los rigidizadores proporcionan suficiente rigidez, ya que se cumple:

c / b : *0.242*

Donde:

h: Altura del alma. **h** : *87.60* mm
b: Ancho de las alas. **b** : *36.80* mm
c: Altura de los rigidizadores. **c** : *8.89* mm
t: Espesor. **t** : *1.00* mm

Nota: Las dimensiones no incluyen el acuerdo entre elementos.

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas no puede ser mayor que 2.0.

$\bar{\lambda}$: ***1.16*** ✓

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra. — **A_{eff}** : *1.34* cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — **f_{yb}** : *420.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo mínimo. — **N_{cr}** : *41.74* kN

El axil crítico elástico de pandeo **N_{cr}** se calcula según los apartados a) y b):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: *41.74* kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$N_{cr,FT}$: *188.14* kN

Donde:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: *188.14* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. — **I_y** : *36.31* cm4

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. — **I_z** : *8.06* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. — **I_t** : *0.01* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. — **I_w** : *187.89* cm6

E: Módulo de elasticidad. — **E** : *210000.00* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. — **G** : *81000.00* MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. — **L_{ky}** : *2.000* m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. — **L_{kz}** : *2.000* m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. — **L_{kt}** : *0.000* m

β: Constante adimensional, obtenida mediante la siguiente expresión:

β : 0.53

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_o : 6.17 cm

Siendo:

i_y, i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 4.07 cm

i_z : 1.92 cm

y_o, z_o: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_o : -4.22 cm

z_o : 0.00 cm

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.2)

Se debe satisfacer:

η : **0.003** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(succión).

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $N_{t,Ed}$: 0.25 kN

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$N_{t,Rd}$: 87.82 kN

Donde:

A_g: Área bruta de la sección transversal de la barra. A_g : 2.20 cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_{yb} : 420.00 MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.3)

Se debe satisfacer:

η : **0.009** ✓

η : **0.018** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(presión).

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *0.49* kN

La resistencia de cálculo a compresión **$N_{c,Rd}$** viene dada por:

$N_{c,Rd}$: *53.46* kN

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra. **A_{eff}** : *1.34* cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_{yb}** : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo. (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **$N_{b,Rd}$** en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd}$: *26.76* kN

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra. **A_{eff}** : *1.34* cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_{yb}** : *420.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo. **χ** : *0.50*

El coeficiente de reducción por pandeo es el menor de los coeficientes de reducción calculados:

χ_z : *0.50*

χ_{FT} : *0.86*

Siendo:

ϕ_z : *1.34*

ϕ_{FT} : *0.71*

α: Coeficiente de imperfección elástica. **α_z** : *0.34*

α_{FT} : *0.34*

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_z$: *1.16*

$\bar{\lambda}_{FT}$: *0.55*

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : *41.74* kN

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión. **$N_{cr,FT}$** : *188.14* kN

Resistencia a flexión. Eje Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : ***0.554*** ✓

Para flexión positiva:

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **$M_{y,Ed}^+$** : *0.00* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N72, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+1.35·Suelo+0.8·Paneles+1.5·Sobrecargadeuso.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **$M_{y,Ed}^-$** : *1.33* kN·m

La resistencia de cálculo a flexión **$M_{c,Rd}$** viene dada por:

$M_{c,Rd}^+$: *2.28* kN·m

$M_{c,Rd}^-$: *2.40* kN·m

Donde:

W_{eff}: Módulo resistente eficaz correspondiente a la fibra de mayor tensión. **W_{eff}^+** : *5.71* cm³ **W_{eff}^-** : *6.00* cm³

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_{yb}** : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η < ***0.001*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N81, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles-0.3·SX-SY.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **$M_{z,Ed}^+$** : *0.00* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N81, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+0.3·SX+SY.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **$M_{z,Ed}^-$** : *0.00* kN·m

La resistencia de cálculo a flexión **$M_{c,Rd}$** viene dada por:

$M_{c,Rd}^+$: *0.63* kN·m

$M_{c,Rd}^-$: *0.85* kN·m

Donde:

W_{eff}: Módulo resistente eficaz correspondiente a la fibra de mayor tensión. **W_{eff}^+** : *1.57* cm³ **W_{eff}^-** : *2.12* cm³

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_{yb}** : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a flexión biaxial (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : ***0.143*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N81, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+0.3·Sobrecargadeuso-0.3·SX-SY.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente. **$M_{y,Ed}^-$** : *0.34* kN·m **$M_{z,Ed}^+$** : *0.00* kN·m

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente. **$M_{cy,Rd}$** : *2.40* kN·m **$M_{cz,Rd}$** : *0.63* kN·m

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

η < ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles-0.3·SX-SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *0.00* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *21.24* kN

Donde:

b_d: Ancho de las alas horizontales. b_d : *45.99* mm

t: Espesor. **t** : *1.00* mm

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_{yb} : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.291*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N72, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+1.35·Suelo+0.8·Paneles+1.5·Sobrecargadeuso.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *3.36* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{b,Rd}$** viene dado por:

$V_{b,Rd}$: *11.56* kN

Donde:

h_w: Altura del alma. h_w : *96.79* mm

t: Espesor. **t** : *1.00* mm

ϕ: Ángulo que forma el alma con la horizontal. ϕ : *90.0* grados

f_{bv}: Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

f_{bv} : *125.45* MPa

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$\bar{\lambda}_w$: *1.50*

Donde:

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_{yb} : 420.00 MPa

E: Módulo de elasticidad. — **E** : 210000.00 MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : 1.05

Resistencia a tracción y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.8 y 6.3)

Se debe satisfacer:

η : **0.5** ✓

η : **0.55** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N72, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+1.35·Suelo+0.8·Paneles+1.5·Sobrecargadeuso+0.9·V4(succión).

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. — $N_{t,Ed}$: 0.15 kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{y,Ed}^-$: 1.33 kN·m; $M_{z,Ed}^+$: 0.00 kN·m

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo a tracción. — $N_{t,Rd}$: 87.82 kN

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{cy,Rd,ten}$: 2.71 kN·m; $M_{cz,Rd,ten}$: 1.69 kN·m

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{cy,Rd,com}$: 2.40 kN·m; $M_{cz,Rd,com}$: 0.63 kN·m

Resistencia a compresión y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

Se debe satisfacer:

η : **0.562** ✓

η : **0.659** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N72, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+1.35·Suelo+0.8·Paneles+1.5·Sobrecargadeuso+0.9·V4(presión).

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 0.29 kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^-$: 1.33 kN·m; $M_{z,Ed}^+$: 0.00 kN·m

$\Delta M_{y,Ed}$: Momento adicional, respecto al eje Y, debido al desplazamiento de dicho eje al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. El momento adicional sólo se toma en consideración si su efecto es desfavorable.

$\Delta M_{y,Ed}$: 0.00 kN·m

Donde:

e_{Ny}: Desplazamiento del eje principal Y al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. e_{Ny} : 0.00 mm

$\Delta M_{z,Ed}$: Momento adicional, respecto al eje Z, debido al desplazamiento de dicho eje al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. El momento adicional sólo se toma en consideración si su efecto es desfavorable.

$\Delta M_{z,Ed}$: 0.00 kN·m

Donde:

e_{Nz}: Desplazamiento del eje principal Z al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. e_{Nz} : 5.19 mm

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión. $N_{c,Rd}$: 53.46 kN

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{cy,Rd,com}$: 2.40 kN·m; $M_{cz,Rd,com}$: 0.63 kN·m

$N_{b,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión con pandeo. $N_{b,Rd}$: 26.76 kN

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{cy,Rd}$: 2.40 kN·m; $M_{cz,Rd}$: 0.63 kN·m

Resistencia a cortante, axil y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y axil, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **$V_{z,Ed}$** es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{z,w,Rd}$**.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N72, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+1.35·Suelo+0.8·Paneles+1.5·Sobrecargadeuso+0.9·V4(presión).

0.343 ≤ 0.589

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{z,Ed}^-$: 3.36 kN

$V_{z,w,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante. $V_{z,w,Rd}$: 11.56 kN

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resumen de las comprobaciones

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	b / t	$\bar{\lambda}$	N_t	N_c	M_y	M_z	M_yM_z	V_y	V_z	$N_tM_yM_z$	$N_cM_yM_z$	$NM_yM_zV_yV_z$	$M_tNM_yM_zV_yV_z$	
N72/N81	b / t ≤ (b / t)Máx. Cumple	$\bar{\lambda}$ < 2.0 Cumple	η = 0.3	η = 1.8	x: 0 m η = 55.4	x: 2 m η < 0.1	x: 2 m η = 14.3	η < 0.1	x: 0 m η = 29.1	x: 0 m η = 55.3	x: 0 m η = 65.9	x: 0 m η < 0.1	N.P.(1)	**CUMPLE η = 65.9**

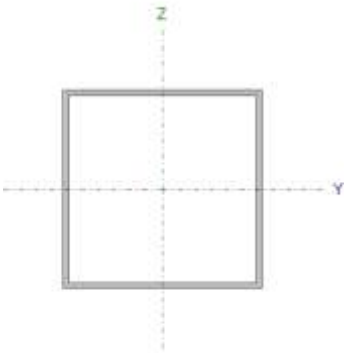
Notación:
- *b / t: Relación anchura / espesor*
- *$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez*
- *N_t: Resistencia a tracción*
- *N_c: Resistencia a compresión*
- *M_y: Resistencia a flexión. Eje Y*
- *M_z: Resistencia a flexión. Eje Z*
- *M_yM_z: Resistencia a flexión biaxial*
- *V_y: Resistencia a corte Y*
- *V_z: Resistencia a corte Z*
- *$N_tM_yM_z$: Resistencia a tracción y flexión*
- *$N_cM_yM_z$: Resistencia a compresión y flexión*
- *$NM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a cortante, axil y flexión*
- *$M_tNM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante*
- *x: Distancia al origen de la barra*
- *η: Coeficiente de aprovechamiento (%)*
- *N.P.: No procede*

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
- *(1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.*

1.1.4. Cubierta

1.1.4.1. Montantes

Perfil: 25.4 GHT18
Material: Acero (S450)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N16	N48	0.900	0.79	0.79	0.79	1.19

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	0.900	0.900	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$: ***1.32*** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *3*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *0.79* cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *450.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. **N_{cr}** : *20.34* kN

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **$N_{cr,y}$** : *20.34* kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: *20.34* kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $N_{cr,T}$: ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	I_y :	*0.79*	cm4
I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z :	*0.79*	cm4
I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t :	*1.19*	cm4
I_w: Constante de alabeo de la sección.	I_w :	*0.00*	cm6
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
G: Módulo de elasticidad transversal.	**G** :	*81000*	MPa
L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	L_{ky} :	*0.900*	m
L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} :	*0.900*	m
L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} :	*0.000*	m
i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i_0 :	*1.42*	cm

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	i_y :	*1.00*	cm
	i_z :	*1.00*	cm
y_0 , z_0: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	y_0 :	*0.00*	mm
	z_0 :	*0.00*	mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector que comprima un ala, de forma que se pueda desarrollar el fenómeno de abolladura del alma inducida por el ala comprimida.

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.283*** ✓

η : ***0.744*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V5.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *9.55* kN

La resistencia de cálculo a compresión **$N_{c,Rd}$** viene dada por:

$N_{c,Rd}$: *33.74* kN

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *3*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *0.79* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *428.57* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *450.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **$N_{b,Rd}$** en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd}$: *12.84* kN

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *0.79* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *428.57* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *450.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_y : *0.38*

χ_z : *0.38*

Siendo:

ϕ_y : *1.65*

ϕ_z : *1.65*

α: Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : *0.49*

α_z : *0.49*

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_y$: *1.32*

$\bar{\lambda}_z$: *1.32*

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : *20.34* kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: *20.34* kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: *20.34* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Resumen de las comprobaciones

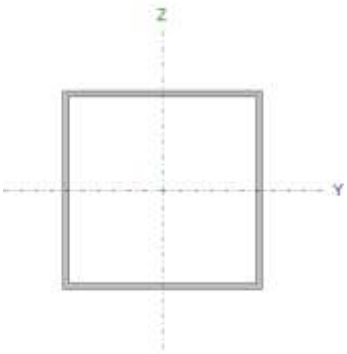
Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)											
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	Estado
N16/N48	$\bar{\lambda}$ < 2.0 Cumple	N.P.(1)	N_{Ed} = 0.00 N.P.(2)	x: 0 m η = 74.4	M_{Ed} = 0.00 N.P.(3)	M_{Ed} = 0.00 N.P.(3)	V_{Ed} = 0.00 N.P.(4)	V_{Ed} = 0.00 N.P.(4)	M_{Ed} = 0.00 N.P.(8)	N.P.(9)	N.P.(9)	**CUMPLE η = 74.4**

Notación:
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_Y: Resistencia a flexión eje Y
M_Z: Resistencia a flexión eje Z
V_Z: Resistencia a corte Z
V_Y: Resistencia a corte Y
M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
NM_YM_Z: Resistencia a flexión y axil combinados
$NM_YM_ZV_YV_Z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
M_t: Resistencia a torsión
M_tV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_tV_Y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
(1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector que comprima un ala, de forma que se pueda desarrollar el fenómeno de abolladura del alma inducida por el ala comprimida.
(2) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.
(3) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
(4) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
(5) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
(6) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
(7) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
(8) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
(9) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.1.4.2. Diagonales

Perfil: 31.75 GHT16
Material: Acero galvanizado



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N88	N50	1.221	1.23	1.94	1.95	2.92

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	1.221	1.221	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$: ***1.43*** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *3*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *1.23* cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *450.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. **N_{cr}** : *27.02* kN

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **$N_{cr,y}$** : *27.02* kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : *27.09* kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $N_{cr,T}$: ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	I_y :	1.94	cm4
I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z :	1.95	cm4
I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t :	2.92	cm4
I_w: Constante de alabeo de la sección.	I_w :	0.00	cm6
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	210000	MPa
G: Módulo de elasticidad transversal.	**G** :	81000	MPa
L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	L_{ky} :	1.221	m
L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} :	1.221	m
L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} :	0.000	m
i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i_0 :	1.78	cm

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	i_y :	1.26	cm
	i_z :	1.26	cm
y_0 , z_0: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	y_0 :	0.00	mm
	z_0 :	0.00	mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$29.75 \leq 351.09 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.	h_w :	29.75	mm
t_w: Espesor del alma.	t_w :	1.00	mm
A_w: Área del alma.	A_w :	0.60	cm²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$:	0.32	cm²
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.	**k** :	0.55	
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	210000	MPa

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida. f_{yf} : *450.00* MPa

Siendo:

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.206*** ✓

η : ***0.611*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N88, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V5.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: *10.88* kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd}$: *52.76* kN

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *3*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *1.23* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *428.57* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *450.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd}$: 17.82 kN

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. — **A** : 1.23 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — f_{yd} : 428.57 MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_y : 450.00 MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_y : 0.34

χ_z : 0.34

Siendo:

ϕ_y : 1.83

ϕ_z : 1.82

α: Coeficiente de imperfección elástica. — α_y : 0.49 — α_z : 0.49

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_y$: 1.43

$\bar{\lambda}_z$: 1.43

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: — N_{cr} : 27.02 kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. — $N_{cr,y}$: 27.02 kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. — $N_{cr,z}$: 27.09 kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. — $N_{cr,T}$: ∞

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : **0.004** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.610 m del nudo N88, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles.

M_{Ed}^{+}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^{+} : 0.00 kN·m

Para flexión negativa:

M_{Ed}^{-}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^{-} : 0.00 kN·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$M_{c,Rd}$: 0.52 kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : 3

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 3. $W_{el,y}$: 1.22 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 428.57 MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 450.00 MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : 1.05

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$\eta <$ **0.001** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N88, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 0.01 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$V_{c,Rd}$: 14.72 kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : 0.60 cm²

Siendo:

d: Altura del alma. **d** : *29.75* mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : *1.00* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *428.57* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *450.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

29.75 < **50.59** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. **λ_w** : *29.75*

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. **$\lambda_{máx}$** : *50.59*

ε: Factor de reducción. **ε** : *0.72*

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. **f_{ref}** : *235.00* MPa

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *450.00* MPa

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **$V_{c,Rd}$**.

0.00 kN ≤ **7.36 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.407 m del nudo N88, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *0.00* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{c,Rd}$** : *14.72* kN

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.210*** ✓

η : ***0.616*** ✓

η : ***0.614*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.610 m del nudo N88, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V5.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *10.88* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. **$M_{y,Ed}^{+}$** : *0.00* kN·m **$M_{z,Ed}^{+}$** : *0.00* kN·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : *3*

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. **$N_{pl,Rd}$** : *52.76* kN

$M_{el,Rd,y}$, $M_{el,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones elásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. **$M_{el,Rd,y}$** : *0.52* kN·m **$M_{el,Rd,z}$** : *0.52* kN·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : *1.23* cm² **$W_{el,y}$** : *1.22* cm³

$\mathbf{W_{el,y}}$, $\mathbf{W_{el,z}}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $\mathbf{W_{el,z}}$: *1.22* cm³

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{yd}}$: *428.57* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *450.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : *1.05*

$\mathbf{k_y}$, $\mathbf{k_z}$: Coeficientes de interacción.

$\mathbf{k_y}$: *1.37*

$\mathbf{k_z}$: *1.37*

$\mathbf{C_{m,y}}$, $\mathbf{C_{m,z}}$: Factores de momento flector uniforme equivalente. $\mathbf{C_{m,y}}$: *1.00*

$\mathbf{C_{m,z}}$: *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. χ_y : *0.34*

χ_z : *0.34*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\bar{\lambda}_y$: *1.43*

$\bar{\lambda}_z$: *1.43*

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección. α_y : *0.80*

α_z : *1.00*

<u>Resistencia a flexión, axil y cortante combinados</u> (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $\mathbf{V_{Ed}}$ es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.407 m del nudo N88, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles.

0.00 kN ≤ 7.36 kN ✓

Donde:

$\mathbf{V_{Ed,z}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed,z}}$: *0.00* kN

$\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: *14.72* kN

Resumen de las comprobaciones

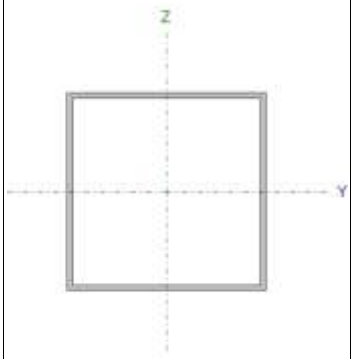
Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N88/N50	$\bar{\lambda}$ < 2.0 Cumple	x: 0.407 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	N_{Ed} = 0.00 N.P.(1)	x: 0 m η = 61.1	x: 0.61 m η = 0.4	M_{Ed} = 0.00 N.P.(2)	x: 0 m η < 0.1	V_{Ed} = 0.00 N.P.(3)	x: 0.407 m η < 0.1	N.P.(4)	x: 0.61 m η = 61.6	x: 0.407 m η < 0.1	M_{Ed} = 0.00 N.P.(5)	N.P.(6)	N.P.(6)	**CUMPLE η = 61.6**

Notación:
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_Y: Resistencia a flexión eje Y
M_Z: Resistencia a flexión eje Z
V_Z: Resistencia a corte Z
V_Y: Resistencia a corte Y
M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
NM_YM_Z: Resistencia a flexión y axil combinados
$NM_YM_ZV_YV_Z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
M_t: Resistencia a torsión
M_tV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_tV_Y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
(1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.
(2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
(3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
(4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
(5) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
(6) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.1.4.3. Cordón superior

Perfil: 38.1 GHT14
Material: Acero galvanizado



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N51	N50	1.005	1.77	4.02	4.02	6.04

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	1.005	1.005	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$: ***0.98*** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *3*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *1.77* cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *450.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. N_{cr} : *82.57* kN

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $N_{cr,y}$: *82.57* kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: *82.57* kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $N_{cr,T}$: ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. I_y : *4.02* cm4

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. I_z : *4.02* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. I_t : *6.04* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. I_w : *0.00* cm6

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *81000* MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. L_{ky} : *1.005* m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. L_{kz} : *1.005* m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. L_{kt} : *0.000* m

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. i_0 : *2.13* cm

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. i_y : *1.51* cm

i_z : *1.51* cm

y_0 , z_0: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección. y_0 : *0.00* mm

z_0 : *0.00* mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

29.75 ≤ 351.36 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.	**h_w** :	*35.70*	mm
t_w: Espesor del alma.	**t_w** :	*1.20*	mm
A_w: Área del alma.	**A_w** :	*0.86*	cm²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	**$A_{fc,ef}$** :	*0.46*	cm²
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.	**k** :	*0.55*	
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.	**f_{yf}** :	*450.00*	MPa

Siendo:

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.327*** ✓

η : ***0.595*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N51, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *24.86* kN

La resistencia de cálculo a compresión **$N_{c,Rd}$** viene dada por:

$N_{c,Rd}$: *75.91* kN

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : 3

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 1.77 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 428.57 MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 450.00 MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd}$: 41.76 kN

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 1.77 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 428.57 MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 450.00 MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_y : 0.55

χ_z : 0.55

Siendo:

ϕ_y : 1.17

ϕ_z : 1.17

α: Coeficiente de imperfección elástica. α_y : 0.49

α_z : 0.49

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_y$: 0.98

$\bar{\lambda}_z$: 0.98

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: N_{cr} : 82.57 kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $N_{cr,y}$: 82.57 kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: 82.57 kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $N_{cr,T}$: ∞

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.216*** ✓

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^+** : *0.00* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N50, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V5.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^-** : *0.20* kN·m

El momento flector resistente de cálculo **$M_{c,Rd}$** viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *0.91* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *3*

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 3. **$W_{el,y}$** : *2.11* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *428.57* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *450.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.062*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N51, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+0.3·SX+SY.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^+** : *0.06* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N51, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles-0.3·SX-SY.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^-** : *0.06* kN·m

El momento flector resistente de cálculo **$M_{c,Rd}$** viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *0.91* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *3*

$\mathbf{W_{el,z}}$: Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 3. $\mathbf{W_{el,z}}$: *2.11* cm³

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{yd}}$: *428.57* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *450.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : ***0.059*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N50, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(presión)+1.5·V5.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *1.26* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: *21.20* kN

Donde:

$\mathbf{A_v}$: Área transversal a cortante. $\mathbf{A_v}$: *0.86* cm²

Siendo:

d: Altura del alma. **d** : *35.70* mm

$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma. $\mathbf{t_w}$: *1.20* mm

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{yd}}$: *428.57* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *450.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

29.75 < **50.59** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : *29.75*

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{máx}$: *50.59*

ε: Factor de reducción. ε : *0.72*

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. f_{ref} : *235.00* MPa

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *450.00* MPa

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : ***0.002*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles-0.3·SX-SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *0.04* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *22.63* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : *0.91* cm²

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A** : *1.77* cm²

d: Altura del alma. **d** : *35.70* mm

t_w: Espesor del alma. t_w : *1.20* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *428.57* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *450.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

31.75 < 50.59 ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : *31.75*

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{máx}$: *50.59*

ε: Factor de reducción. ε : *0.72*

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. f_{ref} : *235.00* MPa

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *450.00* MPa

<u>Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados</u> (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

1.22 kN ≤ 10.60 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V5.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *1.22* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: *21.20* kN

<u>Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados</u> (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

0.04 kN ≤ 11.31 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles-0.3·SX-SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *0.04* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{c,Rd}$** : *22.63* kN

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.54*** ✓

η : ***0.88*** ✓

η : ***0.82*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N50, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V4(presión)+1.5·V4(succión)+1.5·V5.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *24.8* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.
$M_{y,Ed}^-$: *0.20* kN·m
$M_{z,Ed}^+$: *0.00* kN·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : *3*

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. **$N_{pl,Rd}$** : *75.9* kN

$M_{el,Rd,y}$, $M_{el,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones elásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.
$M_{el,Rd,y}$: *0.91* kN·m
$M_{el,Rd,z}$: *0.91* kN·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : *1.77* cm²

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.
$W_{el,y}$: *2.11* cm³
$W_{el,z}$: *2.11* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *428* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *450.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.05*

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

k_y : *1.35*

k_z : *1.35*

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$C_{m,y}$: *1.00*
$C_{m,z}$: *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

χ_y : *0.55*
χ_z : *0.55*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$\bar{\lambda}_y$: *0.98*
$\bar{\lambda}_z$: *0.98*

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección.

α_y : *0.80*
α_z : *1.00*

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+0.8·Techo+0.8·Suelo+0.8·Paneles+1.5·V5.

1.22 kN ≤ 10.60 kN ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed,z}$: *1.22* kN

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd,z}$: *21.20* kN

Resumen de las comprobaciones

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N51/N50	$\bar{\lambda}$ < 2.0 Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	N_{Ed} = 0.00 N.P.(1)	x: 0 m η = 59.5	x: 1.005 m η = 21.6	x: 0 m η = 6.2	x: 1.005 m η = 5.9	η = 0.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.005 m η = 88.5	η < 0.1	M_{Ed} = 0.00 N.P.(2)	N.P.(3)	N.P.(3)	**CUMPLE η = 88.5**

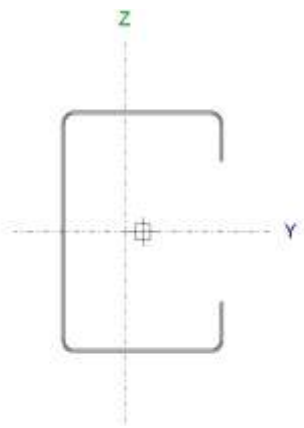
Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	

Notación:
- *$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez*
- *λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida*
- *N_t: Resistencia a tracción*
- *N_c: Resistencia a compresión*
- *M_Y: Resistencia a flexión eje Y*
- *M_Z: Resistencia a flexión eje Z*
- *V_Z: Resistencia a corte Z*
- *V_Y: Resistencia a corte Y*
- *M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados*
- *M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados*
- *NM_YM_Z: Resistencia a flexión y axil combinados*
- *$NM_YM_ZV_YV_Z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados*
- *M_t: Resistencia a torsión*
- *M_tV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados*
- *M_tV_Y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados*
- *x: Distancia al origen de la barra*
- *η: Coeficiente de aprovechamiento (%)*
- *N.P.: No procede*

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
- *(1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.*
- *(2) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.*
- *(3) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.*

1.1.4.4. Correas

Perfil: 3 x 2 GH16
Material: Acero (S420)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)	y_q (3) (mm)	z_q (3) (mm)
N52	N59	3.000	1.99	19.54	7.62	0.01	-5.54	0.00

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme
(3) Coordenadas del centro de gravedad

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	3.000	3.000	0.000	0.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Relación anchura / espesor (CTE DB SE-A, Tabla 5.5 y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

h / t : ***68.2*** ✓

b / t : ***42.8*** ✓

c / t : ***11.9*** ✓

Los rigidizadores proporcionan suficiente rigidez, ya que se cumple:

c / b : *0.278*

Donde:

h: Altura del alma. **h** : *68.20* mm
b: Ancho de las alas. **b** : *42.80* mm
c: Altura de los rigidizadores. **c** : *11.90* mm
t: Espesor. **t** : *1.00* mm

Nota: Las dimensiones no incluyen el acuerdo entre elementos.

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas no puede ser mayor que 2.0.

$\bar{\lambda}$: ***1.77*** ✓

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra. — A_{eff} : *1.32* cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_{yb} : *420.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo mínimo. — N_{cr} : *17.54* kN

El axil crítico elástico de pandeo **N_{cr}** se calcula según los apartados a) y b):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: *17.54* kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$N_{cr,FT}$: *45.00* kN

Donde:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: *45.00* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. — I_y : *19.54* cm4

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. — I_z : *7.62* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. — I_t : *0.01* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. — I_w : *117.32* cm6

E: Módulo de elasticidad. — **E** : *210000.00* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. — **G** : *81000.00* MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. — L_{ky} : *3.000* m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. — L_{kz} : *3.000* m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. L_{kt} : 0.000 m

β: Constante adimensional, obtenida mediante la siguiente expresión:

β : 0.39

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_o : 5.94 cm

Siendo:

i_y, i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. i_y : 3.13 cm

i_z : 1.95 cm

y_o, z_o: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección. y_o : -4.65 cm

z_o : 0.00 cm

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.2)

Se debe satisfacer:

η : **0.003** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+0.3·SX+SY.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $N_{t,Ed}$: 0.23 kN

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$N_{t,Rd}$: 79.78 kN

Donde:

A_g: Área bruta de la sección transversal de la barra. A_g : 1.99 cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_{yb} : 420.00 MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.3)

Se debe satisfacer:

η : **0.004** ✓

η : **0.017** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.571 m del nudo N52, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles-0.3·SX-SY.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 0.23 kN

La resistencia de cálculo a compresión **$N_{c,Rd}$** viene dada por:

$N_{c,Rd}$: 52.64 kN

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra. A_{eff} : 1.32 cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_{yb} : 420.00 MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo. (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **$N_{b,Rd}$** en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd}$: 13.59 kN

Donde:

A_{eff}: Área eficaz de la sección transversal de la barra. A_{eff} : 1.32 cm²

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_{yb} : 420.00 MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo. χ : 0.26

El coeficiente de reducción por pandeo es el menor de los coeficientes de reducción calculados:

χ_z : 0.26

χ_{FT} : 0.53

Siendo:

ϕ_z : 2.34

ϕ_{FT} : 1.27

α: Coeficiente de imperfección elástica. α_z : 0.34

α_{FT} : 0.34

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_z$: 1.77

$\bar{\lambda}_{FT}$: *1.11*

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : *17.54* kN

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión. **$N_{cr,FT}$** : *45.00* kN

<u>Resistencia a flexión. Eje Y</u> (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : ***0.112*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N52, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles-0.3·SX-SY.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **$M_{y,Ed}^+$** : *0.18* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N52, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+0.3·SX+SY.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **$M_{y,Ed}^-$** : *0.18* kN·m

La resistencia de cálculo a flexión **$M_{c,Rd}$** viene dada por:

$M_{c,Rd}^+$: *1.61* kN·m

$M_{c,Rd}^-$: *1.71* kN·m

Donde:

W_{eff}: Módulo resistente eficaz correspondiente a la fibra de mayor tensión. **W_{eff}^+** : *4.02* cm³ **W_{eff}^-** : *4.26* cm³

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_{yb}** : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : ***0.178*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N52, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles-0.3·SX-SY.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **$M_{z,Ed}^+$** : *0.11* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N52, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+0.3·SX+SY.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **$M_{z,Ed}^-$** : *0.10* kN·m

La resistencia de cálculo a flexión **$M_{c,Rd}$** viene dada por:

$M_{c,Rd}^+$: *0.64* kN·m

$M_{c,Rd}^-$: *0.89* kN·m

Donde:

W_{eff}: Módulo resistente eficaz correspondiente a la fibra de mayor tensión. **W_{eff}^+** : *1.61* cm³ **W_{eff}^-** : *2.24* cm³

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_{yb}** : *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a flexión biaxial (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

η : ***0.221*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N52, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles-0.3·SX-SY.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente. **$M_{y,Ed}^+$** : *0.08* kN·m **$M_{z,Ed}^+$** : *0.11* kN·m

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente. **$M_{cy,Rd}$** : *1.61* kN·m **$M_{cz,Rd}$** : *0.64* kN·m

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.003*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N52, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles-0.3·SX-SY.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.07* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: *22.05* kN

Donde:

$\mathbf{b_d}$: Ancho de las alas horizontales. $\mathbf{b_d}$: *47.75* mm

$\mathbf{t}$: Espesor. $\mathbf{t}$: *1.00* mm

$\mathbf{f_{yb}}$: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_{yb}}$: *420.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.006*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.571 m del nudo N52, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles-0.3·SX-SY.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.08* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{b,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{V_{b,Rd}}$: *12.41* kN

Donde:

$\mathbf{h_w}$: Altura del alma. $\mathbf{h_w}$: *73.15* mm

$\mathbf{t}$: Espesor. $\mathbf{t}$: *1.00* mm

ϕ: Ángulo que forma el alma con la horizontal. ϕ : *90.0* grados

$\mathbf{f_{bv}}$: Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

$\mathbf{f_{bv}}$: *178.11* MPa

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$\bar{\lambda}_w$: *1.13*

Donde:

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_{yb} : *420.00* MPa

E: Módulo de elasticidad. — **E** : *210000.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a tracción y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.8 y 6.3)

Se debe satisfacer:

η : ***0.150*** ✓

η : ***0.140*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N52, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles+0.3·SX+SY.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. — $N_{t,Ed}$: *0.22* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{y,Ed}^-$: *0.08* kN·m; $M_{z,Ed}^-$: *0.09* kN·m

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo a tracción. — $N_{t,Rd}$: *79.78* kN

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{cy,Rd,ten}$: *1.92* kN·m; $M_{cz,Rd,ten}$: *0.89* kN·m

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{cy,Rd,com}$: *1.71* kN·m; $M_{cz,Rd,com}$: *0.99* kN·m

Resistencia a compresión y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.225*** ✓

η : ***0.372*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N52, para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles-0.3·SX-SY.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. — $N_{c,Ed}$: *0.22* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{y,Ed}^{+}$: *0.08* kN·m; $M_{z,Ed}^{+}$: *0.11* kN·m

$\Delta M_{y,Ed}$: Momento adicional, respecto al eje Y, debido al desplazamiento de dicho eje al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. El momento adicional sólo se toma en consideración si su efecto es desfavorable.

$\Delta M_{y,Ed}$: *0.00* kN·m

Donde:

e_{Ny}: Desplazamiento del eje principal Y al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. — e_{Ny} : *0.00* mm

$\Delta M_{z,Ed}$: Momento adicional, respecto al eje Z, debido al desplazamiento de dicho eje al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. El momento adicional sólo se toma en consideración si su efecto es desfavorable.

$\Delta M_{z,Ed}$: *0.00* kN·m

Donde:

e_{Nz}: Desplazamiento del eje principal Z al pasar de la sección bruta a la sección eficaz, calculada esta última suponiéndola sometida solamente a compresión uniforme. — e_{Nz} : *3.10* mm

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión. — $N_{c,Rd}$: *52.64* kN

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{cy,Rd,com}$: *1.61* kN·m; $M_{cz,Rd,com}$: *0.64* kN·m

$N_{b,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión con pandeo. — $N_{b,Rd}$: *13.59* kN

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{cy,Rd}$: *1.61* kN·m; $M_{cz,Rd}$: *0.64* kN·m

Resistencia a cortante, axil y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y axil, ya que los esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo **$V_{y,Ed}$** y **$V_{z,Ed}$** son menores o iguales que el 50% de los correspondientes esfuerzos cortantes resistentes de cálculo **$V_{y,c,Rd}$** y **$V_{z,w,Rd}$**.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+Cubierta+Techo+Suelo+Paneles-0.3·SX-SY.

0.002 ≤ 1.124

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **$V_{y,Ed}$** : *0.02* kN

$V_{y,c,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante. **$V_{y,c,Rd}$** : *22.05* kN

0.008 ≤ 0.632

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **$V_{z,Ed}$** : *0.07* kN

$V_{z,w,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante. **$V_{z,w,Rd}$** : *12.41* kN

Resumen de las comprobaciones

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N59/N66	$\bar{\lambda}$ < 2.0 Cumple	x: 0 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	η = 0.1	η = 0.8	x: 0 m η = 3.3	x: 0 m η = 3.8	x: 0 m η = 0.1	η = 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0.857 m η = 4.2	x: 0 m η < 0.1	M_{Ed} = 0.00 N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	**CUMPLE η = 4.2**

Notación:
- *$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez*
- *λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida*
- *N_t: Resistencia a tracción*
- *N_c: Resistencia a compresión*
- *M_Y: Resistencia a flexión eje Y*
- *M_Z: Resistencia a flexión eje Z*
- *V_Z: Resistencia a corte Z*
- *V_Y: Resistencia a corte Y*
- *M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados*
- *M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados*
- *NM_YM_Z: Resistencia a flexión y axil combinados*
- *$NM_YM_ZV_YV_Z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados*
- *M_t: Resistencia a torsión*
- *M_tV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados*
- *M_tV_Y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados*
- *x: Distancia al origen de la barra*
- *η: Coeficiente de aprovechamiento (%)*
- *N.P.: No procede*

Comprobaciones que no proceden (N.P.):

(1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

(2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.2. Cálculos cimentación

En este capítulo se expone las comprobaciones realizadas por el software CYPE para las cimentaciones. Estos cálculos están realizados conforme a la normativa española CTE.

1.2.1. Zapata aislada

Referencia: N97 Dimensiones: 80 x 80 x 30 Armados: Xi:Ø12c/18 Yi:Ø12c/18		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: *Criterio de CYPE Ingenieros*	Calculado: 0.007848 MPa	
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.122625 MPa	Cumple
- Tensión media en situaciones accidentales sísmicas:	Máximo: 0.2943 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.153232 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.153232 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones accidentales sísmicas:	Máximo: 0.367875 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata:		
- En dirección X *(1)*		No procede
- En dirección Y *(1)*		No procede
(1) Sin momento de vuelco		
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 0.00 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 0.00 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 0.10 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 0.10 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata: *Criterio de CYPE Ingenieros*		
- Situaciones persistentes:	Máximo: 5000 kN/m² Calculado: 2.4 kN/m²	Cumple
- Situaciones accidentales sísmicas:	Máximo: 5769.2 kN/m² Calculado: 1.5 kN/m²	Cumple
Canto mínimo: *Artículo 59.8.1 de la norma EHE-98*	Mínimo: 25 cm Calculado: 30 cm	Cumple

Referencia: N97 Dimensiones: 80 x 80 x 30 Armados: Xi:Ø12c/18 Yi:Ø12c/18		
Comprobación	Valores	Estado
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N97:	Mínimo: 0 cm Calculado: 23 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: *Criterio de CYPE Ingenieros* - En dirección X: - En dirección Y:	Mínimo: 0.002 Calculado: 0.0021 Calculado: 0.0021	Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: - Parrilla inferior: *Recomendación del Artículo 59.8.2 (norma EHE-98)*	Mínimo: 12 mm Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: *Artículo 59.8.2 de la norma EHE-98* - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 18 cm Calculado: 18 cm	Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: *Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16* - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 18 cm Calculado: 18 cm	Cumple Cumple
Longitud de anclaje: *Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991* - Armado inf. dirección X hacia der: - Armado inf. dirección X hacia izq: - Armado inf. dirección Y hacia arriba: - Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Longitud mínima de las patillas: - Armado inf. dirección X hacia der: - Armado inf. dirección X hacia izq: - Armado inf. dirección Y hacia arriba: - Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 12 cm Calculado: 12 cm Calculado: 12 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Anexo 2. Catálogo: Vigas Ferromax

Costanera GHT®

la estructura ideal para sus techos de calidad

Costanera GHT (GALVANIZED HIGH TENSILE), es la nueva costanera galvanizada de alta resistencia, fabricada por GRUPO FERROMAX con materias primas de alta calidad internacional bajo normas ASTM A 653 y AUS 1397 que le brinda mayor economía, mayor duración y mayor resistencia. Es la estructura ideal para sus techos de calidad.

Características Técnicas

- Esfuerzo de Fluencia: 72,500 PSI
- Esfuerzo último: 75,000 PSI
- Ductilidad Promedio: 9%
- Recubrimiento de Zinc: Z 180 (180 gr./m²)
- Normas ASTM A 653, AUS 1397

Presentaciones

Peralte	Base	Pestaña	Espesores
3″	1.25″	5/8″	#18, #16, #14
3″	2″	5/8″	
4″	2″	5/8″	
6″	2″	5/8″	
8″	2″	5/8″	

Recomendaciones de soldadura

La costanera GHT puede unirse perfectamente mediante soldadura de arco, para ello es muy importante seguir las siguientes recomendaciones:

- Limpieza de las partes a soldar.
- Utilizar aparatos de soldadura con regulador de amperaje y revisar que los cables y tenazas porta-electrodo esten en buen estado.
- Realizar las soldaduras con puntos cortos, pausado, hasta obtener el cordón de soldadura requerido.
- El amperaje para las uniones debe ser regulado entre 50 y 90 amperios según el espesor de la costanera (ver tabla).
- En las zonas donde fue necesario aplicar soldadura, utilice esmalte plateado para restaurar protección.

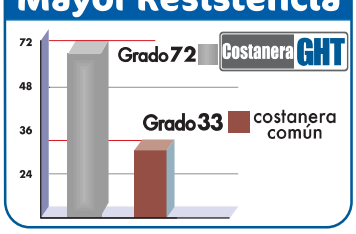
Cuadro Comparativo

CARACTERÍSTICAS	Costanera GHT	Costanera Común
RESISTENCIA	El acero grado 72 y su pestaña de 5/8″, le brindan una mayor resistencia.	Menor resistencia por ser fabricada con acero grado 33.
DURACIÓN	Por su recubrimiento de Zinc no se oxida, asegurando la vida útil de sus techos hasta más de 50 años.	Menos de 25 años.
ECONOMÍA	Ahorra más de Q40.00 en pintura, solvente, insumos, mano de obra y tiempo por cada Costanera GHT	Gastos excesivos en tiempo, pintura, solvente y mano de obra.

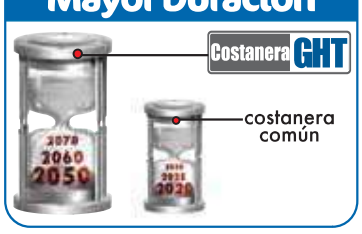
Tabla de Amperajes y Electrodo.

COSTANERA GHT	AMPERAJE	ELECTRODO A UTILIZAR
# 18 (0.80 mm)	50 A - 60 A	Electrodo Weldmax de 3/32″ (ó Equivalente)
# 16 (1.00 mm)	60 A - 70 A	
# 14 (1.20 mm)	70 A - 90 A	

Mayor Resistencia



Mayor Duración



Mayor Economía

De venta solo en los MEGASERVICIOS y SUCURSALES de FERROMAX en toda Guatemala

GHT Verifique la marca impresa

METAL MECÁNICA GHT®

GALVANIZADO DE ALTA RESISTENCIA

Son los mejores Perfiles Galvanizados de Alta Resistencia GHT (Ángulo, Tubo, Platina y Lámina). Fabricados con materias primas y procesos de calidad mundial aplicando valores ECOsteel con Normas ASTM A653 y AUS 1397, optimizando el valor estructural con seguridad y economía.

AHORRE

CORTES · EMPALMES · DESPERDICIOS

con nuestro exclusivo servicio de **FABRICACIÓN A LONGITUD EXACTA**

Desde 1 hasta 12 metros

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Resistencia estructural: Grado 72 (72,000 psi)
  Grado 65 (65,000 psi)
- Ductilidad promedio: 9%
- Recubrimiento de Zinc: Z 180 (180 g/m²)
- Normas: ASTM A653 y AUS 1397

Tubo GHT®

TUBO					
Medidas	Espesor G72			Espesor G65	
	GHT 18	GHT 16	GHT 14	GHT 12	GHT 10
Cuadrado					
1/2″					
3/4″	✓				
1″	✓	✓	✓		
1 1/4″ y 1 1/2″		✓	✓		
2″			✓	✓	
3″		✓	✓	✓	✓
4″			✓	✓	✓
Rectangular					
2″ x 1″		✓	✓		
4″ x 2″		✓	✓	✓	✓
6″ x 2″			✓	✓	✓
Redondo					
5/8″	✓				
1.315″	✓	✓	✓		
1.660″, 1.900″, 2.375″		✓	✓		
3.800″		✓	✓	✓	
5.100″				✓	✓

PLATINA GHT®

PLATINA					
Medidas	Espesor G65				
	GHT 10	GHT 8	GHT 6	GHT 4	GHT 2
½″, 1″, 1 ¼″, 1 ½″, 2″, 2 ½″, 3″, 4″, 6″	✓	✓	✓	✓	✓

LÁMINA GHT®

LÁMINA				
Medidas	Espesor G65			
	GHT 18	GHT 16	GHT 14	GHT 12
Largo: Desde 0.30 m hasta 3.91 m Ancho: 1.21 m	✓	✓	✓	✓

*Consulte medidas disponible con su asesor de ventas.

VIGA GHT®

LA ESTRUCTURA IDEAL PARA SUS COLUMNAS
Y VIGAS DE CALIDAD

Es la mejor Viga Galvanizada de Alta Resistencia que fabricamos aplicando valores ECOsteel con Normas ASTM A653 y AUS 1397, ideales para la construcción de grandes edificaciones con exigencias de diseño sismorresistente.

GHT Verifique la marca impresa

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Resistencia estructural: Grado 65 (65,000 psi).
- Recubrimiento de Zinc: Z 180 (180 g/m²)
- Normas: ASTM A653 y AUS 1397

AHORRE

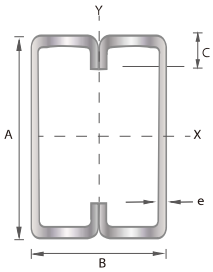
CORTES · EMPALMES · DESPERDICIOS

con nuestro exclusivo servicio de
FABRICACIÓN A LONGITUD EXACTA

Desde 1 hasta 12 metros

VENTAJAS

- Servicio de fabricación a longitud exacta
- Fácil y rápida instalación
- Mayor duración y economía
- Mayor resistencia estructural
- Mayor estética y belleza arquitectónica



Sección Doble

PRESENTACIONES

Peralte (A)	Base (B)	Pestaña (C)	Espesores (e) Nominal en GHT
8"	3"	1"	GHT 12
10"	3"	1"	GHT 10
12"	3.5"	1 1/4 "	GHT 8
14"	4"	1 1/2 "	GHT 6
15"	4"	1 1/2"	GHT 4

*Consulte medidas disponible con su asesor de ventas.

CUADRO COMPARATIVO

Viga WF	VIGA GHT®
− **Menor ahorro**	+ **Mayor ahorro**
Alto riesgo de corrosión por no contar con protección galvanizada, reduciendo su vida útil. Gastos excesivos en insumos y mantenimiento de cada pieza.	Por su gruesa capa de recubrimiento de Zinc de 180 gramos por metro cuadrado, le brinda mayor protección contra la corrosión y prolonga la vida útil de las estructuras.
− **Disponible solo en medidas estandar**	+ **Fabricación a longitud exacta**
Obtiene desperdicios de material, realiza cortes para lograr la longitud deseada y aumenta el desgaste físico de instalación.	Servicio de fabricación al centímetro exacto, desde 1 hasta 12 metros de longitud, evita desperdicio de material, ahorrando tiempo y dinero en su instalación.
− **Lento proceso de construcción**	+ **Rápido proceso de construcción**
Sistema constructivo lento, realizando largos procesos de cortar, soldar, lijar y pintar, retrasando los tiempos de entrega.	Sistema constructivo más rápido, seguro y fácil de instalar, disminuye de manera considerable los tiempos de entrega.

Aplicaciones: Naves industriales,mezzanines, pasarelas peatonales, vallas publicitarias, postes de alumbrado, iglesias, residenciales, unidades de salud, centros escolares, edificios comerciales.

Anexo 3. Catálogo: Simpson Strong-Tie

RCA Rigid Connector Angles

The Simpson Strong-Tie® rigid connector angle is a general-purpose clip angle designed for a wide range of cold-formed steel construction applications. With prepunched holes for fastener attachment, these L-shaped clips save time and labor on the job.

Features:

- Use with miscellaneous header/sill connections to jamb studs, jamb stud reinforcement at track, u-channel bridging, stud-blocking, bypass curtain-wall framing and more
- Easy to install, with prepunched holes for quick and accurate fastener attachment

Material: RCA223/54, RCA225/54, RCA227/54, RCA333/54, RCA335/54 — 54 mil (16 ga.), 50 ksi; RCA223/68, RCA225/68, RCA227/68, RCA333/68, RCA335/68 — 68 mil (14 ga.), 50 ksi; RCA223/97, RCA225/97, RCA227/97, RCA333/97, RCA335/97 — 97 mil (12 ga.), 50 ksi

Finish: Galvanized (G90)

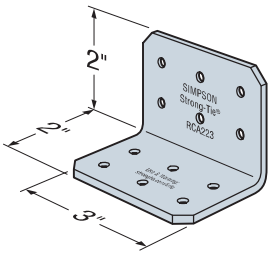
Installation:

- Use all specified anchors/fasteners

Codes: See p. 11 for Code Reference Key Chart

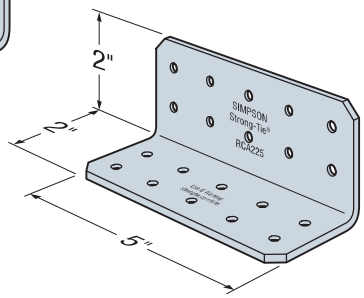
Ordering Information

Model No.	Ordering SKU	Bucket Quantity
RCA223/54	RCA223/54-R150	150
RCA223/68	RCA223/68-R125	125
RCA223/97	RCA223/97-R90	90
RCA225/54	RCA225/54-R90	90
RCA225/68	RCA225/68-R75	75
RCA225/97	RCA225/97-R55	55
RCA227/54	RCA227/54-R65	65
RCA227/68	RCA227/68-R55	55
RCA227/97	RCA227/97-R40	40
RCA333/54	RCA333/54-R100	100
RCA333/68	RCA333/68-R85	85
RCA333/97	RCA333/97-R60	60
RCA335/54	RCA335/54-R60	60
RCA335/68	RCA335/68-R50	50
RCA335/97	RCA335/97-R35	35

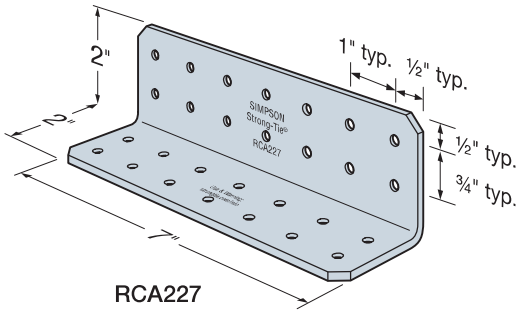


NEW

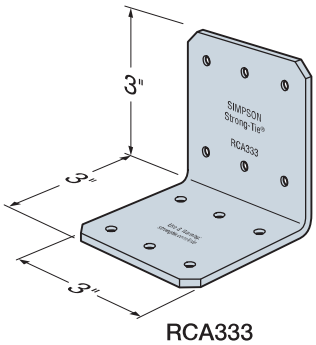
RCA223



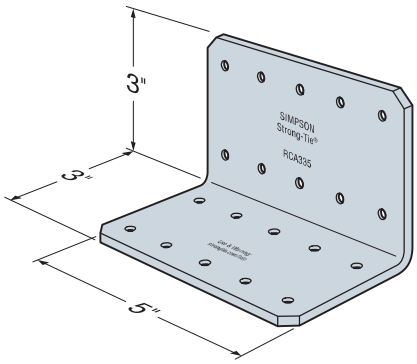
RCA225



RCA227



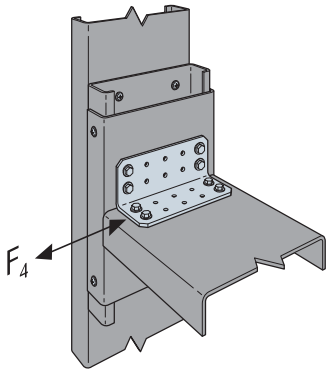
RCA333



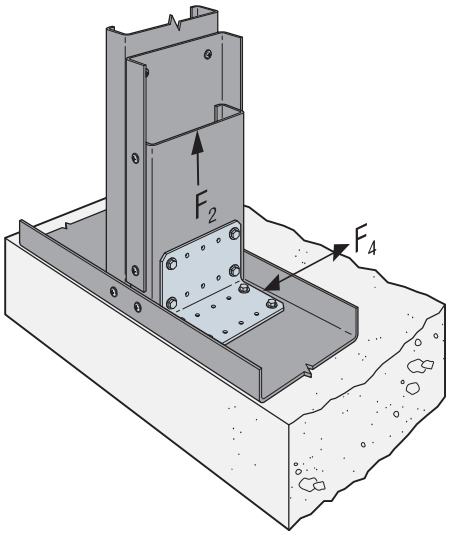
RCA335

C-CF-2017 ©2017 SIMPSON STRONG-TIE COMPANY INC.

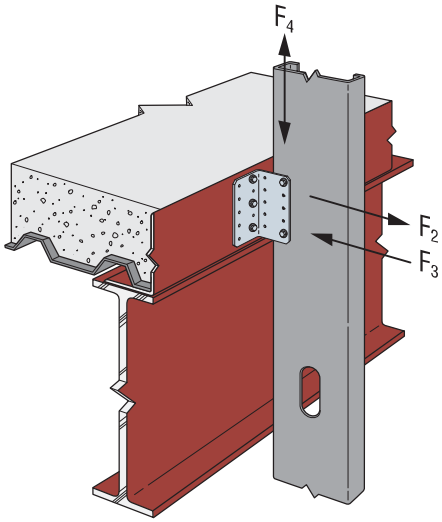
RCA Rigid Connector Angles



Typical RCA225
Installation at Sill/Jamb

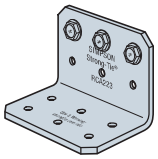
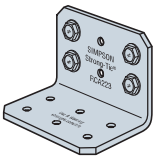
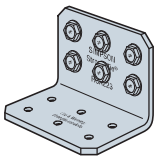
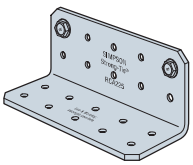
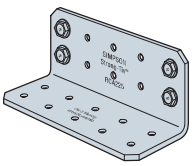
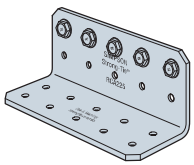
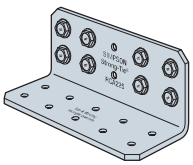
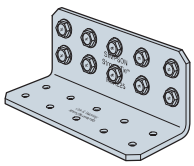
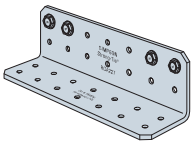
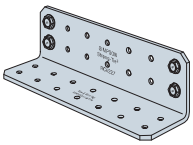
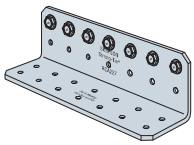
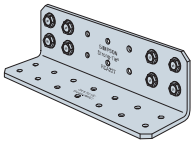
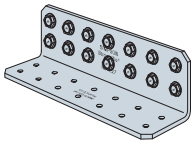


Typical RCA335 Installation
at Base of Jamb



Typical RCA335 Installation
at Bypass Framing

Screw Patterns for Rigid Connector Angles

Models	Pattern 1	Pattern 2	Pattern 3		
RCA223/54 RCA223/68 RCA223/97 RCA333/54 RCA333/68 RCA333/97					
Models	**Pattern 4**	**Pattern 5**	**Pattern 6**	**Pattern 7**	**Pattern 8**
RCA225/54 RCA225/68 RCA225/97 RCA335/54 RCA335/68 RCA335/97					
Models	**Pattern 9**	**Pattern 10**	**Pattern 11**	**Pattern 12**	**Pattern 13**
RCA227/54 RCA227/68 RCA227/97					

C-CF-2017 ©2017 SIMPSON STRONG-TIE COMPANY INC.

Footnotes for RCA Load Tables

1. As applicable, the tabulated values are calculated based on AISI RP15-2, AISI S100 or generally accepted industry standards.
2. The tabulated values do not account for anchorage to the support. Anchor strength must be calculated separately and may reduce the capacity of the connection when compared to the tabulated values.
3. Tabulated values do not include shear, web crippling, buckling or other local effects in the member. The Designer must check member limit states separately.
4. For load combinations that include F_4 and/or F_2 and/or F_3, use an appropriate interaction equation.
5. #10–16 screws shall have $P_{ss} \geq 1{,}620$ lb. Calculated values are per AISI S100. Screws must be installed with three (minimum) exposed threads.
6. The number of screws is for one clip leg that is attached to the supported stud.
7. In addition to calculations of net and gross section tension, F_2 values are also calculated and normally controlled by weak-axis bending of the anchored clip leg with the line of bending at the holes nearest the bend radius of the angle. The Designer is responsible for calculating pullover, pullout and tension strength of the anchors and this may reduce F_2 strength compared to the tabulated values.
8. F_3 strength values are computed using the plate buckling provisions of AISI RP15-2.
9. For the F_4 strength values it's assumed that all of the connection eccentricity is taken by the screws in the supported stud. F_4 values are also limited by plate shear buckling per AISI RP15-2. The Designer is responsible for calculating the shear capacity of the anchorage, which may reduce F_4 strength compared to the tabulated values.
10. In addition to the limit states given in notes 7, 8 and 9, F_2, F_3 and F_4 are also limited by screw shear according to the thinnest connected part of the connector and stud.
11. Service load limits for F_2 and F_3 are not given since there are no generally accepted industry methods available to compute these values. F_4 service load limits are based on AISI Research Report RP15-2, using a safety factor of three for ⅛" deflection.
12. For 50 ksi studs, 68 mil (14 ga.) and thicker, use the tabulated values for 54 mil (16 ga.) — 50 ksi studs.

C-CF-2017 ©2017 SIMPSON STRONG-TIE COMPANY INC.

RCA Rigid Connector Angles

SIMPSON Strong-Tie®

RCA Rigid Connector Angles (2"x2"x3" and 2"x2"x5") — Service Load Limits and Strengths (lb.)

Model	No. of #10 Screws[5,6]	Screw Pattern	Load Direction	Service Load Limit[11]	Stud Thickness and Yield Strength								
					33 mil (20 ga.) – 33 ksi			43 mil (18 ga.) – 33 ksi			54 mil (16 ga.) – 50 ksi		
					ASD	LRFD	Nominal	ASD	LRFD	Nominal	ASD	LRFD	Nominal
RCA223/54	3	1	F_2	—	205	305	340	205	305	340	205	305	340
			F_3	—	495	745	1,485	590	955	1,910	590	955	1,910
			F_4	350	200	300	605	310	465	930	620	930	1,865
	4	2	F_2	—	205	305	340	205	305	340	205	305	340
			F_3	—	580	940	1,880	580	940	1,880	580	940	1,880
			F_4	700	390	585	1,175	605	905	1,815	1,095	1,685	3,065
	6	3	F_2	—	205	305	340	205	305	340	205	305	340
			F_3	—	865	1,410	2,820	865	1,410	2,820	865	1,410	2,820
			F_4	700	480	720	1,440	740	1,110	2,225	1,095	1,685	3,065
RCA223/68	3	1	F_2	—	310	470	520	310	470	520	310	470	520
			F_3	—	495	745	1,485	765	1,150	2,295	815	1,330	2,655
			F_4	435	200	300	605	310	465	930	620	930	1,865
	4	2	F_2	—	310	470	520	310	470	520	310	470	520
			F_3	—	660	990	1,980	805	1,305	2,610	805	1,305	2,610
			F_4	865	390	585	1,175	605	905	1,815	1,210	1,815	3,625
	6	3	F_2	—	310	470	520	310	470	520	310	470	520
			F_3	—	990	1,485	2,970	1,205	1,960	3,915	1,205	1,960	3,915
			F_4	865	480	720	1,440	740	1,110	2,225	1,350	2,080	3,785
RCA223/97	3	1	F_2	—	495	745	1,055	630	945	1,055	630	945	1,055
			F_3	—	495	745	1,485	765	1,150	2,295	1,415	2,295	4,590
			F_4	615	200	300	605	310	465	930	620	930	1,865
	4	2	F_2	—	630	945	1,055	630	945	1,055	630	945	1,055
			F_3	—	660	990	1,980	1,020	1,530	3,060	1,265	2,050	4,105
			F_4	1,230	390	585	1,175	605	905	1,815	1,210	1,815	3,625
	6	3	F_2	—	630	945	1,055	630	945	1,055	630	945	1,055
			F_3	—	990	1,485	2,970	1,530	2,295	4,590	1,895	3,080	6,155
			F_4	1,230	480	720	1,440	740	1,110	2,225	1,485	2,225	4,450
RCA225/54	2	4	F_2	—	330	495	570	340	510	570	340	510	570
			F_3	—	330	495	990	390	635	1,275	390	635	1,275
			F_4	585	265	395	790	410	610	1,225	815	1,225	2,450
	4	5	F_2	—	340	510	570	340	510	570	340	510	570
			F_3	—	580	940	1,880	580	940	1,880	580	940	1,880
			F_4	1,170	535	805	1,610	830	1,245	2,490	1,660	2,490	4,980
	5	6	F_2	—	340	510	570	340	510	570	340	510	570
			F_3	—	825	1,240	2,475	980	1,595	3,185	980	1,595	3,185
			F_4	585	460	685	1,375	705	1,060	2,120	1,310	2,015	3,665
	8	7	F_2	—	340	510	570	340	510	570	340	510	570
			F_3	—	1,155	1,880	3,760	1,155	1,880	3,760	1,155	1,880	3,760
			F_4	1,170	915	1,375	2,750	1,420	2,125	4,255	1,825	2,810	5,110
	10	8	F_2	—	340	510	570	340	510	570	340	510	570
			F_3	—	1,445	2,350	4,695	1,445	2,350	4,695	1,445	2,350	4,695
			F_4	1,170	1,035	1,555	3,105	1,600	2,400	4,800	1,825	2,810	5,110

See footnotes on p. 94.

C-CF-2017 ©2017 SIMPSON STRONG-TIE COMPANY INC.

RCA Rigid Connector Angles

SIMPSON Strong-Tie®

RCA Rigid Connector Angles (2"x2"x5" and 2"x2"x7") — Service Load Limits and Strengths (lb.)

Model	No. of #10 Screws[5,6]	Screw Pattern	Load Direction	Service Load Limit[11]	Stud Thickness and Yield Strength								
					33 mil (20 ga.) – 33 ksi			43 mil (18 ga.) – 33 ksi			54 mil (16 ga.) – 50 ksi		
					ASD	LRFD	Nominal	ASD	LRFD	Nominal	ASD	LRFD	Nominal
RCA225/68	2	4	F_2	—	330	495	865	510	765	865	520	780	865
			F_3	—	330	495	990	510	765	1,530	545	885	1,770
			F_4	720	265	395	790	410	610	1,225	815	1,225	2,450
	4	5	F_2	—	520	780	865	520	780	865	520	780	865
			F_3	—	660	990	1,980	805	1,305	2,610	805	1,305	2,610
			F_4	1,440	535	805	1,610	830	1,245	2,490	1,660	2,490	4,980
	5	6	F_2	—	520	780	865	520	780	865	520	780	865
			F_3	—	825	1,240	2,475	1,275	1,915	3,825	1,360	2,215	4,425
			F_4	720	460	685	1,375	705	1,060	2,120	1,415	2,120	4,245
	8	7	F_2	—	520	780	865	520	780	865	520	780	865
			F_3	—	1,320	1,980	3,960	1,605	2,610	5,220	1,605	2,610	5,220
			F_4	1,440	915	1,375	2,750	1,420	2,125	4,255	2,255	3,470	6,310
	10	8	F_2	—	520	780	865	520	780	865	520	780	865
			F_3	—	1,650	2,475	4,950	2,010	3,265	6,525	2,010	3,265	6,525
			F_4	1,440	1,035	1,555	3,105	1,600	2,400	4,800	2,255	3,470	6,310
RCA225/97	2	4	F_2	—	330	495	990	510	765	1,530	1,020	1,530	1,755
			F_3	—	330	495	990	510	765	1,530	945	1,530	3,060
			F_4	1,025	265	395	790	410	610	1,225	815	1,225	2,450
	4	5	F_2	—	660	990	1,755	1,020	1,530	1,755	1,050	1,580	1,755
			F_3	—	660	990	1,980	1,020	1,530	3,060	1,265	2,050	4,105
			F_4	2,050	535	805	1,610	830	1,245	2,490	1,660	2,490	4,980
	5	6	F_2	—	825	1,240	1,755	1,050	1,580	1,755	1,050	1,580	1,755
			F_3	—	825	1,240	2,475	1,275	1,915	3,825	2,360	3,825	7,650
			F_4	1,025	460	685	1,375	705	1,060	2,120	1,415	2,120	4,245
	8	7	F_2	—	1,050	1,580	1,755	1,050	1,580	1,755	1,050	1,580	1,755
			F_3	—	1,320	1,980	3,960	2,040	3,060	6,120	2,525	4,105	8,210
			F_4	2,050	915	1,375	2,750	1,420	2,125	4,255	2,835	4,255	8,505
	10	8	F_2	—	1,050	1,580	1,755	1,050	1,580	1,755	1,050	1,580	1,755
			F_3	—	1,650	2,475	4,950	2,550	3,825	7,650	3,155	5,130	10260
			F_4	2,050	1,035	1,555	3,105	1,600	2,400	4,800	3,200	4,800	8,980
RCA227/54	4	9	F_2	—	475	715	795	475	715	795	475	715	795
			F_3	—	660	990	1,980	785	1,275	2,550	785	1,275	2,550
			F_4	820	545	815	1,630	840	1,260	2,515	1,675	2,515	5,030
	4	10	F_2	—	475	715	795	475	715	795	475	715	795
			F_3	—	580	940	1,880	580	940	1,880	580	940	1,880
			F_4	1,635	595	890	1,785	920	1,380	2,760	1,840	2,760	5,515
	7	11	F_2	—	475	715	795	475	715	795	475	715	795
			F_3	—	1,155	1,735	3,465	1,280	2,080	4,160	1,280	2,080	4,160
			F_4	720	765	1,150	2,300	1,185	1,780	3,560	1,685	2,595	4,720
	8	12	F_2	—	475	715	795	475	715	795	475	715	795
			F_3	—	1,155	1,880	3,760	1,155	1,880	3,760	1,155	1,880	3,760
			F_4	1,635	1,120	1,680	3,360	1,730	2,595	5,190	2,555	3,935	7,155
	14	13	F_2	—	475	715	795	475	715	795	475	715	795
			F_3	—	2,025	3,290	6,575	2,025	3,290	6,575	2,025	3,290	6,575
			F_4	1,635	1,685	2,530	5,055	2,555	3,905	7,155	2,555	3,935	7,155
RCA227/68	4	9	F_2	—	660	990	1,215	725	1,090	1,215	725	1,090	1,215
			F_3	—	660	990	1,980	1,020	1,530	3,060	1,090	1,770	3,540
			F_4	1,010	545	815	1,630	840	1,260	2,515	1,675	2,515	5,030
	4	10	F_2	—	660	990	1,215	725	1,090	1,215	725	1,090	1,215
			F_3	—	660	990	1,980	805	1,305	2,610	805	1,305	2,610
			F_4	2,020	595	890	1,785	920	1,380	2,760	1,840	2,760	5,515
	7	11	F_2	—	725	1,090	1,215	725	1,090	1,215	725	1,090	1,215
			F_3	—	1,155	1,735	3,465	1,780	2,680	5,355	1,780	2,890	5,775
			F_4	890	765	1,150	2,300	1,185	1,780	3,560	2,370	3,560	6,900
	8	12	F_2	—	725	1,090	1,215	725	1,090	1,215	725	1,090	1,215
			F_3	—	1,320	1,980	3,960	1,605	2,610	5,220	1,605	2,610	5,220
			F_4	2,020	1,120	1,680	3,360	1,730	2,595	5,190	3,155	4,860	8,830
	14	13	F_2	—	725	1,090	1,215	725	1,090	1,215	725	1,090	1,215
			F_3	—	2,310	3,465	6,930	2,810	4,570	9,135	2,810	4,570	9,135
			F_4	2,020	1,685	2,530	5,055	2,605	3,905	7,815	3,155	4,860	8,830

See footnotes on p. 94.

C-CF-2017 ©2017 SIMPSON STRONG-TIE COMPANY INC.

RCA Rigid Connector Angles

SIMPSON Strong-Tie®

RCA Rigid Connector Angles (2"x2"x7" and 3"x3"x3") — Service Load Limits and Strengths (lb.)

Model	No. of #10 Screws[5,6]	Screw Pattern	Load Direction	Service Load Limit[11]	Stud Thickness and Yield Strength								
					33 mil (20 ga.) – 33 ksi			43 mil (18 ga.) – 33 ksi			54 mil (16 ga.) – 50 ksi		
					ASD	LRFD	Nominal	ASD	LRFD	Nominal	ASD	LRFD	Nominal
RCA227/97	4	9	F_2	—	660	990	1,980	1,020	1,530	2,455	1,470	2,210	2,455
			F_3	—	660	990	1,980	1,020	1,530	3,060	1,890	3,060	6,120
			F_4	1,435	545	815	1,630	840	1,260	2,515	1,675	2,515	5,030
	4	10	F_2	—	660	990	1,980	1,020	1,530	2,455	1,470	2,210	2,455
			F_3	—	660	990	1,980	1,020	1,530	3,060	1,265	2,050	4,105
			F_4	2,875	595	890	1,785	920	1,380	2,760	1,840	2,760	5,515
	7	11	F_2	—	1,155	1,735	2,455	1,470	2,210	2,455	1,470	2,210	2,455
			F_3	—	1,155	1,735	3,465	1,785	2,680	5,355	3,080	5,010	10015
			F_4	1,265	765	1,150	2,300	1,185	1,780	3,560	2,370	3,560	7,115
	8	12	F_2	—	1,320	1,980	2,455	1,470	2,210	2,455	1,470	2,210	2,455
			F_3	—	1,320	1,980	3,960	2,040	3,060	6,120	2,525	4,105	8,210
			F_4	2,875	1,120	1,680	3,360	1,730	2,595	5,190	3,460	5,190	10385
	14	13	F_2	—	1,470	2,210	2,455	1,470	2,210	2,455	1,470	2,210	2,455
			F_3	—	2,310	3,465	6,930	3,570	5,355	10710	4,420	7,180	14365
			F_4	2,875	1,685	2,530	5,055	2,605	3,905	7,815	4,490	6,915	12570
RCA333/54	3	1	F_2	—	205	305	340	205	305	340	205	305	340
			F_3	—	440	720	1,435	440	720	1,435	440	720	1,435
			F_4	210	130	190	385	195	295	590	395	590	1,185
	4	2	F_2	—	205	305	340	205	305	340	205	305	340
			F_3	—	580	940	1,880	580	940	1,880	580	940	1,880
			F_4	700	325	490	975	505	755	1,510	1,005	1,510	3,020
	6	3	F_2	—	205	305	340	205	305	340	205	305	340
			F_3	—	865	1,410	2,820	865	1,410	2,820	865	1,410	2,820
			F_4	700	430	650	1,295	665	1,000	2,000	1,095	1,685	3,065
RCA333/68	3	1	F_2	—	310	470	520	310	470	520	310	470	520
			F_3	—	495	745	1,485	615	1,000	1,995	615	1,000	1,995
			F_4	260	130	190	385	195	295	590	395	590	1,185
	4	2	F_2	—	310	470	520	310	470	520	310	470	520
			F_3	—	660	990	1,980	805	1,305	2,610	805	1,305	2,610
			F_4	865	325	490	975	505	755	1,510	1,005	1,510	3,020
	6	3	F_2	—	310	470	520	310	470	520	310	470	520
			F_3	—	990	1,485	2,970	1,205	1,960	3,915	1,205	1,960	3,915
			F_4	865	430	650	1,295	665	1,000	2,000	1,335	2,000	3,785
RCA333/97	3	1	F_2	—	495	745	1,055	630	945	1,055	630	945	1,055
			F_3	—	495	745	1,485	765	1,150	2,295	1,065	1,730	3,460
			F_4	370	130	190	385	195	295	590	395	590	1,185
	4	2	F_2	—	630	945	1,055	630	945	1,055	630	945	1,055
			F_3	—	660	990	1,980	1,020	1,530	3,060	1,265	2,050	4,105
			F_4	1,230	325	490	975	505	755	1,510	1,005	1,510	3,020
	6	3	F_2	—	630	945	1,055	630	945	1,055	630	945	1,055
			F_3	—	990	1,485	2,970	1,530	2,295	4,590	1,895	3,080	6,155
			F_4	1,230	430	650	1,295	665	1,000	2,000	1,335	2,000	4,005

See footnotes on p. 94.

C-CF-2017 ©2017 SIMPSON STRONG-TIE COMPANY INC.

RCA Rigid Connector Angles

SIMPSON Strong-Tie®

RCA Rigid Connector Angles (3"x3"x5") – Service Load Limits and Strengths (lb.)

Model	No. of #10 Screws[5,6]	Screw Pattern	Load Direction	Service Load Limit[11]	Stud Thickness and Yield Strength								
					33 mil (20 ga.) – 33 ksi			43 mil (18 ga.) – 33 ksi			54 mil (16 ga.) – 50 ksi		
					ASD	LRFD	Nominal	ASD	LRFD	Nominal	ASD	LRFD	Nominal
RCA335/54	2	4	F_2	—	330	495	570	340	510	570	340	510	570
			F_3	—	295	480	955	295	480	955	295	480	955
			F_4	350	205	310	620	320	480	955	635	955	1,910
	4	5	F_2	—	340	510	570	340	510	570	340	510	570
			F_3	—	580	940	1,880	580	940	1,880	580	940	1,880
			F_4	1,170	450	675	1,350	695	1,045	2,085	1,390	2,085	4,175
	5	6	F_2	—	340	510	570	340	510	570	340	510	570
			F_3	—	735	1,195	2,395	735	1,195	2,395	735	1,195	2,395
			F_4	350	305	460	920	475	710	1,420	835	1,285	2,335
	8	7	F_2	—	340	510	570	340	510	570	340	510	570
			F_3	—	1,155	1,880	3,760	1,155	1,880	3,760	1,155	1,880	3,760
			F_4	1,170	755	1,135	2,265	1,170	1,750	3,505	1,825	2,810	5,110
	10	8	F_2	—	340	510	570	340	510	570	340	510	570
			F_3	—	1,445	2,350	4,695	1,445	2,350	4,695	1,445	2,350	4,695
			F_4	1,170	860	1,290	2,585	1,330	1,995	3,990	1,825	2,810	5,110
RCA335/68	2	4	F_2	—	330	495	865	510	765	865	520	780	865
			F_3	—	330	495	990	410	665	1,330	410	665	1,330
			F_4	435	205	310	620	320	480	955	635	955	1,910
	4	5	F_2	—	520	780	865	520	780	865	520	780	865
			F_3	—	660	990	1,980	805	1,305	2,610	805	1,305	2,610
			F_4	1,440	450	675	1,350	695	1,045	2,085	1,390	2,085	4,175
	5	6	F_2	—	520	780	865	520	780	865	520	780	865
			F_3	—	825	1,240	2,475	1,025	1,665	3,325	1,025	1,665	3,325
			F_4	435	305	460	920	475	710	1420	945	1,420	2,840
	8	7	F_2	—	520	780	865	520	780	865	520	780	865
			F_3	—	1,320	1,980	3,960	1,605	2,610	5,220	1,605	2,610	5,220
			F_4	1,440	755	1,135	2,265	1,170	1,750	3,505	2,255	3,470	6,310
	10	8	F_2	—	520	780	865	520	780	865	520	780	865
			F_3	—	1,650	2,475	4,950	2,010	3,265	6,525	2,010	3,265	6,525
			F_4	1,440	860	1,290	2,585	1,330	1,995	3,990	2,255	3,470	6,310
RCA335/97	2	4	F_2	—	330	495	990	510	765	1,530	1,020	1,530	1,755
			F_3	—	330	495	990	510	765	1,530	710	1,155	2,305
			F_4	615	205	310	620	320	480	955	635	955	1,910
	4	5	F_2	—	660	990	1,755	1,020	1,530	1,755	1,050	1,580	1,755
			F_3	—	660	990	1,980	1,020	1,530	3,060	1,265	2,050	4,105
			F_4	2,050	450	675	1,350	695	1,045	2,085	1,390	2,085	4,175
	5	6	F_2	—	825	1,240	1,755	1,050	1,580	1,755	1,050	1,580	1,755
			F_3	—	825	1,240	2,475	1,275	1,915	3,825	1,775	2,885	5,765
			F_4	615	305	460	920	475	710	1,420	945	1,420	2,840
	8	7	F_2	—	1,050	1,580	1,755	1,050	1,580	1,755	1,050	1,580	1,755
			F_3	—	1,320	1,980	3,960	2,040	3,060	6,120	2,525	4,105	8,210
			F_4	2,050	755	1,135	2,265	1,170	1,750	3,505	2,335	3,505	7,010
	10	8	F_2	—	1,050	1,580	1,755	1,050	1,580	1,755	1,050	1,580	1,755
			F_3	—	1,650	2,475	4,950	2,550	3,825	7,650	3,155	5,130	10,260
			F_4	2,050	860	1,290	2,585	1,330	1,995	3,990	2,660	3,990	7,985

See footnotes on p. 94.

C-CF-2017 ©2017 SIMPSON STRONG-TIE COMPANY INC.

Documento 2: Planos

Índice de Planos

Plano 1. Vistas (alzado, planta y perfil) de la vivienda.

Plano 2. Perfiles de acero: Alzado y perfil izquierdo.

Plano 3. Perfiles de acero: Vigas del techo (planta).

Plano 4. Perfiles de acero: Vigas del suelo (planta).

Plano 5. Perfiles de acero: Cerchas.

Plano 6. Cimentaciones: (vista planta).

Plano 7. Zapatas aisladas.

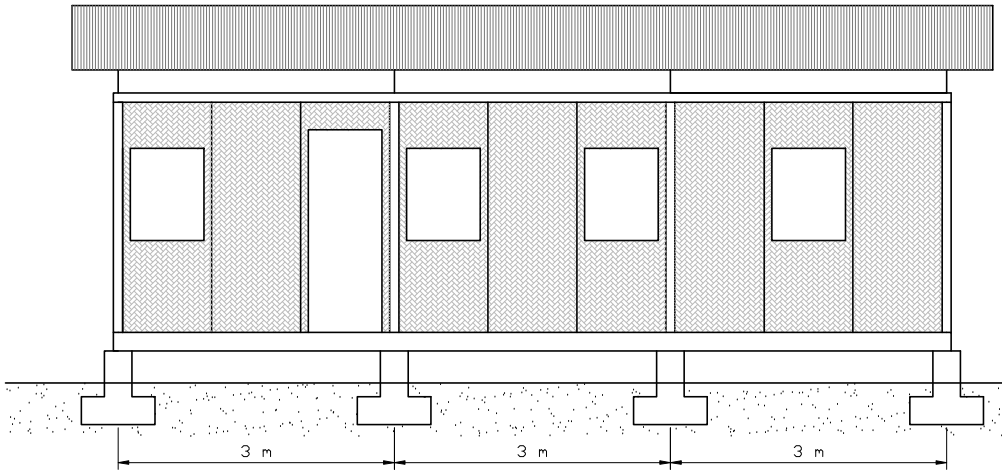
Plano 8. Propuesta de la distribución de la vivienda.

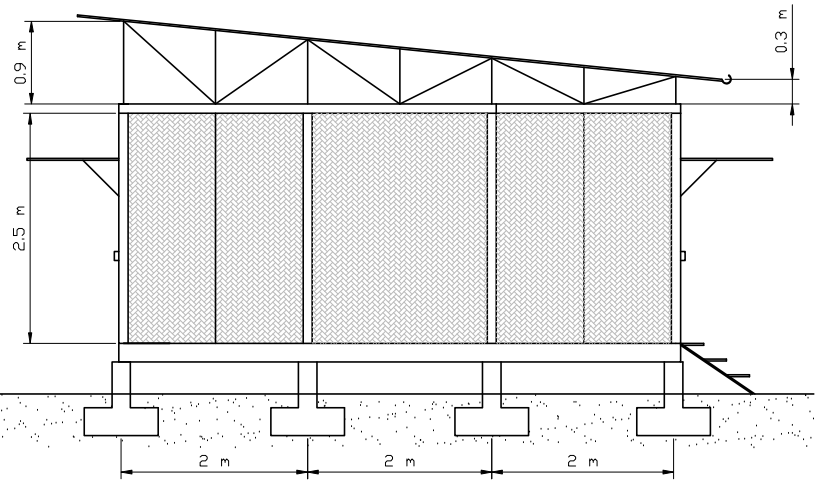
Plano 9. Ejemplos modulares de la vivienda.

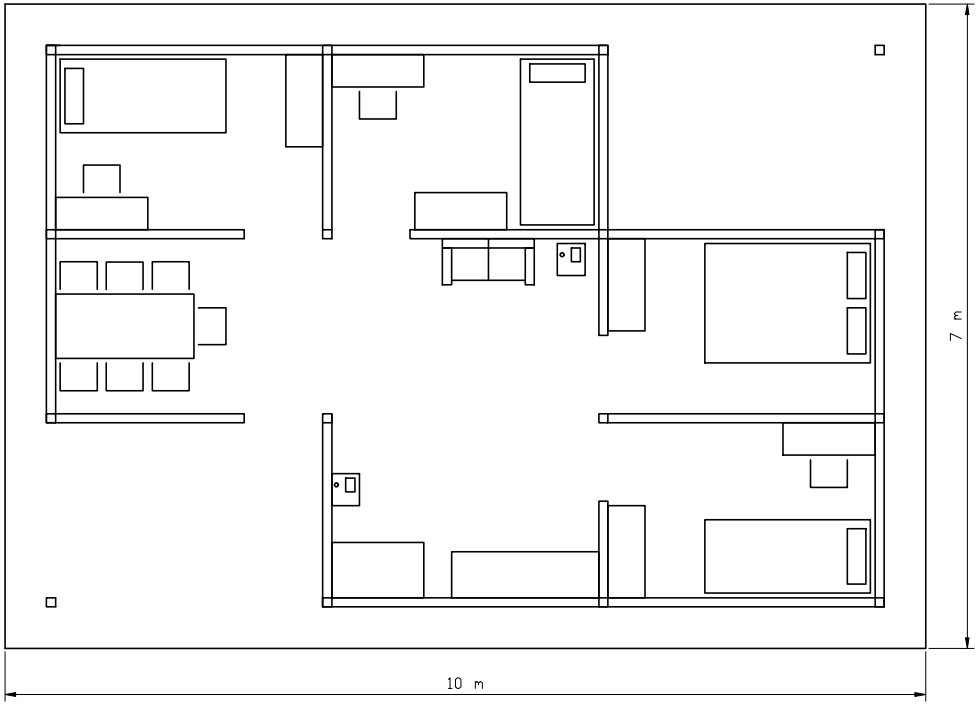
Plano 10. Piza unión.

Plano 11. Depósito.

Plano 12. Letrina abonera.

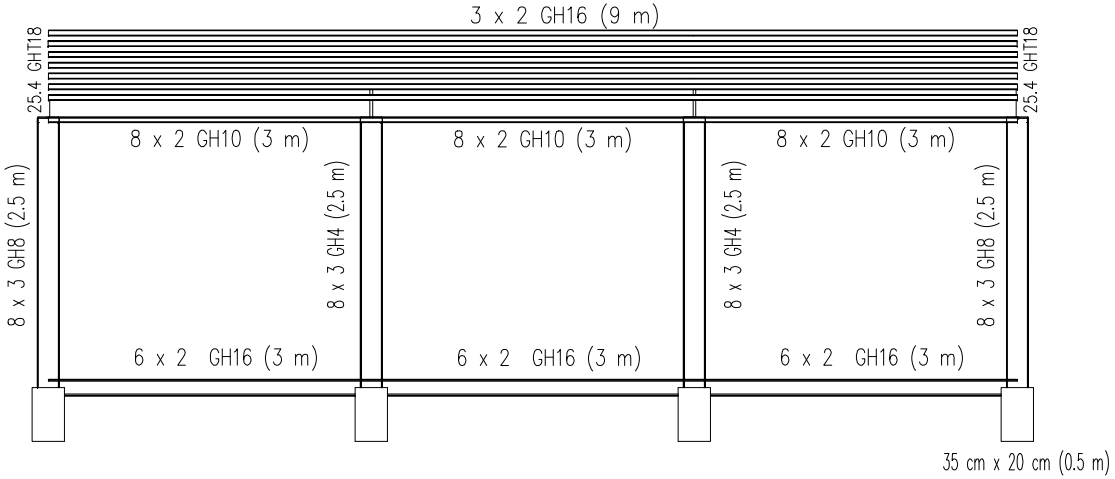


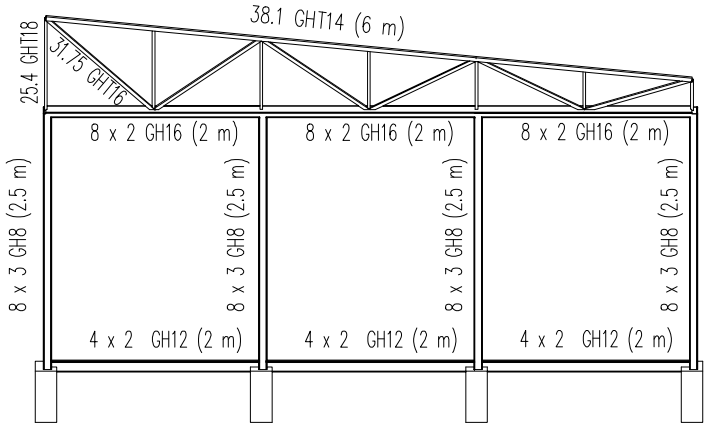




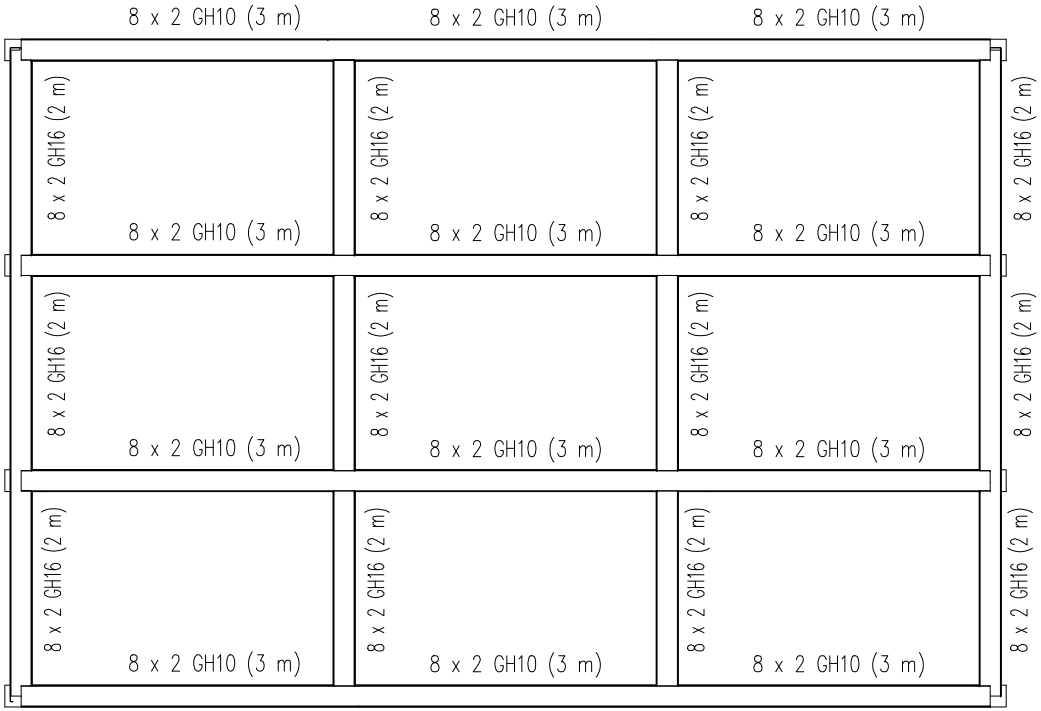
Nota: El cuadrado exterior de la planta representa la cubierta de la vivienda

Nº PLANO	1		Vistas (alzado, planta y perfil) de la vivienda
	NOMBRE	FECHA	
DIBUJADO	Gonzalo García-Monsalve	16/01/19	Universidad Pontificia de Comillas ICAI
ESCALA: 1:50	FIRMA:		TFM: Diseño de una vivienda de bajo coste para las aldeas de Quiché, Guatemala

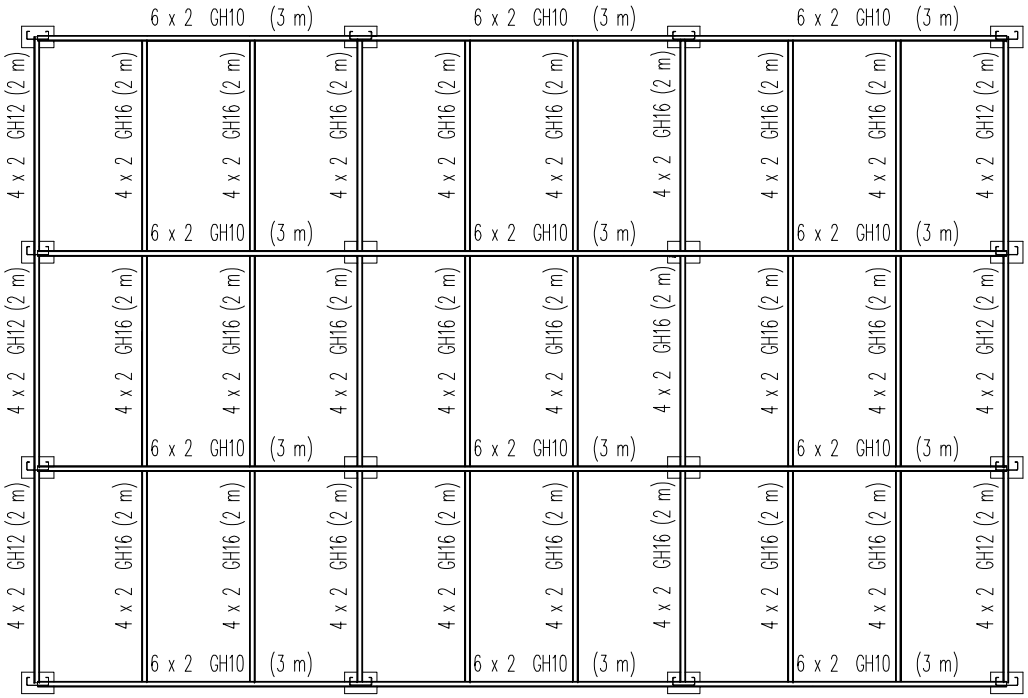




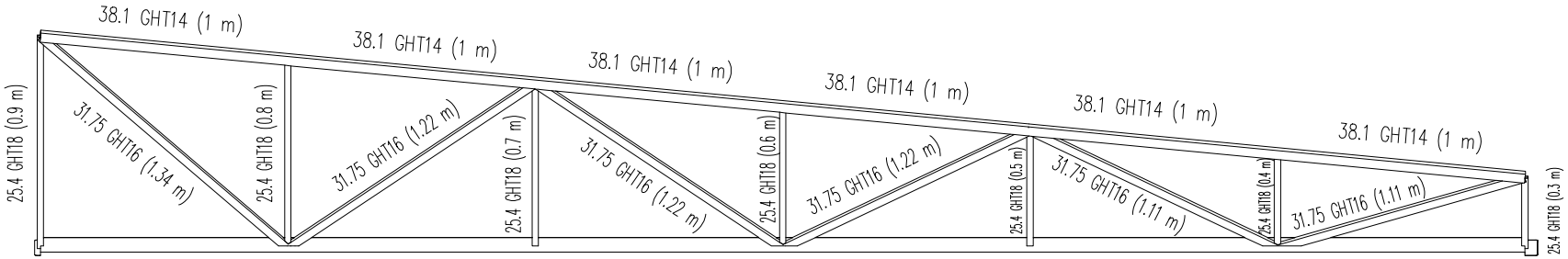
Nº PLANO	2		Perfiles de acero: alzado y perfil izquierdo
	NOMBRE	FECHA	
DIBUJADO	Gonzalo García-Monsalve	16/01/19	Universidad Pontificia de Comillas ICAI
ESCALA: 1:50	FIRMA:		TFM: Diseño de una vivienda de bajo coste para las aldeas de Quiché, Guatemala



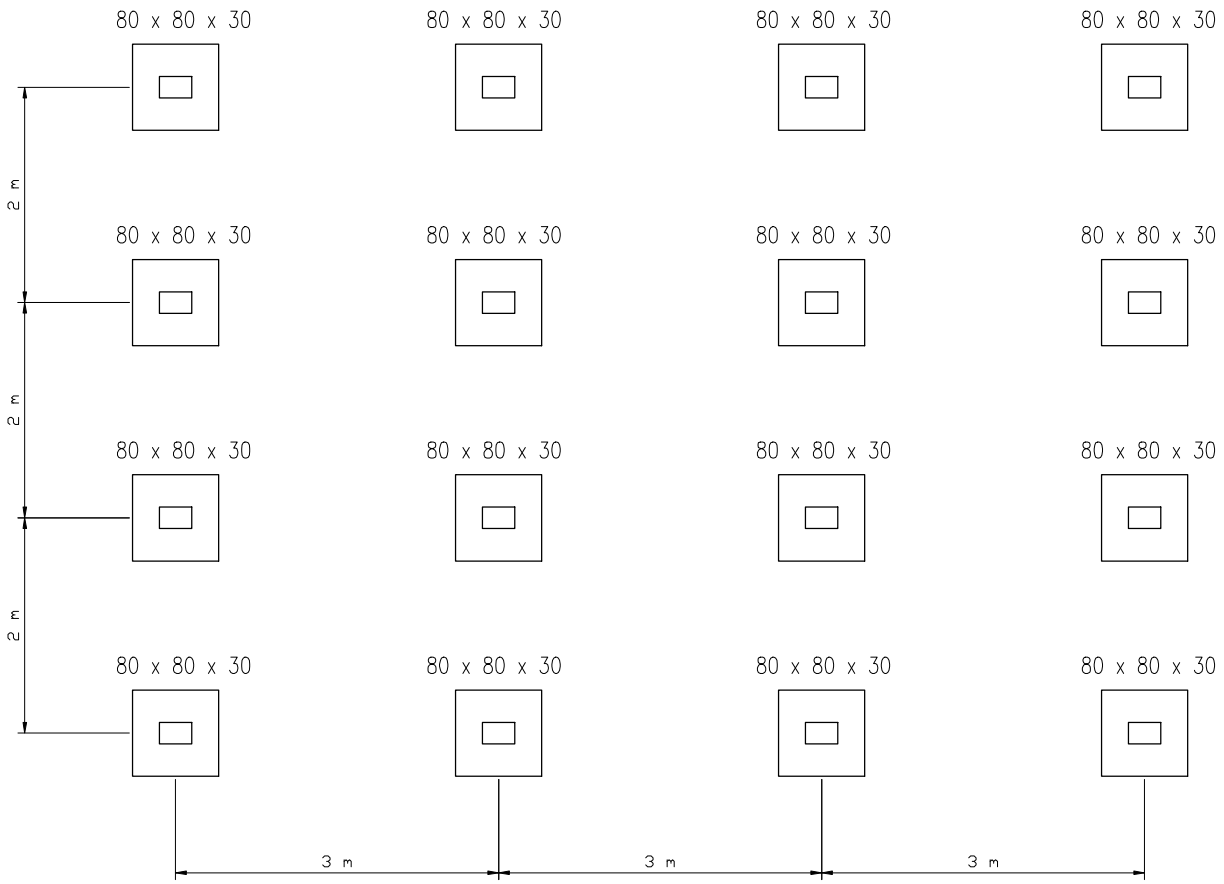
Nº PLANO	3		Perfiles de acero: Vigas del techo (planta)
	NOMBRE	FECHA	
DIBUJADO	Gonzalo García-Monsalve	16/01/19	Universidad Pontificia de Comillas ICAI
ESCALA: 1:50	FIRMA:		TFM: Diseño de una vivienda de bajo coste para las aldeas de Quiché, Guatemala



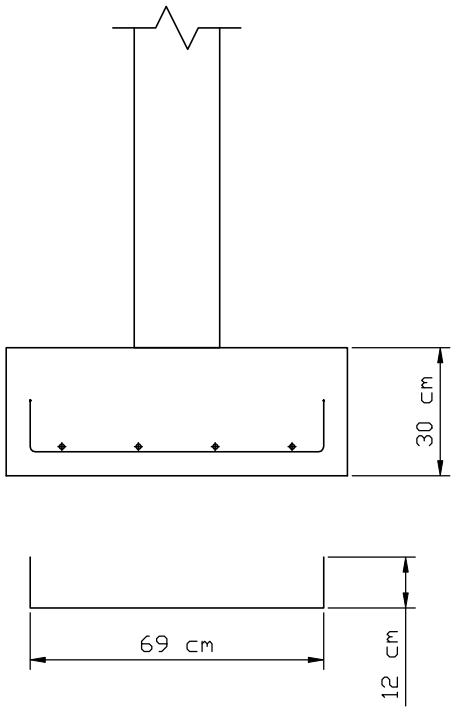
Nº PLANO	4		Perfiles de acero: Vigas del suelo (planta)
	NOMBRE	FECHA	Universidad Pontificia de Comillas ICAI
DIBUJADO	Gonzalo García-Monsalve	16/01/19	
ESCALA: 1:50	FIRMA:		TFM: Diseño de una vivienda de bajo coste para las aldeas de Quiché, Guatemala



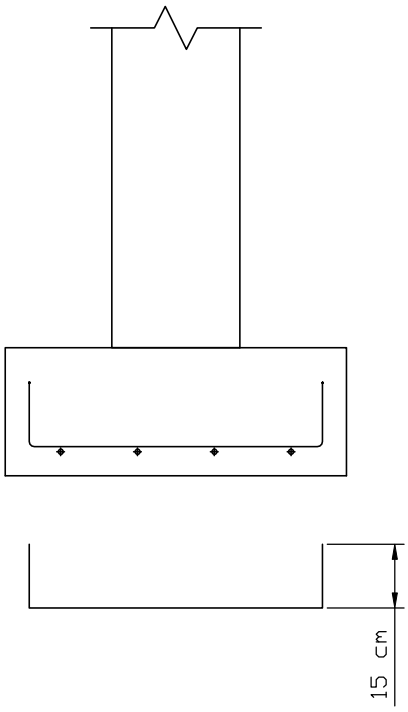
Nº PLANO	5		Perfiles de acero: Cerchas
	NOMBRE	FECHA	Universidad Pontificia de Comillas ICAI
DIBUJADO	Gonzalo Garcia-Monsalve	16/01/19	
ESCALA: 1:20	FIRMA:		TFM: Diseño de una vivienda de bajo coste para las aldeas de Quiché, Guatemala



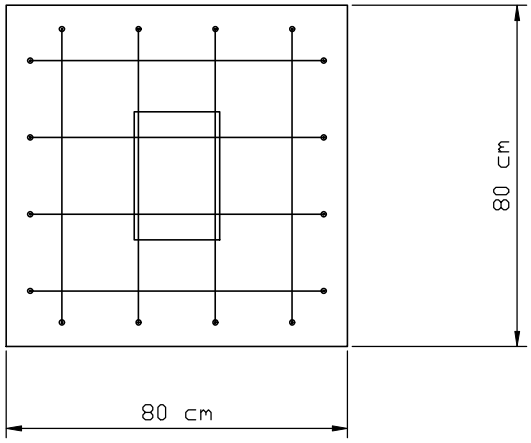
Nº PLANO	6		Cimentaciones: Vista planta
	NOMBRE	FECHA	
DIBUJADO	Gonzalo García-Monsalve	16/01/19	Universidad Pontificia de Comillas ICAI
ESCALA: 1:50	FIRMA:		TFM: Diseño de una vivienda de bajo coste para las aldeas de Quiché, Guatemala



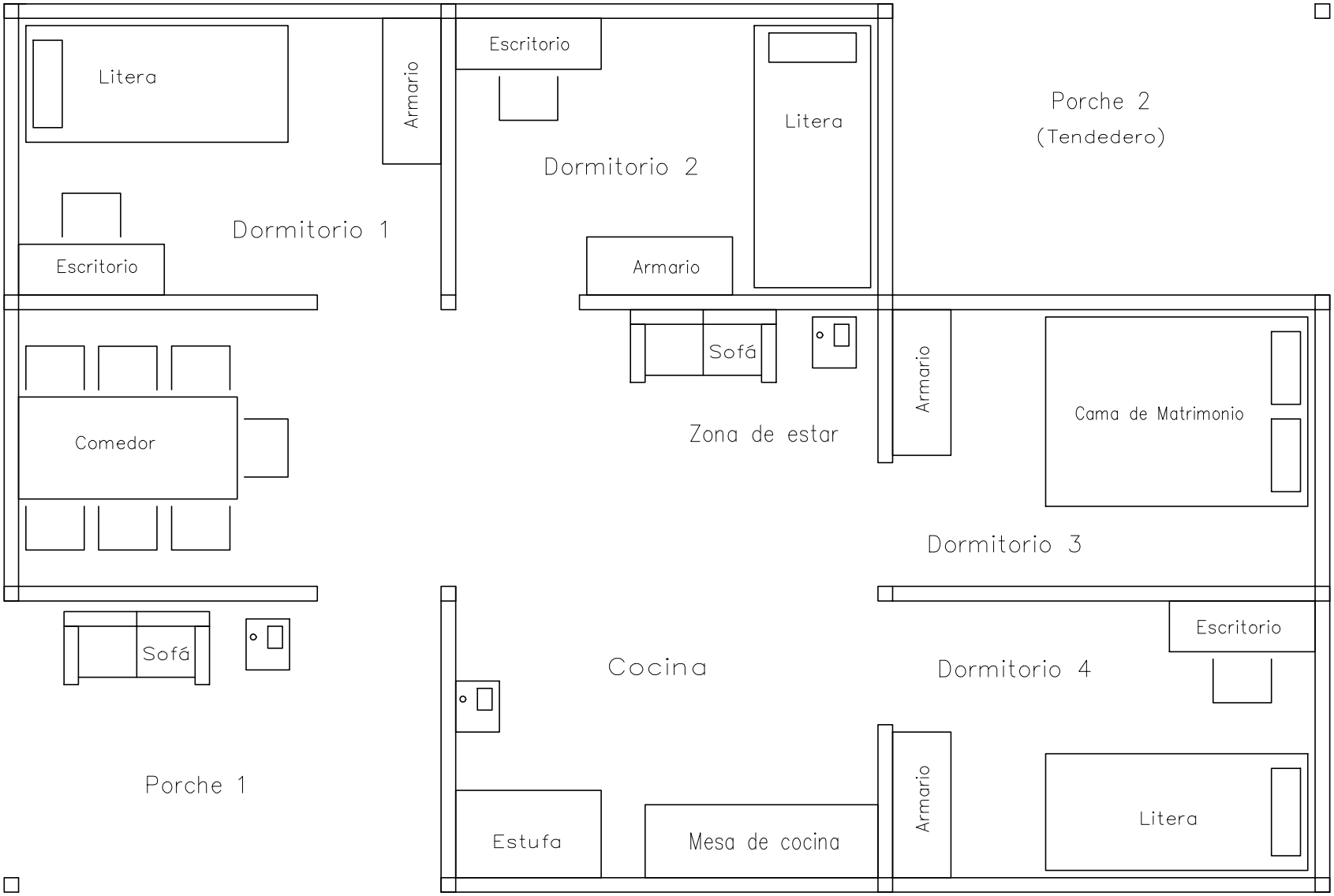
4 barras
Acero
B400-S
ø12cm
Longitud
93 cm



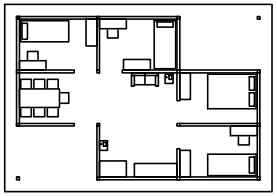
4 barras
Acero
B400-S
ø12cm
Longitud
99 cm

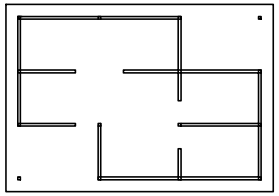


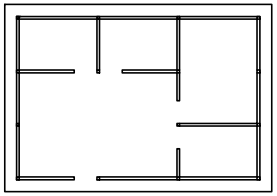
Nº PLANO	7		Zapatas aisladas
NOMBRE		FECHA	Universidad Pontificia de Comillas ICAI
DIBUJADO	Gonzalo García-Monsalve	16/01/19	
ESCALA: 1:20	FIRMA:		TFM: Diseño de una vivienda de bajo coste para las aldeas de Quiché, Guatemala

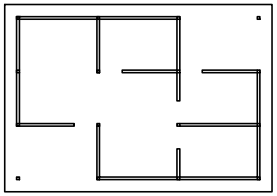


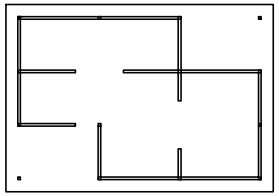
Nº PLANO	8		Propuesta de distribución de la vivienda
	NOMBRE	FECHA	Universidad Pontificia de Comillas ICAI
DIBUJADO	Gonzalo García-Monsalve	16/01/19	
ESCALA: 1:20	FIRMA:		TFM: Diseño de una vivienda de bajo coste para las aldeas de Quiché, Guatemala

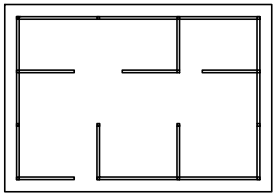


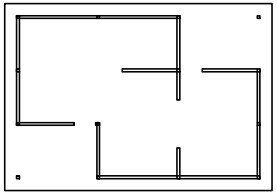


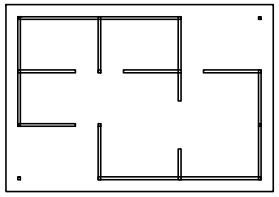


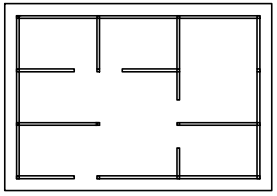






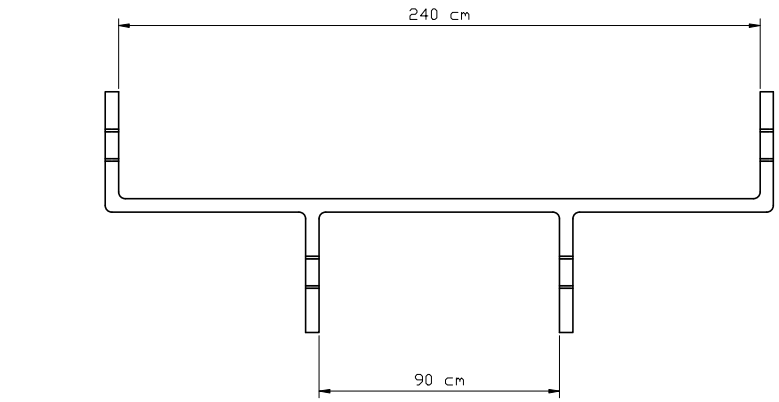


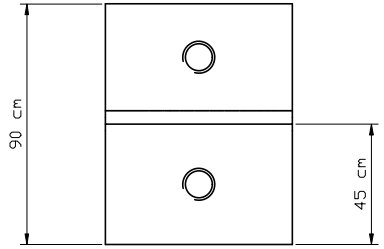


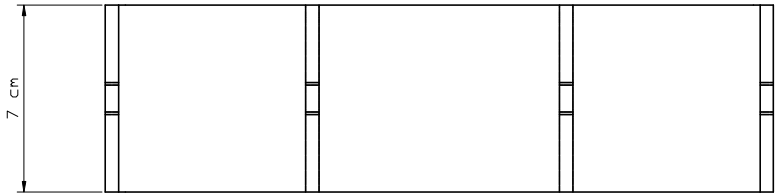


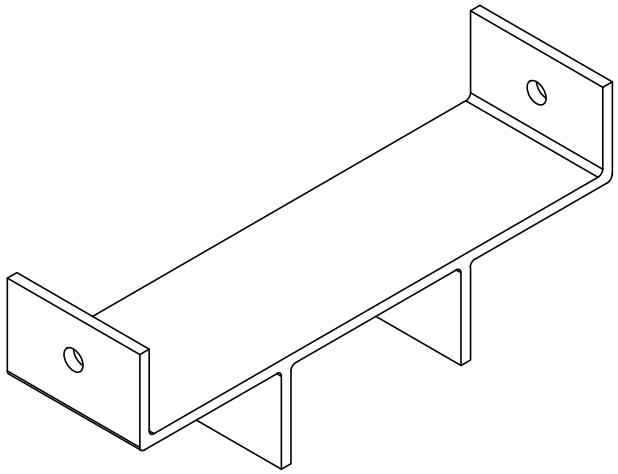
Nota: El cuadrado exterior de cada planta representa la cubierta de la vivienda

Nº PLANO	9		Ejemplos modulares de la vivienda (planta)
	NOMBRE	FECHA	Universidad Pontificia de Comillas ICAI
DIBUJADO	Gonzalo García-Monsalve	16/01/19	
ESCALA: 1:50	FIRMA:		TFM: Diseño de una vivienda de bajo coste para las aldeas de Quiché, Guatemala

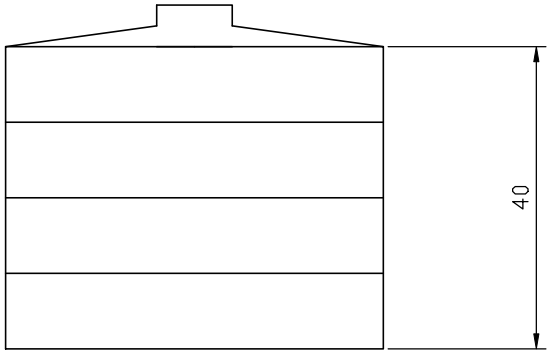


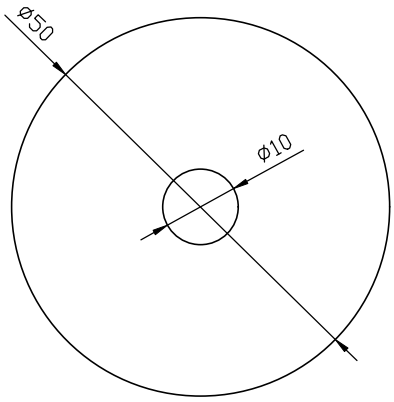






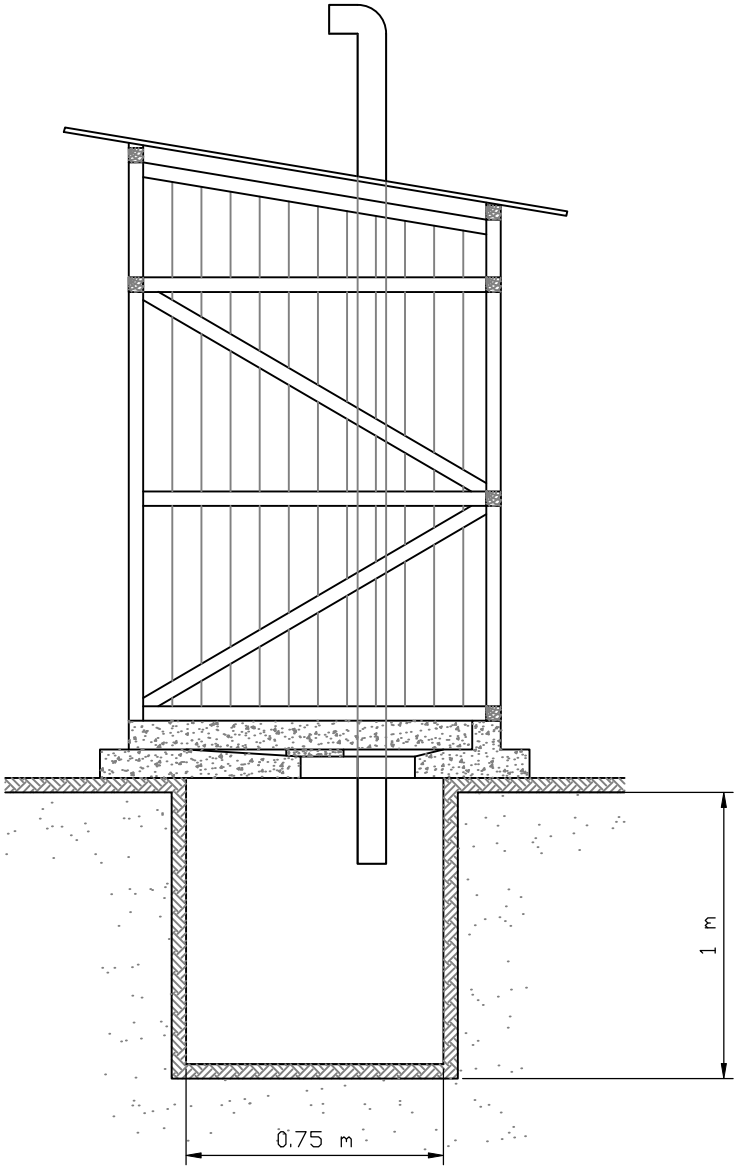
Nº PLANO	10		Pieza unión: Paneles / Vigas del techo
	NOMBRE	FECHA	Universidad Pontificia de Comillas ICAI
DIBUJADO	Gonzalo García-Monsalve	16/01/2017	
ESCALA: 1:2	FIRMA:		TFM: Diseño de una vivienda de bajo coste para las aldeas de Quiché, Guatemala Práctica nº1

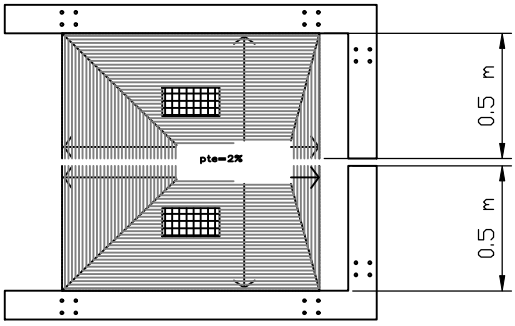




Depósito de 10,000 litros

Nº PLANO	11		Depósito
	NOMBRE	FECHA	Universidad Pontificia de Comillas ICAI
DIBUJADO	Gonzalo García-Monsalve	16/01/19	
ESCALA: 1:50	FIRMA:		TFM: Diseño de una vivienda de bajo coste para las aldeas de Quiché, Guatemala





Nº PLANO	12		Letrina abonera
	NOMBRE	FECHA	Universidad Pontificia de Comillas ICAI
DIBUJADO	Gonzalo García-Monsalve	16/01/19	
ESCALA: 1:20	FIRMA:		TFM: Diseño de una vivienda de bajo coste para las aldeas de Quiché, Guatemala

Documento 3: Pliego de condiciones

Índice

1. Pliego de condiciones generales 5
1.1. Objeto del pliego de condiciones 5
1.2. Contenido y aplicación 5
1.3. Documentos del proyecto 5
1.4. Gastos e impuestos 5
1.5. Unidades de obra defectuosas 6
1.6. Seguro de las obras 6
1.7. Obligaciones del contratista en materia social 6
1.8. Modificaciones del proyecto 7
1.9. Modificaciones en planos 7
1.10. Seguridad y salud 7
1.11. Control de calidad 8
1.12. Replanteo de obra 8
2. Pliego de condiciones técnicas 9
2.1. Características técnicas de los materiales 9
2.1.1. Características de los materiales 9
2.1.2. Hormigón de la cimentación 9
2.1.3. Acero galvanizado 9
2.1.4. Cemento 10
2.1.5. Aguas 10
2.1.6. Arenas y áridos 10
2.1.7. Carpintería y cerrajería 10
2.2. Ejecución de la obra 11
2.3. Mantenimiento 11

1. Pliego de condiciones generales

1.1. Objeto del pliego de condiciones

Este documento tiene como objetivo realizar una descripción general del proyecto, sus características principales, los aspectos administrativos y legales que han de tener en consideración los contratistas, la ejecuciónde la obra, los procedimientos y las actuaciones técnicas pertinentes.

El contratista encargado de ejecutar el proyecto ha de aceptar todas las condiciones y cláusulas del presente pliego de condiciones.

1.2. Contenido y aplicación

Las normas incluídas en este pliego estas comprendidas en el *Pliego de Condiciones Técnicas de la Dirección General de Arquitectura de 1960*.

1.3. Documentos del proyecto

La documentación necesaria para la ejecución correcta del proyecto es:

- Documento 1: Memoria. Incluye una memoria descriptiva, una memoria constructiva y diferentes anexos (cálculos estructurales, catálogos).
- Documento 2: Planos.
- Documento 3: Pliego de condiciones
- Documento 4: Presupuesto

En caso de interpretación predomina las especificaciónes literales sobre las gráficas y la acotación sobre las medidas tomadas de los planos a escala.

En caso de que exitiera contradicción entre los diferentes documentos, la Dirección Facultativa será la encargada de dictaminar y utilizar el criterio oportuno.

1.4. Gastos e impuestos

Los gastos e impuestos derivados del contrato de cualquier ámbito correrán a cargo del contratista, siempre que en el contrato de obra no estipule lo contrario.

En ningún caso se podrá revisar los precios del contrato debido a modificaciones tributarias posteriores a la firma del mismo

1.5. Unidades de obra defectuosas

Las obras defectuosas no serán valoradas.

1.6. Seguro de las obras

El contratista tiene la obligación de asegurar la obra contratada durante el tiempo de ejecución del proyecto.

1.7. Obligaciones del contratista en materia social

El contratista tiene la obligación de cumplir las disposiciones actuales en materia laboral, seguridad e higiene y seguridad social. Las obligaciones del contratista se detallan a continuación:

- El contratista es responsable de las condiciones higiéniacas y de seguridad de la obra, teniendo la obligación de cumplir a su coste, con las directrices vigentes dictadas por la Inspección de Trabajo y los organismos competentes, así como con las normas de seguridad dependiendo del tipo de obra que se va a ejecutar.
- Con el fin de asegurar la seguridad y salud del personal de la obra, además de la seguridad de las instalaciones, el contratista ha de establecer un plan de seguridad e higiene y de primeros auxilios que detallen las medidas que se han de adquirir en la obra.
- Los costes adicionales generados por la adopción de medidas de seguridad e higienen irán a cuenta del contratista, considerandose incluidos en el contrado.

  Entre estos costes se comprende:

  - Cursos de formación del personal en materia de seguridad, higiene y primeros auxilios, así como otro tipo de información: folletos, carteles, etcétera.
  - Asegurar el orden, confort, limpieza y seguridad del área de trabajo.
  - Elementos de protección necesaria para los operarios, con el fin de asegurar la seguridad e higiene.
  - Dispositivos de seguridad en las instalaciones, incluida la protección contra incendios.

- El incumplimiento de alguna de estas normas no implica responsabilidad alguna para la propiedad.

1.8. Modificaciones del proyecto

La Propiedad puede añadir durante la ejecución de las obras o bien antes modificaciones que pertinentes para la correcta ejecución del proyecto, aunque previamente no hayan sido establecidas. Estos cambios no pueden modificar las características fundamentales de la obra.

También se podrá modificar la cantidad de unidades necesarias para la obra o sustitución de una unidad por otra siemrpe que esta última este en el contrato.

Estás modificaciones se podrán efectuar y serán de obligación para el contratista siempre que el presupuesto del proyecto no varíe en un 35 %.

En caso contrario, si las modificaciones alteran el presupuesto en más de un 35 % inferior al presupuesto inicial el contratista tendrá derecho a indemnizarse.

Para concretar la cuantía de la indemnización, el contratista tiene que presentar en un plazo máximo de dos meses, a partir de la fecha de certificación final, la peticiónde indemnización junto con las justificaciones pertinentes debido al aumento de gasto o insuficiente amortización de equipos, debido a las modificaciones introducidas.

Se ha de tener en cuenta que el primer 35% no tiene efecto.

1.9. Modificaciones en planos

Los planos del proyecto podrán ser modificados respecto a los iniciales del concurso, siempre que respeten los principios fundamentales del proyecto y el contratista no podrá realizar ninguna reclamación a la Propiedad.

Estas modificaciones se ham de entregar con suficiente antelación para que la ejecución del proyecto se realice con el tiempo previsto.

1.10. Seguridad y salud

Cualquier accidente, daño, perjuicio o transgresión derivado directa o indirectamente de la ejecución obra, será responsabilidad del contratista. El

contratista deberá tener presente las disposiciones legales en relación con la seguridad e higiene en obras. Estas vienen recogidas en los siguientes reglamentos:

- Reglamento de Seguridad del Trabajo en la Industria de la Construcción.
- Ordenanza laboral de Construcción, Vidrio y Cerámica.
- Prescripciones de Seguridad e Higiene en la Industria de la Edificación.
- Comités de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el trabajo.
- Cualquier otra que tengan relación directa con la seguridad de la obra.

1.11. Control de calidad

El control de la calidad de las obras será responsabilidad de la empresa de control de calidad que se establezca. Esta debe presentar cada cierto tiempo los resultados ensayos solicitados por la Dirección Facultativa.

Los materiales utilizados en el proyecto habrán debido de pasar los pertinentes controles de calidad que indique la Empresa de Control, así como la dirección facultativa.

El control de calidad será extensivo a todos los capítulos del proyecto comprendiendo la revisión de proyecto, materiales planos de montaje, ejecución de obras, pruebas parciales revisión de la documentación final de la obra, etcétera.

1.12. Replanteo de obra

La propiedad facilitará al contratista las refencias de nivel y los hitos de triangulación establecidos en la zona de obras.

En un plaszo de quince días el contratista verificará acompañado por representantes de la propieda el plano de replanteo y las coordenadas de los hitos.

El contratista se hará cargo y responsable de los hitos referencias que se le entreguen. Si por algún casual se produce la destrucción de alguno debe reponerlos el contratista a su cargo.

En caso necesario el contratista estrablecerá hitos secundarios y efectuará replanteos para la correcta ejecución de las obras.

2. Pliego de condiciones técnicas

2.1. Características técnicas de los materiales

2.1.1. Características de los materiales

Los materiales y la elaboración de mezclas, como por el ejemplo el hormigón, se deben ajustar a las calidades y dimensiones especificadas en la memoria.

Antes de la colocación de los materiales, la dirección facultativa tiene que aprobarlo. Además, tienen el derecho de rechazar aquellos materiales que no reúnan las condiciones establecidas en este pliego. Los materiales rechazados han de ser retirados de la obra en un plazo máximo de un día.

Los materiales han de proceder de fabricas que ofrezan plenas garantías y exigiendo si es preciso certificado de calidad.

2.1.2. Hormigón de la cimentación

Previamente a rellenar las cimentaciones con hormigón, el contratista debe dar el visto bueno de la excavación, a través de la dirección facultativa, quien para la inspección establece los trabajos pertinentes a realizar.

También se realiza las comprobaciones pertinenes al hormigón según la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08).

En el vertido y la colocación de la masa, a pesar de realizar esta operación de un modo homogeneo, se toman las medidas necesarias para evitar la separación de la mezcla.

El tiempo transcurrido entre la adición de agua al cemento y a los áridos y la colocación del hormigón no debe ser mayor de hora y media.

2.1.3. Acero galvanizado

Los aceros se han de transportar de forma segura, de manera que no se generen deformaciones en los perfiles ni abolladuras.

El proveedor de los perfiles de acero debe asegurar plenas garantías y tener certificaciones de calidad según la normativa.

También se realizará las comprobaciones pertinentes que establezca la Dirección Facultativa.

No se debe utilizar el material si se ha superado la vida útil almacenada establecido por el fabricante.

2.1.4. Cemento

El cemento deberá cumplir también lo establecido por la norma EHE-98. Además, tendrá que seguir las condiciones de la Intrucción para la Recepción de Cementos.

El almacenamiento del cemento en obra deberá estar protegido y alejado de cualquier tipo de humedad.

2.1.5. Aguas

El agua para realizar la mezcla de hormigones debe cumplir con la norma establecida EHE-98.

Son admisibles, sin necesidad de relizar pruebas ni ensayos todas aquellas aguas que de por si sean potables debido a su características físicas y químicas.

El contratista está en la obligación de tener los tanques con el agua necesaria para los días de trabajo de la obra. Y debe situarse en el emplazamiento.

2.1.6. Arenas y áridos

De la misma forma, estos materiales ha de cumplir con la normativa EHE-98. Las arenas deben estar limpias de arcillas y sustancias orgánicas.

En cuanto a los áridos para la fabricación del hormigón, se puede utilizar arenas y gravas procedentes de yacimientos naturales y diversos tamaños siemore que lo recoja la norma.

2.1.7. Carpintería y cerrajería

La carpintería será la establecida para cada caso.

2.2. Ejecución de la obra

Antes del montaje de la vivienda se ha de preparar el terreno según las especificiones de la memoria.

La forma, perfiles y dimensiones de la estrcutra están establecidos en la memoria, no permitiendo al contratista la modificación de los mismos, sin previa autoríazación del ingeniero/arquitecto técnico.

El constructor deberá elaborar un programa de montaje de la estructura en obra que tendrá que ser aprobada por el director de obra. Este programa contará con los siguientes apartados:

- Ejecución en fases del montaje, con los tiempos de cada fase.
- Equipo que se empleará en el montaje de cada fase.
- Aperos, cimbras y elementos de sujeción previstos.
- Elementos de seguridad y protección previstos.

Las uniones de la estructura se realizarán exclusivamente con las placas dimensionadas en la memoria, y en ningún caso con soldadura, a no ser que la Dirección Facultativa diga lo contrario.

2.3. Mantenimiento

Tanto la letrina abonera como el depósito requiere cierto mantenimiento.

La letrina debe ser límpida y se debe realizar el cambio de cámaras según las especificaciones que establece la memoria.

En cuanto al depósito se ha de limpiar cada cierto tiempo. EL filtro además se tendrá que vaciar y limpiar.

Se tendrá qie realizar el tratamiento del depósito cada 15 días, como especifica la memoria.

Documento 4: Presupuesto

Índice

1. Introducción 4
2. Presupuesto de la vivienda 4
2.1. Estructura de acero alvanizado 4
2.2. Uniones metálicas 6
2.3. Cimentaciones 6
3. Presupuesto del depósito 7
4. Presupuesto de la letrina abonera 7
5. Mano de obra 8
6. Resumen del presupuesto general 9

1. Introducción

Este documento tiene como objetivo reflejar el coste de ejecución del presente proyecto.

El presupuesto se divide en tres apartados (vivienda, depósito, letrina) habiendo uno final que resume el presupuesto total del proyecto.

Se ha de tener en cuenta que, al estar enmarcado en un proyecto de cooperación para el desarrollo, no se incluye el beneficio industrial.

Por otro lado, en cuanto a la mano de obra, este tipo de proyectos suelen contar con la participación de la población local como mano de obra no cualificada. De este modo, se consigue reducir costes. Esta es la principal razón por la cual el proyecto ha sido diseñado para que apenas haga falta mano de obra cualificada. No obstante, hay un apartado donde se resume los costos de mano de obra requeridos.

El presupuesto se ha calculado a partir de los datos proporcionados por proveedores locales y los datos de mano de obra local. De este modo el presupuesto es calculado en quetzales, y después se realiza la conversión a euros.

Los datos de las uniones se han obtenido en dólares y se procederá de la misma forma que el resto del presupuesto.

En la siguiente tabla se muestra la conversión de divisas utilizada para el proyecto. Día 19 de enero de 2019:

Quetzal (gtq)	Euro (€)
1	0.11

Dólar ($)	Euro (€)
1	0.88

2. Presupuesto de la vivienda

En este apartado se tiene en cuenta para el cáculo del presupuesto el coste de la estructura, las uniones y las cimentaciones.

2.1. Estructura de acero alvanizado

Los perfiles utilizados son del proveedor Ferromax. A continuación, se muestra una tabla con el precio de la estructura desglosado por tipo de perfiles.

Elemento de la estructura	Descripción	Perfil	Precio/metro (Quetzal/m)	Longitud del perfil (m)	Nº Perfiles	Precio Total Vigas (Quetzal)	Precio Total Vigas (Euro)
Pilares	Pilares Centrales	8 x 3 GH8	105,35	2,5	8	2107,00	231,77
	Pilares Laterales	8 x 3 GH4	137	2,5	4	1370,00	150,70
Techo	Vigas	8 x 2 GH10	65	2	6	780,00	85,80
	Viguetas	8 x 2 GH16	45	3	12	1620,00	178,20
Suelo	Vigas Centrales	6 x 2 GH10	50,47	3	6	908,46	99,93
	Vigas Laterales	6 x 2 GH16	31,45	3	6	566,10	62,27
	Viguetas Centrales	4 x 2 GH16	25,53	2	24	1225,44	134,80
	Viguetas Laterales	4 x 2 GH12	35	2	6	420,00	46,20
Cubierta	Correas	3 x 2 GH16	23,9	3	21	1505,70	165,63
	Cordón superior	38,1 GHT14	100	1	24	2400,00	264,00
	Montante 1	25,4 GHT18	50	0,9	4	180,00	19,80
	Montante 2	25,4 GHT18	50	0,8	4	160,00	17,60
	Montante 3	25,4 GHT18	50	0,7	4	140,00	15,40
	Montante 4	25,4 GHT18	50	0,6	4	120,00	13,20
	Montante 5	25,4 GHT18	50	0,5	4	100,00	11,00
	Montante 6	25,4 GHT18	50	0,4	4	80,00	8,80
	Montante 7	25,4 GHT18	50	0,3	4	60,00	6,60
	Diagonal 1	31,75 GHT16	75	1,34	4	402,00	44,22
	Diagonal 2	31,75 GHT16	75	1,22	4	366,00	40,26
	Diagonal 3	31,75 GHT16	75	1,22	4	366,00	40,26
	Diagonal 4	31,75 GHT16	75	1,11	4	333,00	36,63
	Diagonal 5	31,75 GHT16	75	1,11	4	333,00	36,63
	Diagonal 6	31,75 GHT16	75	1,05	4	315,00	34,65
					Precio Total Estructura	**Q 15.857,70**	**1.744,35 €**

2.2. Uniones metálicas

En este apartado se muestra el precio de las piezas utilizadas para las uniones. Las placas son las porporcionados por le proveedor SIMPSON Strong-Tie y su precio está en dólares.

En la siguiente tabla se puede ver los precios desglosados.

Uniones	Nº total de placas	Precio/und ($)	Precio total ($)	Precio total (€)
Placas RCA 333/68	176	1,59	$ 279,88	246,30 €
Placas RCA 227/97	84	2,55	$ 214,20	188,50 €
Tornillos	1040	0,1	$ 104	91,52 €
			$ 598,08	526,31 €

2.3. Cimentaciones

Para carlular el precio que supone las cimentaciones se ha utilizado el generador de precios de CYPE para Guatemala.

En este proyecto se utilizan zapatas aisladas de hormigón armado de 80 cm x 80 cm x 30 cm, es decir 0.192 m^3 de hormigón. Si a esto se le añade los 0.5 m x 0.35 m x 0.2 m (0.035 m^3) de los pilotes de hormigón, se tiene finalmente 0.227 m^3 de hormigón armado por zapata. El proyecto tiene 16 zapatas por tanto se necesitará 3.65 m^3 de hormigón.

En la siguiente tabla se muestra el precio desglosado de 1 m^3 de hormigón armado en Guatemala. El precio está desglosado por los materiales qure componen el hormigón. Despúes para el cálculo del coste total de las 16 zapatas se multiplicará el valor por el volumen total 3.65 m^3.

Unidad	Materiales	Cantidad	Precio unitario	Precio total (Quetzal)
Ud	Separador homologado para cimentaciones.	8,000	0,95	7,60
kg	Acero en varillas corrugadas, Grado 60 (fy=4200 kg/cm²), de varios diámetros, según NTG 36011, ASTM A 615 y ASTM A 615 M.	51,000	6,80	346,80
kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,200	7,82	1,56
m³	Agua.	0,244	10,66	2,60
m³	Arena de río.	0,468	105,99	49,60
m³	Piedrín de 1/2", de tamaño máximo 12,5 mm.	0,773	191,24	147,83
kg	Cemento gris en sacos.	489,196	1,87	914,80
		Precio zapata/m³		**Q 1470,79**

	m^3/zapata	Nº total zapatas	m^3 totales cimentación	Precio/m^3	Precio total (Q)	Precio Total (€)
Cimentaciones	0,23	16	3,632	1470,79	**5341,91**	**587,61**

3. Presupuesto del depósito

El depósito de agua, al ser un un depósito de polietileno no necesita obra. El precio se ha obtenido de como media de diferentes proveedores encontrados.

En la siguiente tabla se muestra el precio del depósito.

	Precio (Quetzal)	Precio (Euros)
Depósito de polietileno de 10,000 litros	Q 9930	1092,3 €

4. Presupuesto de la letrina abonera

El presupuesto de la letrina abonera se ha sacado a raíz de otros proyectos similares. En concreto del proyecto del TFG de Carla González González *"Mejora de Abastecimiento y Propuesta de Saneamiento en Viviendas Unifamiliares en la Aldea de Belejú, Chicamán, Guatemala".*

A continuación, se muestra de manera resumida los precios de los elementos principales de la letrina.

	Precio (Q)	Precio (€)
Cámaras	2944	323,84
Caseta y techo	2140,4	235,444
Escaleras	170	18,7
Total	**Q 5254,4**	**577,98 €**

5. Mano de obra

En este apartado se muestran los costes que supone la mano de obra para poder ejecutar el proyecto.

El proyecto esta diseñado para que apenas se necesite mano de obra cualificada. También se ha de tener en cuenta la participación de la población local como mano de obra no cualificada, pudiendo ahorrar costes.

Las estimaciones de costes se han obtenido a través de los costes medios de los trabajadores en Chicamán. También se estima que el tiempo de ejecución de la obra está en torno a 10 días debido a la sencillez de la obra.

A continuación, en la siguiente tabla se muestra el presupuesto de la mano de obra.

Mano de obra	Nº obreros	Precio/obrero (Q)	Precio final (Q)	Precio final (€)
Estructura	5	500	2500	275
Depósito	-	-	-	-
Letrina abonera	2	500	1000	110
		Precio Total	3500	385

6. Resumen del presupuesto general

En este apartado se muestra un resumen de todo el presupuesto.

		Precio (Q)	Precio (€)
Vivienda	Estructura	Q 15857,70	1744,35 €
	Uniones	Q 4600,63	526,31 €
	Cimentaciones	Q 5341,91	587,61 €
	Precio Vivienda	**Q 25800,24**	**2858,27 €**
Depósito		**Q 9930**	**1092,3 €**
Letrina abonera		**Q 5254,4**	**577,984 €**
Mano de obra		**Q 3500**	**385 €**
Presupuesto total del proyecto		**Q 44484,64**	**4913,55 €**

Por tanto, el proyecto de la vivienda saldría en torno a unos 5000 €, uno de los objetivos buscados.