

Casa Industrializada Prefabricada con Paneles de Chapa Plegada

Joaquín Cafaro.
Octubre 2020.

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe.
Departamento de Ingeniería Mecánica.
Proyecto Final.

Copyright © 2020 por Joaquín Cafaro. Todos los derechos reservados.

Dedicatoria

Agradecimientos

Abstract

Tabla de Contenidos

Capítulo 1 Introducción e información general	1
1.1 - Introducción	1
1.2 - Antecedentes	1
Capítulo 2 Desarrollo del proyecto	3
2.1 - Diseño Global	3
2.1.1 - Cálculos Iniciales.	3
2.1.2 - Memoria de Cálculos.	5
2.2 - Diseño Inicial	10
2.2.1 - Panel Estándar (PA02).	12
2.2.2 - Optimización de Chapas.	17
2.2.3 - Otros Paneles	17
2.2.4 - Revestimientos.	19
2.2.5 - Aislación.	21
2.2.6 - Ensamblaje de Paneles.	24
2.2.7 - Vinculación a la Platea de Fundación.	29
2.2.8 - Vinculación entre Paneles.	39
2.2.9 - Paneles de Techo.	44
2.2.10- Vinculación Cubierta-Estructura.	47
2.2.11 - Aberturas.	51
Capítulo 3 Estudios y Análisis	55
3.1 - Cálculo de Transmitancia Térmica	55
3.2 - Análisis Estático Estructural	59
3.3 - Análisis Económico	64
Capítulo 4 Resultados y discusión.	68
4.1 - Factibilidad Económica	68
4.2 - Impacto Ambiental	68
4.3 - Impacto Social	69
4.4 - Conclusiones Generales	70
Lista de referencias	72
Apéndice	74
Vita	75

Lista de tablas

Tabla 1. Referencias de Figura 4.	12
--	----

Lista de figuras

Figura 1. Imagen ilustrativa de unidad funcional modelo.....	3
Figura 2. Plano arquitectónico de unidad modelo.	4
Figura 3. Boceto arquitectónico del modelo prototipo.....	4
Figura 4. Estructura base final.....	11
Figura 5. Vista explosionada del Panel estándar.	12
Figura 5. Panel estándar con referencias de perfiles.	13
Figura 6. Perfil parante.	14
Figura 7. Apoyo entre perfiles parantes de paneles.	14
Figura 8. Perfil base y travesaño.	15
Figura 9. Perfil para conductores eléctricos.	16
Figura 10. Sección de perfil posterior para conductores.	16
Figura 11. Variante del perfil anterior.....	17
Figura 12. Panel esquinero explosionado.....	18
Figura 13. Cuadro comparativo de materiales aislantes.....	23
Figura 14. Ilustración de soldadura en esquinas del panel.	24
Figura 15. Ilustración de soldadura superior del panel.	25
Figura 16. Encuentro entre solera y parante.....	26
Figura 17. Ubicación de soleras.....	27
Figura 18. Estructura final del panel en bruto.	27
Figura 19. Panel con placa atornillada.	28
Figura 20. Perfil para anclaje químico.	29
Figura 21. Sistema de anclaje a platea.	30
Figura 22. Estudio estático del anclaje a platea.	31
Figura 23. Estudio de tensiones en anclaje a platea.....	31
Figura 24. Estudio de desplazamientos en anclaje a platea.....	32
Figura 25. Perfiles para anclaje de paneles tabiques interiores.	35
Figura 26. Anclaje inferior de paneles tabiques.	36
Figura 27. Anclaje superior de paneles tabiques (sin panel)..	37
Figura 28. Anclaje superior de paneles tabiques (con panel)..	37
Figura 29. Sistema completo de anclaje para paneles interiores.	38
Figura 30. Vinculación entre paneles.....	39
Figura 31. Vinculación entre paneles en perspectiva.....	40
Figura 32. Detalle ilustrativo de vinculación entre paneles.	41
Figura 33. Detalle en corte de vinculación entre paneles.....	41
Figura 34. Vinculación de paneles esquineros.	42
Figura 35. Detalle de encuentro en esquina.....	43
Figura 36. Panel de techo explosionado.....	44
Figura 37. Ilustración de soldaduras en paneles de techo.	45
Figura 38. Vinculación de placas en el panel de techo.	46
Figura 39. Cerramiento de cubierta en obra.	46
Figura 40. Vinculación entre cubierta y estructura.....	47
Figura 41. Detalle de vinculación cubierta-estructura.	48

Figura 42. Resistencia característica de tornillos autoperforantes Index.	49
Figura 43. Perfil parante para aberturas.	51
Figura 44. Conjunto modular para puertas.	52
Figura 45. Conjunto modular para ventanas.	52
Figura 46. Ventanal de cierre.	53
Figura 47. Estructura final con aberturas.	54
Figura 48. Detalle de aberturas ensambladas.	54
Figura 49. Planilla de cálculo para transmitancia térmica del panel.	58
Figura 50. Estructura simplificada para Análisis Estático.	59
Figura 51. Análisis de Tensiones por método CAE.	61
Figura 52. Análisis de Tensiones por método CAE. Detalle.	61
Figura 53. Análisis de Desplazamientos por método CAE.	62
Figura 54. Análisis de Desplazamientos por método CAE. Detalle.	62
Figura 55. Planilla de costos del Módulo Panel de Techo.	64
Figura 56. Planilla de costos del Módulo Panel Estándar.	65
Figura 57. Planilla de costos del Módulo de Puerta.	65
Figura 58. Planilla de costos para Aberturas.	65
Figura 59. Planilla de costos del Anclaje a Platea.	66
Figura 60. Planilla de costos General.	66

Capítulo 1

Introducción e información general

1.1 - Introducción

El presente Proyecto desarrolla el proceso de diseño correspondiente a un modelo de casa prefabricada industrializada, compuesta de paneles de chapa plegada.

Dicho diseño responde a la premisa de conseguir un producto simple y flexible, de ensamblaje sencillo y rápido, apuntando a un modelo de hogar transitorio que cumpla con las necesidades y comodidades básicas, ya que el proyecto parte con la idea de construir un prototipo de cabaña financiada por un potencial cliente.

Otro aspecto fundamental a tener en cuenta es la idea de conseguir un producto industrializable, que pueda ser construido en mayor escala aprovechando las instalaciones de la Fábrica de Carrocerías Cafaro, no solo las máquinas de corte y plegado de chapa sino también todo el flujo de trabajo, ideando una estructura con perfiles y procesos constructivos similares a una carrocería de acoplado.

1.2 - Antecedentes

Parte de la esencia del proyecto surge de elaborar un sistema de construcción alejado de los paradigmas habituales utilizados en el rubro, abordando la problemática desde una perspectiva inherente a la Industria Metalmecánica.

Estas características generan una escasez de información a la hora de realizar un estudio de mercado. Saliendo de las técnicas de construcción con materiales habituales (ladrillos, hormigón armado, maderas, etc.) podemos encontrar en la región algunos sistemas modulares que utilizan paneles premoldeados o bien estructuras híbridas con perfiles de acero y cerramientos de yeso. Para ambos casos, se suele utilizar mucho tiempo armando la estructura del edificio en el lugar de instalación.

Quizás el sistema con mayor similitud al desarrollado en este proyecto sea el denominado Steel Framing. La metodología utilizada por las empresas es, en resumen, construir un armazón principal con perfiles estructurales de acero sobre una platea y vincularlo a perfiles galvanizados que servirán de soporte para colocar los paneles de recubrimiento llevados hasta la obra. Su principal falencia recae en la necesidad de fijar los primeros mediante anclaje químico a la platea desde el interior del perfil, lo que anula las posibilidades de tener los paneles pre-ensamblados al no existir una metodología de vinculación entre ellos.

Las incompatibilidades con el sistema propuesto hacen que no haya mayores características donde profundizar con el fin de obtener información valiosa pertinente al proyecto. Estos se tuvieron en cuenta como parámetros comparativos a la hora de decidir ciertas metodologías para mejorar sus debilidades o implementar sus virtudes (tornillería, soleras, perfilería liviana), para alcanzar así las premisas planteadas. Además, fueron utilizados como referencias durante los análisis económicos y evaluación del proyecto.

Capítulo 2

Desarrollo del proyecto

2.1 - Diseño Global

2.1.1 - Cálculos Iniciales.

Para el modelo prototipo, la idea fue diseñar una vivienda que abarque una superficie aproximada de 32 m², basándose en dimensiones de unidades funcionales para turismo estudiadas como modelo. Un ejemplo es la cabaña moderna que se observa en la *Figura 1*, con su respectivo plano arquitectónico de la *Figura 2*.



Figura 1. Imagen ilustrativa de unidad funcional modelo.



Figura 2. Plano arquitectónico de unidad modelo.

El modelo prototipo de este Proyecto se diseñó siguiendo el concepto que se observa en el boceto arquitectónico de la *Figura 3*.

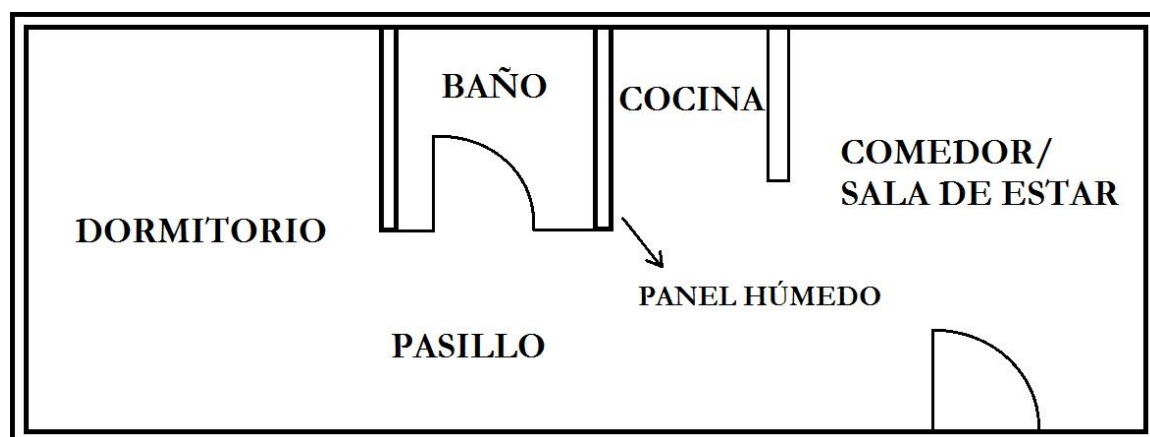


Figura 3. Boceto arquitectónico del modelo prototipo.

A partir de la superficie abarcada mencionada previamente (32 m²), se estimaron unas dimensiones generales de 8 x 4 m, y teniendo en cuenta una altura aproximada de 2,5

m, se procedieron a realizar los cálculos correspondientes a la resistencia estructural del conjunto.

2.1.2 - Memoria de Cálculos.

Se recurrió al Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones (CIRSOC 102) donde figuran métodos guías para casos no convencionales como el nuestro. Para simplificar el cálculo y basándonos en casos previos, se adoptó el ejemplo de una estructura para cartel de señalización en la ruta, usando como base la pared más expuesta al accionar del viento, por ende la de mayor superficie, y todos los datos pertinentes al área de ubicación.

Los cálculos son los siguientes (toda mención a Tablas o Figuras se encuentran dentro de la Norma CIRSOC 102):

Exposición y características de la construcción

La construcción se ubica en un área de Exposición B (Áreas urbanas y suburbanas, áreas boscosas, o terrenos con numerosas obstrucciones próximas entre sí, del tamaño de viviendas unifamiliares o mayores).

La estructura se clasifica como de Categoría II de la Tabla A-1.

Velocidad básica de viento

Se determina en base al mapa de la Figura 1. La velocidad básica se fija en 45 m/s.

Presiones dinámicas

Las presiones dinámicas se computan mediante:

$$Q_z = 0,613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \times I \text{ (N/m}^2\text{)}$$

dónde:

$$V = 45 \text{ m/s}$$

$K_d = 0,85$ para carteles sólidos, ver Tabla 6 en CIRSOC 102.

$I = 1,00$ para Categoría II (Tabla 2 en CIRSOC 102).

$K_{zt} = 1,0$ por ser el terreno plano.

$$K_z = 0,65$$

$$Q_z = 685,8 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

Fuerza de diseño para el Sistema Principal Resistente a la Fuerza del Viento (SPRFV)

La expresión dada en la Tabla 1 es:

$$F = Q_z \times G_f \times C_f \times A_f; \text{ dónde:}$$

$$Q_z = 685,8 \text{ (N/m}^2\text{)}.$$

G_f es el factor de efecto de ráfaga, se calcula según el artículo 5.8.2. o mediante un análisis racional que cumpla con las disposiciones del artículo 5.8.3., debido a que $f < 1 \text{ Hz}$.

$$C_f = 1,2 \text{ (Tabla 11).}$$

$$A_f = 8 \times 2,5 = 20 \text{ m}^2. \text{ Para viento normal y oblicuo ver Nota 4 de la Tabla 11.}$$

Factor de efecto de ráfaga G_f

El factor de efecto de ráfaga G_f se determina con la expresión 6 del artículo 5.8.2.:

$$G_f = 0,925 \left(\frac{1 + 1,7 I_z \sqrt{g_q^2 Q^2 + g_r^2 R^2}}{1 + 1,7 g_v I_z} \right)$$

- **I_z** se obtiene de la siguiente expresión:

$$I_z = c \left(\frac{10}{z} \right)^{1/6} = 0,30 \left(\frac{10}{9,2} \right)^{1/6} = 0,3042$$

z es la altura equivalente de la estructura, que se usa para determinar el valor nominal de **I_z** ; para edificios el valor recomendado es 0,6 h.

- **g_q** y **g_v** se toman igual a 3,4 según el artículo 5.8.2.
- **g_r** se obtiene de la siguiente expresión:

$$g_r = \sqrt{2 \ln(3600n_1)} + \frac{0,577}{2 \ln(3600n_1)} = \sqrt{2 \ln(3600 \times 0,7)} + \frac{0,577}{2 \ln(3600 \times 0,7)} = 4,1035$$

Nota: se toma el valor de frecuencia natural $n_1 = 0,7$ Hz y relación de amortiguamiento crítico $\beta = 0,01$.

- **Q** se determina con la siguiente expresión:

$$Q^2 = \frac{1}{1 + 0,63 \left(\frac{B+h}{L_z} \right)^{0,63}} = \frac{1}{1 + 0,63 \left(\frac{8+2,5}{95,3} \right)^{0,63}} = 0,8643$$

Nota: En la expresión, B y h son las dimensiones de la pared.

$$L_z = l \left(\frac{z}{10} \right)^\varepsilon = 98 \left(\frac{9,2}{10} \right)^{1/3} = 95,3 \text{ m}$$

c, l, α , α' , ε , etc., se obtienen de la Tabla 4.

- **R** se determina con la siguiente manera:

$$V_z = b \left(\frac{z}{10} \right)^\alpha \times V = 0,45 \left(\frac{9,2}{10} \right)^{1/4} \times 50 = 22 \text{ m/s}$$

Nota: V es la velocidad básica de viento.

$$N_1 = \frac{n_1 L_z}{V_z} = \frac{0,7 \times 95,3}{22} = 3,03$$

Nota: n_1 es la frecuencia natural de la estructura.

$$R_n = \frac{7,47 N_1}{(1 + 10,3 N_1)^{5/3}} = 0,069$$

$$\mu_h = \frac{4,6 n_1 h}{V_z} = \frac{4,6 \times 0,7 \times 2,5}{22} = 0,366$$

Nota: h se toma igual a 2,5 m por cuanto la respuesta resonante depende de la altura total.

$$R_h = \frac{1}{\mu} - \frac{1}{2\mu^2} (1 - e^{-2\mu}) = 0,795$$

$$\mu_B = \frac{4,6 n_1 B}{V_z} = \frac{4,6 \times 0,7 \times 8}{22} = 1,171 \quad (\text{siendo } B = 8 \text{ m})$$

$$R_B = \frac{1}{\mu} - \frac{1}{2\mu^2} (1 - e^{-2\mu}) = 0,524$$

$$\mu_L = \frac{4,6 n_1 L}{V_z} = \frac{4,6 \times 0,7 \times 4}{22} = 0,5855 \quad (\text{suponiendo la profundidad } L = 4 \text{ m})$$

$$R_L = \frac{1}{\mu} - \frac{1}{2\mu^2} (1 - e^{-2\mu}) = 0,702$$

$$R^2 = \frac{1}{0,01} R_n R_h R_B (0,53 + 0,47 R_L) = 2,472$$

$$Gf = 0,925 \left(\frac{1 + 1,7 \times 0,3042 \sqrt{3,4^2 \times 0,8643 + 4,1035^2 \times 2,472}}{1 + 1,7 \times 3,4 \times 0,3042} \right) = 1,58$$

$$F = Qz \times Gf \times Cf \times Af = 685,8 \times 1,58 \times 1,2 \times 20 = 26005 \text{ (N)}$$

La fuerza sobre el cartel sigue dos casos:

1. fuerza en el centro geométrico.
2. fuerza a $0,2 \times 8 = 1,6$ m hacia cualquier lado del centro geométrico (ver nota 4 de la Tabla 11).

Según CIRSOC 102: “La carga de viento que se debe utilizar en el diseño del sistema principal resistente a la fuerza del viento para un edificio u otra estructura cerrados o parcialmente cerrados, no debe ser menor que el valor $0,50 \text{ kN/m}^2$ multiplicado por el área del edificio o estructura proyectada sobre un plano vertical normal a la dirección supuesta para el viento.

La fuerza del viento de diseño para edificios y otras estructuras abiertos no debe ser menor que el valor $0,50 \text{ kN/m}^2$ multiplicado por el área A_f .”

$$0,50 \text{ (KN/m}^2\text{)} \times 20 \text{ (m}^2\text{)} = 10000 \text{ (N)} < 26005 \text{ (N)}$$

Fuerza sobre componentes y revestimientos

La expresión dada en el artículo 5.13 es:

$$F = Q_z \times G \times C_f \times A_f$$

Los valores de Q_z son iguales que para SPRFV. Las fuerzas de diseño se pueden determinar usando los C_f y A_f apropiados para cada componente o panel de revestimiento.

Conclusión:

Los resultados obtenidos arrojaron una fuerza de diseño superior al mínimo ponderado por la superficie expuesta y la presión del viento que determina la norma, por lo que se utilizará ese valor para los estudios estáticos a realizarse con software CAE.

2.2 - Diseño Inicial

Se buscó partir de un panel compuesto de perfiles fabricados con chapa plegada, que posea el peso y el tamaño adecuado para ser transportado entre una o dos personas sin necesidad de mecanismos auxiliares. A su vez, debía ser resistente a los ataques de los agentes corrosivos existentes en la intemperie y tener buena resistencia mecánica para soportar todas las solicitaciones a las que estará expuesta la estructura. El material elegido fue el acero galvanizado debido a su bajo peso específico, su resistencia a la corrosión y su aceptable resistencia mecánica.

Las dimensiones de los paneles se pensaron para aprovechar al máximo las chapas de 2,4 x 1,2 m, fabricando perfiles con esas longitudes ya que también son estándares en las placas de revestimiento. Se seleccionó un espesor de 2 mm para el diseño inicial, buscando que tengan buena resistencia estructural y a la vez sean livianos. Esta decisión se verificará a la hora de evaluar el conjunto estática y dinámicamente a través de un estudio de Elementos Finitos asistido por software CAD.

La estructura base queda conformada por ocho paneles a lo largo y tres de ancho, con dimensiones aproximadas de 9,6 x 3,6 m, obteniendo un área cubierta de 35 m².

En la *Figura 4* se puede observar la estructura obtenida en bruto.

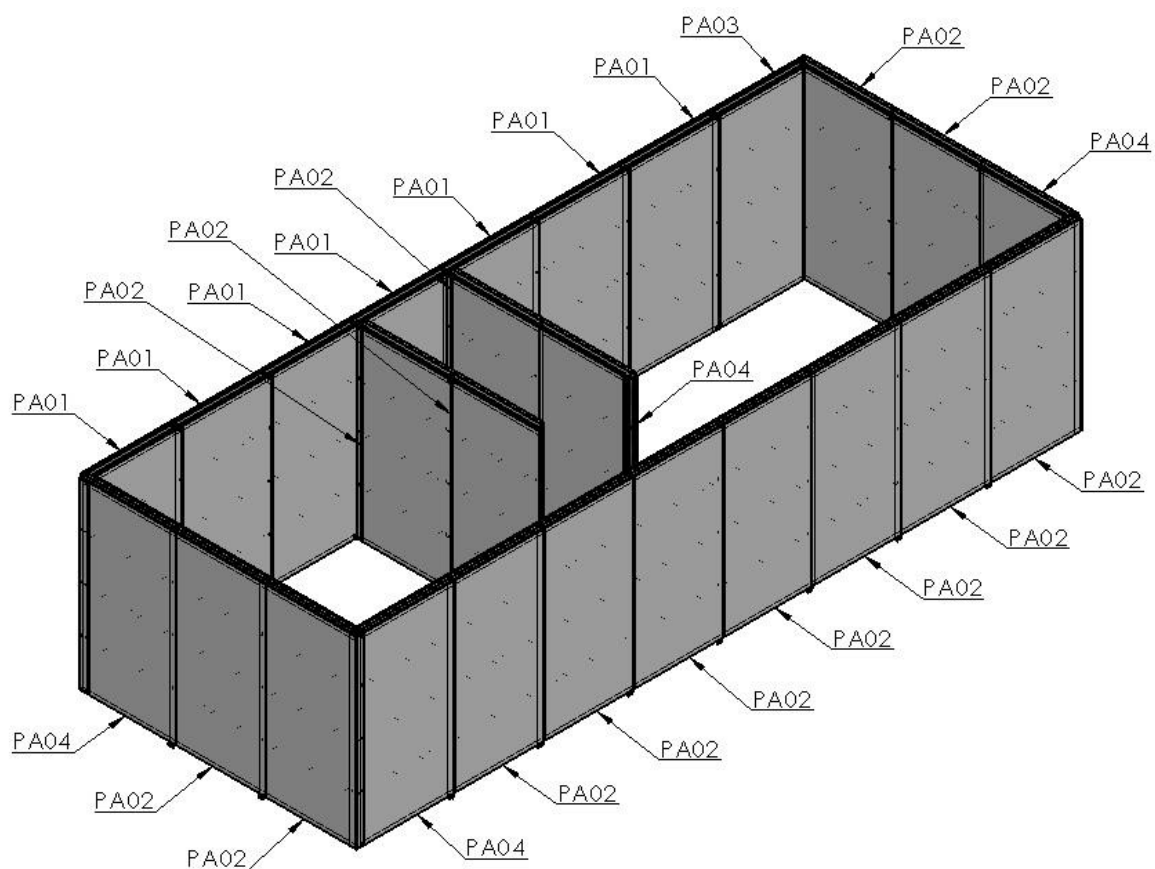


Figura 4. Estructura base final.

2.2.1 - Panel Estándar (PA02).

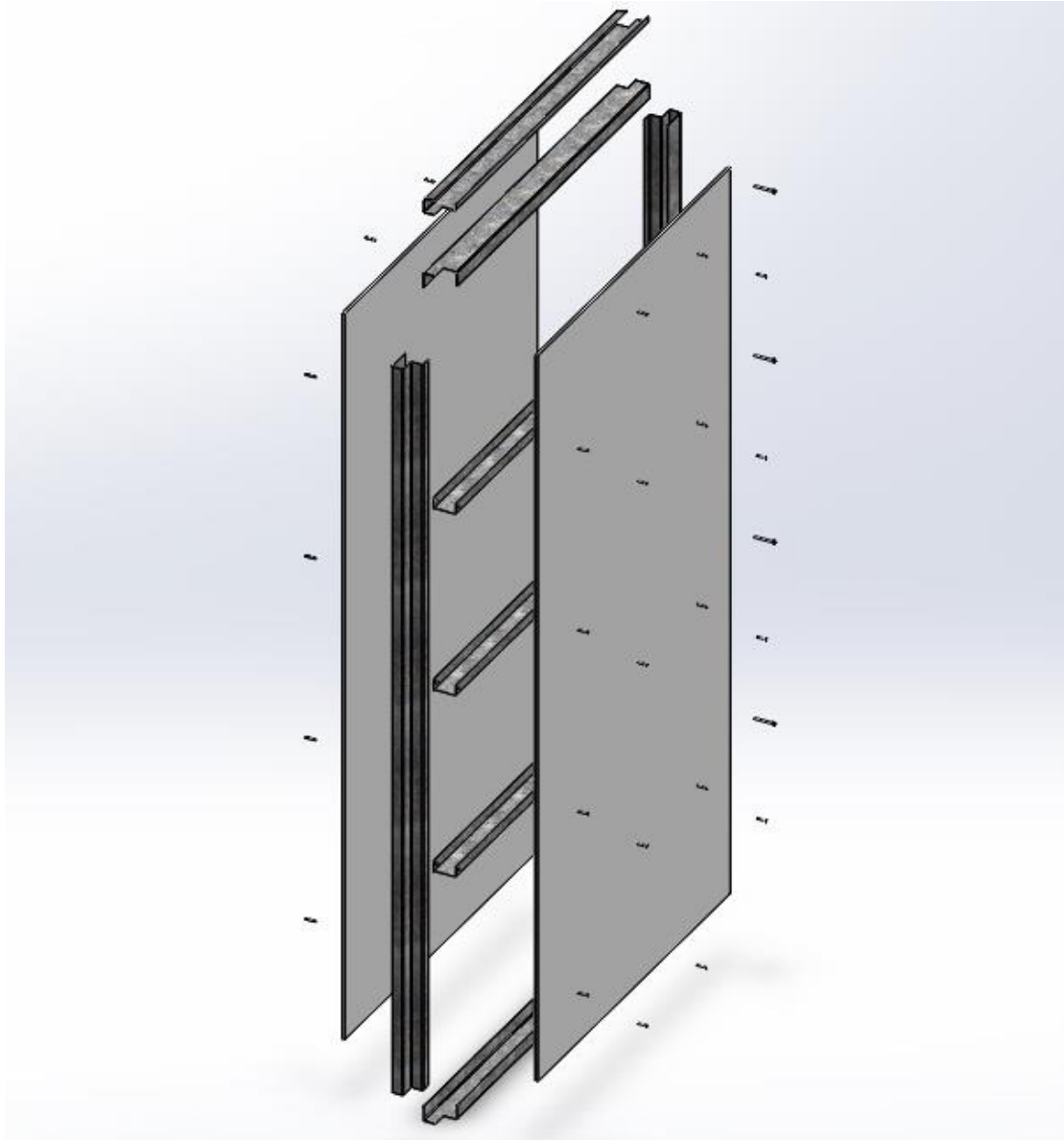


Figura 5. Vista explosionada del Panel estándar.

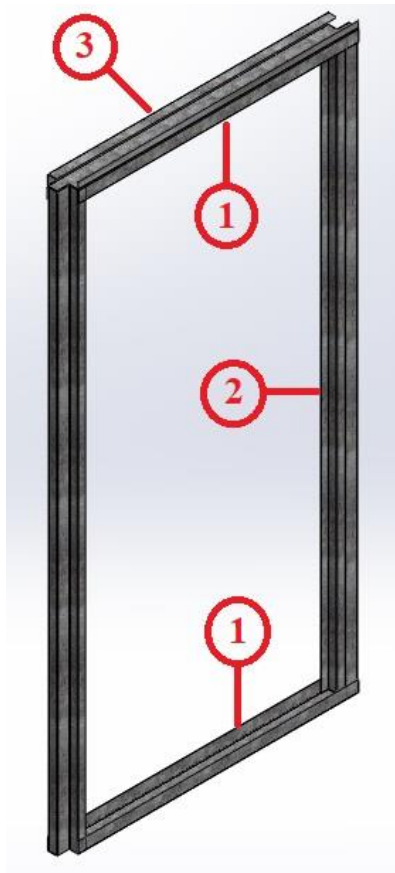


Figura 6. Panel estándar con referencias de perfiles.

Tabla 1. Referencias de Figura 5.

Referencia	Perfil
1	Base y travesaño
2	Parante
3	Para conductores eléctricos

Las secciones transversales de los perfiles se diseñaron personalizadas para facilitar el ensamblaje entre paneles y favorecer la resistencia estructural del conjunto, adoptando un ancho de 75 mm que, sumado al espesor de los revestimientos estándares formará un conjunto aproximado de 100 mm, similar a los paneles y paredes en estructuras de este tipo. En la *Figura 7* se puede apreciar el perfil

correspondiente a los parantes del panel. Su diseño ayudará al apoyo entre paneles a fin de ser vinculados con bulonería sobre las pestañas de sus extremos (ver sección *Vinculación entre Paneles*), además de contener las soleras para fijar el revestimiento.

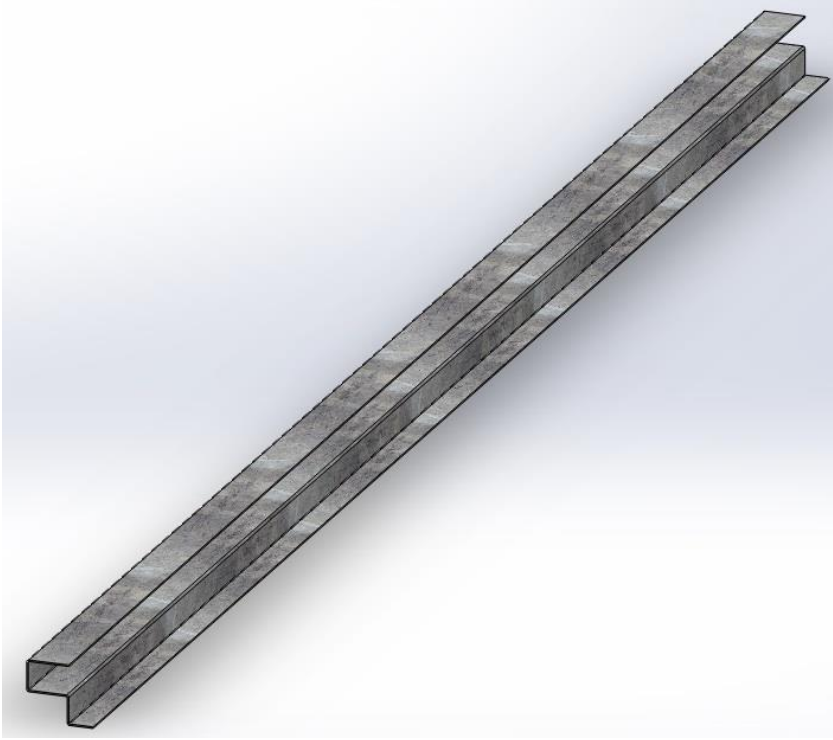


Figura 7. Perfil parante.



Figura 8. Apoyo entre perfiles parantes de paneles.

En la *Figura 9* se aprecia el perfil que sirve como base y como travesaño para cerrar el panel por arriba y por debajo. Es un simple perfil tipo U cortado según el contorno del perfil de los parantes, para realizar el encastre entre paneles sucesivos. Su finalidad es la de contenerlos sirviendo como apoyo, delimitando el panel en dirección vertical y evitando el desplazamiento de los perfiles parantes hacia delante o atrás.

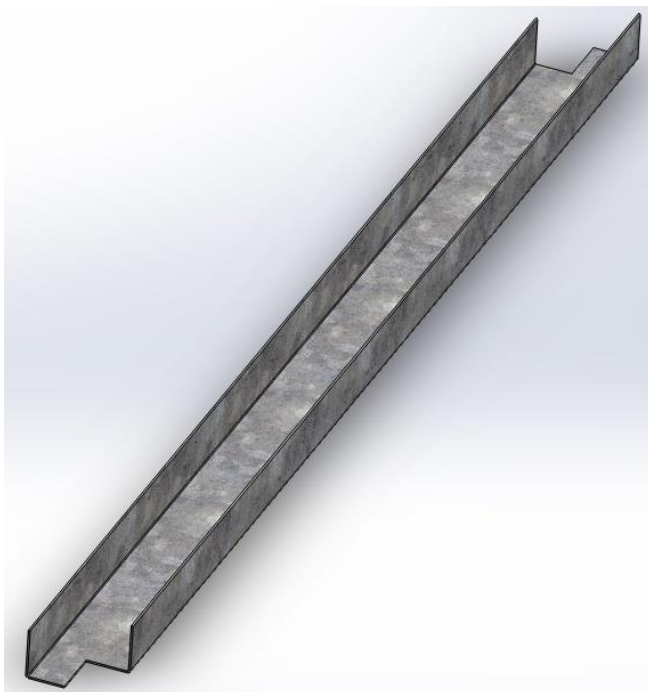


Figura 9. Perfil base y travesaño.

En la *Figura 10* vemos el último perfil que forma la estructura del panel. Su misión es servir como contenedor para los conductores de la instalación eléctrica al estar ubicado sobre el perfil travesaño, y poseer las perforaciones que dejen bajar los conductores hacia las eventuales acometidas ubicadas en el interior del panel. La pestaña superior cumple la función de apoyo para los componentes de la estructura que forma la cubierta, mientras que la pestaña lateral sirve para contener los

conductores. Salvando la pestaña superior, al igual que el perfil base/travesaño, es un perfil tipo U cortado según el contorno del parante.

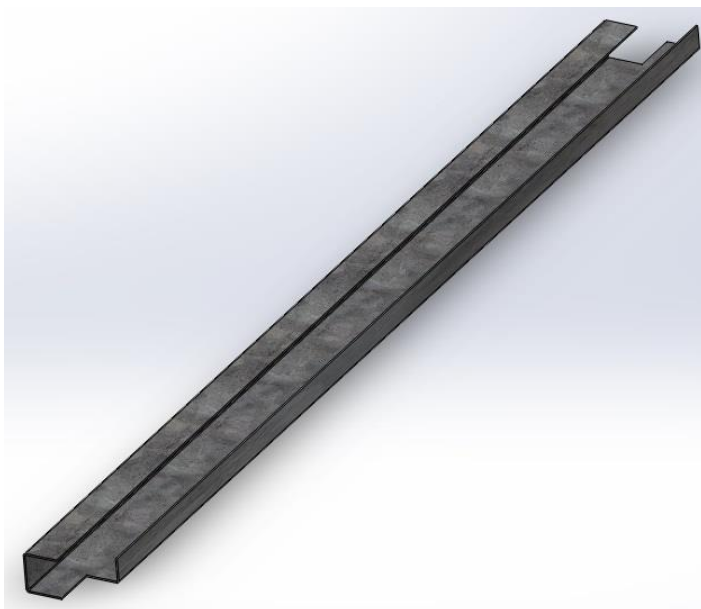


Figura 10. Perfil para conductores eléctricos.

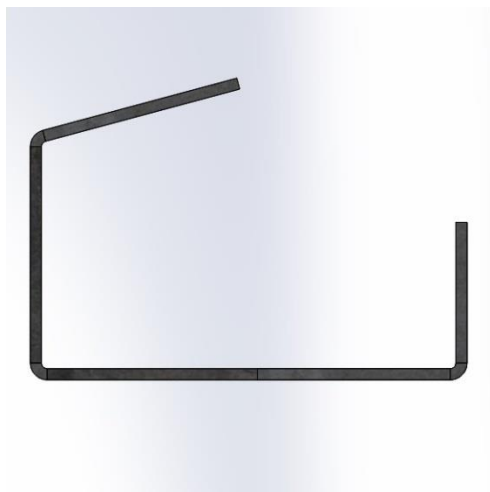


Figura 11. Sección de perfil posterior para conductores.

Existe una variante de este perfil para los paneles posteriores (paneles que forman la pared posterior de la vivienda) donde la pestaña superior posee el ángulo que llevará la cubierta, para servir como apoyo de esta. Podemos observarla en la *Figura 12*.

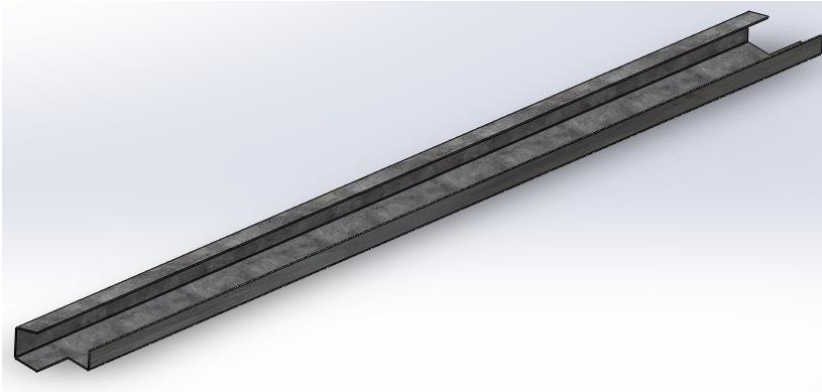


Figura 12. Variante del perfil anterior.

2.2.2 - Optimización de Chapas.

Como se puede observar en los planos de los perfiles (ver *Anexo*), la pieza de chapa desplegada necesaria para formar un parante tiene unas dimensiones de 2400 x 233 mm por lo que pueden cortarse cinco unidades desde la materia prima (chapón de 2440 x 1220) con un sobrante de 0,132 m² (2400 x 55 mm).

En el caso de los perfiles base y travesaño, tenemos una pieza de 1220 x 174 mm, por lo que podemos obtener catorce piezas con un sobrante de 0,0048 m² (1220 x 4 mm).

En el caso del perfil para conductores eléctricos sucede lo mismo ya que la pieza desplegada posee las mismas dimensiones.

2.2.3 - Otros Paneles.

Para alcanzar este diseño final hicieron falta crear otros modelos de paneles diferentes al estándar (PA02) y al posterior (PA01), estos son:

- Panel esquinero (PA04): Se coloca uno por pared para realizar el encastre en las esquinas de la vivienda, debido a que existiría una incompatibilidad en el ensamblaje al utilizar los perfiles estándares. En este caso, la parte posterior del panel mantiene las dimensiones estándares pero la frontal se ve reducida por lo que se debe tener en cuenta recortar la placa de revestimiento y colocar un refuerzo de esta en la parte posterior. En el caso de los paneles tabiques se utiliza uno de estos modelos para poder contener la puerta del baño en el interior de sus perfiles parantes.

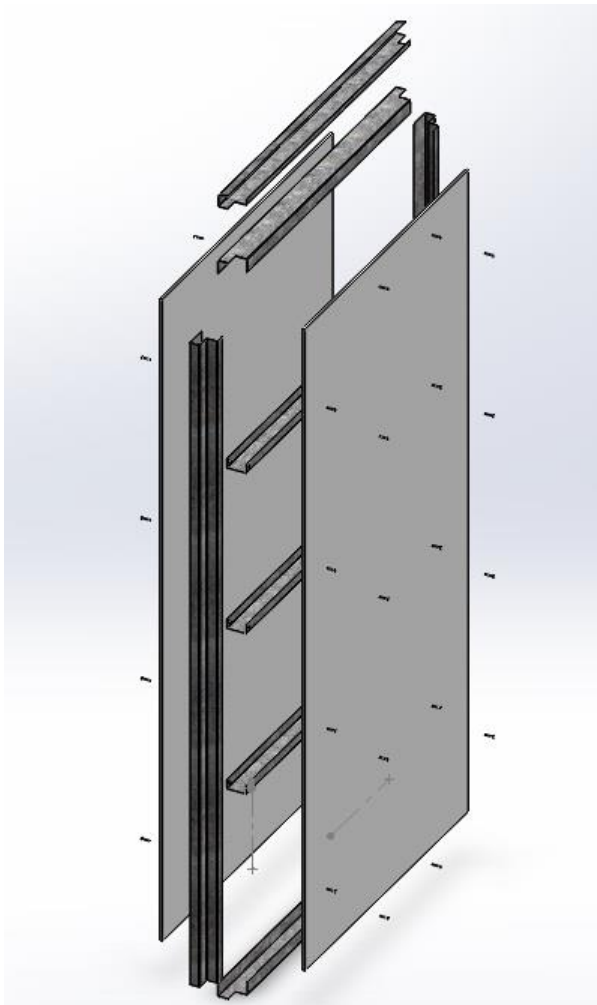


Figura 13. Panel esquinero explosionado.

- Panel esquinero posterior (PA03): Símil al anterior pero con el perfil para conductores eléctricos con el ángulo de apoyo para la cubierta.

2.2.4 - Revestimientos.

El sustrato exterior seleccionado para este Proyecto es la placa para exteriores GLASS MAT comercializada en nuestra región por KNAUF. Se suele utilizar en el sistema Steel Framing con una malla exterior sobre la cual se revoca, pero también puede utilizarse como terminación rústica o con capas de pintura adecuadas.

La placa SP GLASS® está compuesta por un núcleo de yeso con aditivos, revestido en ambas caras con velo de fibra de vidrio resistente al álcalis, garantizando una alta resistencia a la humedad y a la acción del fuego. Posee una gran estabilidad dimensional que asegura la resistencia a la deformación, pandeo y delaminación, junto a otras propiedades duraderas:

- Evita la formación de moho y hongos.
- Absorción de agua $\leq 10\%$
- Incombustible RE1 (según ensayo realizado en INTI, bajo norma IRAM 11.910).

Sus dimensiones nominales son de 1200 x 2400 mm, con un espesor de 12,5 mm, resultando compatibles con el diseño de nuestros paneles.

Para el caso del sustrato interior seleccionamos la placa Durlock® Estándar ya que nos brinda las prestaciones necesarias sin encarecer el conjunto del panel innecesariamente.

El núcleo de las placas de yeso Durlock® Estándar es revestido con una lámina de papel de celulosa especial en ambas caras. A su vez, el núcleo es reforzado, lo que le otorga mayor dureza. Las Placas Estándar se identifican por su cinta protectora de bordes color amarillo, siendo el papel de la cara expuesta de color gris claro y el de la cara posterior, de color más oscuro.

Sus principales ventajas son:

- Racionalidad constructiva con eliminación de mezclas húmedas.
- Resistencia al fuego (ensayos en el INTI bajo IRAM 11950. Material clase RE2)
- Resistencia mecánica (ensayos en el INTI bajo IRAM 11595 y 11596)
- Confort térmico y acústico. Con la presencia de un aislante cumple con las más variadas exigencias térmicas y su comportamiento acústico es superior a las soluciones tradicionales gracias al sistema masa-resorte-masa.
- Reducción de plazo de obra.
- Facilidad en el pasaje de instalaciones.
- Excelente calidad de terminación.
- Las Placas de Yeso Estándar Durlock cuentan con el sello IRAM de Conformidad en Calidad, según la norma IRAM NRO 11643.

Estas placas también son compatibles con nuestro sistema de paneles ya que se comercializan con dimensiones de 1200 x 2400 mm, con espesor de 9,5 mm en este caso.

Al contar con un material conocido por ser quebradizo deberán tomarse las medidas pertinentes para su transporte y manipulación, siendo fundamental la paletización de los paneles como conjunto a la hora de llevarlos hasta la obra y teniendo en cuenta la posibilidad de agregar otro tipo de protección, como por ejemplo mallas de embalaje.

2.2.5 - Aislación.

Cualquiera sea la tecnología utilizada para la construcción de una vivienda, es indispensable la utilización de aislantes para combatir los cambios de humedad, temperatura y ruidos del ambiente.

Para este proyecto se decidió implementar como material la fibra de celulosa que, además de ser comercializada por una empresa emprendedora de la región, posee múltiples atributos como producto. No es nociva para la salud ya que no contiene ningún tipo de sustancias o aditivos que puedan resultar peligrosos, no provoca irritaciones en la piel, ni es agresivo, no emite gases o sustancias tóxicas, por lo que se lo considera un material aislante inofensivo. Es ecológico porque proviene de papeles reciclados, la cantidad de energía necesaria para su fabricación es muy baja y no se

emite CO₂. Es ignífuga porque está tratada para que no se inflame ni propague llamas. Evita el anidamiento de roedores, termitas, parásitos y además controla la formación de hongos.

En cuanto a las características acústicas propiamente dichas, la celulosa proporciona un control superior en la transferencia de sonido exigido por los diseñadores, propietarios y ocupantes de edificios. Las pruebas de laboratorio han demostrado que la celulosa produce valores de reducción del ruido significativamente más altos que otros sistemas para pared de construcción idéntica.

Sobre las características térmicas podemos decir que, por su método de aplicación, la celulosa reduce al mínimo la filtración de aire y forma una barrera altamente eficiente y eficaz. Además, es capaz de almacenar la humedad y liberarla en forma progresiva. Finalmente, por la gran cantidad de prestaciones, resulta más económico que otras alternativas del mercado.

El método de aplicación que se ajusta a nuestro caso es el de Proyectoado, este consiste en aplicar la celulosa en húmedo con una puntera especial, convirtiéndolo en un sistema muy apropiado para obras nuevas. El aislante se proyecta en la pared, cubriéndola al 100%. Si el cerramiento se hace con placas de cartón yeso, se pasa un rodillo para nivelar el aislamiento a la altura de los perfiles para colocar las placas.

Actualmente existen gran variedad de materiales y tecnologías para la construcción. Los aislantes utilizados comúnmente son: poliuretano, lana de vidrio y poliestireno expandido en menor medida (además de membranas y pinturas). En la *Figura 14* se observan los distintos tipos de aislantes y las características que diferencian a la fibra de celulosa.

Propiedades	Celulosa	Poliuretano	Lana Mineral	Fibra Poliéster
Genera gases venenosos al contacto con el fuego.	NO	SI	NO	NO
Monolítico, sin uniones.	SI	SI	NO	NO
Se ajusta a la geometría del parámetro.	SI	SI	NO	NO
Higroscópico, toma y cede humedad del ambiente.	SI	NO	NO	NO
Propiedades acústicas y térmicas estables	SI	SI	NO	NO
Se adhiere al sustrato.	SI	SI	NO	NO
Se compacta en el tiempo.	NO	NO	SI	NO
Alta eficiencia de aislante acústico.	SI	NO	NO	NO
Alta eficiencia de aislante térmico.	SI	SI	NO	NO
Instalado por personal especializado.	SI	SI	NO	NO
Precio.	Bajo	Alto	Bajo	Medio

Figura 14. Cuadro comparativo de materiales aislantes.

2.2.6 - Ensamblaje de Paneles.

El armado de los paneles se realiza mediante matrices de ensamblaje tipo cunas, que consisten en un marco con las dimensiones interiores necesarias para contener la estructura del panel asegurando así la rectangularidad del conjunto.

El proceso comienza con la vinculación entre los perfiles mediante soldadura eléctrica tipo MIC. Una vez ubicados los cinco perfiles pertenecientes a la estructura del panel más las tres soleras necesarias en el interior, se proceden a soldar entre ellos siguiendo las instrucciones detalladas en los planos correspondientes e ilustradas en las siguientes imágenes. En la *Figura 15* se ilustran las uniones realizadas en cada esquina del panel, a un lado inicialmente y al otro cuando este sea volteado. En la *Figura 16* se esquematiza la unión a realizar entre el perfil para conductores eléctricos y el travesaño, soldadura tipo paso peregrino de 20 mm de longitud y 80 de vano, a realizarse en ambos lados del panel.

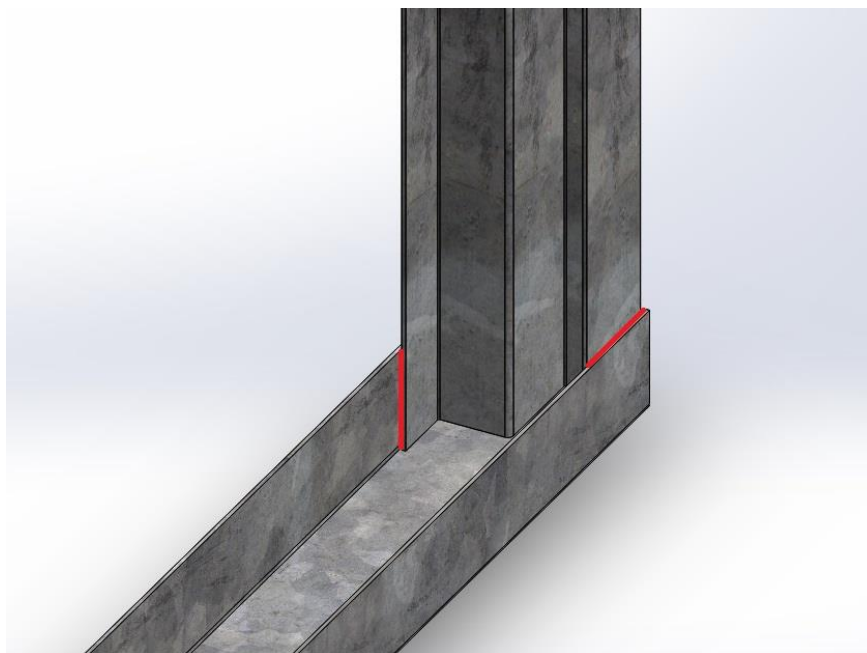


Figura 15. Ilustración de soldadura en esquinas del panel.

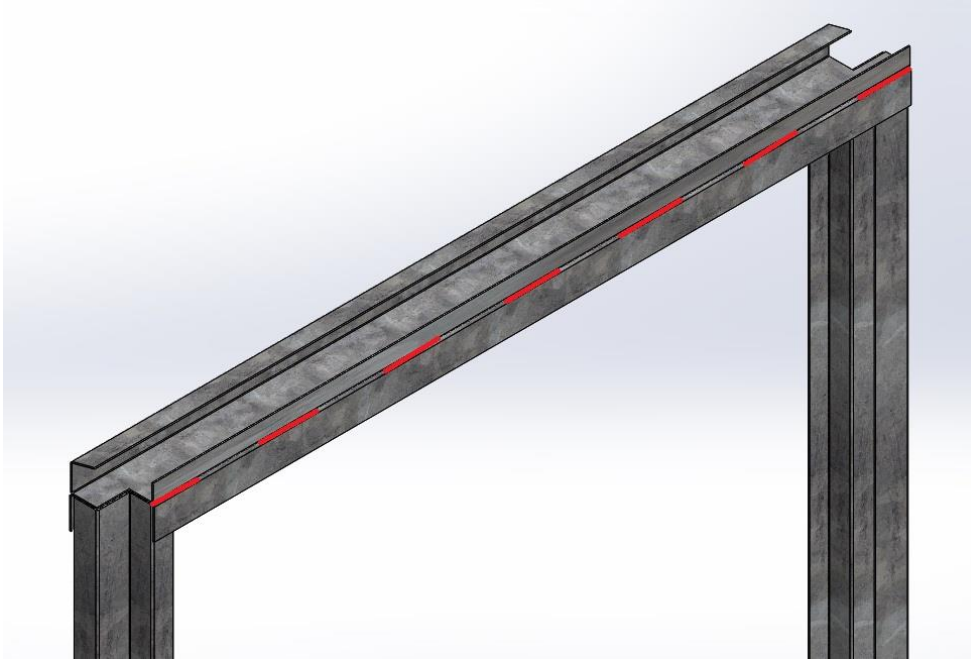


Figura 16. Ilustración de soldadura superior del panel.

Se utiliza este método de vinculación para aprovechar al máximo la capacidad instalada del taller, asegurando una resistencia mecánica del conjunto superior a la obtenida con remaches y minimizando la cantidad de uniones atornilladas para evitar las salientes del plano estructural donde se colocarán otras capas de sustratos. Al ser perfiles portantes, los espesores son mayores a los utilizados en otros tipos de sistemas por lo que no se debilitarán demasiado los materiales ni se dañará mucho la capa protectora de zinc al realizarse soldadura en zonas muy puntuales que serán posteriormente cubiertas y aisladas con una capa de pintura galvanizada. Esta imprimación galvánica anticorrosiva se realiza mediante resinas acrílicas termoplásticas de secado muy rápido, junto polvo de zinc y/o aluminios. La base de resina permite a las partículas de zinc que permanezcan en contacto continuo y ofrecer así una protección catódica a la superficie de aplicación.

Las soleras son perfiles de acero galvanizado estandarizados comúnmente utilizados en construcciones en seco, especialmente en Steel Framing, para poder otorgarle rigidez estructural a los paneles evitando que existan grandes superficies del sustrato sin vincularse a los perfiles principales. En nuestro caso utilizaremos perfiles PGU 70 de espesor 0,89 mm (IRAM – IAS U 500-205) y longitud 1115 mm, para poder ser ubicadas entre ambos parantes y apoyarse contra ellos. Serán colocadas a 600 mm de los perfiles base y travesaño, equidistando la misma distancia entre ellas, debido a que esta distancia se adopta como máxima entre sujeciones para los revestimientos seleccionados. Se vinculan al bastidor del panel en el lugar donde coinciden sus extremos con los perfiles parantes de este, de forma que cada solera tenga dos uniones por lado del panel. Estas se realizan mediante tornillos T1 mecha #8 x 1/2", ya que su cabeza plana minimiza la separación del plano de la estructura donde será atornillada posteriormente la placa de revestimiento.



Figura 17. Encuentro entre solera y parante.



Figura 18. Ubicación de soleras.



Figura 19. Estructura final del panel en bruto.

Una vez realizadas todas las uniones correspondientes a un lado del panel, se procede a colocar la placa de revestimiento sobre este mismo mediante 12 tornillos autoperforantes T2 mecha #6 x 1.1/8" a los perfiles portantes y 6 tornillos T2 aguja #6 x 1" a las soleras, con la distribución que se ilustra en la *Figura 20*.

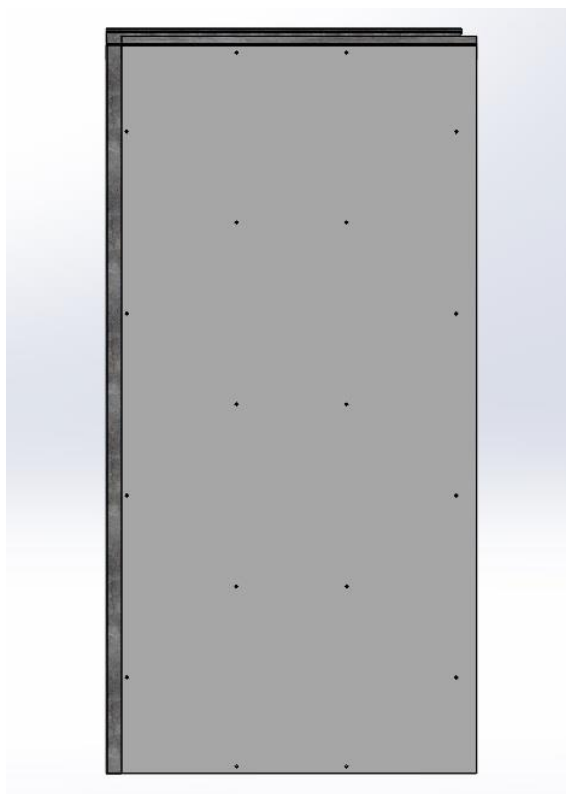


Figura 20. Panel con placa atornillada.

El siguiente paso es quitar todo el conjunto del panel de la matriz de ensamblaje, voltearlo y volverlo a colocar en ella para realizar las uniones soldadas pertinentes, atornillar las soleras, colocar las acometidas eléctricas, aberturas y demás accesorios que lleve el panel que se está fabricando, y proceder a proyectar el aislante ecológico de celulosa relleno toda la cavidad. El proceso se completa quitando el exceso de celulosa, instalando una barrera de vapor y colocando sobre ella la placa de revestimiento que cerrará el conjunto, del mismo modo que se ensambló su opuesta.

2.2.7 - Vinculación a la Platea de Fundación.

Los paneles modulares son transportados a la obra donde encontramos la platea de fundación con perfiles angulares fijados a ella mediante anclaje químico, convenientemente dispuestos siguiendo la disposición esquematizada en el *Plano General*. Se utilizan los perfiles de la *Figura 21* con varillas roscadas Fischer FIS A M10x130 de acero inoxidable, con aprobación ETA.

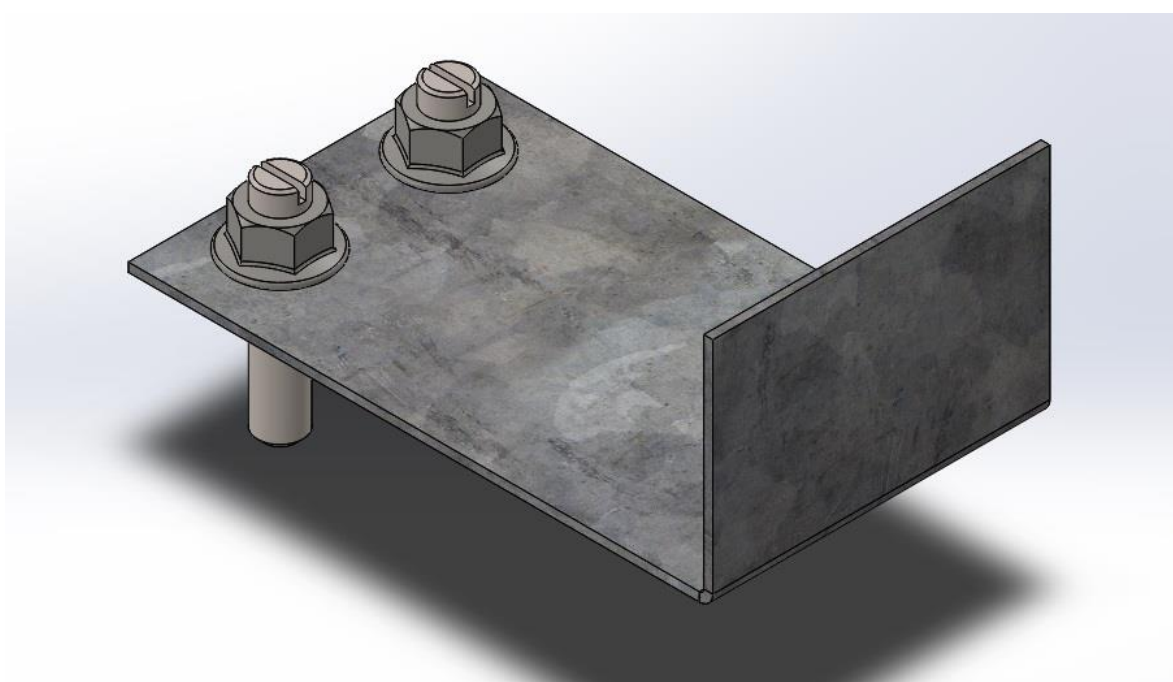


Figura 21. Perfil para anclaje químico.

La vinculación entre estos elementos no solo busca otorgarle mayor rigidez y estabilidad al conjunto sino que también colaborará a la unión entre cada uno de los paneles. Esto se realiza ubicando el anclaje en el encuentro entre cada par consecutivo de ellos, colocando dos tornillos autoperforantes hexagonales tipo 1 (proveen alta resistencia mecánica) #12 x 1", con arandela.

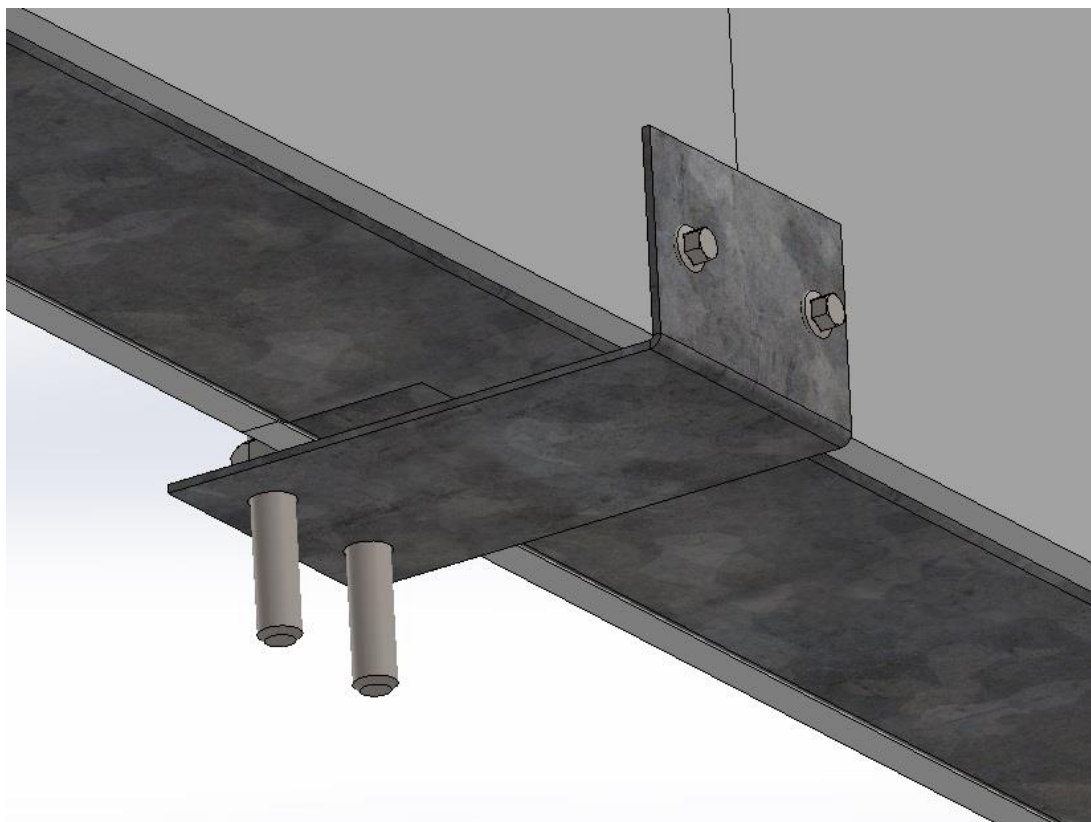


Figura 22. Sistema de anclaje a platea.

Siguiendo los lineamientos generales de simpleza y optimización, estos perfiles se diseñaron del mismo material y espesor que el resto de plegados que componen el sistema estructural, los cuales probaron dar buenos resultados ante las solicitaciones estudiadas (ver *Análisis Estático Estructural*), además de garantizar la protección contra los agentes corrosivos de la intemperie. La forma del perfil busca cumplir básicamente con la función de fijación entre la platea y los paneles dándoles, a su vez, un buen sustento posicional a estos últimos. El espesor se comprobará a través de los estudios sobre las solicitaciones que inciden en la pieza. Primero, se realizó una simulación donde fue sometida a la presión ejercida sobre los paneles que el anclaje

fija, además se contempló la fuerza equivalente al peso total de la cubierta dividido entre todos los apoyos, más el peso propio del panel que se situará sobre el anclaje.

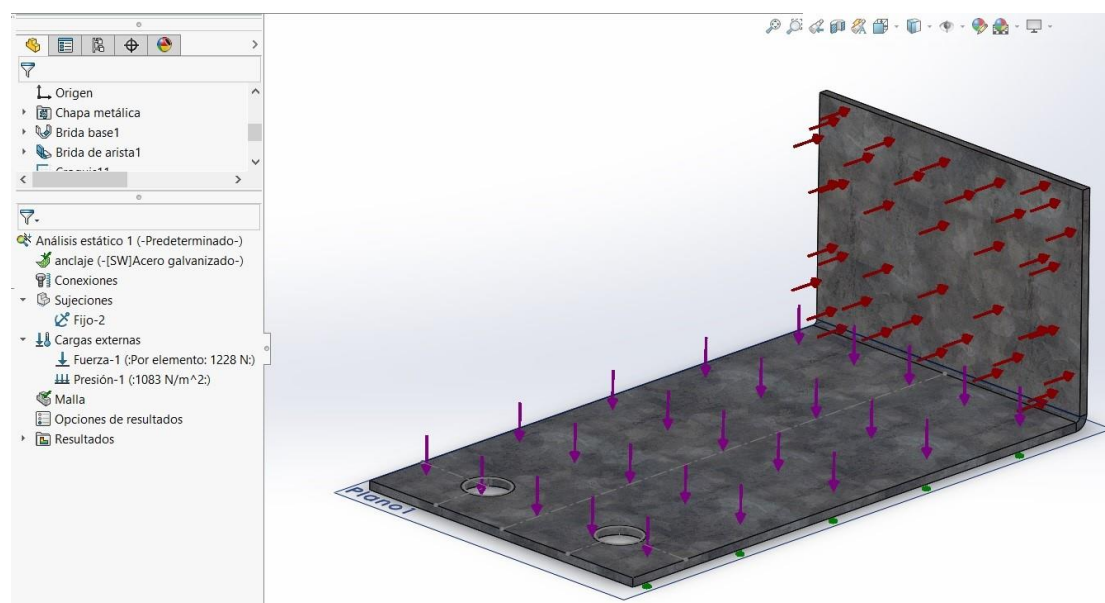


Figura 23. Estudio estático del anclaje a platea.

Los resultados demostraron que la acción flectora del viento sobre la pieza en estudio son despreciables, sin siquiera tener en cuenta la amortiguación de los paneles, que supondrán el principal elemento resistente ante la presión ejercida.

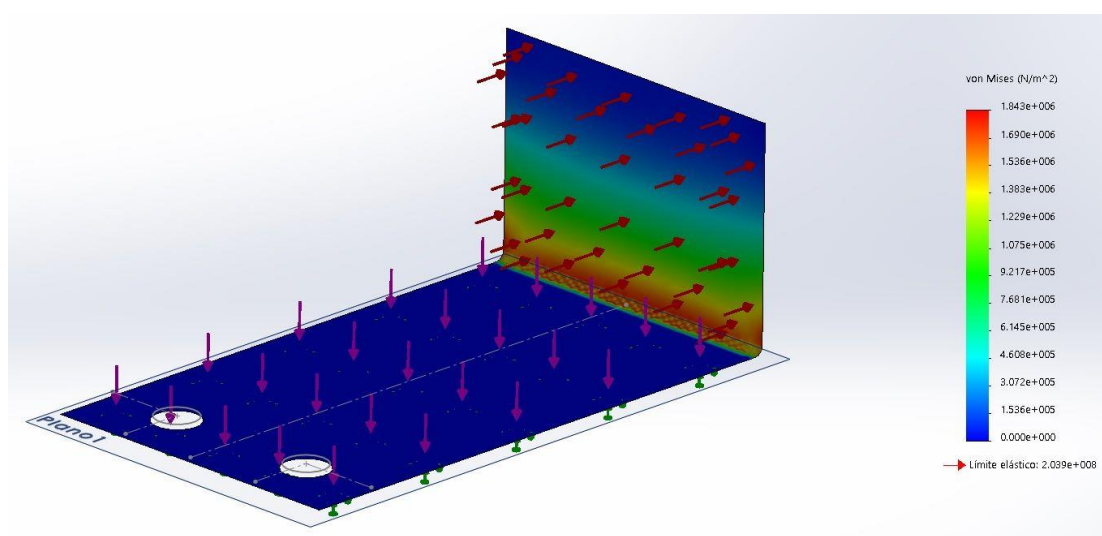


Figura 24. Estudio de tensiones en anclaje a platea.

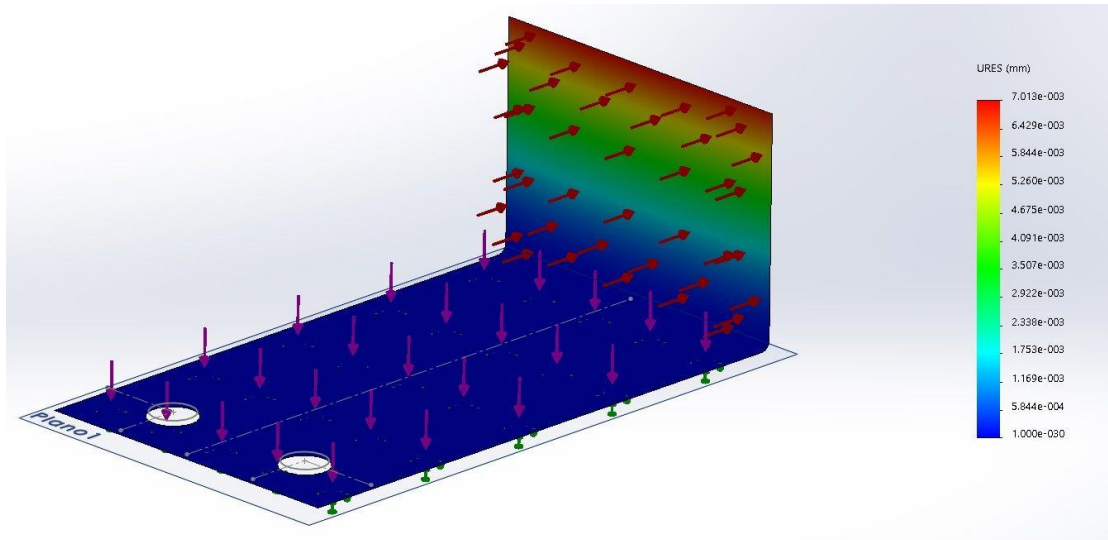


Figura 25. Estudio de desplazamientos en anclaje a platea.

En segunda instancia, se procedió a comprobar la resistencia del anclaje al esfuerzo de corte actuante sobre las varillas roscadas y al aplastamiento que estas efectúan sobre el perfil de chapa.

Cuando un tornillo está solicitado en dirección normal a su eje por un esfuerzo cortante F_v, E_d , este esfuerzo que lo solicita, F_v, E_d no podrá ser mayor que el menor de los dos valores siguientes:

- La resistencia a cortante del tornillo, F_v, R_d
- La resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, F_b, R_d

a) Cálculo de la resistencia a cortante (F_v, R_d):

Como el plano de corte pasa por la parte roscada del tornillo, la resistencia a cortante F_v, R_d viene dada por la siguiente expresión:

- Tornillo de Grados 4.8, 5.8, 6.8 y 10.9:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,5 \times 500 \text{ N/mm}^2 \times 58 \text{ mm}^2}{1,25} = 11,6 \text{ kN}$$

A_s : es el área resistente a tracción del tornillo. $0,58 \text{ cm}^2$ para tornillos M10

f_{ub} : es la tensión última a tracción del tornillo. Al ser de Grado 5.8 el valor correspondiente es 500 N/mm^2

γ_{Mb} : es el coeficiente parcial de seguridad para tornillos = 1,25

b) Cálculo de la Resistencia al aplastamiento ($F_{b,Rd}$):

La resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$ viene dada por la siguiente expresión:

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times \alpha \times f_u \times d \times t}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,5 \times 0,42 \times 570 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 10 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}}{1,25}$$
$$= 9576 \text{ N}$$

siendo α el menor valor de:

$$\frac{e_1}{3 \times d_0} = \frac{15 \text{ mm}}{3 \times 12 \text{ mm}} = 0,42, \text{ ó bien}$$

$$\frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4} = \frac{37,5 \text{ mm}}{3 \times 12 \text{ mm}} - \frac{1}{4} = 0,79, \text{ ó bien}$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500 \text{ N/mm}^2}{570 \text{ N/mm}^2} = 0,88, \text{ ó bien } 1,0$$

d: diámetro del tornillo;

t: espesor de la chapa;

e1: distancia al extremo frontal;

d0: diámetro del agujero;

p1: separación entre tornillos;

As: área resistente a tracción;

fu: es la resistencia última del acero de la chapa. 570 N/mm^2 (Galvanizado ZAR 570);

fub: es la resistencia última a tracción del tornillo.

El esfuerzo de corte al que están expuestos los anclajes viene dado, como vimos en la simulación anterior, por la presión que el viento ejerce sobre los paneles. Para simplificar el estudio y adoptar a la vez un esfuerzo sobredimensionado que garantice la seguridad en los resultados, se procedió a plasmar dicha presión como una fuerza normal actuante sobre la superficie total del panel:

$$Fv, Ed = (P \times A)/2 = \frac{1083 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 3 \text{ m}^2}{2} = 1624 \text{ N}$$

La fuerza actuante es dividida por la cantidad de tornillos que forman el anclaje.

Los resultados expresan una fuerza externa mucho menor a la resistencia de las varillas roscadas y de la chapa, por lo que el dimensionamiento es ampliamente satisfactorio.

Para el caso de los paneles que funcionan como tabiques separadores en el interior de la vivienda se utiliza un perfil de anclaje más ancho (utiliza cuatro varillas roscadas de fijación).

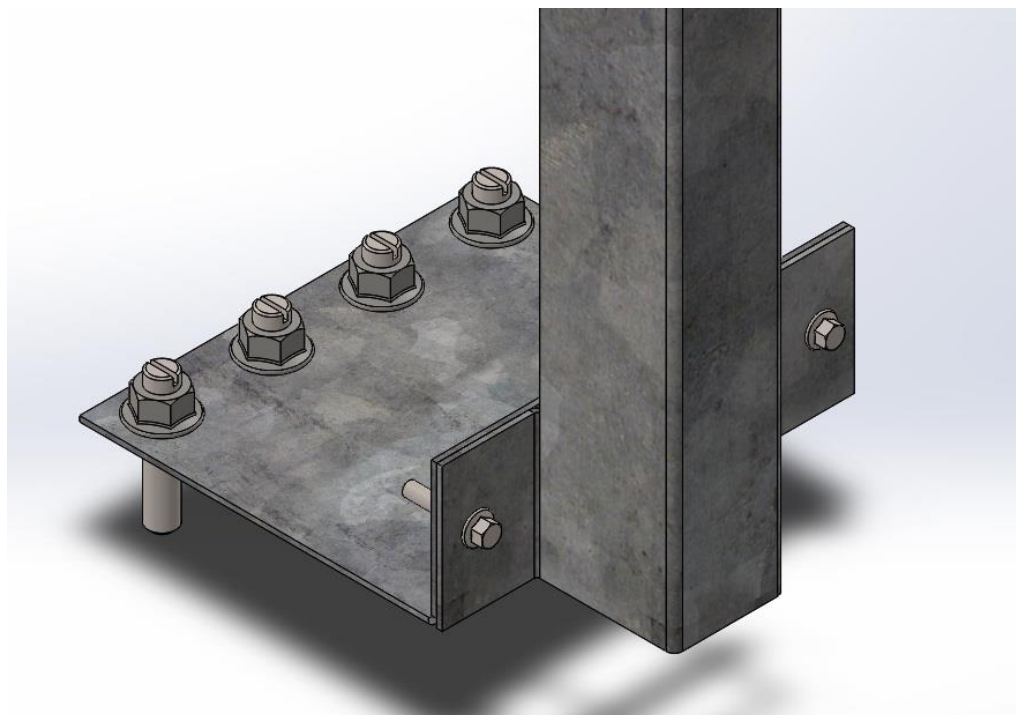


Figura 26. Perfiles para anclaje de paneles tabiques interiores.

A este se vincula, mediante dos tornillos autoperforantes hexagonales tipo 1 #12 x 1” con arandela, un nuevo perfil tipo U con la altura total del panel, que servirá como apoyo del tabique donde se realizará el encastre perpendicular, cumpliendo la función del parante correspondiente al panel adyacente faltante. Para dicha unión posee dos pestañas en su parte inferior que se vinculan al perfil de anclaje y al base del panel exterior; para evitar el pandeo en la parte superior también posee dos pestañas para vincularlo al perfil travesaño de dicho panel.

Además, se añade un refuerzo de la placa de revestimiento para cubrir la cara expuesta del perfil U, que será vinculada con tornillos autoperforantes como se ve a continuación en la sección *Vinculación entre paneles*.

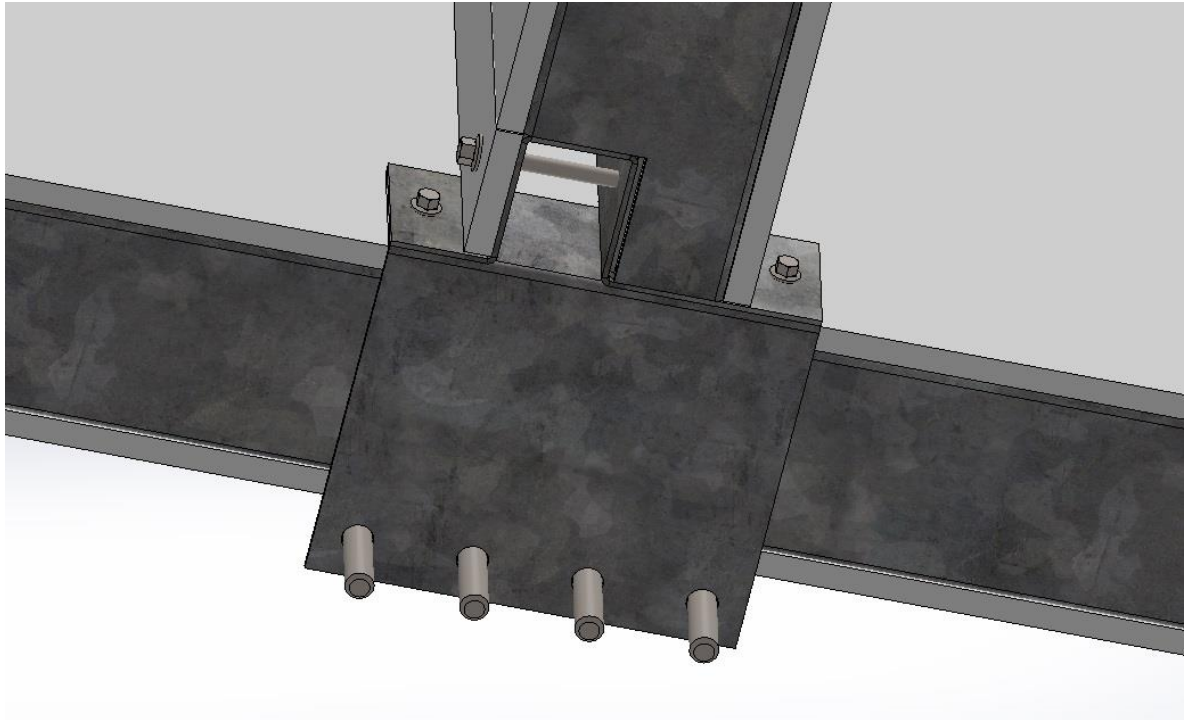


Figura 27. Anclaje inferior de paneles tabiques.

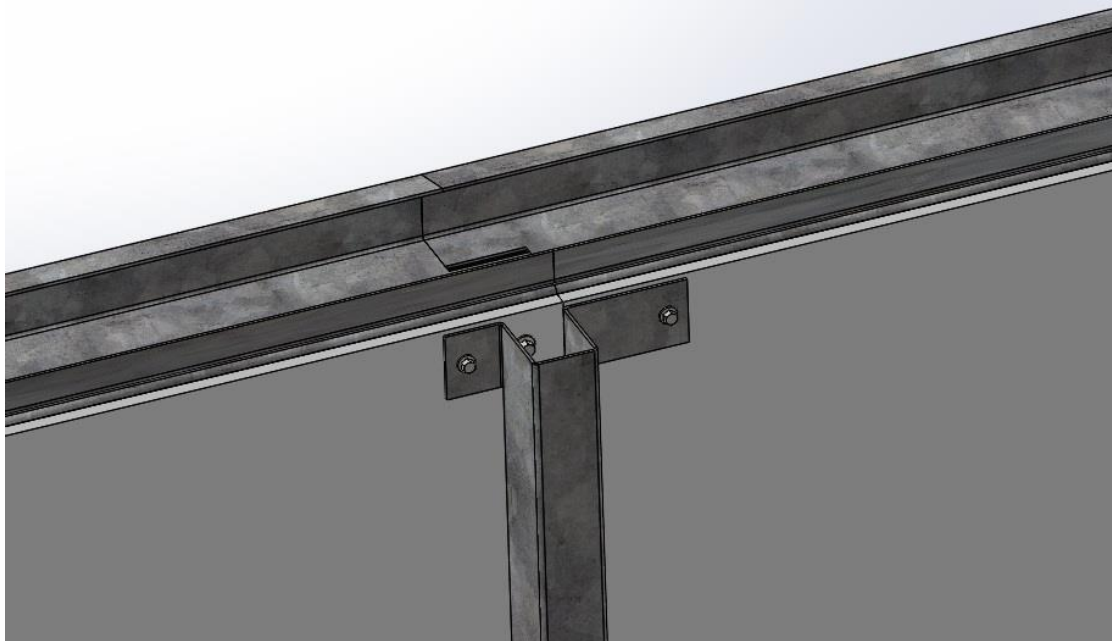


Figura 28. Anclaje superior de paneles tabiques (sin panel).

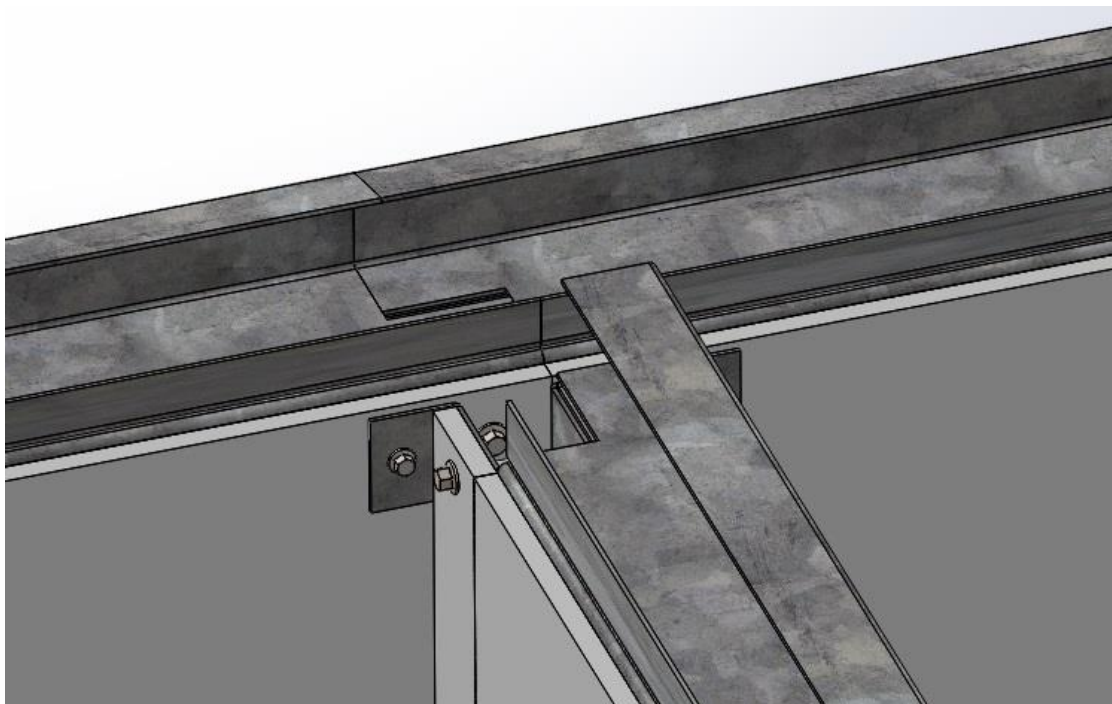


Figura 29. Anclaje superior de paneles tabiques (con panel).

El material y espesor de estas piezas es el mismo del anclaje común, manteniendo los lineamientos mencionados previamente y teniendo en cuenta que estarán sometidos a las mismas o incluso a menores solicitaciones, debido a que se limitarán a sostener el peso de los paneles interiores y que estos contribuirán a soportar las cargas existentes sobre los paneles exteriores.

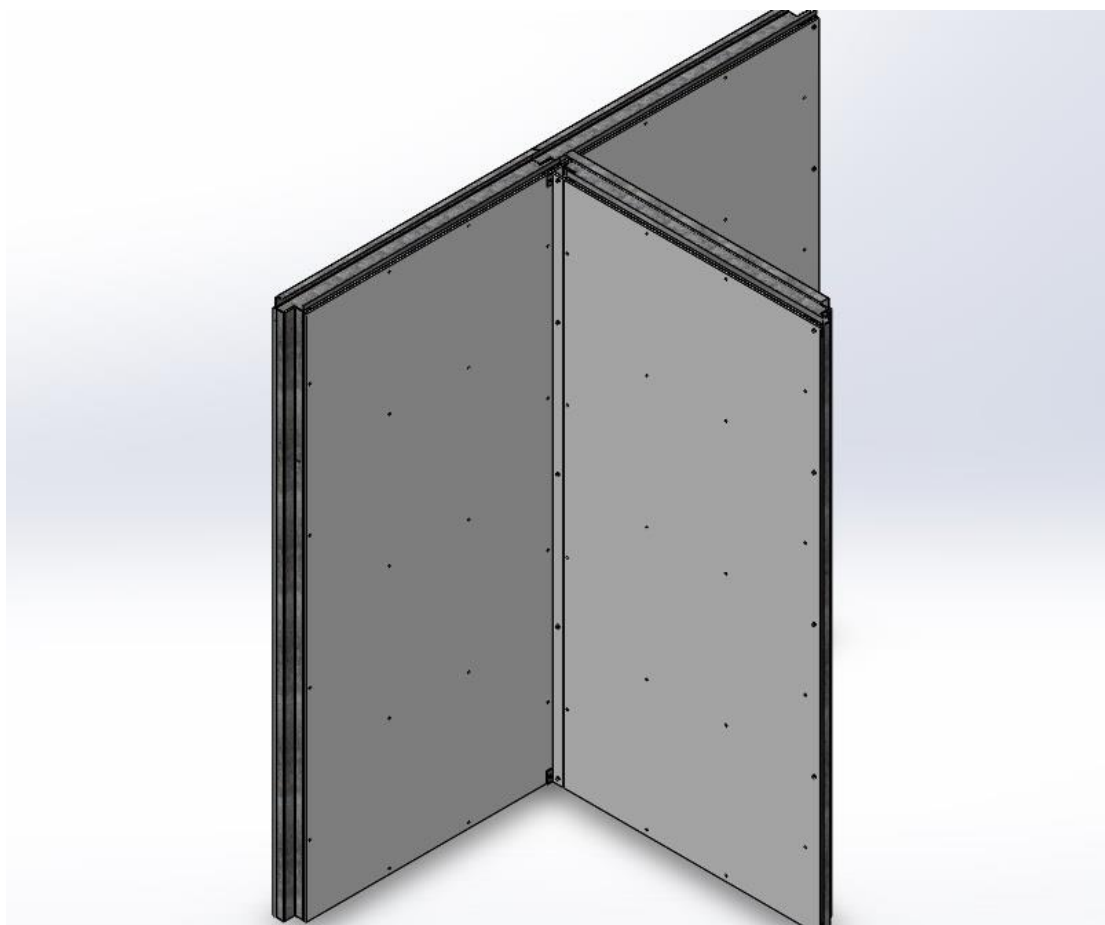


Figura 30. Sistema completo de anclaje para paneles interiores.

2.2.8 - Vinculación entre Paneles.

Una vez presentados sobre el perfil de anclaje correspondiente, se procede a unirlos mediante 4 tornillos hexagonales tipo 1 #14 x 2 ½", sin arandela, a 25 mm aproximadamente de la unión entre placas de revestimiento siguiendo las filas de tornillos que fijan las mismas a la estructura del panel, sin utilizar la del perfil base inferior ya que allí se unirán al perfil ángulo de la platea.

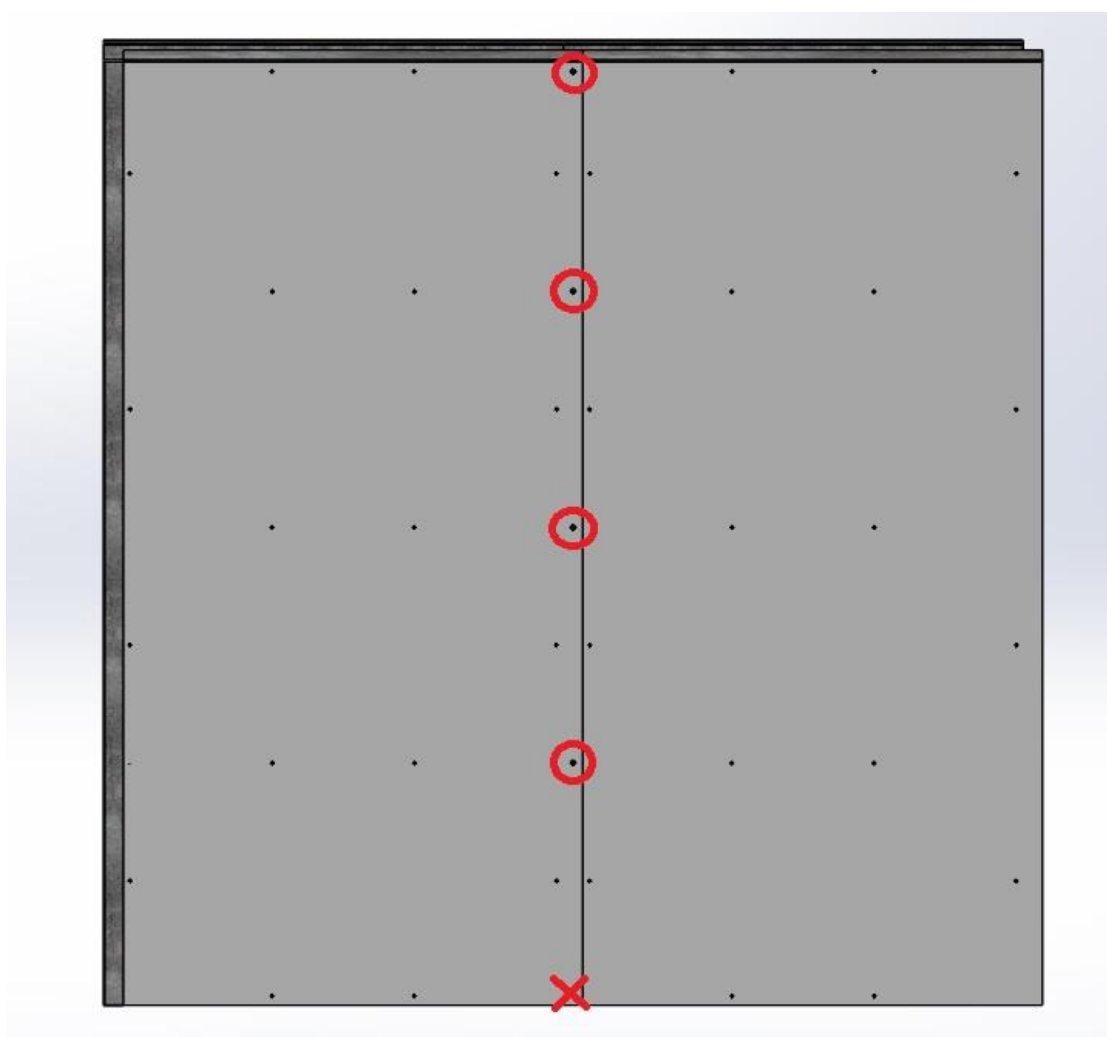


Figura 31. Vinculación entre paneles.

La finalidad de esta vinculación es que los tornillos atraviesen los perfiles parantes de ambos paneles aprovechando el diseño que favorece su encastre, otorgándole así mayor rigidez estructural como conjunto, además de agregar cuatro fijaciones más entre placas y paneles.

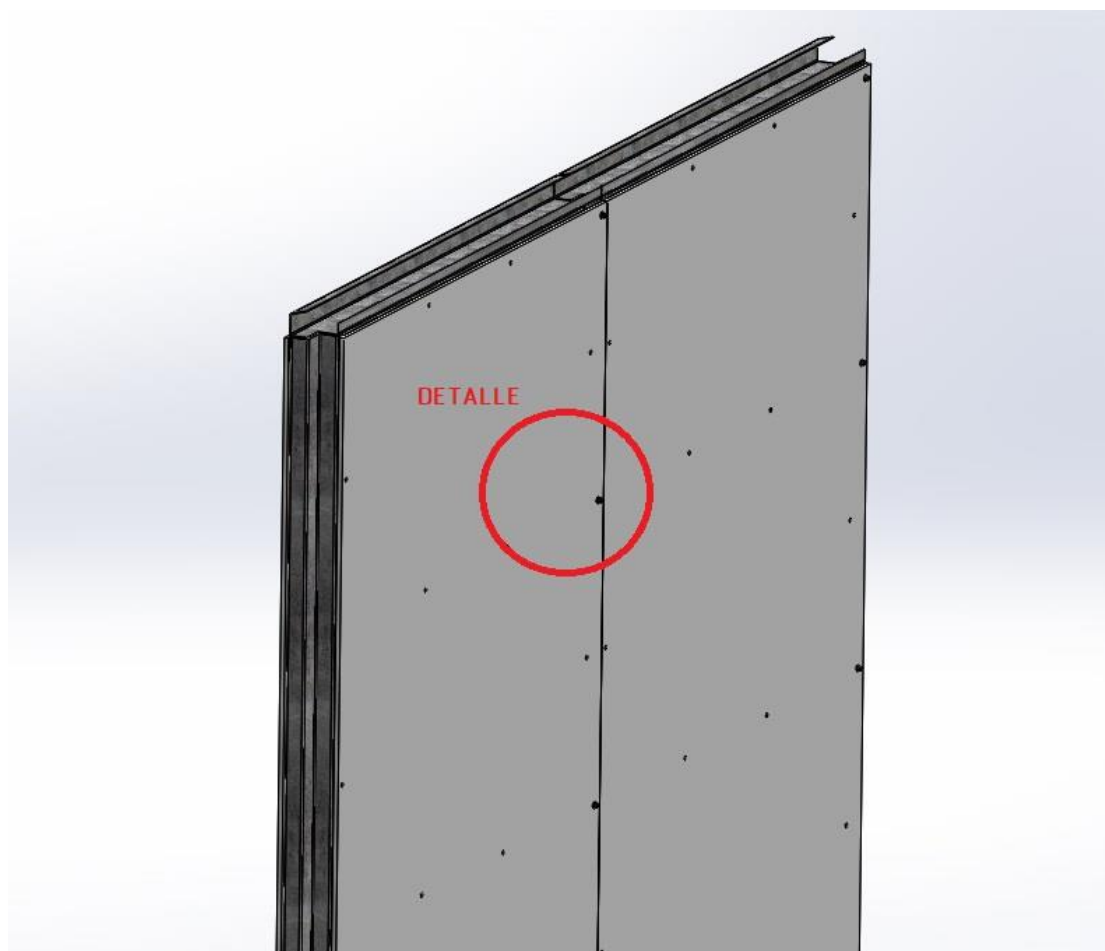


Figura 32. Vinculación entre paneles en perspectiva.

A continuación, observamos el detalle ilustrativo de la unión señalada anteriormente con la placa de revestimiento oculta para poder apreciar la penetración del tornillo en el perfil parante. En el corte de la *Figura 34* se podrá asociar este método de vinculación y el conveniente diseño de los perfiles que permite su encastre.

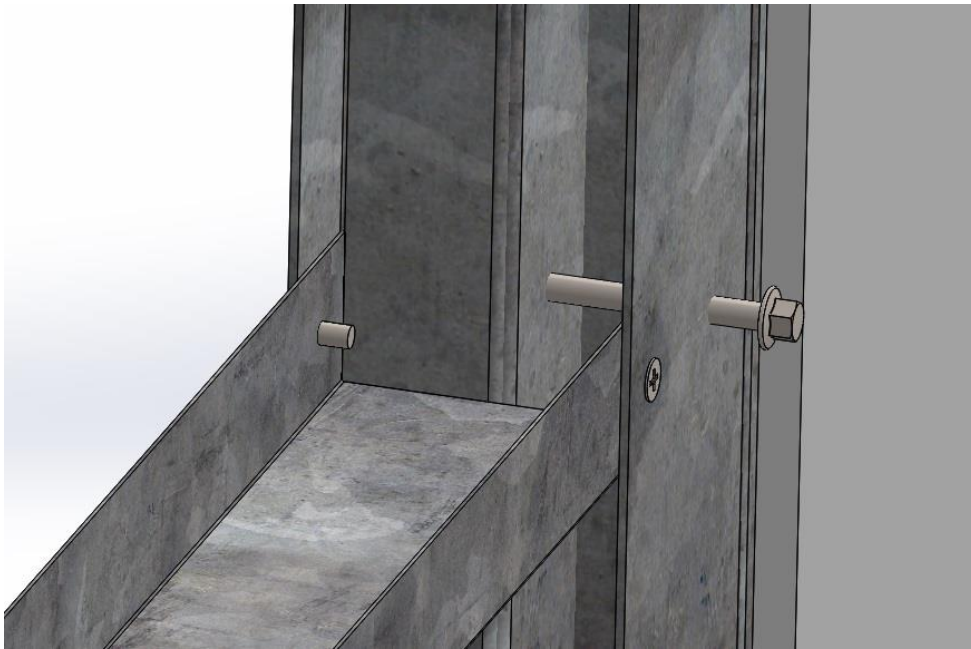


Figura 33. Detalle ilustrativo de vinculación entre paneles.



Figura 34. Detalle en corte de vinculación entre paneles.

Como se mencionó anteriormente, los paneles esquineros requieren que se coloque un trozo de placa como refuerzo en su parte posterior para completar el revestimiento exterior. Estos deben tener un ancho de 100 mm y se vinculan siguiendo el sistema visto previamente para paneles consecutivos, pero utilizando dos columnas de tornillos distanciadas entre sí 50 mm, y cinco filas en total (incluyendo la del perfil base inferior que se excluyó previamente).

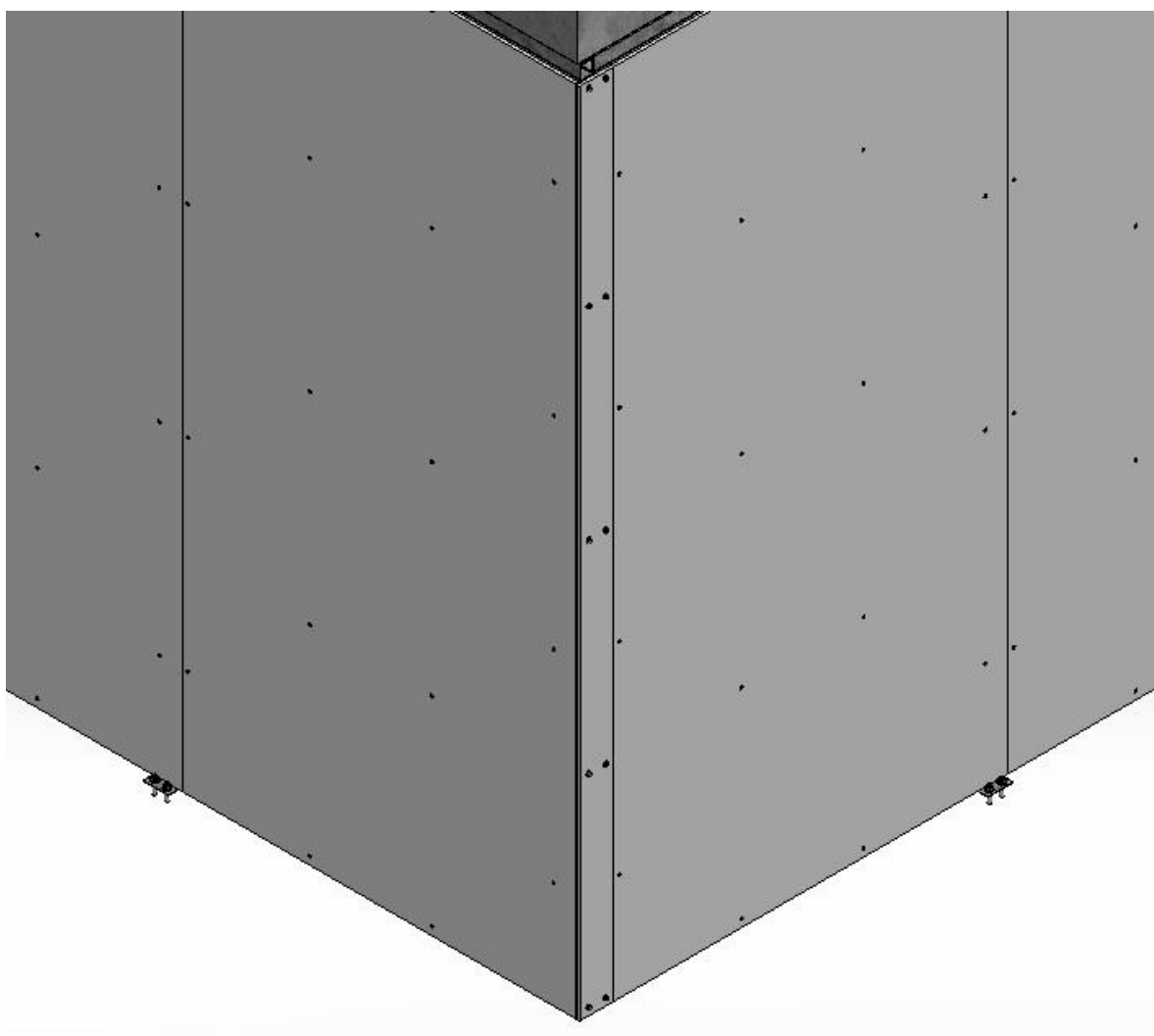


Figura 35. Vinculación de paneles esquineros.

Esta vinculación no solo asegura el trozo de placa para refuerzo sino que también une los perfiles parantes de ambos paneles que se encuentran en la esquina de la estructura.



Figura 36. Detalle de encuentro en esquina.

De la misma forma se vinculan los refuerzos de los paneles tabiques en el interior de la vivienda pero, en ese caso, se utiliza solo una columna de tornillos al tener 50 mm de ancho del trozo de placa extra.

2.2.9 - Paneles de Techo.

Para constituir la cubierta de la vivienda se diseñaron unos paneles de techo compuestos únicamente por perfiles plegados tipo U, buscando emular a los perfiles estructurales comúnmente utilizados ya que no se requiere la complejidad de armado que poseen los paneles de pared. Continuando con los lineamientos generales, los perfiles son de acero galvanizado y 1,2 mm de espesor para no sobrecargar demasiado la estructura, allí radica la elección por sobre los estructurales convencionales. Seis perfiles de 80x25 mm (tomando la altura de los UPN 80 y el ala necesaria para ubicar y vincular las placas en su interior) y dos perfiles mayores de 82,4x30 mm para contenerlos, forman el panel de 5 metros de largo por 1 metro de ancho. La longitud garantiza cubrir toda la superficie del edificio dejando un voladizo a modo de galería y el ancho logra que el panel posea dimensiones y peso manejables a la hora del ensamble.

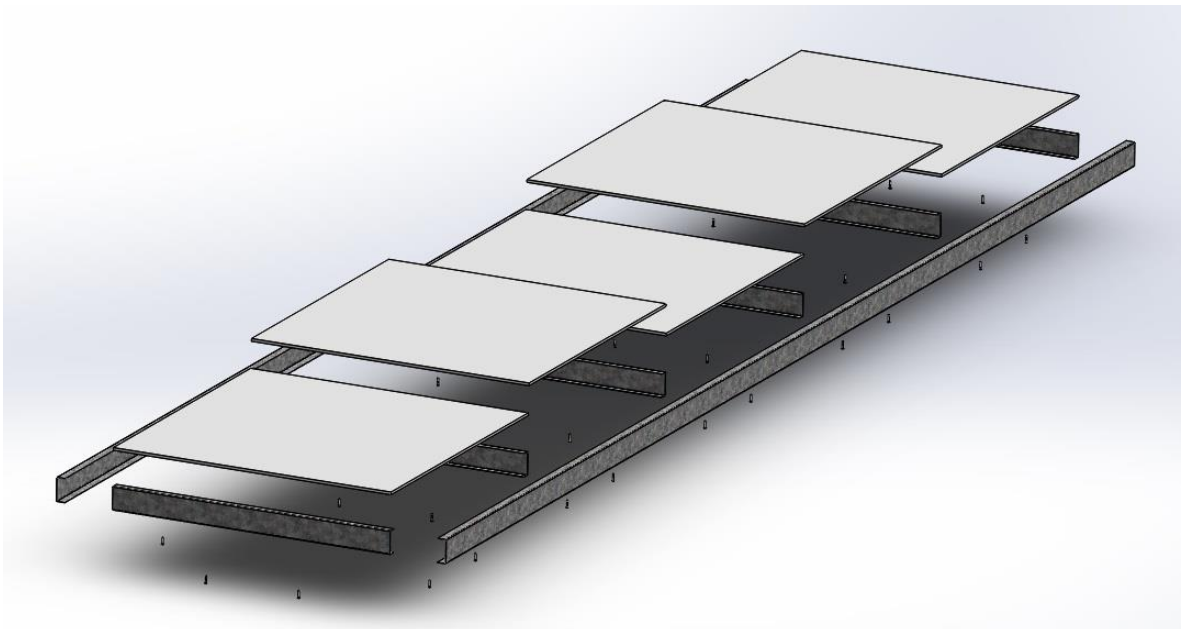


Figura 37. Panel de techo explosionado.

Las vinculaciones entre perfiles se efectúan mediante soldadura eléctrica tipo MIC, realizando cordones a tope en los solapamientos esquematizados en la *Figura 38*, para ambos lados del panel.

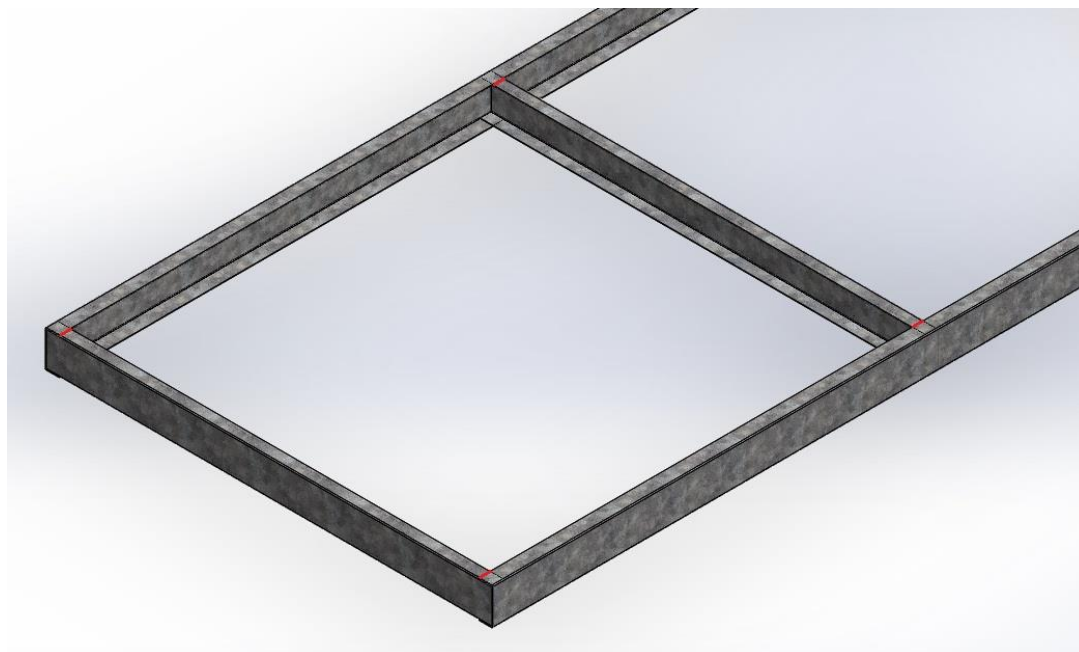


Figura 38. Ilustración de soldaduras en paneles de techo.

Se proceden a vincular placas de revestimiento interior sobre las alas de los perfiles U a través de dos tornillos autoperforantes T2 aguja #6 x 1" por cada lado de las placas de 1 metro por 1 metro, por tratarse de chapas finas similares a las soleras. El proceso de armado se asemeja al del resto de paneles, salvando la diferencia que las placas se ubican en el interior de la estructura, y el conjunto se cierra del otro lado mediante chapas acanaladas prepintadas de 1,10 metros de ancho por 5 metros de longitud. Estas se vinculan a los paneles en obra mediante tornillos autoperforantes Hexagonales tipo 1 rosca metal, con arandela vulcanizada o Hexagonales tipo 2 rosca metal, con arandela PVC (policloruro vinílico), en los solapamientos entre chapas como se esquematiza en la *Figura 40*.

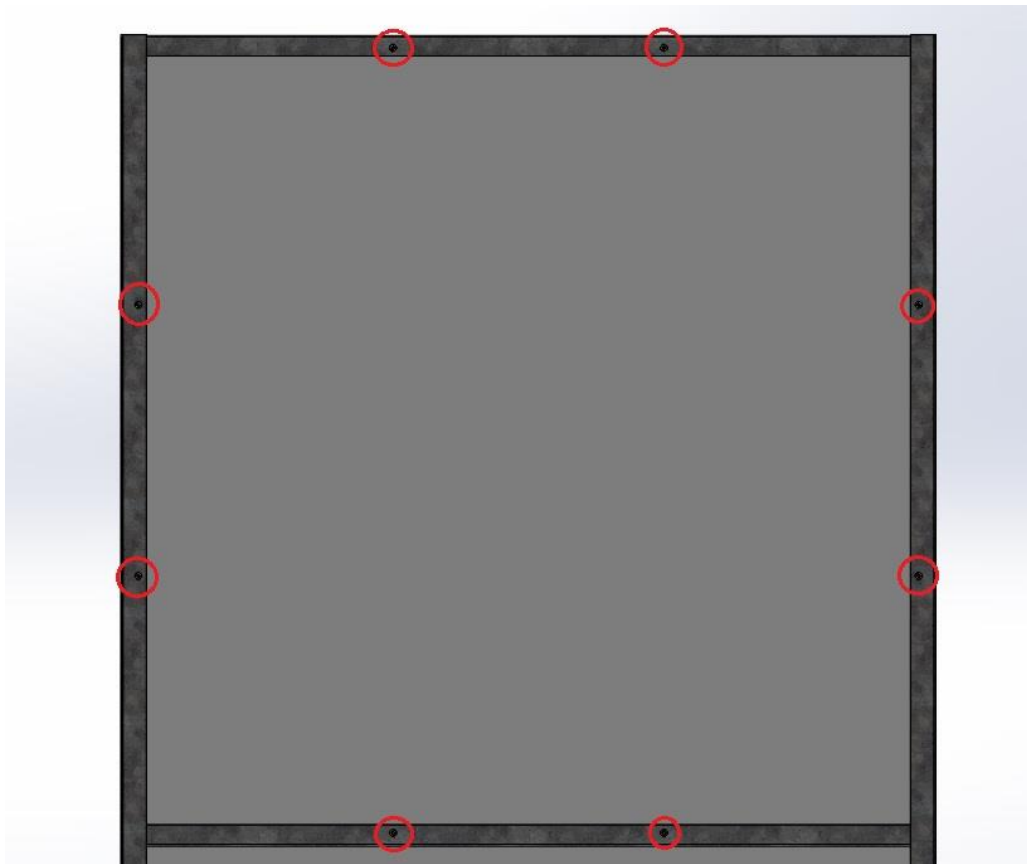


Figura 39. Vinculación de placas en el panel de techo.

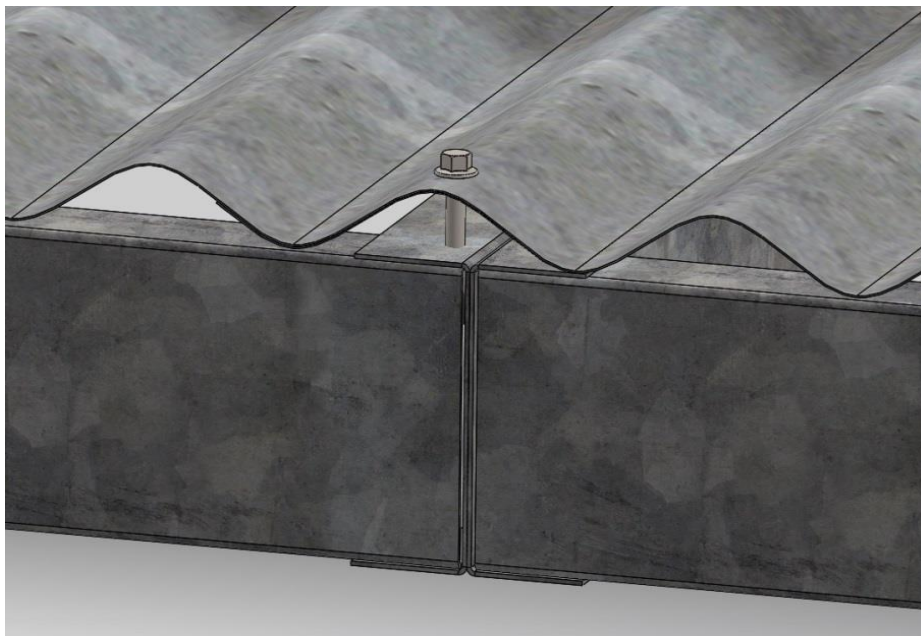


Figura 40. Cerramiento de cubierta en obra.

2.2.10- Vinculación Cubierta-Estructura.

Para vincular los paneles de techos a la estructura se utilizan perfiles de chapas plegados compuestos de dos pestañas de 30 mm y 50 mm de ancho, formando un ángulo de 75° entre ellas a fin de servir como vínculo entre los elementos de la cubierta que se ubican con 15° de inclinación con respecto a la estructura. Estos perfiles tienen un espesor de 2 mm para soportar los esfuerzos derivados del peso proyectado por la cubierta completa (se estudiará su comportamiento), y llevan de fábrica dos agujeros por pestaña donde pasarán dos tornillos autoperforantes hexagonales tipo 1 #10 x 3/4" para perforar los perfiles U mayores de dos paneles de techo consecutivos, y dos para el perfil conductor que se ubica en la parte superior del panel posterior donde apoyan estos.

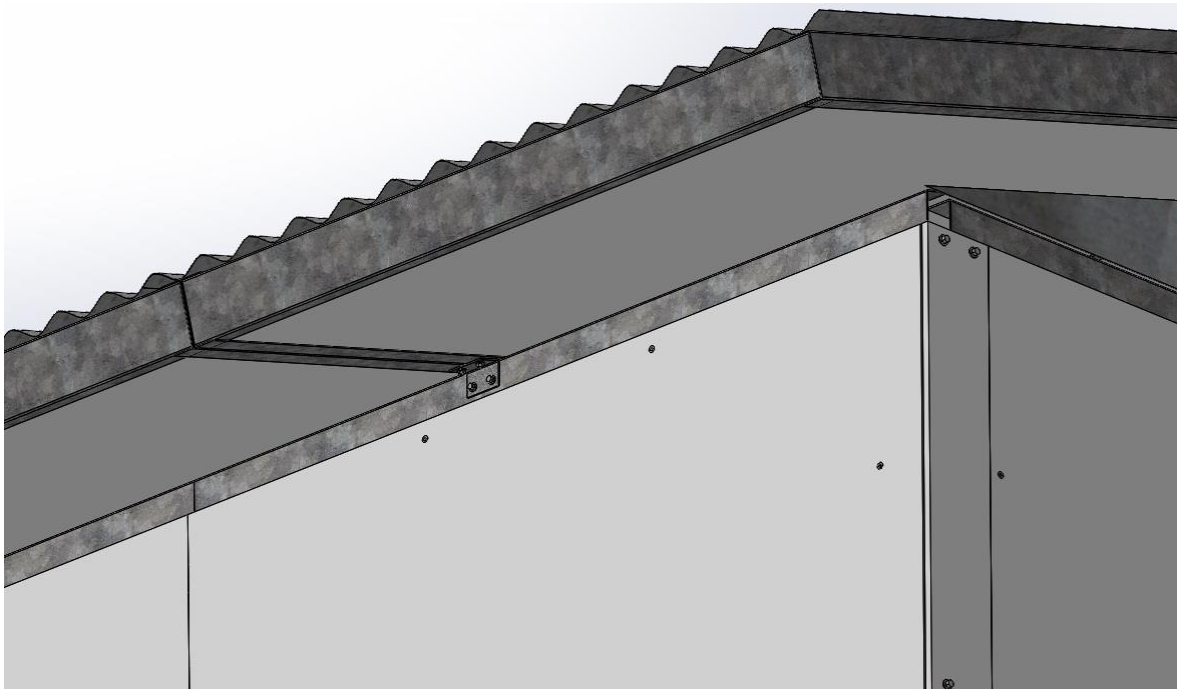


Figura 41. Vinculación entre cubierta y estructura.

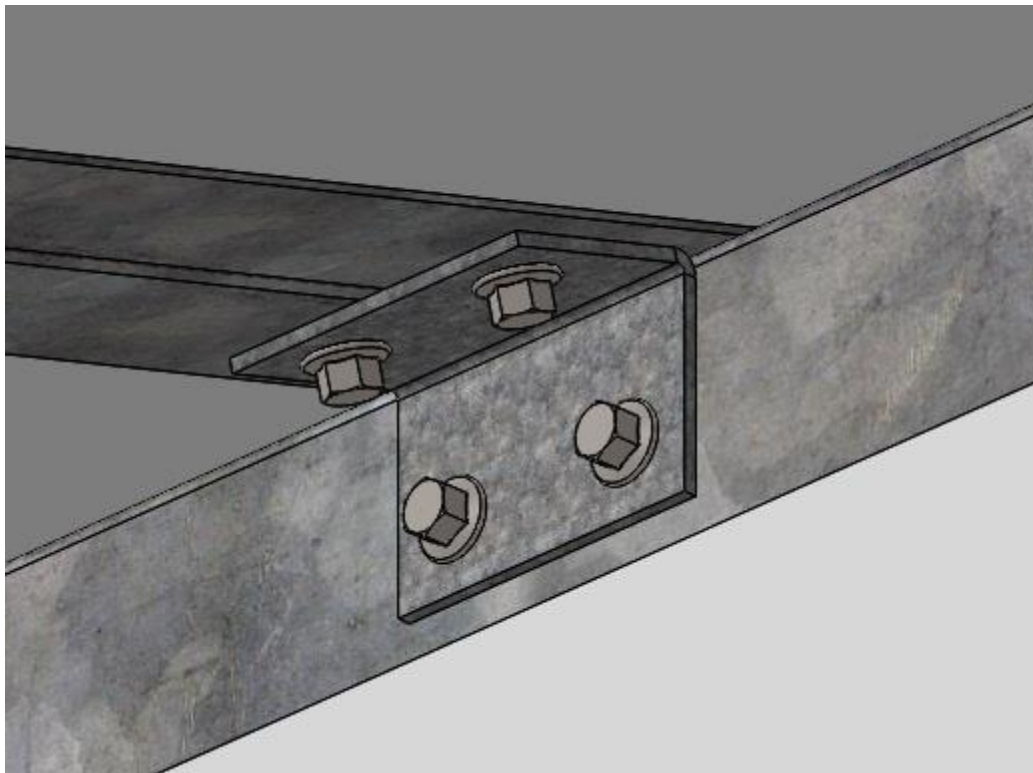


Figura 42. Detalle de vinculación cubierta-estructura.

Adicionalmente, el conjunto de la cubierta se vinculará con la abertura de cierre que se ubicará completando el espacio remanente entre los paneles de techo y la estructura principal.

A continuación, se observan los cálculos de resistencia ante los esfuerzos cortantes actuantes sobre la vinculación:

a) Cálculo de la resistencia a cortante (F_v, R_d):

$$F_v, R_d = \frac{0,5 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,5 \times 7,11 \text{ kN}}{1,25} = 2,84 \text{ kN}$$

El producto de la tensión última a tracción del tornillo f_{ub} por su área resistente A_s se sustituye por el valor de la resistencia característica que encontramos a continuación.

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL TORNILLO*		
MEDIDA	TRACCION [KN]	CORTADURA [KN]
ST 2.9	2.62	1.31
ST 3.5	3.81	1.91
ST 3.9	4.64	2.32
ST 4.2	5.26	2.63
ST 4.8	7.11	3.56
ST 5.5	9.63	4.82
ST 6.3	13.36	6.68

Figura 43. Resistencia característica de tornillos autoperforantes Index.

b) Cálculo de la Resistencia al aplastamiento (Fb,Rd):

$$Fb, Rd = \frac{2,5 \times \alpha \times fu \times d \times t}{\gamma Mb} = \frac{2,5 \times 0,66 \times 570 \frac{N}{mm^2} \times 5 mm \times 2 mm}{1,25}$$

$$= 7600 N$$

siendo α el menor valor de:

$$\frac{e1}{3 \times d0} = \frac{10 mm}{3 \times 5 mm} = 0,66, \text{ ó bien}$$

$$\frac{p1}{3 \times d0} - \frac{1}{4} = \frac{30 mm}{3 \times 5 mm} - \frac{1}{4} = 1,75, \text{ ó bien}$$

$$\frac{fub}{fu} = \frac{7110 N / 14,2 mm^2}{570 N/mm^2} = 0,88, \text{ ó bien } 1,0$$

d: diámetro del tornillo;

t: espesor de la chapa;

e1: distancia al extremo frontal;

d0: diámetro del agujero;

p1: separación entre tornillos;

As: área resistente a tracción;

f_u : es la resistencia última del acero de la chapa. 570 N/mm^2 (Galvanizado ZAR 570);
 f_{ub} : es la resistencia última a tracción del tornillo. Equivalente a su resistencia característica (7,11 kN) dividido su área resistente (para M5, $A_s = 14,2 \text{ mm}^2$).

En este caso, el esfuerzo de corte al que están expuestas las vinculaciones viene dado por el peso propio de la cubierta. La masa correspondiente a los perfiles que constituyen los paneles de techo, sumados al volumen de aislante en su interior, la placa de revestimiento y la chapa acanalada que lo cierran, alcanzan un valor inferior a los 90 kg por cada elemento de la cubierta. Si tomamos 90 kg, considerando la eventual incorporación de acometidas y demás accesorios prácticos, la masa total estimada de la cubierta es 900 kg, los cuales se dividirán en al menos 18 vinculaciones en las paredes de mayor superficie, 9 por cada una de ellas. A su vez, cada vinculación cuenta con dos tornillos para soportar la componente vertical del peso, la que representa el peor escenario y por ende será el caso de estudio.

Entonces:

$$F_v, Ed = \frac{M \times G}{36} = \frac{900 \text{ kg} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{36} = 245 \text{ N}$$

Los resultados expresan que el dimensionamiento es ampliamente satisfactorio en cuanto al peso de la cubierta, mientras que las varillas roscadas soportarían una fuerza externa más de diez veces mayor y treinta veces en el caso de la chapa, contemplando así cualquier sobrecarga que pueda acontecer.

2.2.11 - Aberturas.

Para finalizar el diseño arquitectónico estructural solo resta definir la colocación de las aberturas en el modelo prototipo. Para ello se buscó sustituir completamente los paneles por bloques modulares que contengan la abertura, en aquellos espacios de la estructura donde se las requiera, logrando que se vinculen y comporten de manera similar a ellos. A partir de esa premisa surge un perfil parante nuevo, conservando la sección transversal original que sirve de nexo entre paneles pero sumándole una pestaña interior para ser atornillado a los marcos de las aberturas.

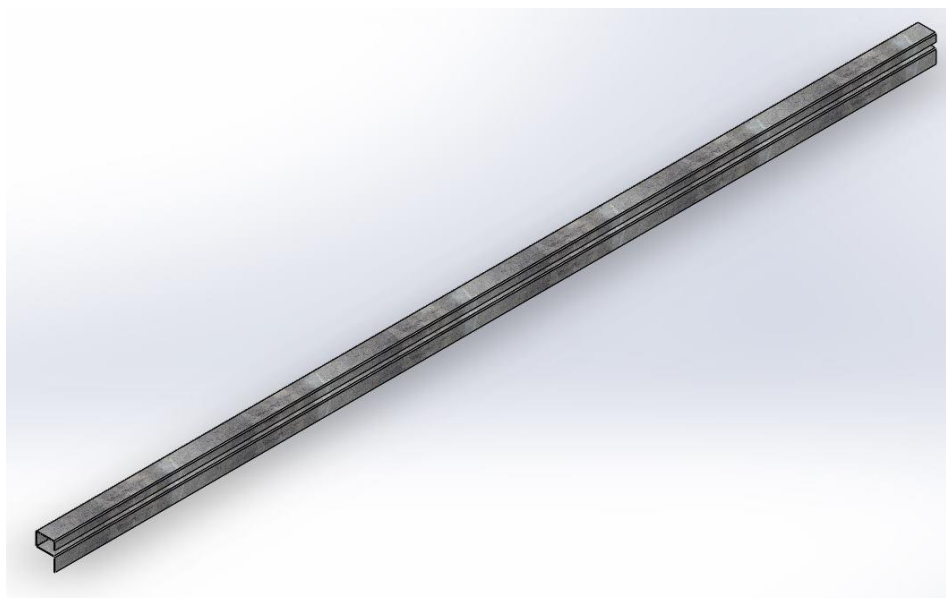


Figura 44. Perfil parante para aberturas.

Colocando dos de estos perfiles en ambos lados de la abertura, más un perfil para conductores eléctricos en la parte superior, se obtiene el conjunto modular para las aberturas. En la *Figura 45* se ve un ejemplo para un modelo ilustrativo de puerta y en la *Figura 46* uno simplificado para una ventana modular, con las alternativas de agregarle una apertura para ventilación, o bien colocar una ventana regular entre las soleras de un panel.

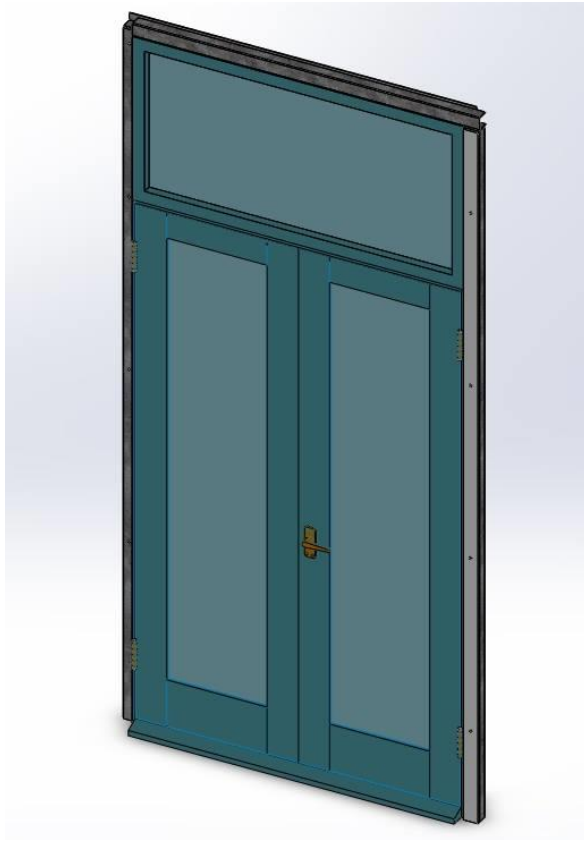


Figura 45. Conjunto modular para puertas.

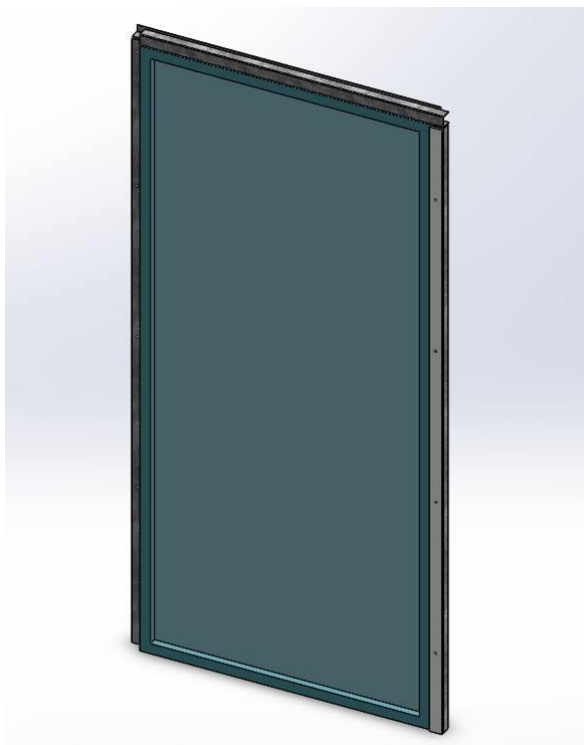


Figura 46. Conjunto modular para ventanas.

Finalmente, se colocó un ventanal de manera ilustrativa como elemento estructural de cierre, pudiendo variar de acuerdo a las decisiones arquitectónicas tomadas a la hora de materializar la vivienda. Su finalidad es permitir un ingreso mayor de luz solar, dándole un estilo más naturista a la vivienda, con la posibilidad de colocar sistemas de aberturas para mejorar también la ventilación.

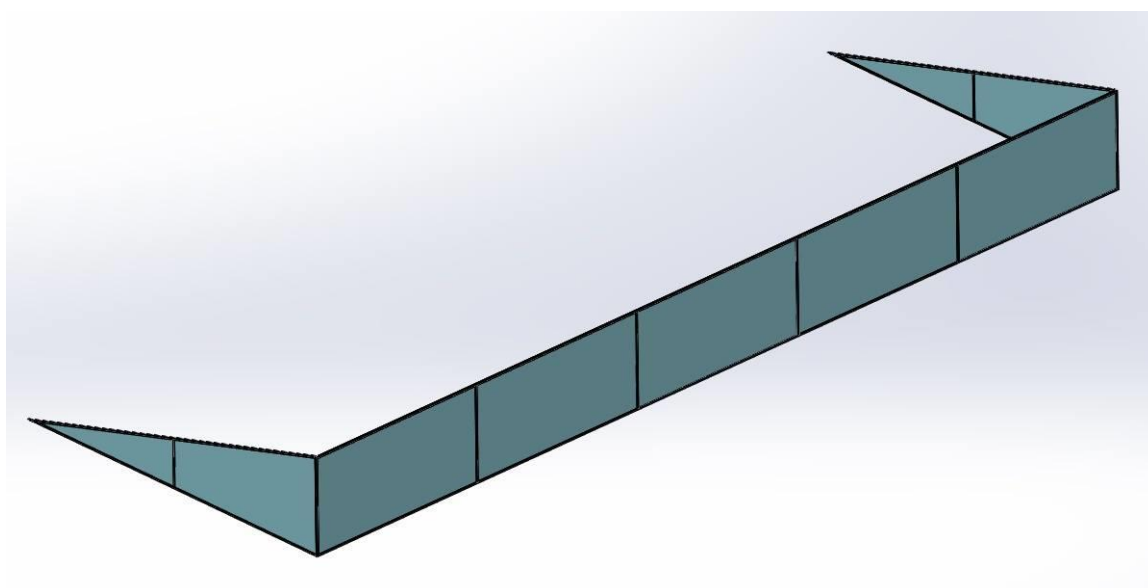


Figura 47. Ventanal de cierre.

Este ventanal se vinculará a la cubierta como se vio anteriormente a fin de asegurar su anclaje. Se utiliza un perfil similar al implementado para unir los paneles de techo a los estándares con la diferencia que el ángulo formado por las pestañas es de 105° en vez de 75° . Los tornillos autoperforantes utilizados y su ubicación son exactamente los mismos.

A continuación observaremos el modelo de la estructura final con las aberturas distribuidas de forma ilustrativa, pudiendo variarse gracias a la flexibilidad del diseño.

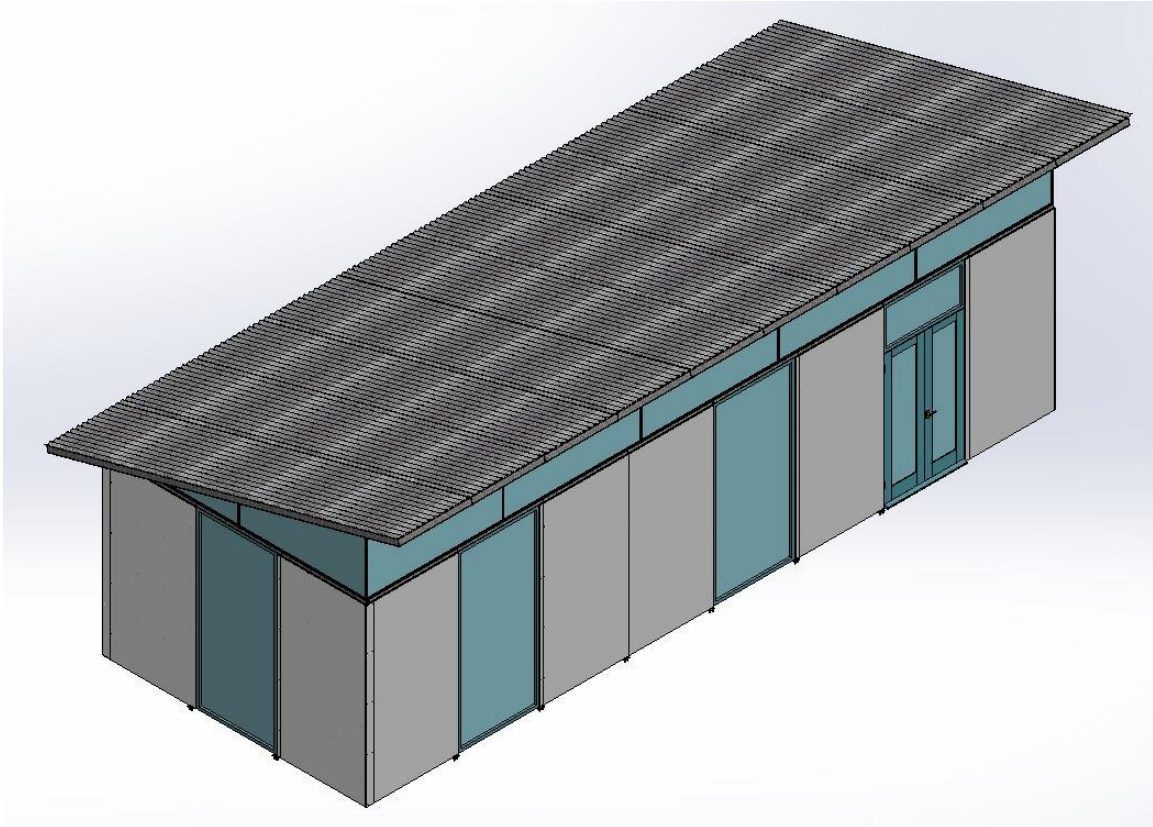


Figura 48. Estructura final con aberturas.

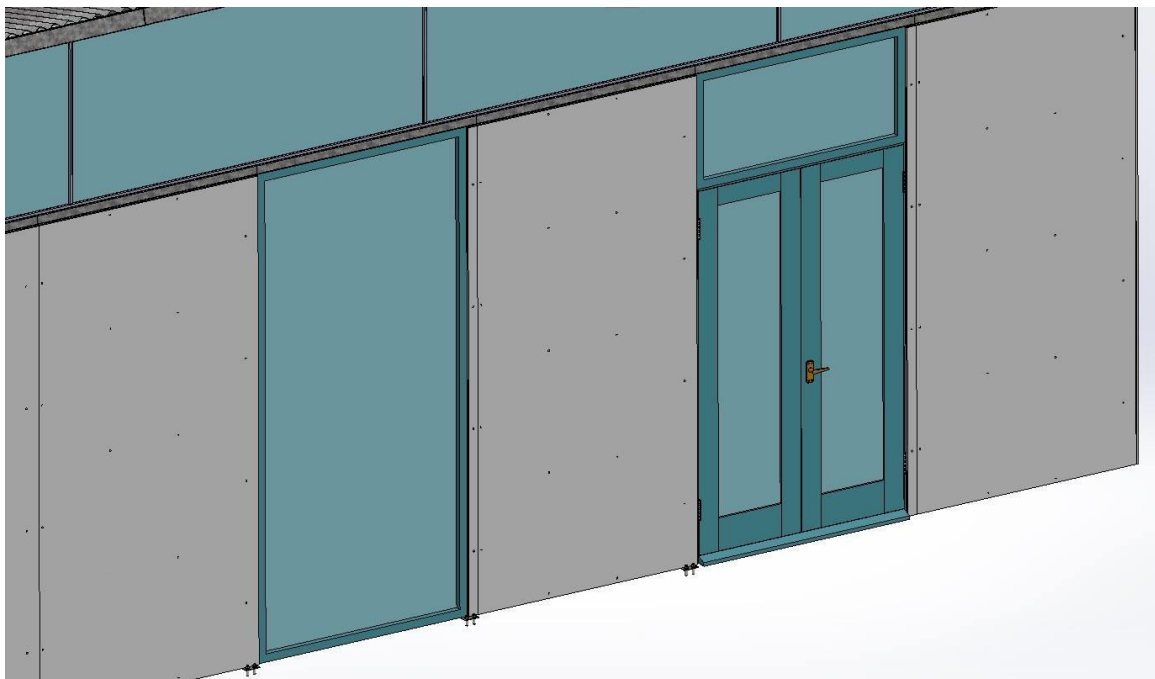


Figura 49. Detalle de aberturas ensambladas.

Capítulo 3

Estudios y Análisis

3.1 - Cálculo de Transmitancia Térmica

Según el INCOSE (Instituto de la Construcción en Seco), el sistema constructivo de perfiles de acero galvanizado liviano (Steel Framing), posee interesantes ventajas en relación a la construcción tradicional. Una de ellas, sin duda, es su capacidad de permitir, con adecuados materiales aislantes, el cumplimiento de los valores de aislamiento térmico en muros establecidos en la Ley 13.059, actualmente de aplicación obligatoria en la Provincia de Buenos Aires; con posibilidades de replicarse paulatinamente en todo nuestro país.

Sabemos que las construcciones realizadas con Steel Framing permiten alcanzar fácilmente los requisitos de habitabilidad que exige la Norma IRAM 11.605 para todas las zonas bioclimáticas de la Argentina. Los paneles brindan el espacio ideal para la ubicación de los materiales aislantes, en el espesor necesario para lograr el máximo confort higrotérmico, de acuerdo a la zona bioclimática sin necesidad de sacrificar superficie útil. Esto se traduce en un menor consumo energético tanto en invierno como en verano, con mayor superficie útil.

Por lo tanto, estableciendo claramente estos requisitos (por ejemplo, exigiendo un valor máximo de K, coeficiente de transmisión térmica de los muros) se puede determinar fácilmente si la vivienda cumplirá o no con los valores mínimos de

aislamiento y ausencia de condensación que se establecen en las normas IRAM, algo que no se obtiene con materiales considerados como “tradicionales” en sus espesores habituales.

Para realizar la verificación del sistema diseñado en este Proyecto se siguió la guía de cálculo que provee la norma IRAM 11601. A los efectos de ordenar y facilitar los cálculos necesarios para la obtención del valor de la transmitancia térmica del panel portante, se incluye una planilla acompañada con las correspondientes referencias para su correcta interpretación y uso:

- Se considera la época de invierno y la zona bioambiental correspondiente a la localidad de Tanti, Provincia de Córdoba, ya que esta será la potencial ubicación del prototipo de vivienda y representa la condición más desfavorable.
- La zona y sub-zona bioambiental se determinan en la Figura 1 de la norma IRAM 11603. La Temperatura exterior de diseño se encuentra en la Tabla A.1.
- Nivel de confort según IRAM 11605, en este caso nivel A (recomendado).
- Espesor (e): se indica el espesor de cada capa del elemento constructivo.
- Conductividad térmica (λ): Se indica el valor de cada capa homogénea, obtenido a través de ensayos o de la Tabla A.1 (IRAM 11601). No es necesario usar esta columna en el caso de cámaras de aire, bloques y ladrillos huecos cerámicos o de hormigón, forjados de bloques cerámicos huecos o capas de poco espesor que no contribuyen a la resistencia térmica, tales como barreras de vapor, láminas de aluminio, etc.

- Resistencia térmica (R): Se indica la resistencia térmica de cada capa. Para capas homogéneas, se calcula dividiendo el espesor (e) por la conductividad térmica (λ).
- Resistencia térmica superficial exterior (R_{se}): Se adopta el valor de la tabla 2 (IRAM 11601). $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
- Resistencia térmica superficial interior (R_{si}): Se adopta el valor de la tabla 2 (IRAM 11601) según el sentido del flujo de calor.
- Se suman los espesores de las capas para obtener el espesor total del componente.
- Se suman las resistencias térmicas de las capas para obtener la total del componente.
- Transmitancia térmica del componente (K): Se calcula con la inversa de la Resistencia térmica total (ver 4.2 IRAM 11601).
- Transmitancia térmica para condiciones de invierno y verano de acuerdo con IRAM 11605 y $K_{\text{máx}}$ según la misma norma.
- Cuando la Transmitancia térmica K calculada es menor que la máxima admisible para el nivel de confort determinado y para las condiciones de invierno o verano, el componente cumple con la norma IRAM 11605.

Casa Industrializada Prefabricada

Joaquín Cafaro

NORMA IRAM 11601	CÁLCULO DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROYECTO	Casas prefabricadas industrializadas		
ELEMENTO	Panel exterior estándar		
ÉPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Horizontal
ZONA BIOAMBIENTAL	Illa		
Nivel de confort según IRAM 11605	A	Tº ext de diseño	-3,5 °C
Capa del elemento constructivo	e	λ	R
	mm	W/m²K	m²K/W
Resistencia superficial exterior			0,04
Pintura exterior	-	-	-
Placa revestimiento exterior (SP Glass)	12,5	0,38	32,89473684
Barrera de vapor (Tyvek o Wichi polietil)	-	-	-
Aislante (Fibra de celulosa proyectada)	75	0,039	1923,076923
Placa revestimiento interior (Durlock)	9,5	0,38	25
Resistencia superficial interior			0,13
TOTAL	97		1981,14166
Transmitancia térmica del componente [W/m²K]			0,000504759
Transmitancia térmica de acuerdo con la IRAM 11605 [W/m²K]	0,33 (invierno)	0,50 (verano)	0,33
Cumple con la IRAM 11605:			SI
Comentarios y cálculos suplementarios			

Figura 50. Planilla de cálculo para transmitancia térmica del panel.

3.2 - Análisis Estático Estructural

Para realizar dicho estudio se procedió a utilizar un modelo simplificado de la estructura global para que sea factible efectuar la simulación en el software SolidWorks. Para ello solo se dejaron los paneles perimetrales en bruto, compuestos por sus cinco perfiles, sin soleras, placas de revestimiento ni tornillería. Además, se unieron ficticiamente los dos perfiles superiores de cada panel para que sean tomados como una sola viga en el análisis, evitando el solapamiento de los elementos. Con el mismo fin se unieron los perfiles parantes coincidentes de paneles adyacentes entre sí.

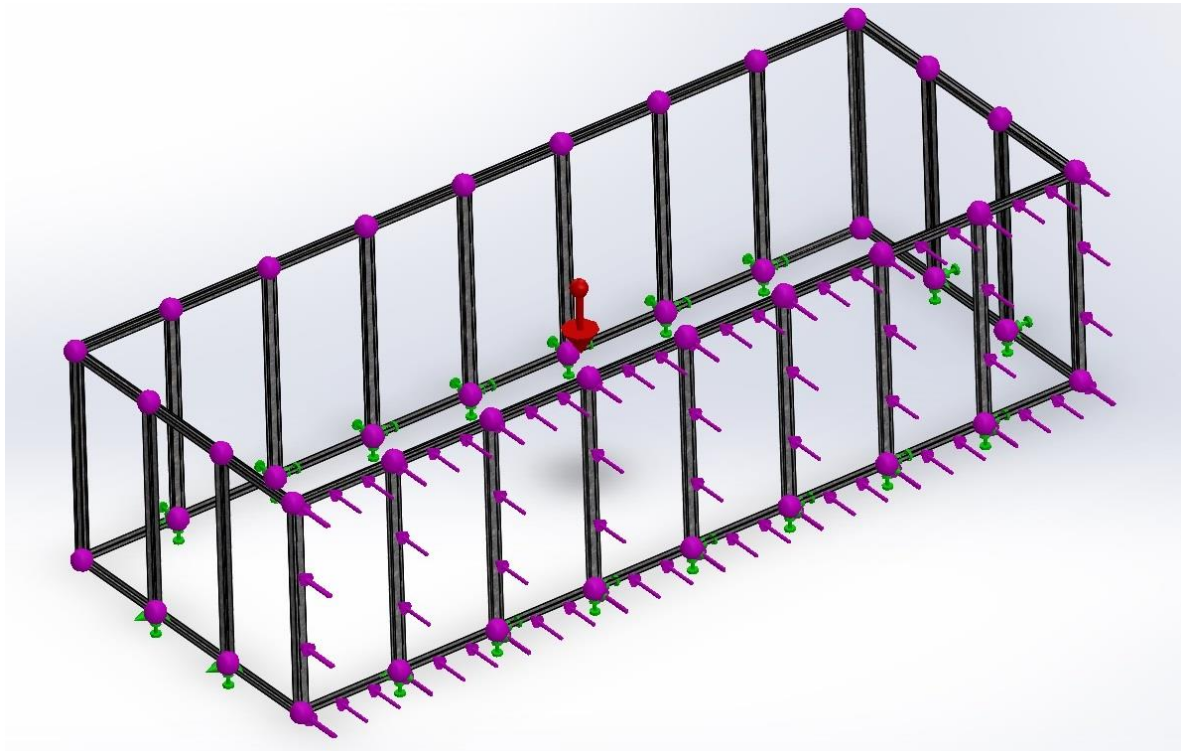


Figura 51. Estructura simplificada para Análisis Estático.

Para simular las condiciones estáticas se colocaron sujeciones fijas en los espacios entre paneles donde se colocan los anclajes a la platea de fundación.

La variable en la que se basa el estudio es la fuerza ejercida por el viento sobre la pared de mayor superficie. La norma CIRSOC 102 nos permite calcularla mediante una serie de guías dependientes de cada caso particular. Al tratarse de un método de construcción no convencional, y basándonos en precedentes similares, se decidió utilizar como guía el ejemplo de un cartel de señalización ubicado en la ruta, proporcionado por la norma y similar en composición a la estructura de nuestro proyecto. Según CIRSOC, este ejemplo se presta para ilustrar la aplicación de dos ítems: (1) el factor de efecto de ráfaga para estructuras flexibles, y (2) el uso de coeficientes de fuerza para otras estructuras.

Para el caso de la provincia de Córdoba, donde se busca emplazar el prototipo, la fuerza de diseño resultante es del orden de los 26 kN. Como el programa nos ubica fuerzas puntuales distribuidas por las vigas de cada panel, y cada uno de ellos cuenta con un perímetro de 7,2 m, la pared elegida para la simulación (con la mayor superficie expuesta) cuenta con una longitud total de 57,6 m para ubicar los elementos solicitantes que, por ende, tendrán una magnitud de 451,5 N/m.

También se agregó una masa de 900 kg equivalente al conjunto total de la cubierta, distribuida sobre todos los perfiles superiores de los paneles, a fin de recrear lo más exacto posible las condiciones reales.

Una vez realizado el mallado tratando a cada componente como viga, se procedió a realizar la simulación obteniendo los siguientes resultados:

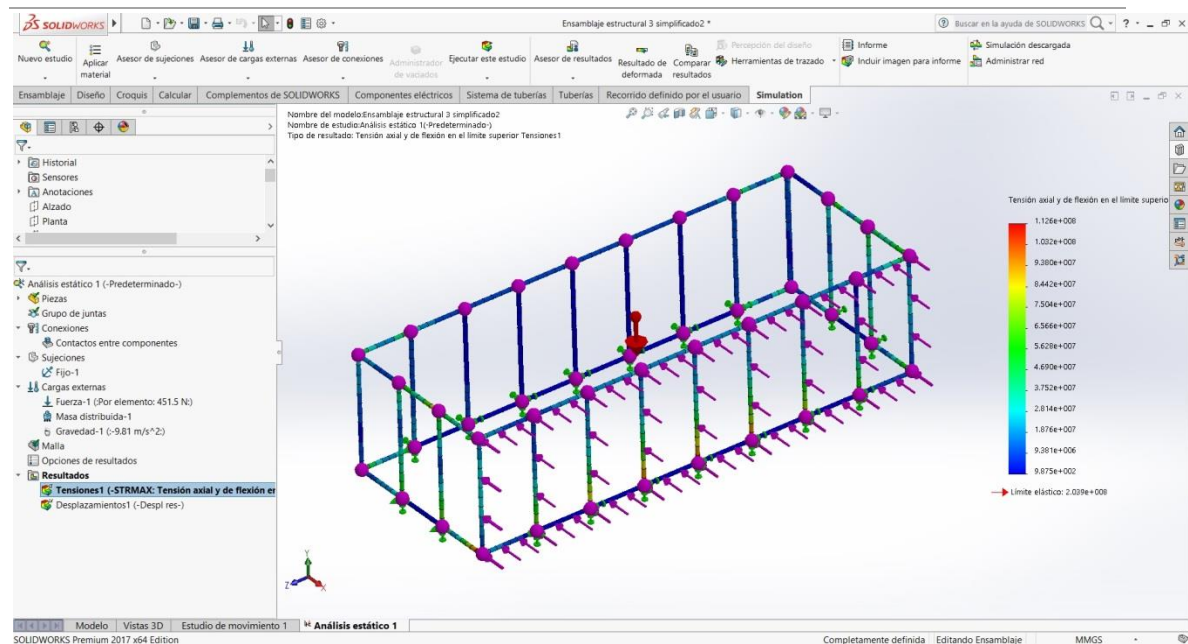


Figura 52. Análisis de Tensiones por método CAE.

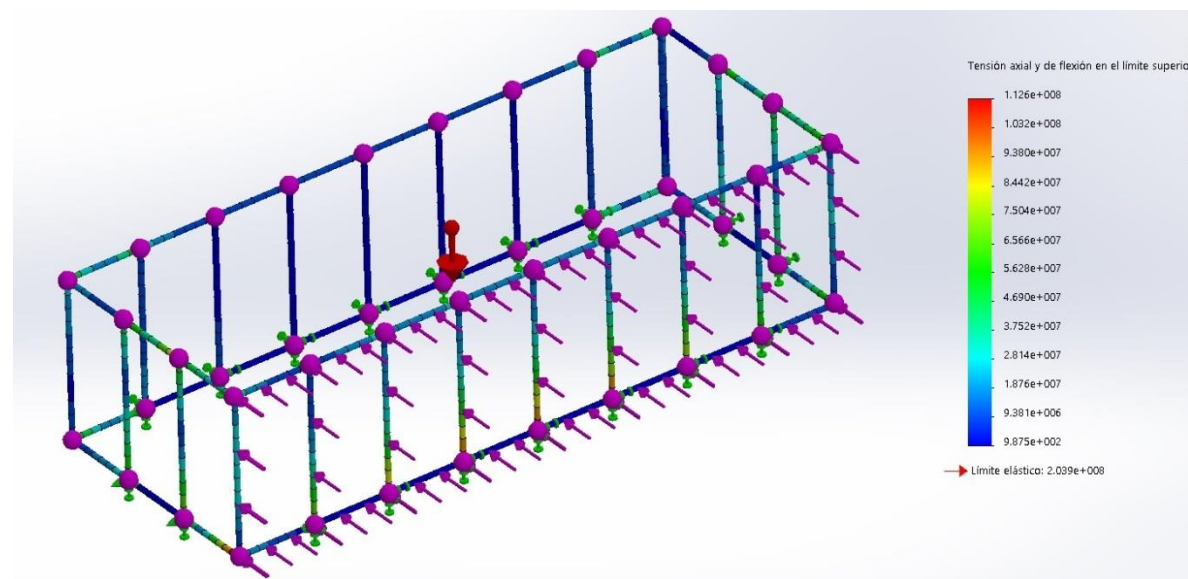


Figura 53. Análisis de Tensiones por método CAE. Detalle.

Podemos observar que las tensiones máximas alcanzadas se encuentran muy por debajo del límite elástico, específicamente a un valor equivalente al 55% de dicha magnitud. Estos valores se concentran en las bases de los perfiles parantes ubicados en el centro de la pared.

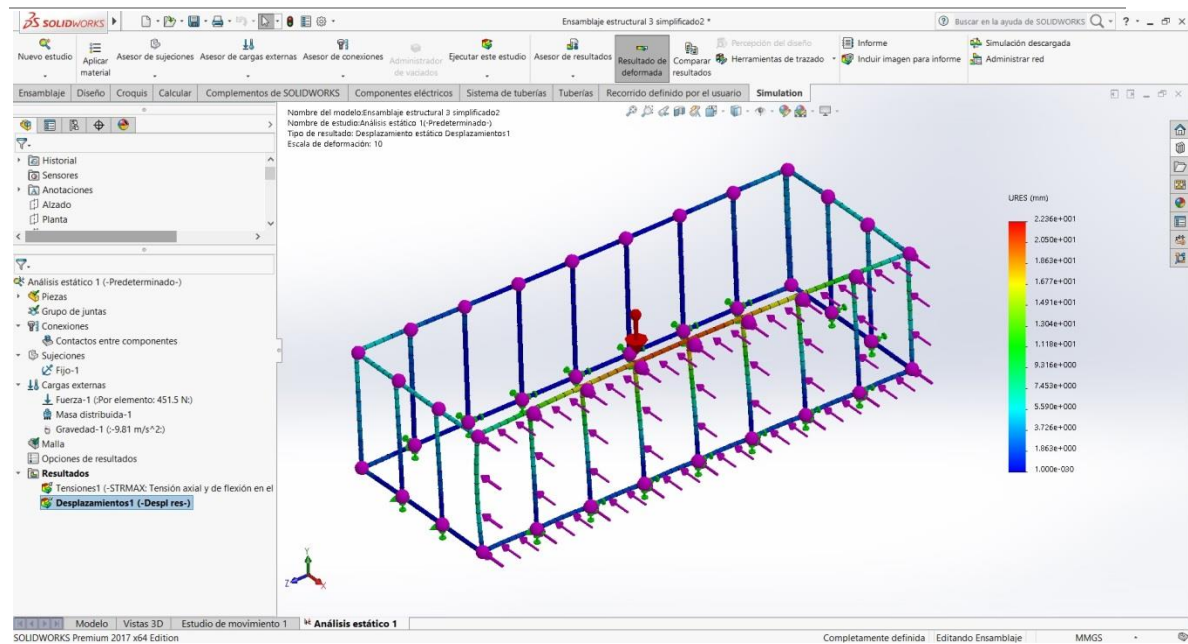


Figura 54. Análisis de Desplazamientos por método CAE.

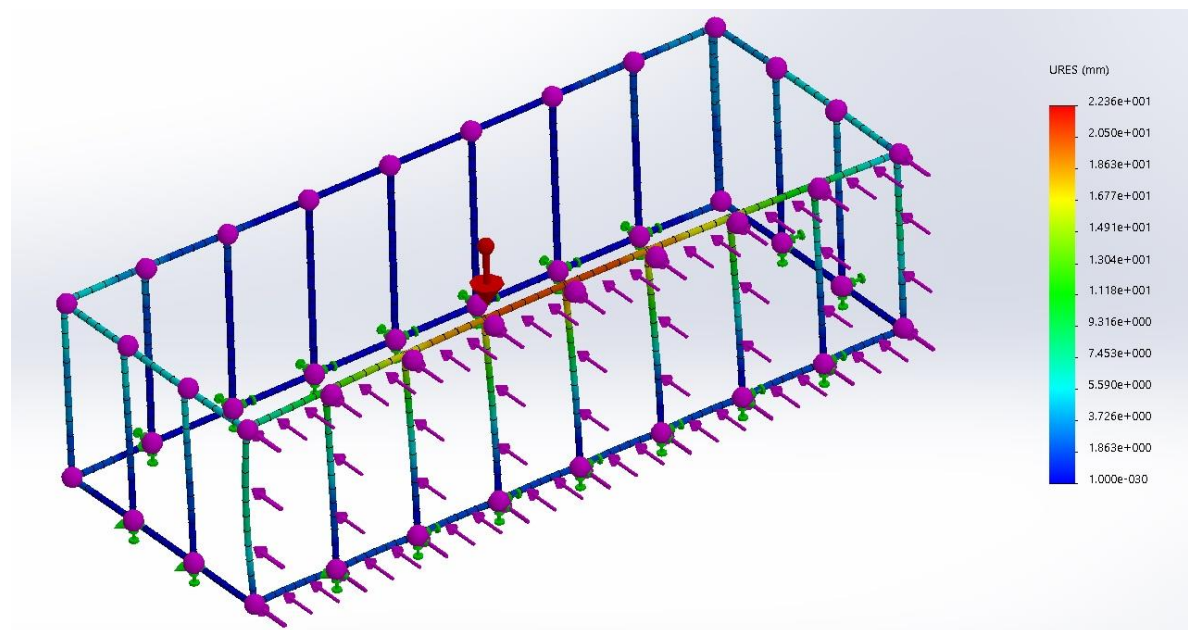


Figura 55. Análisis de Desplazamientos por método CAE. Detalle.

En el caso de los desplazamientos, el máximo valor obtenido se encuentra en la parte central superior de la pared y ronda los 2,23 mm, lo que no resulta en una deformación considerable teniendo en cuenta las simplificaciones estructurales iniciales que se realizaron y las dimensiones generales del modelo.

Finalmente, cabe destacar que este estudio es una herramienta muy útil para el diseño y evaluación constante de muchos parámetros pertinentes al proyecto. Por ejemplo, podemos modificar fácilmente la configuración de los perfiles para obtener los distintos espesores comerciales de las chapas galvanizadas utilizadas, o bien elegir otro tipo de material para observar su respuesta a las solicitaciones. En ese aspecto podemos recalcular la fuerza de diseño según CIRSOC para otras condiciones geográficas y aplicarla al estudio evaluando la factibilidad de implementar el modelo en otras zonas, o bien variar el peso de la cubierta para decidir los componentes que la forman.

3.3 - Análisis Económico

A fin de calcular los costos asociados a la materialización del producto con un sistema flexible, capaz de ser variado acorde a las modificaciones en el modelo o a la incorporación de nuevos, se tuvieron en cuenta las materias primas y mano de obra correspondientes a cada tipo de panel, sistema de anclaje y componentes individuales del conjunto general, con el propósito de sumarlos finalmente en base a la cantidad necesaria de cada uno. No se tuvieron en cuenta los elementos comunes a todos los métodos de construcción con los que se compara este proyecto, elementos estrictamente necesarios que no forman parte de la estructura por sí misma, como sean; platea de fundación, instalaciones de todo tipo, muebles y fontanería, etc.

A continuación, podemos observar las planillas de costos asociados a los componentes más relevantes, el resto son variaciones de ellas:

MODULO PANEL DE TECHO			
COMPONENTE	CANTIDAD	COSTO UNIT.	COSTO SUB.
Perfiles plegados (kg)	20.4	\$160.00	\$3,264.00
Soldaduras (hs)	0.5	\$300.00	\$150.00
Armado del módulo (hs)	1	\$190.00	\$190.00
Autop. T2 aguja #6 x 1"	32	\$0.90	\$28.80
Placa Durlock® Estándar (1x1)	5	\$300.00	\$1,500.00
Barrera de vapor (Tylar techo)	1	\$660.00	\$660.00
Chapa acanalada prep.C-25 (m)	5	\$990.00	\$4,950.00
Aislante de celulosa (m2)	5	\$750.00	\$3,750.00
		TOTAL	\$14,492.80

Figura 56. Planilla de costos del Módulo Panel de Techo.

MODULO PANEL ESTANDAR			
COMPONENTE	CANTIDAD	COSTO UNIT.	COSTO SUB.
Perfiles plegados (kg)	27.3	\$160.00	\$4,368.00
Soleras PGU 70 x 1115 x 0,89	3	\$200.00	\$600.00
Soldaduras (hs)	0.2	\$300.00	\$60.00
Armado del módulo (hs)	1	\$190.00	\$190.00
Autop. T1 mecha #8 x ½"	12	\$1.40	\$16.80
Autop. T2 mecha #6 x 1.1/8"	24	\$1.70	\$40.80
Autop. T2 aguja #6 x 1"	12	\$0.90	\$10.80
Placas SP GLASS®	1	\$1,600.00	\$1,600.00
Placa Durlock® Estándar	1	\$600.00	\$600.00
Barrera de vapor (Tynar)	1	\$520.00	\$520.00
Aislante de celulosa (m2)	2.8	\$800.00	\$2,240.00
		TOTAL	\$10,246.40

Figura 57. Planilla de costos del Módulo Panel Estándar.

MODULO DE PUERTA			
COMPONENTE	CANTIDAD	COSTO UNIT.	COSTO SUB.
Perfiles plegados (kg)	17.7	\$160.00	\$2,832.00
Armado del módulo (hs)	0.5	\$190.00	\$95.00
Autop. T2 aguja #6 x 1"	8	\$0.90	\$7.20
Refuerzo Placa Durlock® (50)	1	\$35.00	\$35.00
Refuerzo Placa SP Glass® (50)	1	\$68.00	\$68.00
		TOTAL	\$3,037.20

Figura 58. Planilla de costos del Módulo de Puerta.

ABERTURAS (puerta, ventanas y ventanal)			
COMPONENTE	CANTIDAD	COSTO UNIT.	COSTO SUB.
Material Aluminio blanco (kg)	158	\$800.00	\$126,400.00
Barras estruct. acero 80x40	8	\$2,675.00	\$21,400.00
Barras estruct. acero 15x15	16	\$670.00	\$10,720.00
Accesorios varios	1	\$10,770.00	\$10,770.00
Mano de obra total	1	\$26,000.00	\$26,000.00
		TOTAL	\$195,290.00

Figura 59. Planilla de costos para Aberturas.

ANCLAJE A PLATEA			
COMPONENTE	CANTIDAD	COSTO UNIT.	COSTO SUB.
Perfil plegado (kg)	0.2	\$160.00	\$32.00
Fischer FIS A M10x130	2	\$80.00	\$160.00
Autop. hex. tipo 1 #12 x 1" c/a	2	\$4.50	\$9.00
Perforaciones (hs)	0.1	\$190.00	\$19.00
		TOTAL	\$220.00

Figura 60. Planilla de costos del Anclaje a Platea.

La planilla final de los costos asociados al modelo prototipo se muestra a continuación, con precios en Pesos Argentinos actualizados para Octubre de 2020 a una cotización del Dólar oficial de \$79.

COMPONENTE	CANTIDAD	COSTO UNIT.	COSTO SUB.
Módulo panel estándar	13	\$10,246.40	\$133,203.20
Módulo panel esquinero	5	\$10,236.40	\$51,182.00
Módulo panel tabique	3	\$9,246.40	\$27,739.20
Módulo panel de techo	10	\$14,492.80	\$144,928.00
Módulo de puerta	1	\$3,037.20	\$3,037.20
Módulo de ventana	4	\$3,037.20	\$12,148.80
Total aberturas	1	\$195,290.00	\$195,290.00
Anclaje a platea	15	\$220.00	\$3,300.00
Anclaje para tabiques	2	\$449.50	\$899.00
Anclaje para cubierta	18	\$70.30	\$1,265.40
Autop. hex. tipo 1 #14 x 2 1/2"	112	\$10.00	\$1,120.00
Autop. Hex. tipo 1/2 c/a PVC	66	\$10.00	\$660.00
Refuerzo Placa SP Glass (100)	4	\$135.00	\$540.00
Refuerzo Placa Durlock (50)	2	\$35.00	\$70.00
Horas/hombre en obra	32	\$190.00	\$6,080.00
		TOTAL	\$581,462.80

Figura 61. Planilla de costos General.

Los resultados obtenidos muestran la factibilidad clara de ejecución debido al bajo costo de producción, lo que a su vez nos permite alcanzar un precio de comercialización muy competitivo considerando que construir un metro cuadrado cubierto con el sistema Steel Framing en la zona demanda un precio de \$26000 (aproximadamente 330 USD), mientras nuestra vivienda nos cuesta \$16600 dejando un buen margen de ganancia si igualamos precios de venta (57% del costo).

Comparando con un sistema de construcción más convencional utilizado en la zona, una vivienda de 37 m² hecha a base de hormigón premoldeado cuesta alrededor de \$000000, lo que nos deja un costo del metro cuadrado de \$00000.

Finalmente, los sistemas convencionales de construcción actualmente tienen un costo aproximado de 700 USD por metro cuadrado solo en materiales y mano de obra, más del doble que un sistema de construcción en seco como el Steel Framing o nuestras casas prefabricadas.

Capítulo 4

Resultados y discusión.

4.1 - Factibilidad Económica

Como vimos en el *Análisis Económico*, la producción e instalación de nuestro modelo de Casa Industrializada Prefabricada acarrea un costo por metro cuadrado de \$16600, mucho menor a los valores actuales de sistemas convencionales, y con un precio de venta potencial de \$26000 que resulta altamente competitivo comparado con los sistemas de construcción en seco actuales de la región como el Steel Framing. Esto resulta en una esperanzadora proyección de ganancias para la empresa productora, los inversionistas que se sumen a este proyecto, proveedores asociados, compradores de la vivienda que la utilicen para fines comerciales, y en un significativo ahorro de dinero para los usuarios finales.

4.2 - Impacto Ambiental

Como toda construcción en seco, nuestro sistema habitacional acompaña el concepto de una arquitectura sustentable, respetuosa del medio ambiente y de los recursos naturales. Así, el agua sólo se utiliza para la realización de la platea, mientras que el resto del proceso es completamente en seco.

Al igual que en el caso del Steel Framing, se consigue un muy elevado nivel de aislación térmica mediante el uso de materiales aislantes en la cavidad interior de los

paneles resultantes, con el consiguiente ahorro de costos por consumo de energía para calefacción o refrigeración.

En nuestro caso particular, al utilizar fibra de celulosa como aislante, contribuimos doblemente al desarrollo sustentable de nuestro planeta por estar hecho a partir de papel reciclado, cuya energía requerida para su fabricación es muy baja y no emite CO². El ahorro energético generado por este material alcanza el 40%, y eso no es sólo bueno para el bolsillo del consumidor, sino también para el medio ambiente. Por cada tonelada de aislación elaborada, se salva el equivalente a 17 árboles, 1850 litros de agua y 122 litros de petróleo. Además reduce la polución en el aire y en el agua un 95%.

Como proyección a futuro, este proyecto puede tomar una senda 100% sustentable equipando la vivienda con sistemas de generación eléctrica por fuentes renovables como el aire y el sol, utilizando electrodomésticos que utilicen sólo este tipo de energía.

4.3 - Impacto Social

En una primera instancia, este proyecto tiene un impacto social directo sobre la población constituida por el personal de la Fábrica de Carrocerías Cafaro, más los potenciales clientes y las personas que habiten transitoriamente en las casas con fines recreativos. Indirectamente se beneficiarán todas las empresas proveedoras de materia prima (muchas locales como la empresa del aislante de celulosa EcoAislación SRL),

empresas de transporte, constructora para instalar la platea, profesionales recibiendo honorarios (arquitectura, ingeniería, escribanías, agrimensores), el Estado de manera impositiva, entre otros.

Un impacto indirecto asociado al uso del aislante previamente mencionado debe tenerse en cuenta; el reciclado del papel genera un circuito económico que les da trabajo a muchas familias en situaciones marginales.

En segunda instancia, este proyecto puede desarrollarse a modo de vivienda social o de catastro, involucrando directa e indirectamente miles de personas, incluso poblaciones enteras.

4.4 - Conclusiones Generales

Evaluando el proyecto en todas sus facetas (académica, profesional, comercial, etc.) podemos concluir que logra cumplir satisfactoriamente con los beneficios estipulados previamente:

- Favorecer al desarrollo del alumno como futuro profesional nutriéndolo de los conocimientos que conllevan la creación, diseño, progreso, modificación, y evaluación de un Proyecto.
- Implementación de las enseñanzas percibidas a lo largo de la carrera en un ámbito industrial-comercial, lecciones empíricas originadas por la práctica, consejos y guías proporcionadas tanto por los profesores de la Cátedra como por el Director del Proyecto.

- Beneficio directo y/o indirecto que obtendrán las personas involucradas en las empresas que formarán parte del Proyecto.
- Triple impacto que tendrá la comunidad al obtener una opción habitacional económica, que cumpla con las necesidades y comodidades básicas, realizando el menor impacto posible sobre el medio ambiente.

Lista de referencias

- Recomendación CIRSOC 303 Estructuras Livianas de Acero.
- Comentarios a la Recomendación CIRSOC 303 Estructuras Livianas de Acero.
- Reglamento CIRSOC 101 Cargas y Sobrecargas Gravitatorias para el Cálculo de las Estructuras de Edificios.
- Reglamento CIRSOC 102 Acción del Viento sobre las Construcciones.
- CAN/CSA-S136, Cold Formed Steel Structural Members, Canadian Standards Association.
- AISI, Edición 1986/89, Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, American Iron and Steel Institute.
- AISI, Edición 1991, Load and Resistance Factor Design Specification for Cold-Formed Steel Structural Members, American Iron and Steel Institute.
- Norma IRAM-IAS U 500-205 Perfiles Abiertos de Chapa de Acero Galvanizada, Conformados en Frío para Uso en Estructura Portante de Edificios.
- Norma IRAM-IAS U 500-214/12. Propiedades Mecánicas de Productos Galvanizados por Inmersión en Caliente para Uso Estructural.
- Commentary on the Prescriptive Method for Residential Cold-Formed Steel Framing. U.S Department of Housing and Urban Development - Office of Policy Development Research.
- Factores de Carga y resistencia, Introducción al método según “Load and Resistance Factor Design” del American Institute of Steel Construction, Ing. Eduardo Juárez Allen e Ing. Gustavo Ernesto Darin, Biblioteca de Apoyo del Cirsoc.

- Norma Argentina IRAM 11601 Tercera Edición 2002-10-10. Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción.
- Norma Argentina IRAM 11603:1996. Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina.
- Catálogo de Fijaciones Fischer 10/2016.
- Cabañas Modernas para Turismo. Nuevo Concepto Arquitectura + Diseño.
- Construcción en Seco: Valores de transmitancia térmica, ensayados en INTI. Instituto de la Construcción en Seco.
- Estándares mínimos de Calidad para Viviendas de interés social. Ministerio de Infraestructura y Vivienda. Secretaría de Obras Públicas. Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Acondicionamiento Higrotérmico de Edificios. Manual de aplicación Ley 13059. Instituto de la Vivienda. Buenos Aires Infraestructura.

Apéndice

Vita

Acá se incluye una breve biografía del autor de la tesis.