
*El proceso de diseño para el uso de BIPV en fachada.
Experiencia en BIPVBoost y proyectos recientes*

ISFOC – Integración de soluciones fotovoltaicas en edificios

Jacobo Peláez-Campomanes Guibert

13 de abril de 2023



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement N° 817991

envolventesarquitectónicas | ENAR
architecturalenvelopes

/	INDICE
01	Proyecto BIPVBoost
02	BIPV – Proceso de diseño
03	BIPV – Experiencias recientes
04	Conclusiones

01 Proyecto BIPVBoost

Proyecto

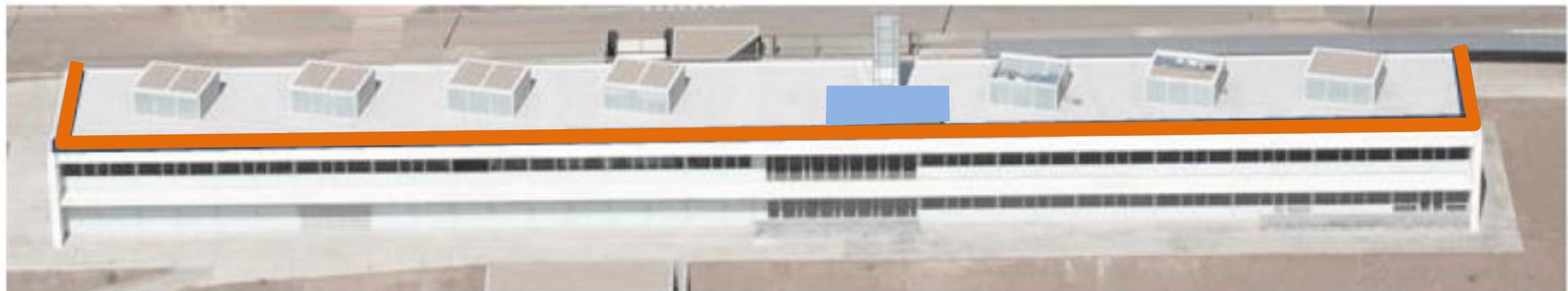


BARANDILLAS / Módulos bifaciales

- 132 paneles
- 136 m²
- 13,5 kW

SUELO / Vidrio pisable

- 192 paneles
- 22,8 m²
- 2,50 kW



Colaboración



DISEÑO

Barandilla

Suelo

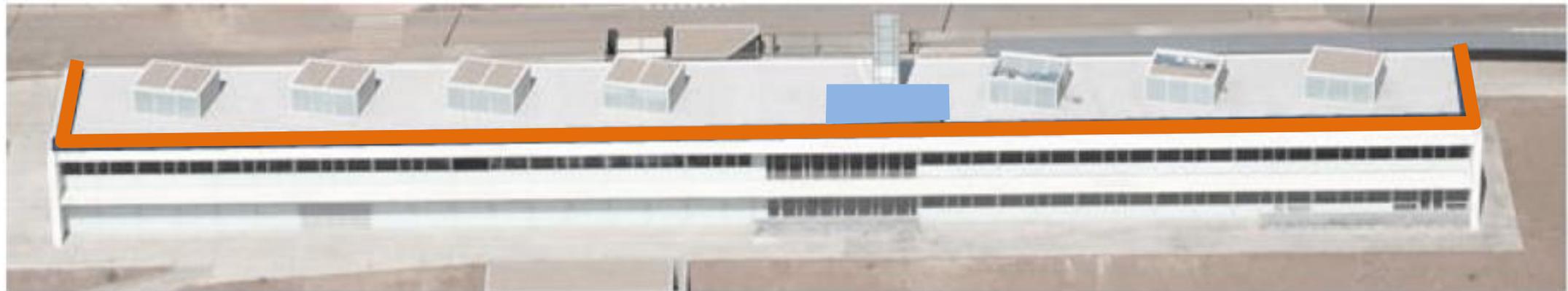
CÁLCULO ESTRUCTURAL

Espesor de vidrio

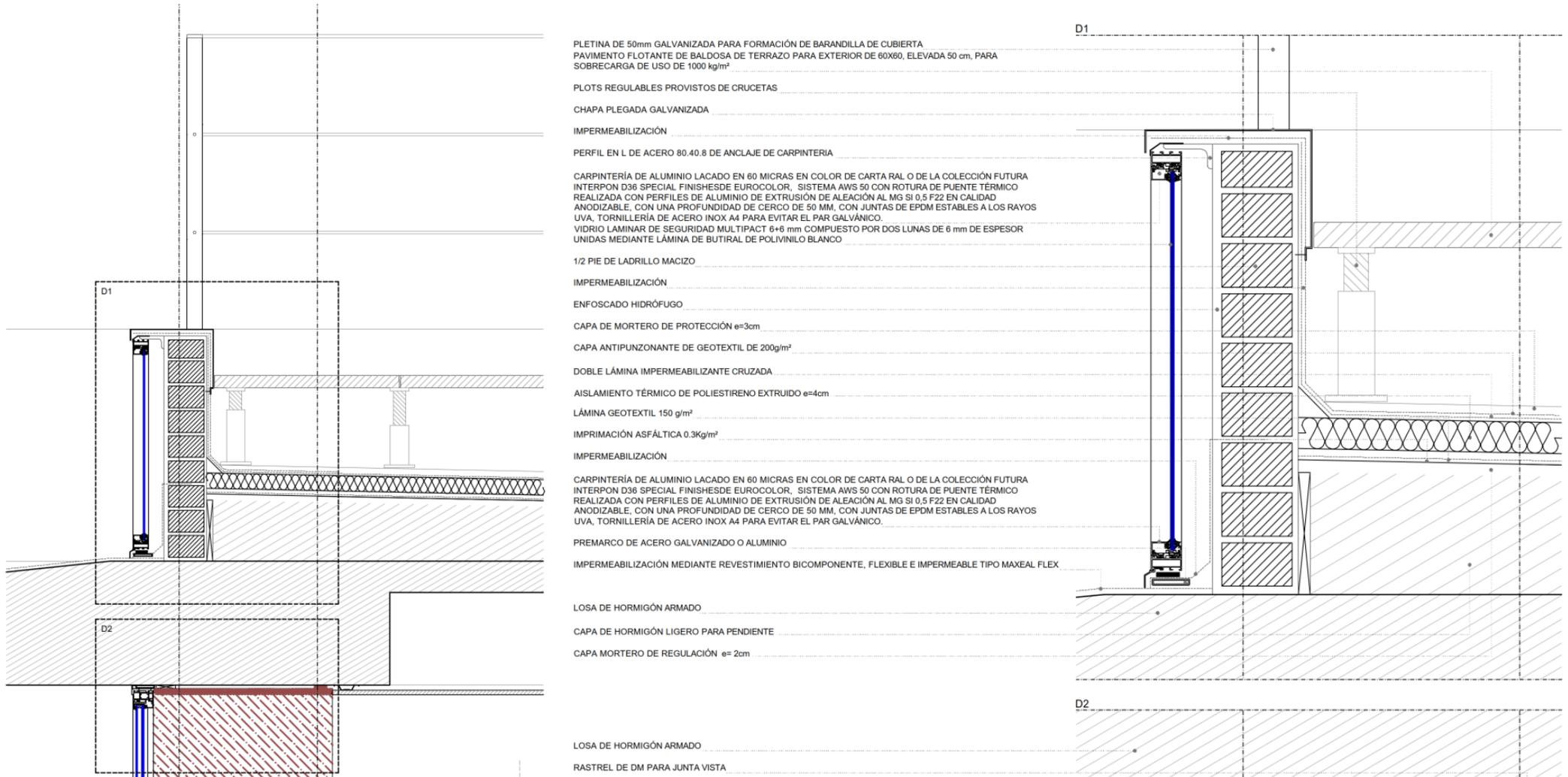
Refuerzo barandilla existente

BASES DE DISEÑO

Cumplimiento de CTE



Análisis del edificio. Planimetría



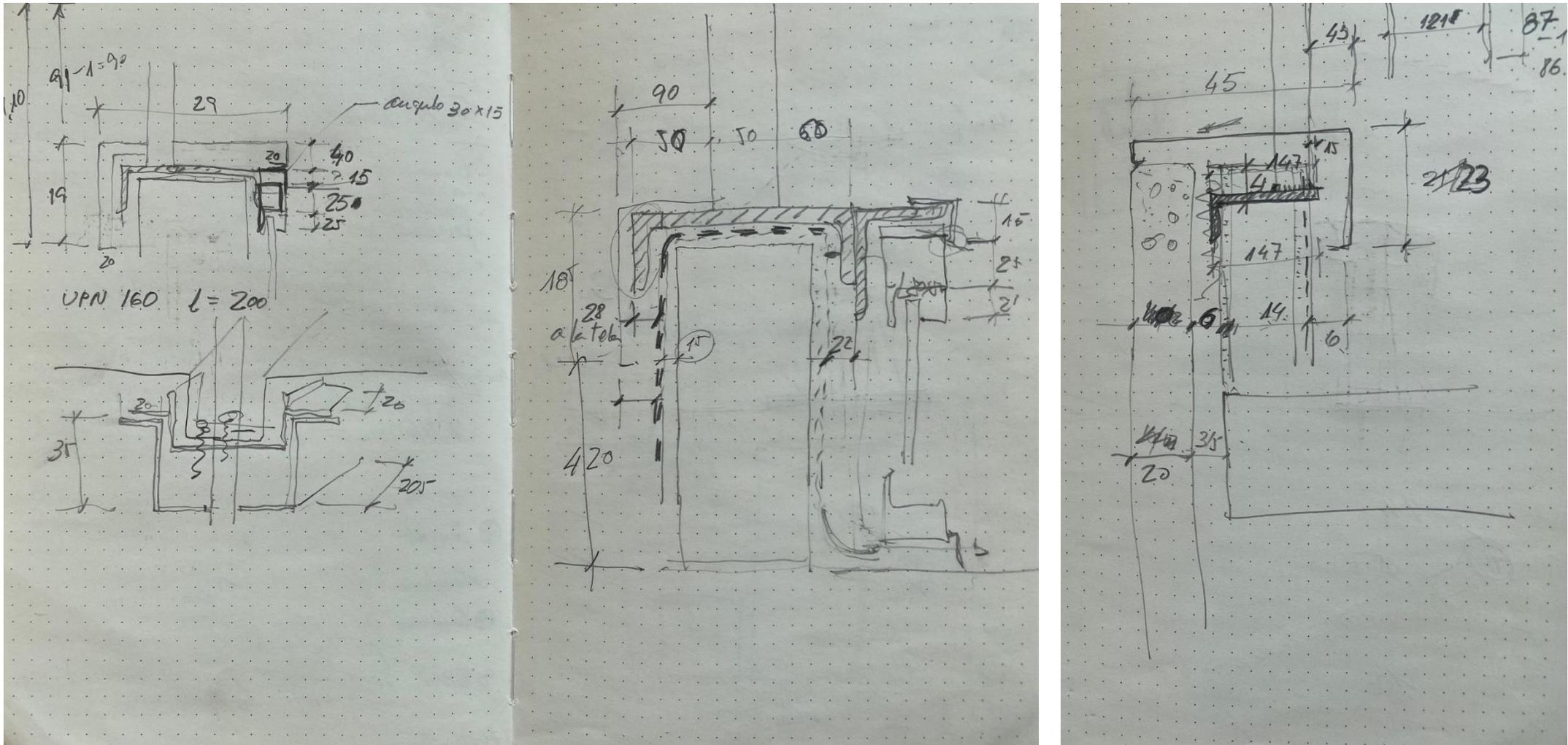
Sección constructiva (Junquera Arquitectos)

Análisis del edificio. Inspección visual



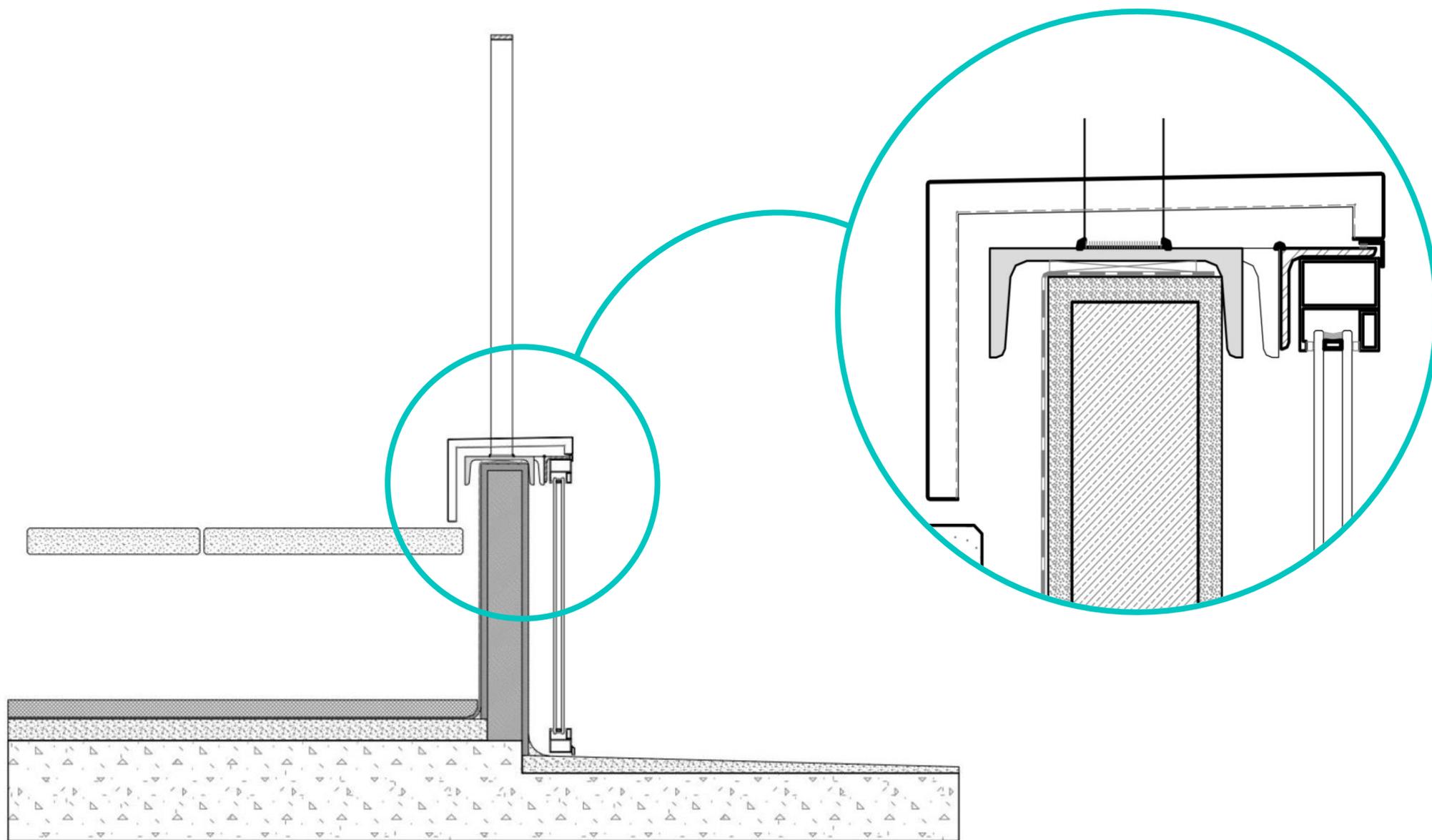
Inspección visual (ENAR)

Análisis del edificio. Toma de datos



Toma de datos (ENAR)

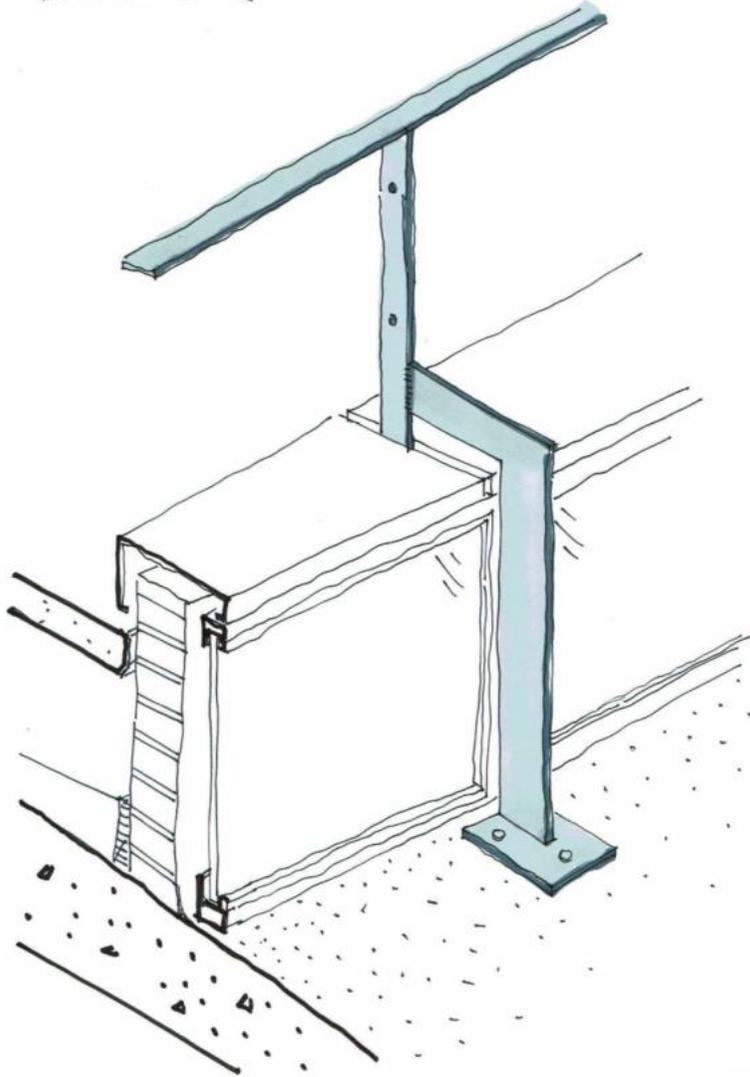
Análisis del edificio. Toma de datos



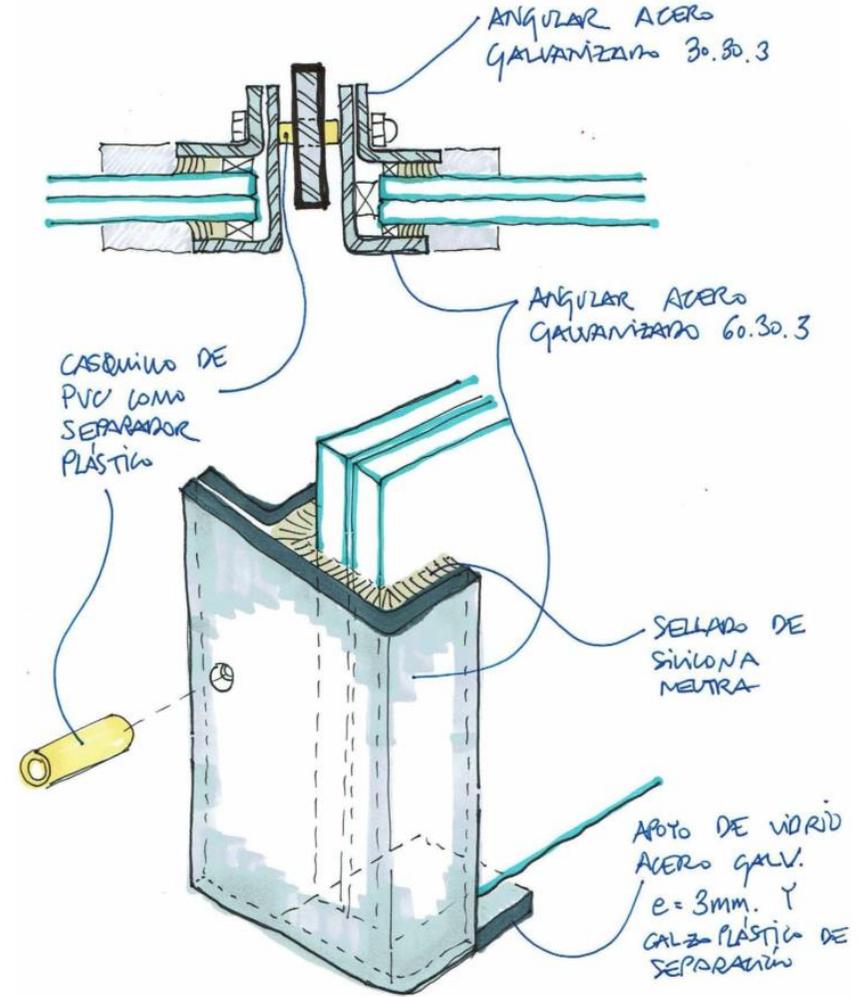
Toma de datos (ENAR)

Proceso de diseño. Propuestas

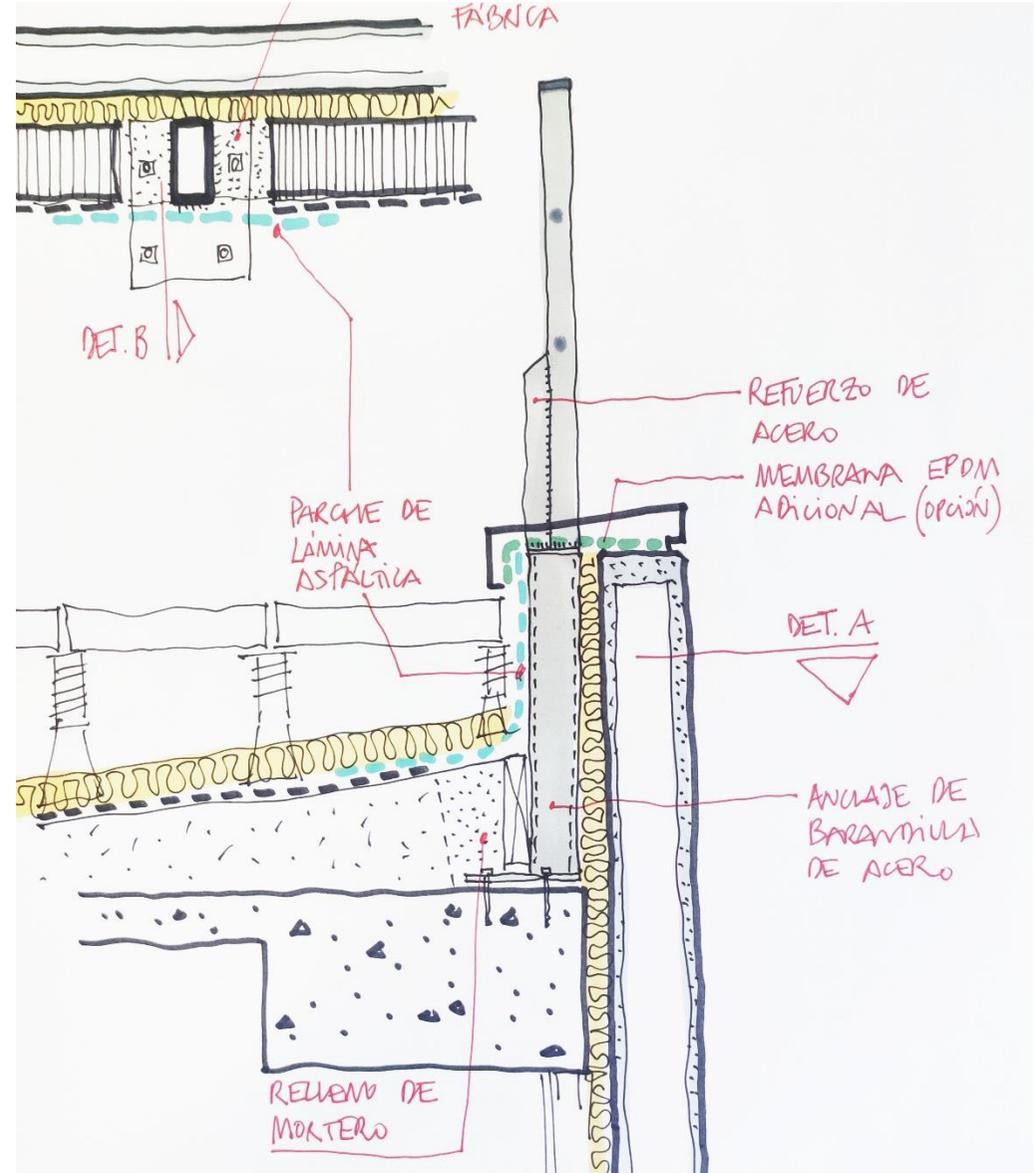
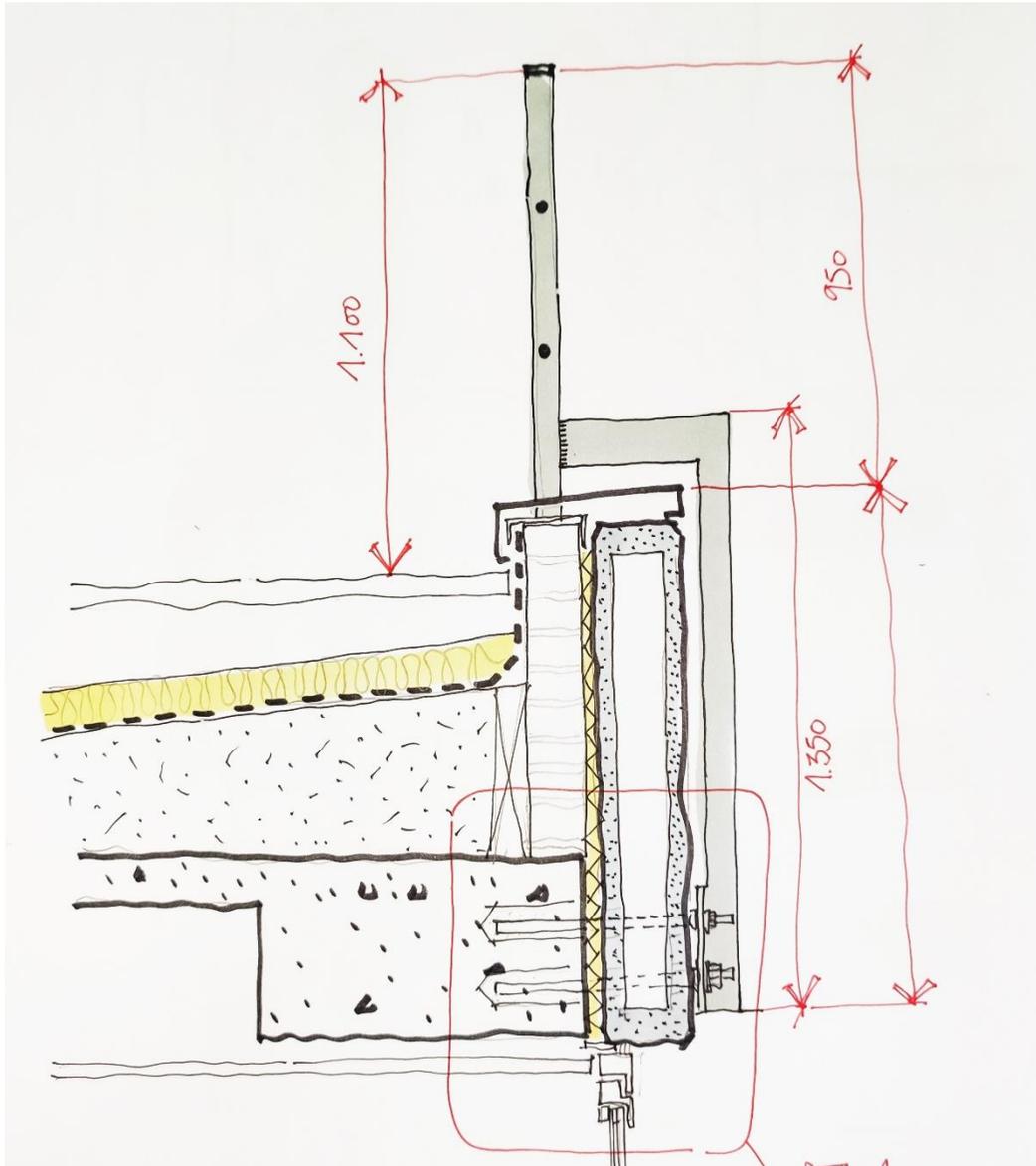
BARANDILLA
FACHADA SUR



BARANDILLA
FIJACION DE VIDRIO

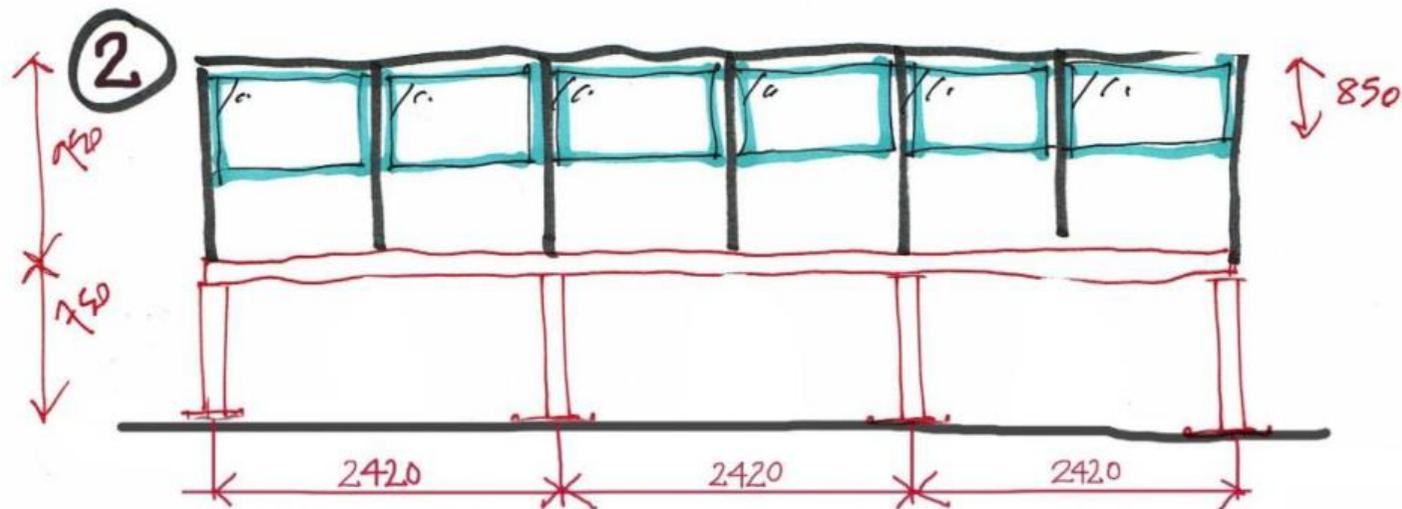
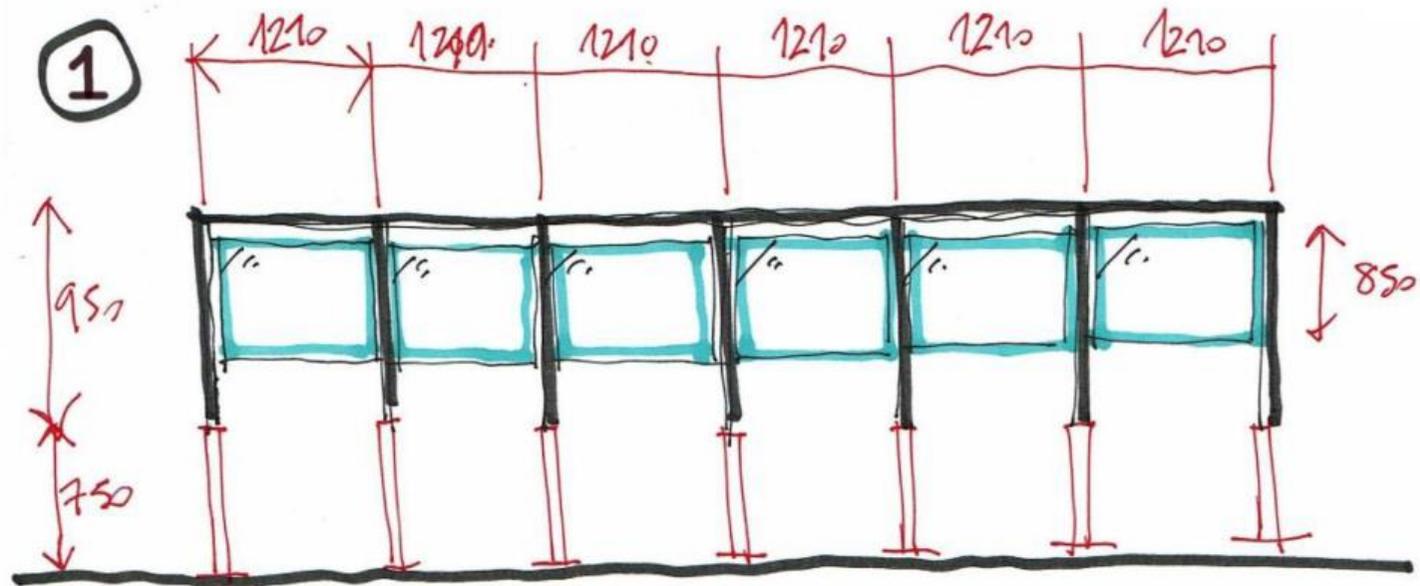


Croquis constructivo (ENAR)



Croquis constructivo (ENAR)

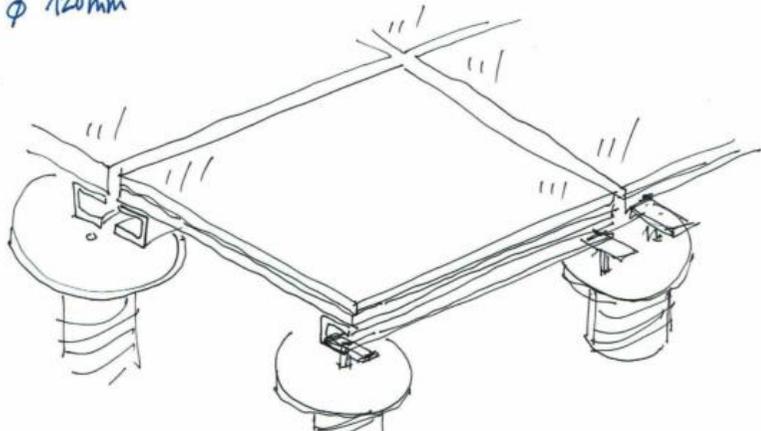
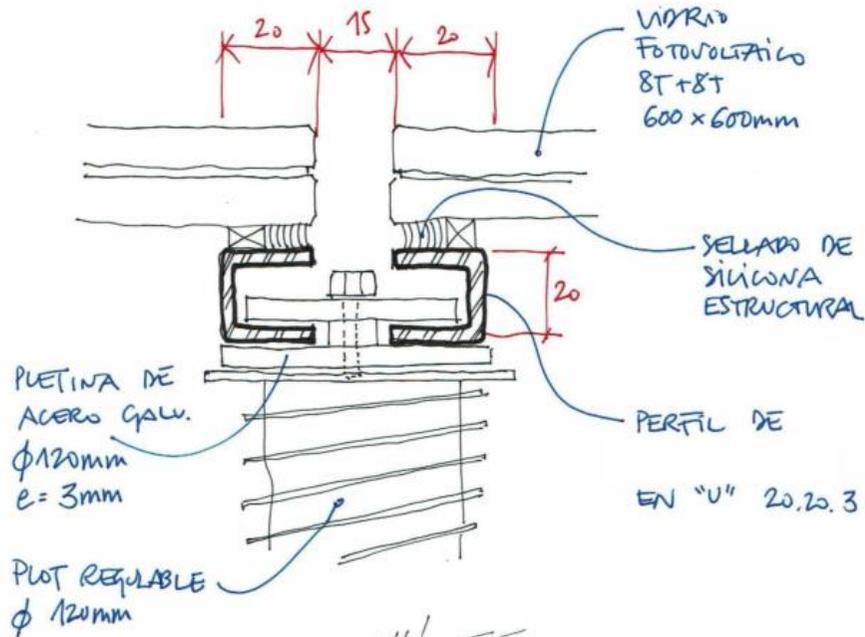
Proceso de diseño. Propuestas



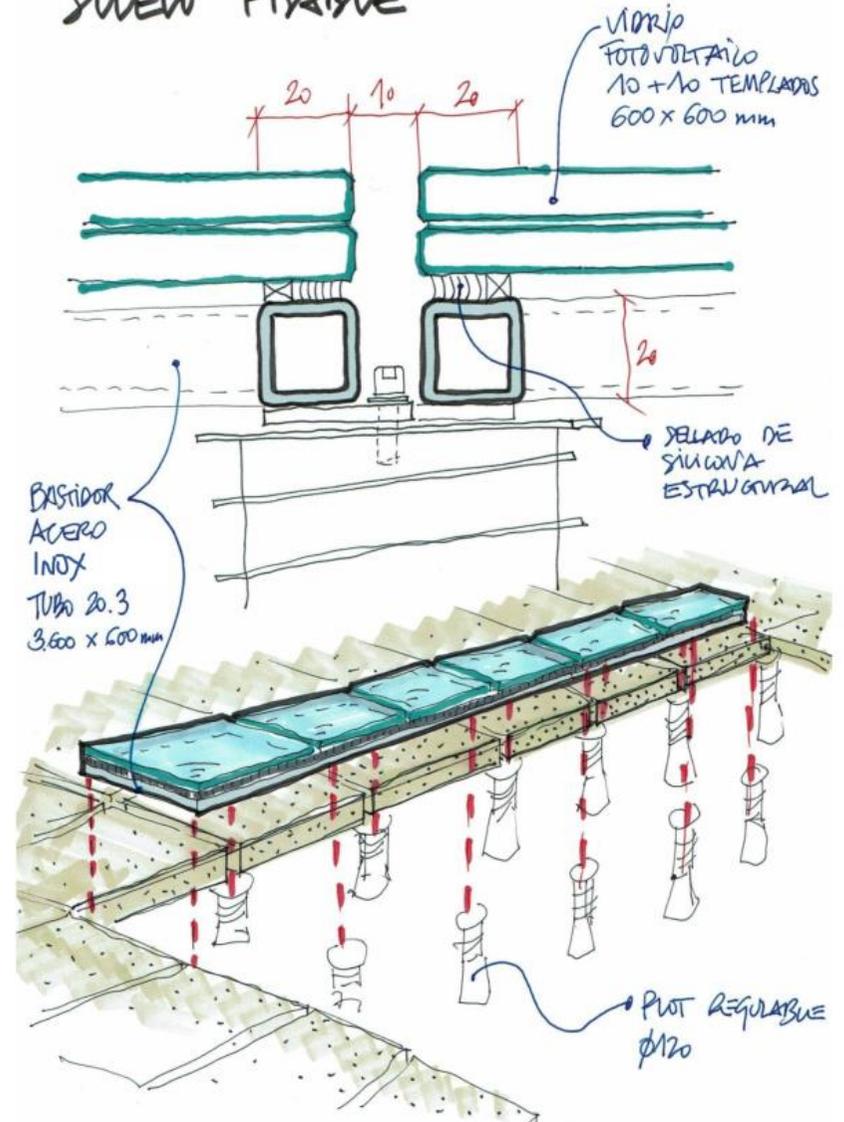
Croquis constructivo (ENAR)

Proceso de diseño. Propuestas

SUELO PISABLE



SUELO PISABLE



Croquis constructivo (ENAR)

Proceso de diseño. Análisis estructural

Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

⁽¹⁾ Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		⁽¹⁾	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes \leq 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

⁽¹⁾ En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

DB-SE

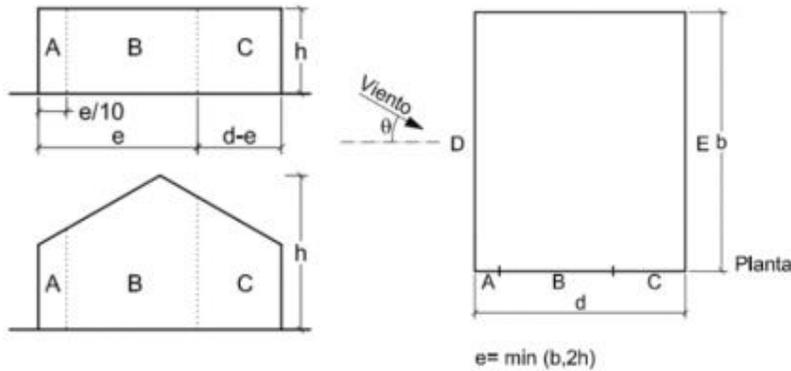
**Seguridad
estructural**

Proceso de diseño. Análisis estructural



DB-SE

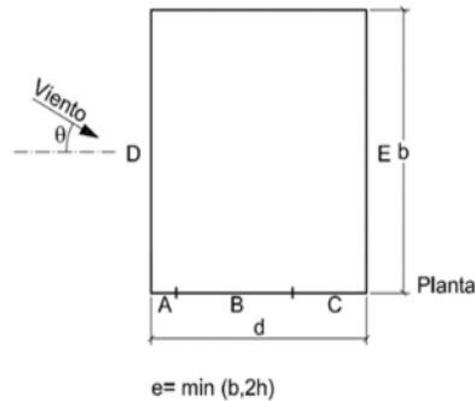
Seguridad estructural



Ejemplos de alzados

Para muros expuestos por ambos lados, como son las barandillas, el cálculo del viento será:

$$q_i = q_e - q_i$$



$$q_i = -565 - 807 = -1372 \text{ Pa}$$

PRESIÓN DE VIENTO NETA (Pa)

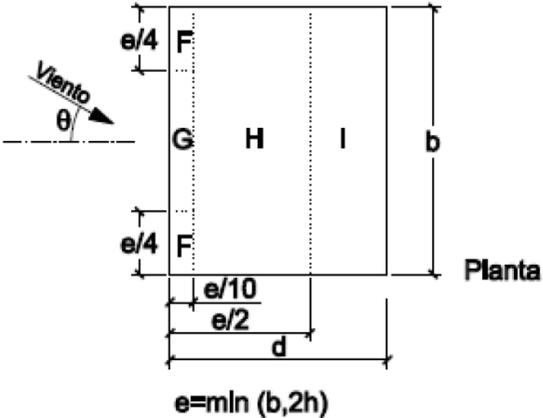
ZONA A	ZONA B	ZONA C	ZONA D	ZONA E
-1130	-888	-404	807	-565

Proceso de diseño. Análisis estructural



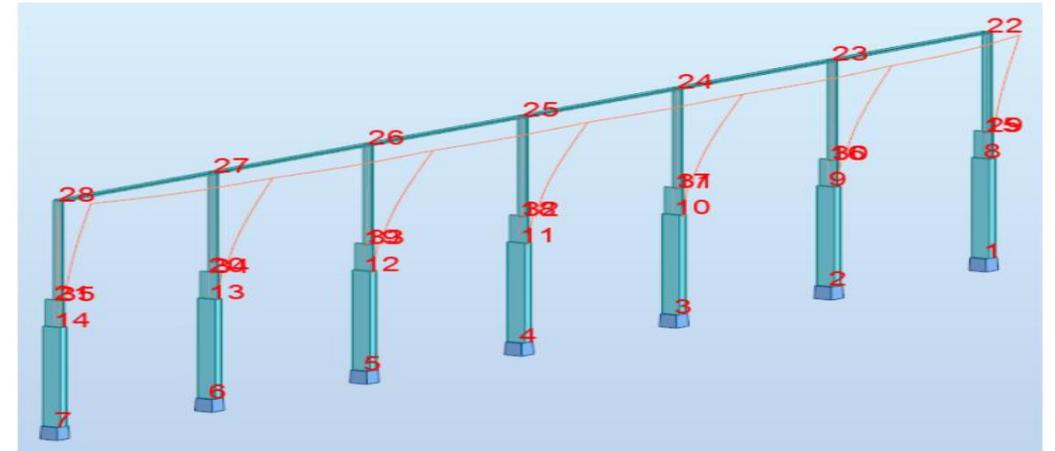
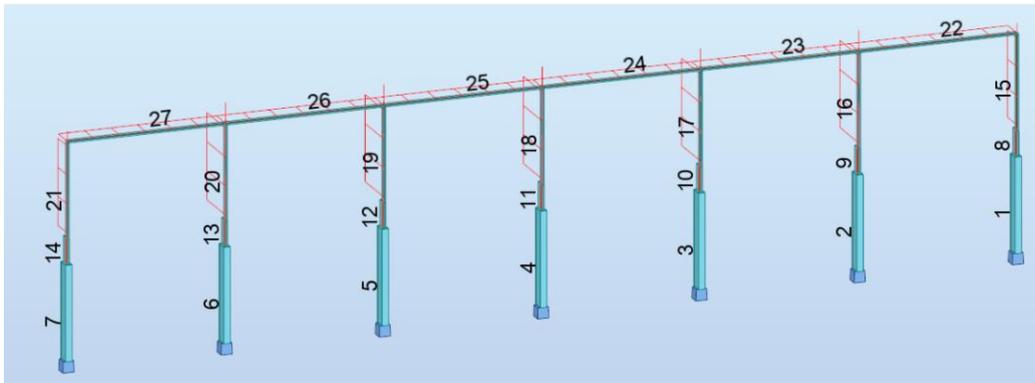
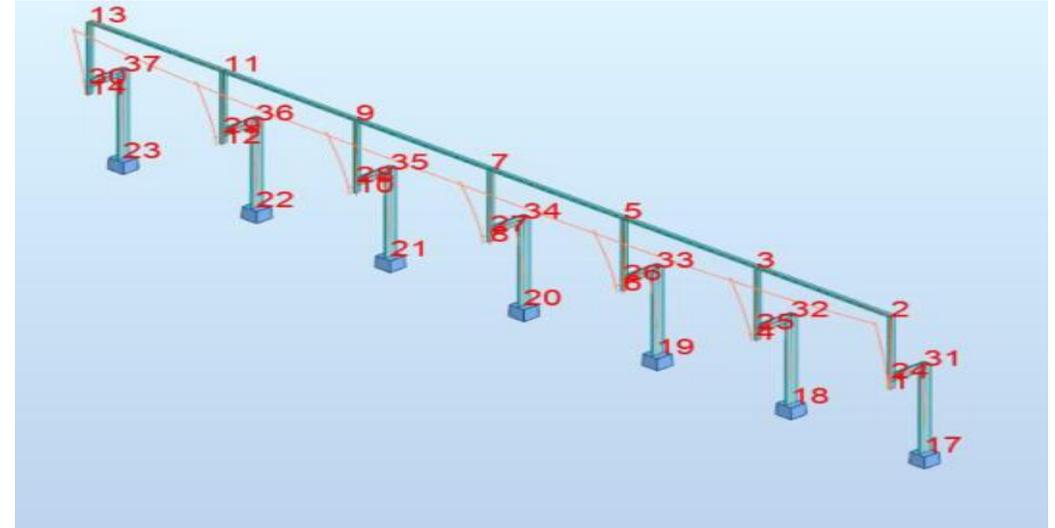
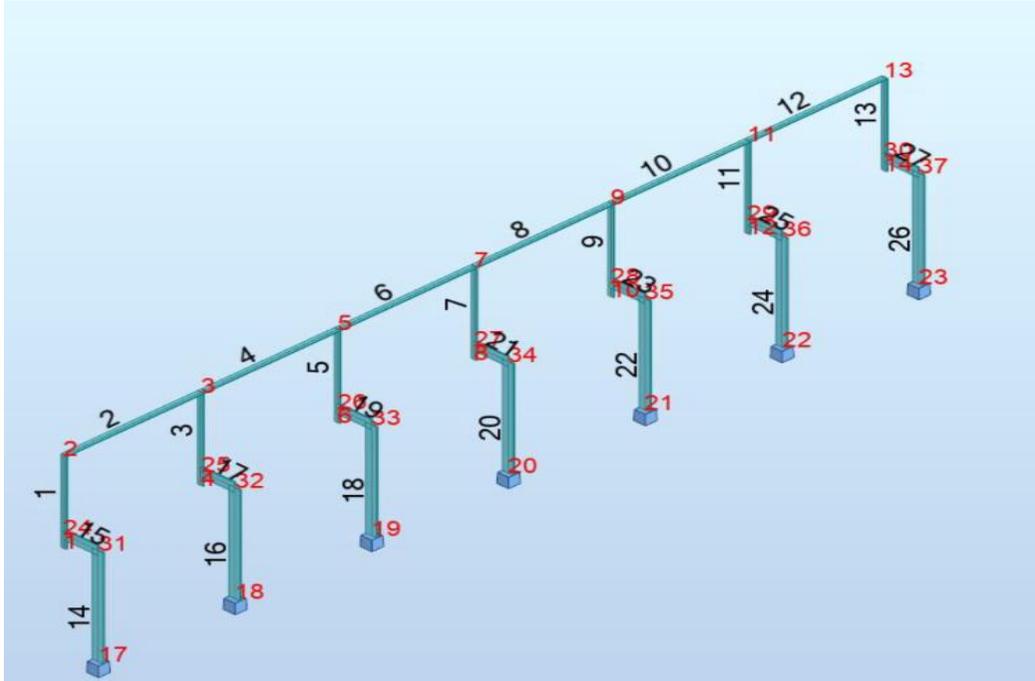
DB-SE

Seguridad estructural



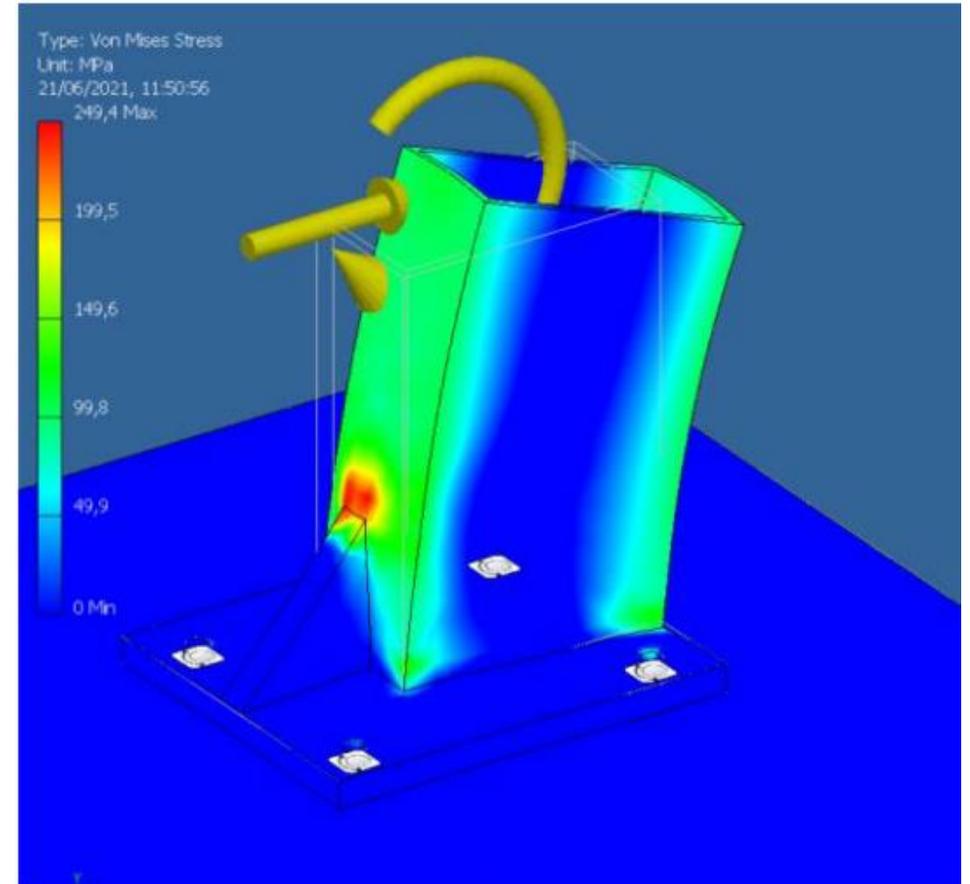
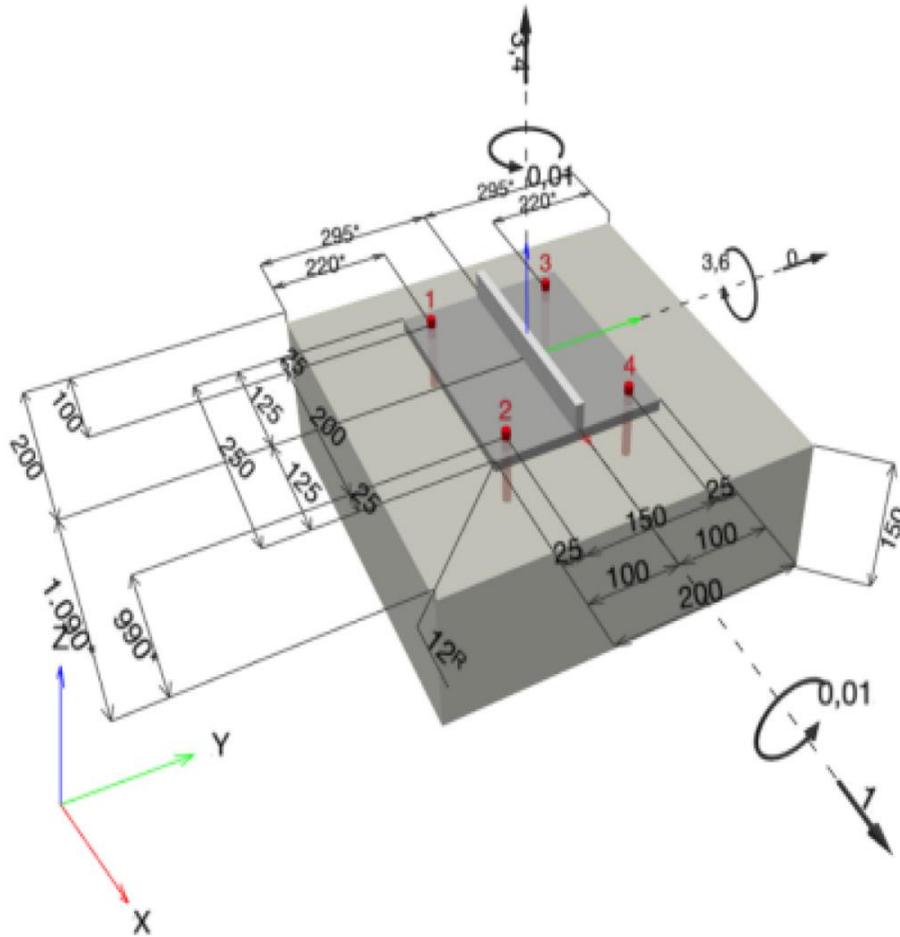
ZONA F	ZONA G	ZONA H	ZONA I
-2018	-1614	-969	+/-162

Proceso de diseño. Análisis estructural



Análisis estructural FEM (ENAR)

Proceso de diseño. Análisis estructural

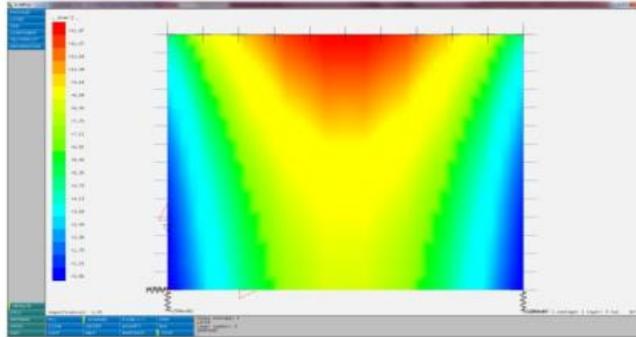


Análisis estructural FEM (ENAR)

Proceso de diseño. Análisis estructural

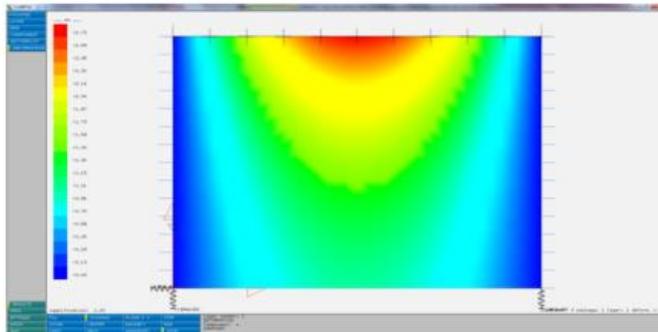
Composición del vidrio: 10T.10T.1. Dimensión del vidrio: 1,19 m (b) x 0,88 m (h)
 Soporte Viento: 2 Lados laterales. Soporte peso: Calzos en las esquinas inferiores.
 Cargas: PP, V=1,38 KN/m², E=0,8 KN/m en el vidrio interior a 1,19 m del borde inferior.

COMPROBACIÓN A TENSIÓN



$\sigma_{\text{máx}}$ (N/mm ²)	<	σ_{adm} (N/mm ²)	
11,87	<	87,5	OK

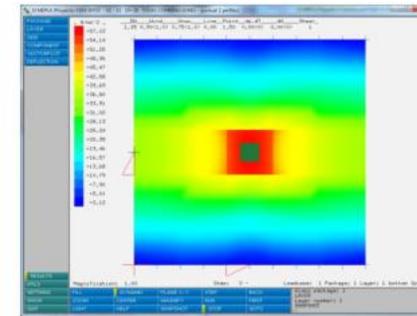
COMPROBACIÓN A DEFORMACIÓN



$\delta_{\text{máx}}$ (mm)	<	δ_{adm} (mm)	
2,74	<	4,95 (L/240)	OK

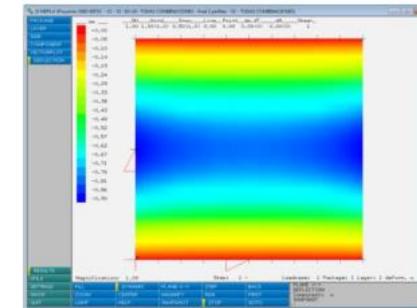
Composición del vidrio: 10T.10T.1. Dimensión del vidrio: 0,6 m (b) x 0,6 m (h)
 Soportes Vidrio: 2 Lados paralelos.
 Cargas: PP, CU=5KN/m², CU_{punt}=4KN en centro (50x50mm), V_{ab}=0.2 KN/m², V_{arr}=0.97 KN/m², N=0.6 KN/m².

COMPROBACIÓN A TENSIÓN



$\sigma_{\text{máx}}$ (N/mm ²)	<	σ_{adm} (N/mm ²)	
57,03	<	69,75	OK

COMPROBACIÓN A DEFORMACIÓN



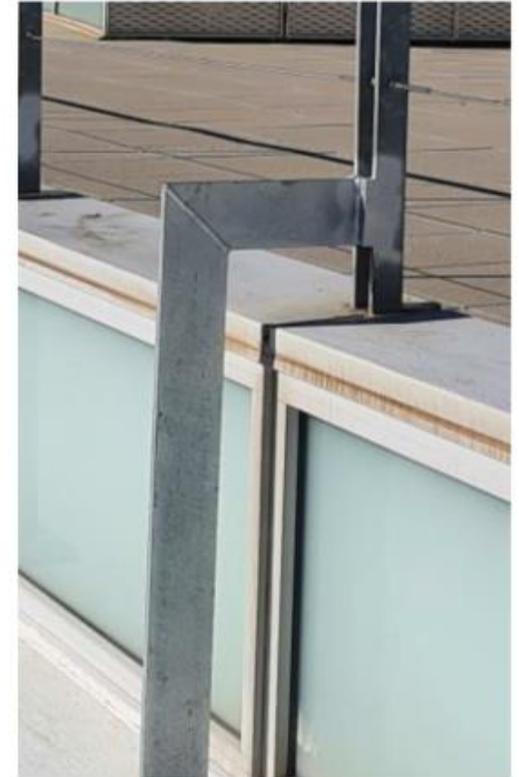
$\delta_{\text{máx}}$ (mm)	<	δ_{adm} (mm)	
0,9	<	1,2 (L/500)	OK

Análisis estructural FEM (ENAR)

Ejecución

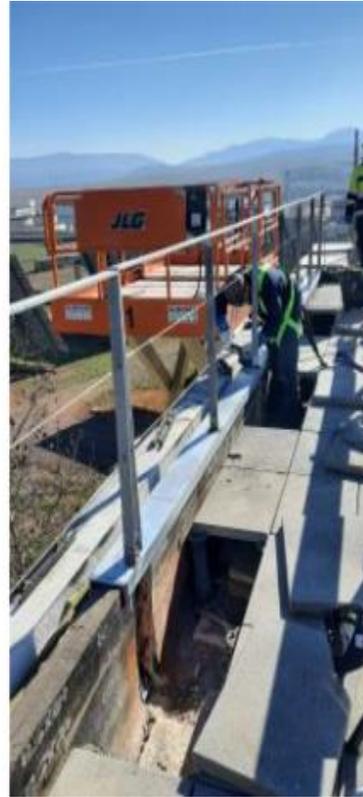


Fotos de fabricación e instalación (BIPVBoost report)



Fotos de fabricación e instalación (BIPVBoost report)

Ejecución



Fotos de fabricación e instalación (BIPVBoost report)



Fotos de fabricación e instalación (BIPVBoost report)



Fotos de fabricación e instalación (BIPVBoost report)

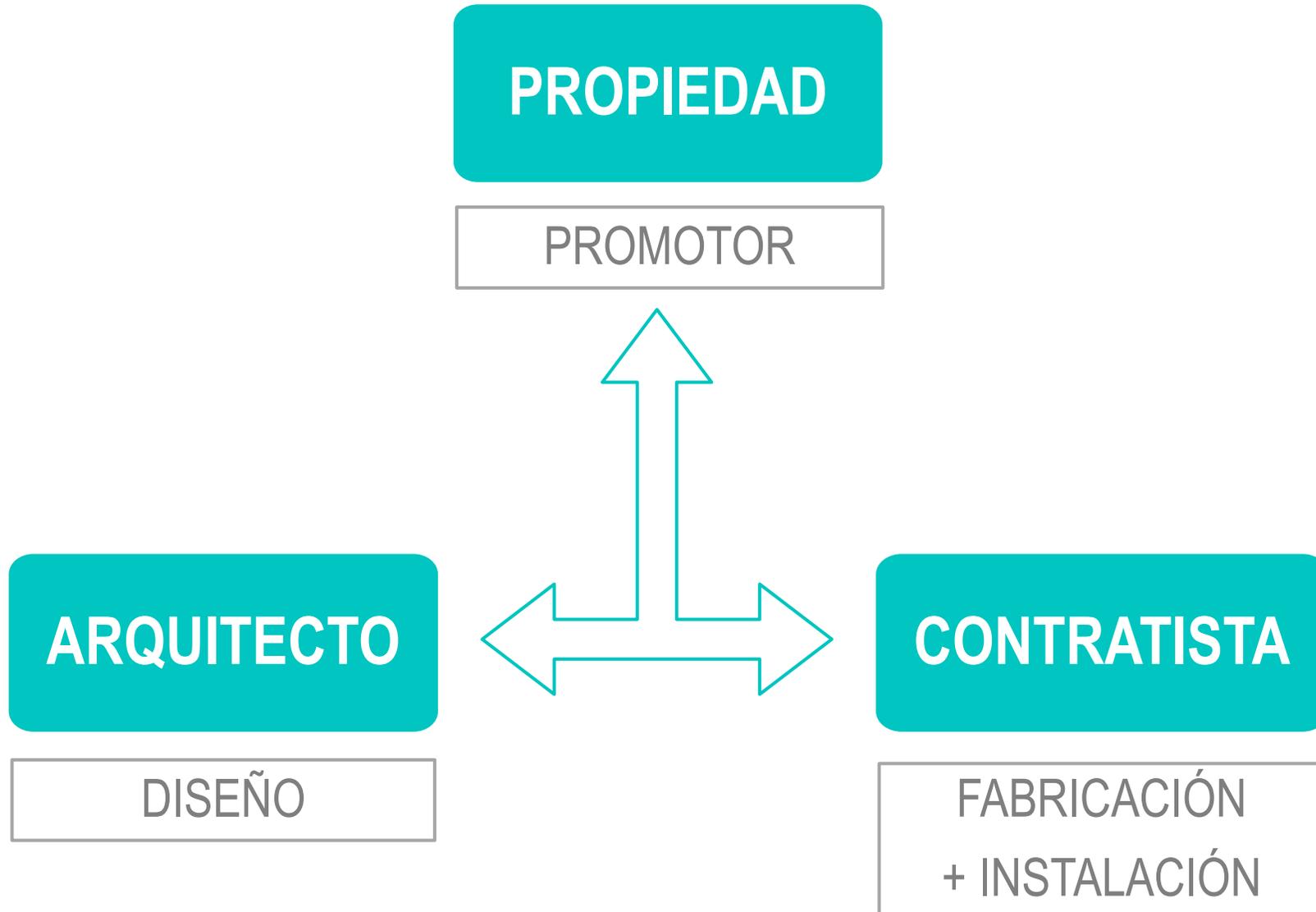
Ejecución



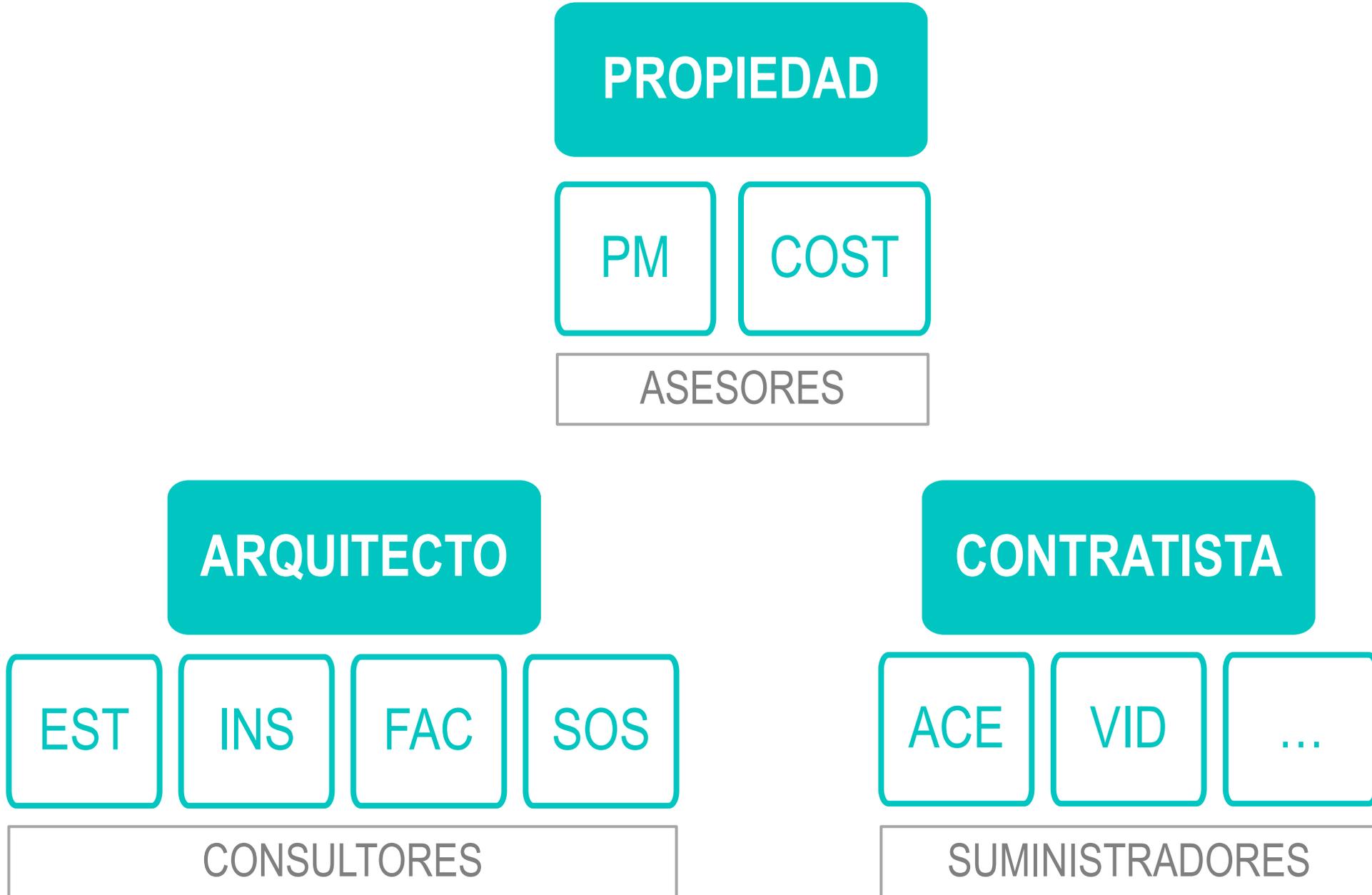
Fotos de fabricación e instalación (BIPVBoost report)

02 BIPV – Proceso de diseño

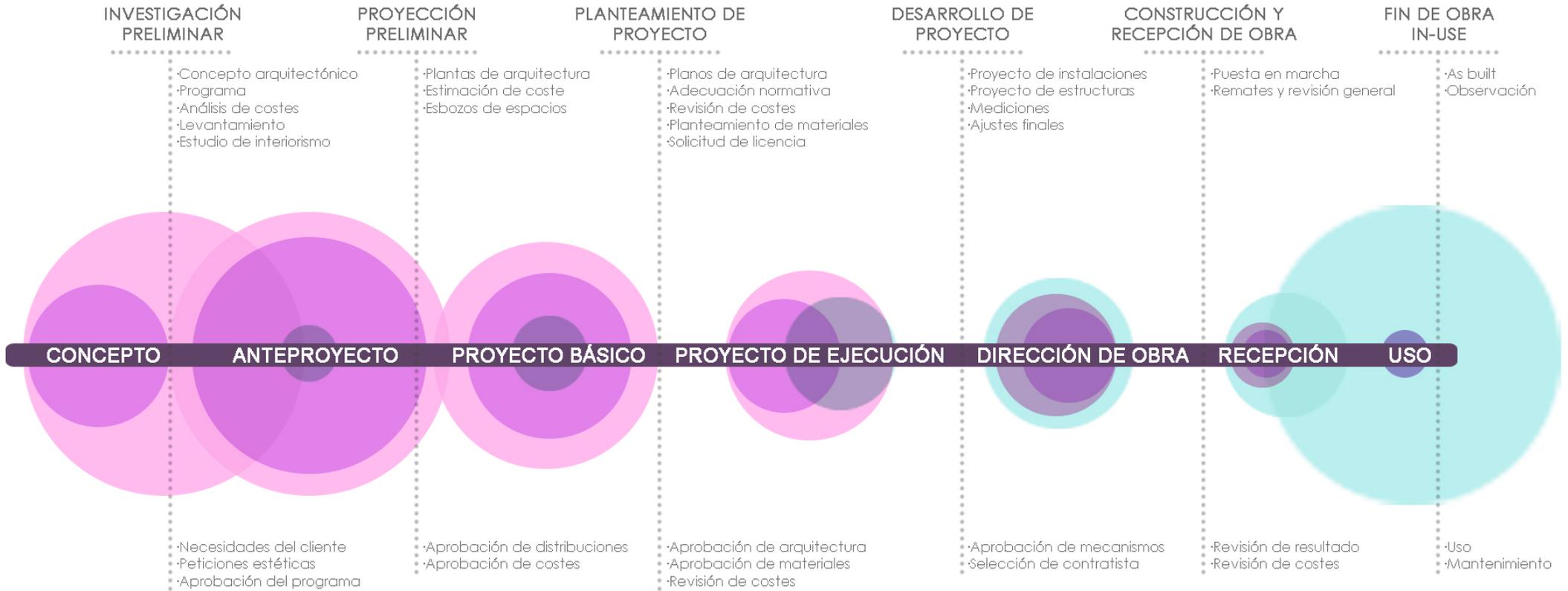
Agentes de proyecto



Agentes de proyecto

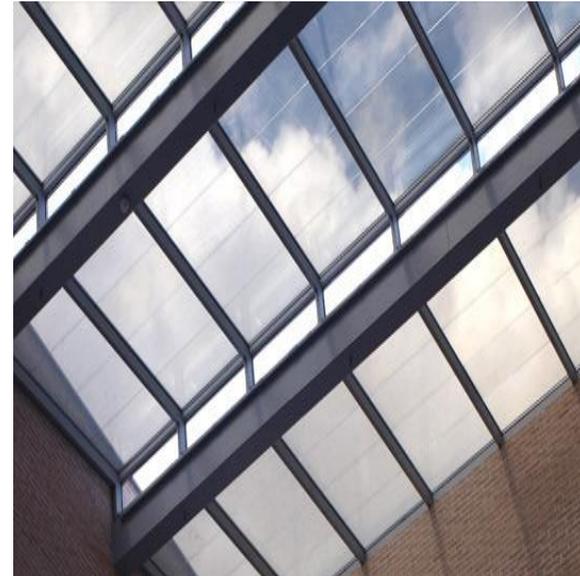
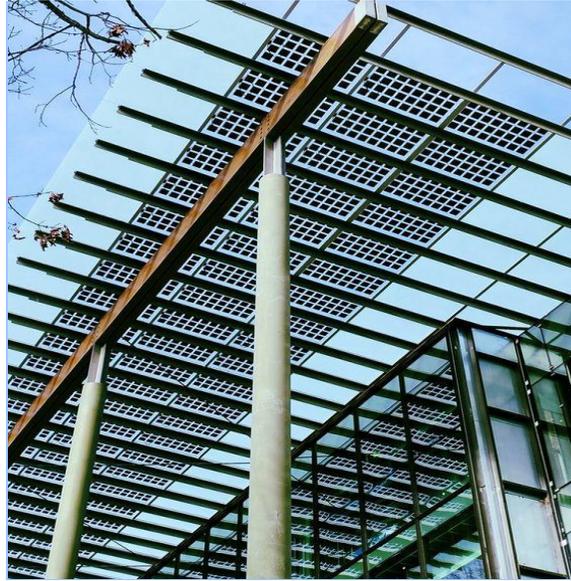
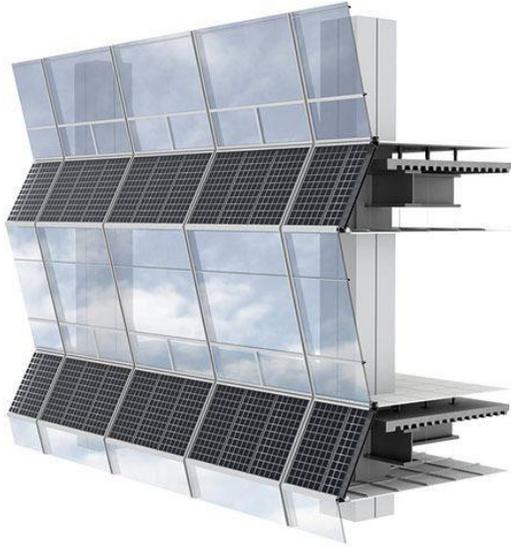


Fases de proyecto

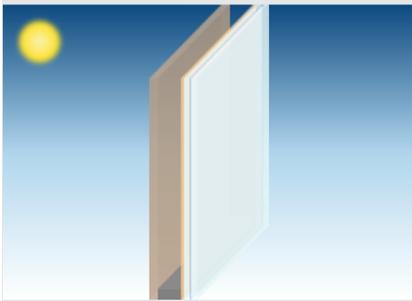


De izquierda a derecha: Influencia del diseño sobre el consumo / Influencia del arquitecto sobre el proyecto / Consumo energético

Estrategias de diseño



Aspectos técnicos



Hoja 1	PARSOL BRONZE (6 mm) Thermally toughened : Float
Cámara 1	ARGON (90%) / AIR (10%) / 16 mm
Hoja 2	COOL-LITE XTREME 70-33 PLANICLEAR (4 mm) Annealed : Float PVB silence (2 x 0.38 mm) PLANICLEAR (4 mm) Annealed : Float

SGG CLIMALIT PLUS COOL-LITE XTREME 70/33 F3
SECURIT 6 (16 argon) 44.2 Si

PROPUESTA B
Para: ENAR | Proy. Torre Banco Sabadell
Prestaciones exclusivamente válidas para productos STADIP / CLIMALIT

Saint-Gobain Building Glass
CITAV
Fernando de la Rubia
C/ Príncipe de Vergara, 132
28002 Madrid
España
0034 91 397 25 42
fernando.delarubia@saint-gobain.com

<p>FACTORES LUMINOSOS CIE (15-2004)</p> <p>Transmisión luminosa (TL %) 38 % Reflexión exterior (RLe %) 7 % Reflexión interior (RLi %) 9 %</p>	<p>FACTORES ENERGÉTICOS EN410 (2011-04)</p> <p>Transmisión energética (Te %) 16 % Reflexión (Ree %) 19 % Interior (Rei %) 29 % Absorción (AE1) 57 % Absorción (AE2) 8 %</p>
<p>FACTORES COLOR DE RENDERIZADO CIE (15-2004)</p> <p>Factor Solar (g) 0.26 Coeficiente de sombra (SC) 0.30</p> <p>Transmisión (Ra) 94.4 Reflexión (Ra) 95.4</p>	<p>TRANSMITANCIA TÉRMICA EN673 (2011-04)</p> <p>Ug 1.0 W/m².K 0° en relación a posición vertical</p>
<p>RESISTENCIA ANTI-AGRESIÓN EN356</p> <p>Resultado: NPD/P2A</p>	<p>DIMENSIONES DE FABRICACIÓN</p> <p>Espesor nominal 30.8 mm Peso 36 kg/m²</p>
	<p>RESISTENCIA A IMPACTO DE CUERPO PENDULAR EN12600</p> <p>Resultado: 1C2/1B1</p>
	<p>ACÚSTICA EN12758</p> <p>Valores acústicos según EN 12758 y cuerpo notificado - OITC (ASTM E1332) N/A STC (ASTM E413) N/A</p>

Ficha técnica doble acristalamiento

VIDRIO FOTOVOLTAICO		1030 x 980	
GL02		Mono 158	Cristalino
Características eléctricas (STC)			
Potencia nominal	93	P _{mpp} (Wp)	
Voltaje circuito abierto	17	V _{oc} (V)	
Intensidad de cortocircuito	7,15	I _{sc} (A)	
Voltaje máxima potencia	14	V _{mpp} (V)	
Intensidad máxima potencia	6,92	I _{mpp} (A)	
Tolerancia de potencia	±10	%	
STC: 1000 w/m², AM 1.5 y temperatura de célula de 25°C, estado del módulo estabilizado.			
Características constructivas			
Longitud	1030	mm	
Anchura	980	mm	
Espesor total	33,8	mm	
Área total	1,01	sqm	
Peso específico	40	Kgs	
Célula fotovoltaica	6" Mono 158	Cristalino	
Número células / Grado transparencia	25	0%	
Vidrio frontal	4 mm	Vidrio termoend. Frit color	
Vidrio trasero	4 mm	Vidrio termoend. Frit negro	
Cámara	16 mm	Cámara de argón	
Vidrio interior	8 mm	Vidrio termoendurecido	
Espesor encapsulante	1,80 mm	Láminas EVA	
Código color		Anthracite	
Caja de conexiones			
Protección	IP65		
Sección de cableado	2,5 mm² or 4,0 mm²		
Límites			
Tensión máxima del sistema	1000	V _{sys} (V)	
Temperatura de operación	-40...+85	°C	
Coeficientes de temperatura			
Coeficiente de temperatura; P _{mpp}	-0,32	%/°C	
Coeficiente de temperatura; V _{oc}	-0,28	%/°C	
Coeficiente de temperatura; I _{sc}	0,07	%/°C	

*Especificaciones técnicas sujetas a cambio sin previo aviso por parte de Onyx Solar.

Ficha técnica vidrio fotovoltaico



03 BIPV – Experiencias recientes

a Castellana 66

Información de proyecto



Proyecto / **Castellana 66**

Localización / **Madrid**

Arquitectos / **CallisonRTKL + BAAL**

Propiedad / **Infinorsa**

Consultor fachadas / **ENAR**

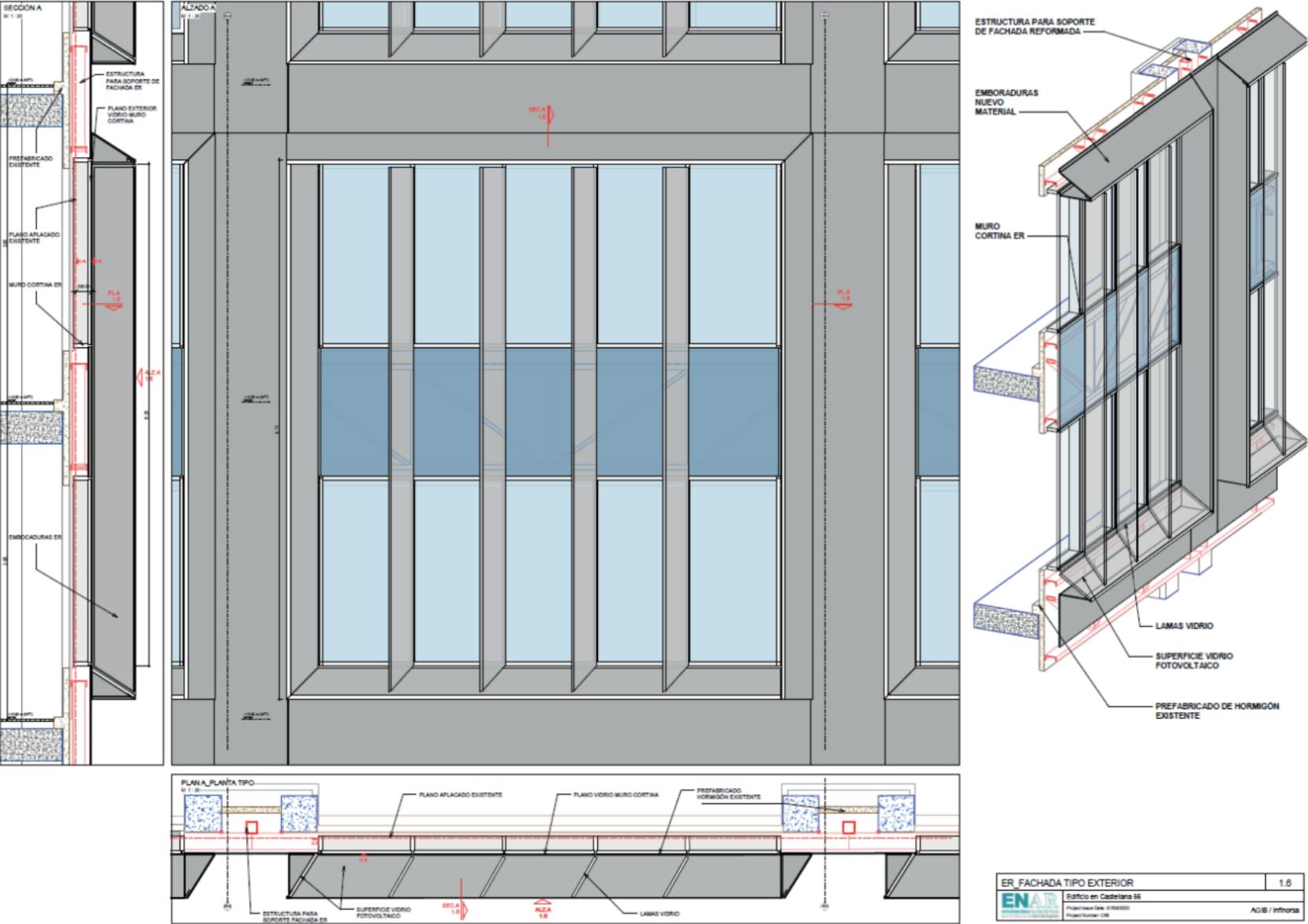
Contratista fachada / **Aluman**



Imágenes de proyecto (Callison RTKL)



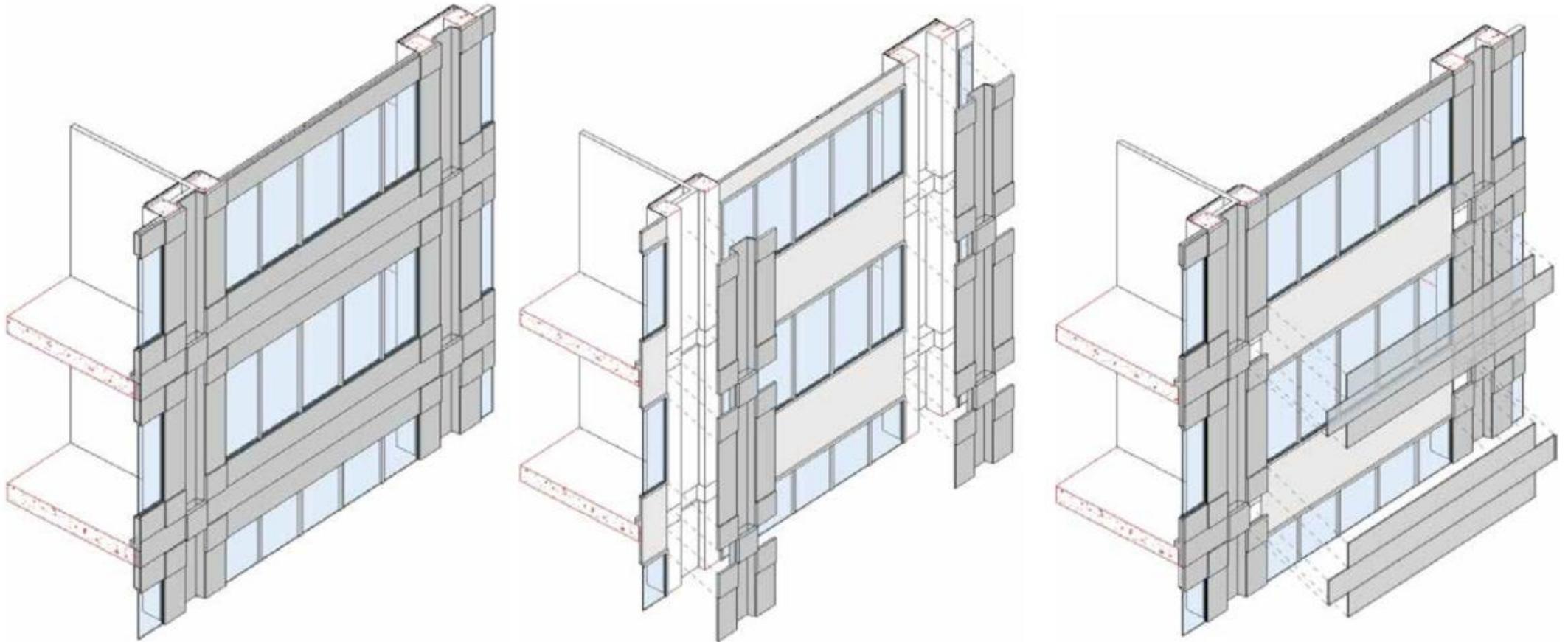
Imágenes de proyecto (Callison RTKL)



ER_FACHADA TIPO EXTERIOR	1.0
ENAR	Edificio en Castellana 66
Proyecto de Arquitectura	Proyecto de Arquitectura
	AJIB / Infrorsa

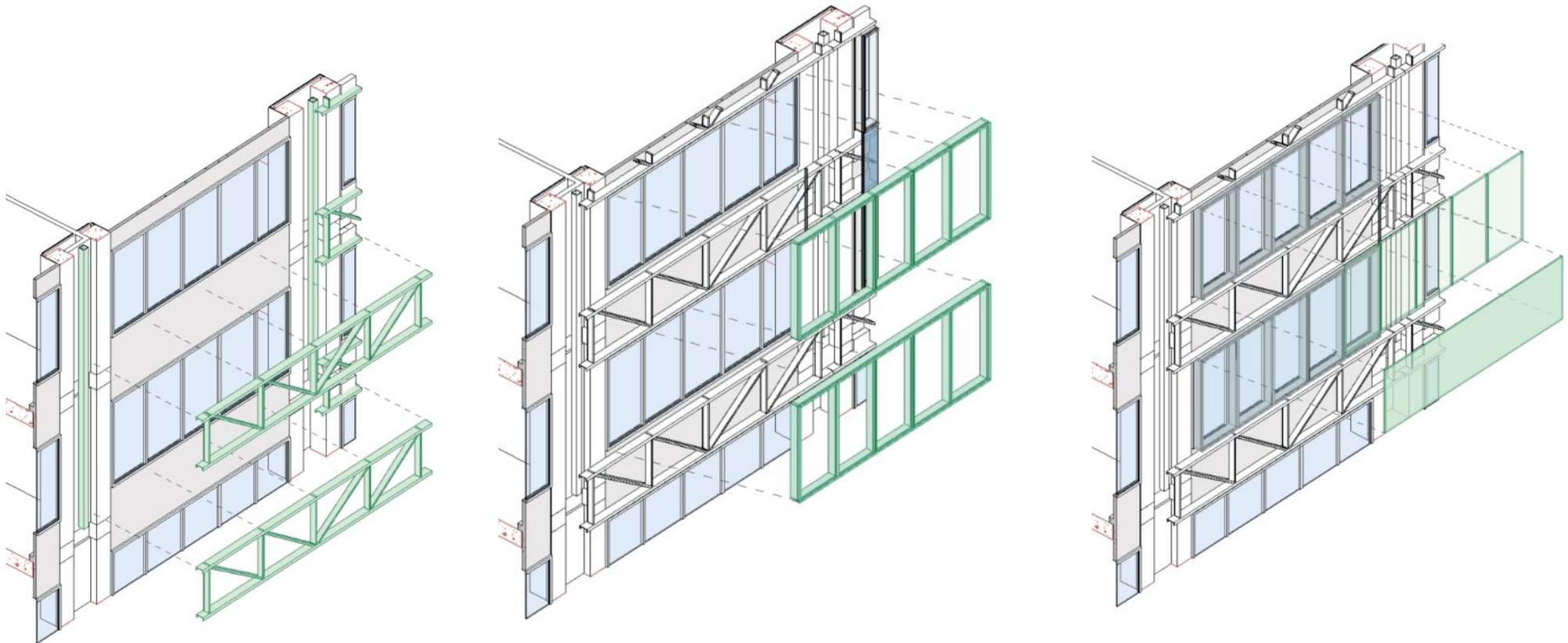
Solución de proyecto (ENAR)

Proceso constructivo



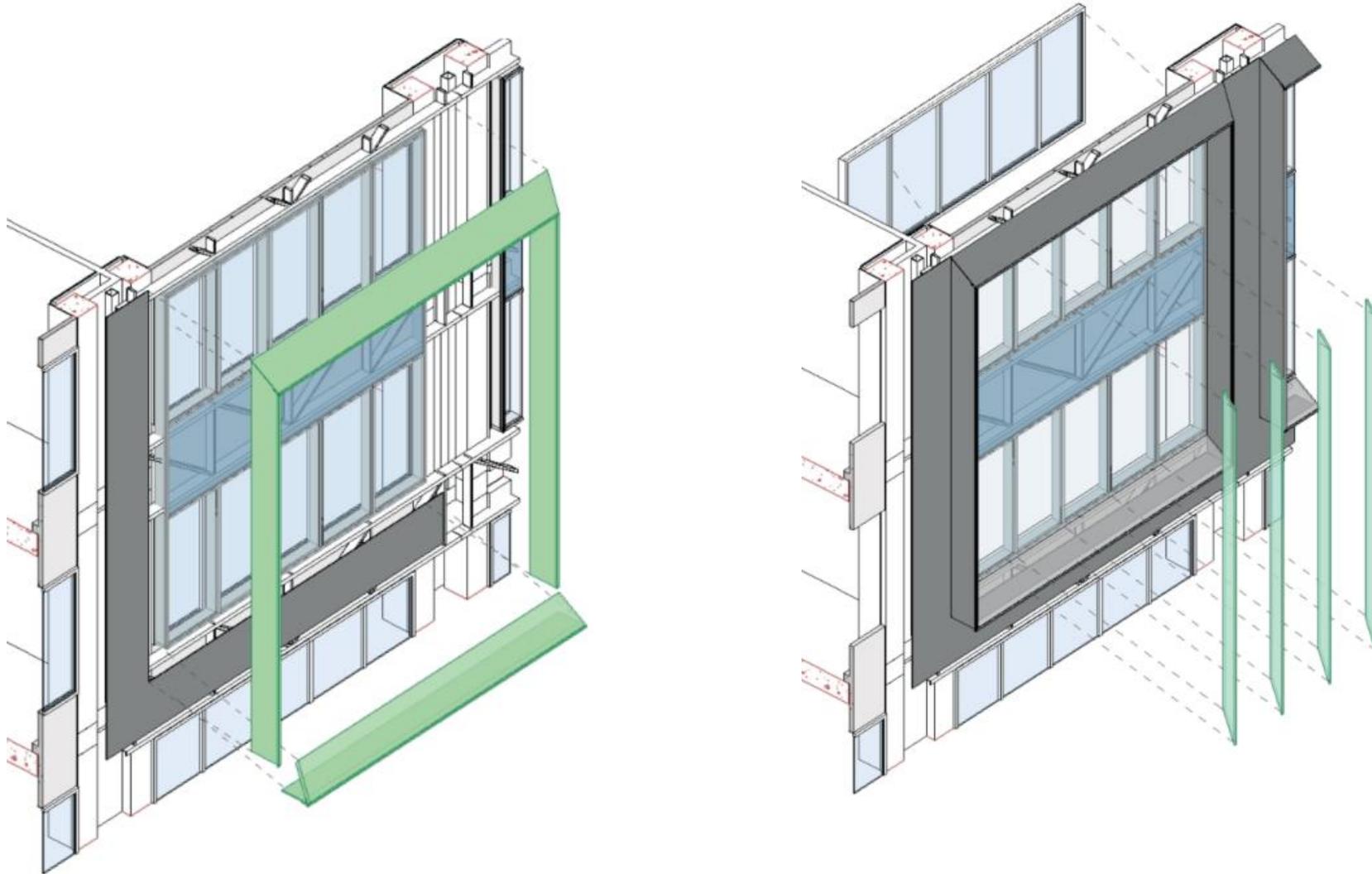
Proceso constructivo (ENAR)

Proceso constructivo

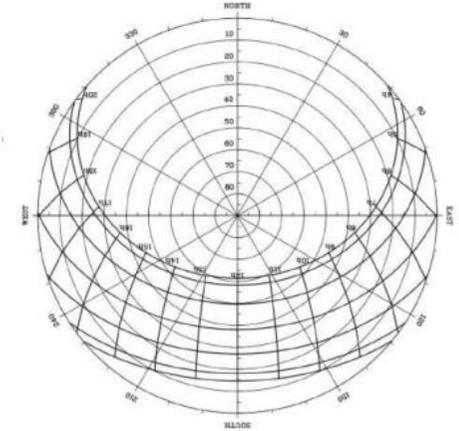
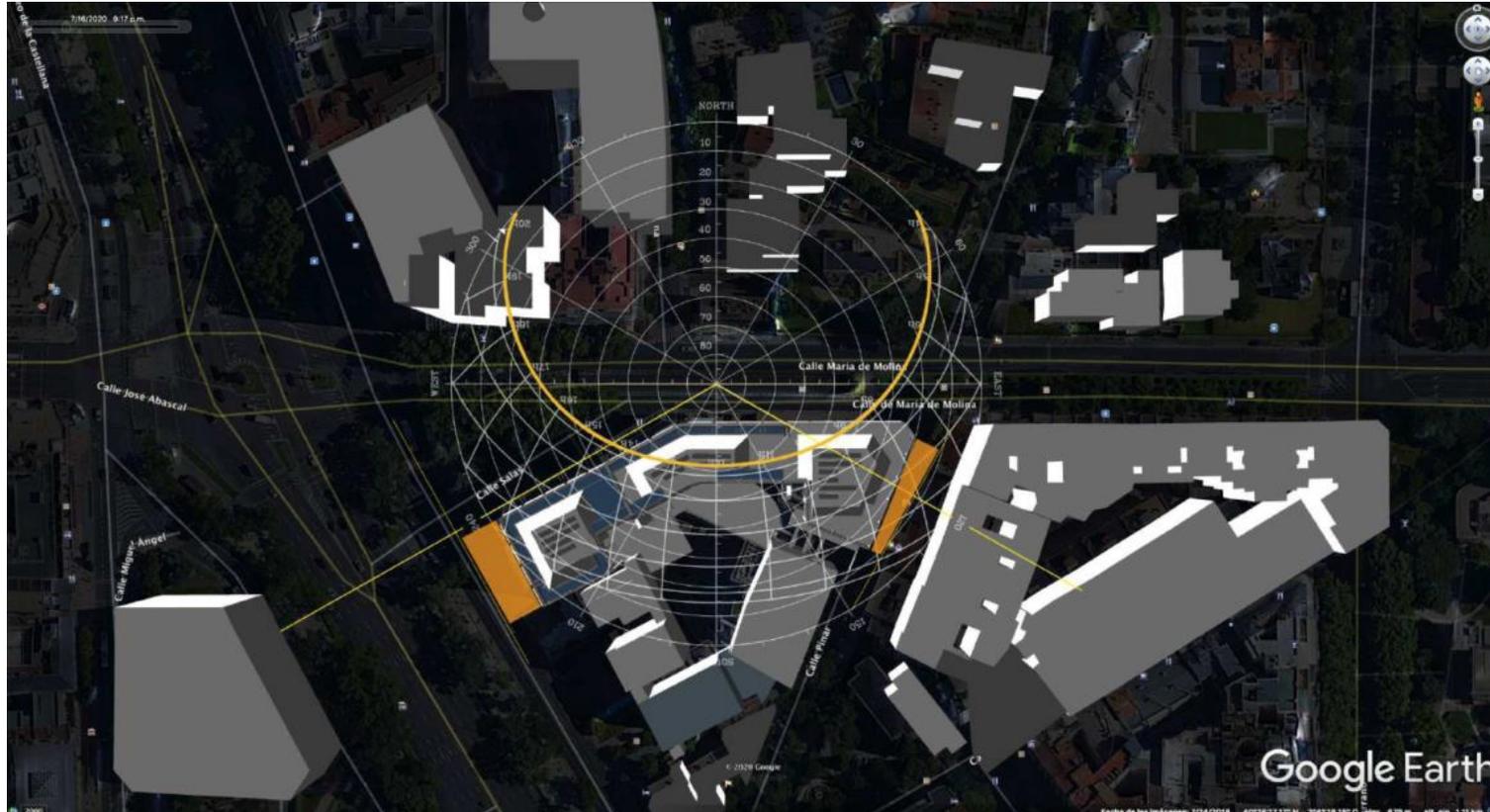


Proceso constructivo (ENAR)

Proceso constructivo



Proceso constructivo (ENAR)



Análisis de radiación (MAGNA)



PRINCIPALES GRUPO ENERGETICOS kWh/año

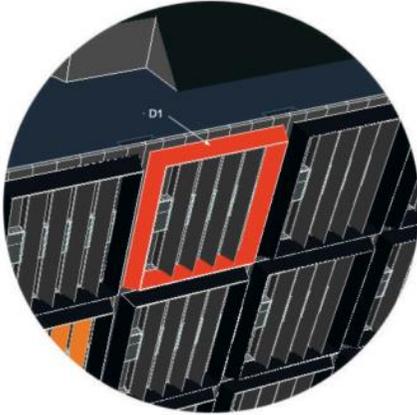
- GRUPO SOLAR CUBIERTA BAPV A1
- GRUPO SOLAR INCLINADA BIPV A2
- MARQUESINA SOLAR B1
- FACHADA PROTEGIDA C1
- FRAME ARQUITECTONICO CASTELLANA C2
- FRAME ARQUITECTONICO M.MOLINA M1
- FRAME ARQUITECTONICO M.MOLINA M2
- FRAME ARQUITECTONICO PINAR D1
- SPANDREL FACHADA SUR B2
- LAMAS ORIENTABLES VIDRIO D2
- ESCALERA DE INCENDIOS E1 (E1A - E1B)
- FACHADA CENTRAL VERTICAL F1

GRUPO COLECTOR SOLAR

- Solar Group Roof Oriented BAPV A1
- Solar Group Roof BIPV A2
- Architectural Solar Awning B1
- Solar Facade C1
- Architectural Facade C2
- Architectural Facade M1
- Architectural Facade M2
- Architectural Facade D1
- Architectural Solar Spandrel B2
- Facade Blinds D2
- Fire Escape Staircase E1
- Vertical Centered Facade South F1

Análisis de radiación (MAGNA)

FRAME ARQUITECTONICO M.MOLINA M1



FACHADA MODULAR ARQUITECTONICA

MATERIAL PROYECTO ALUCOBOND



Castellana 66

Solar Design and Building Integration

M1



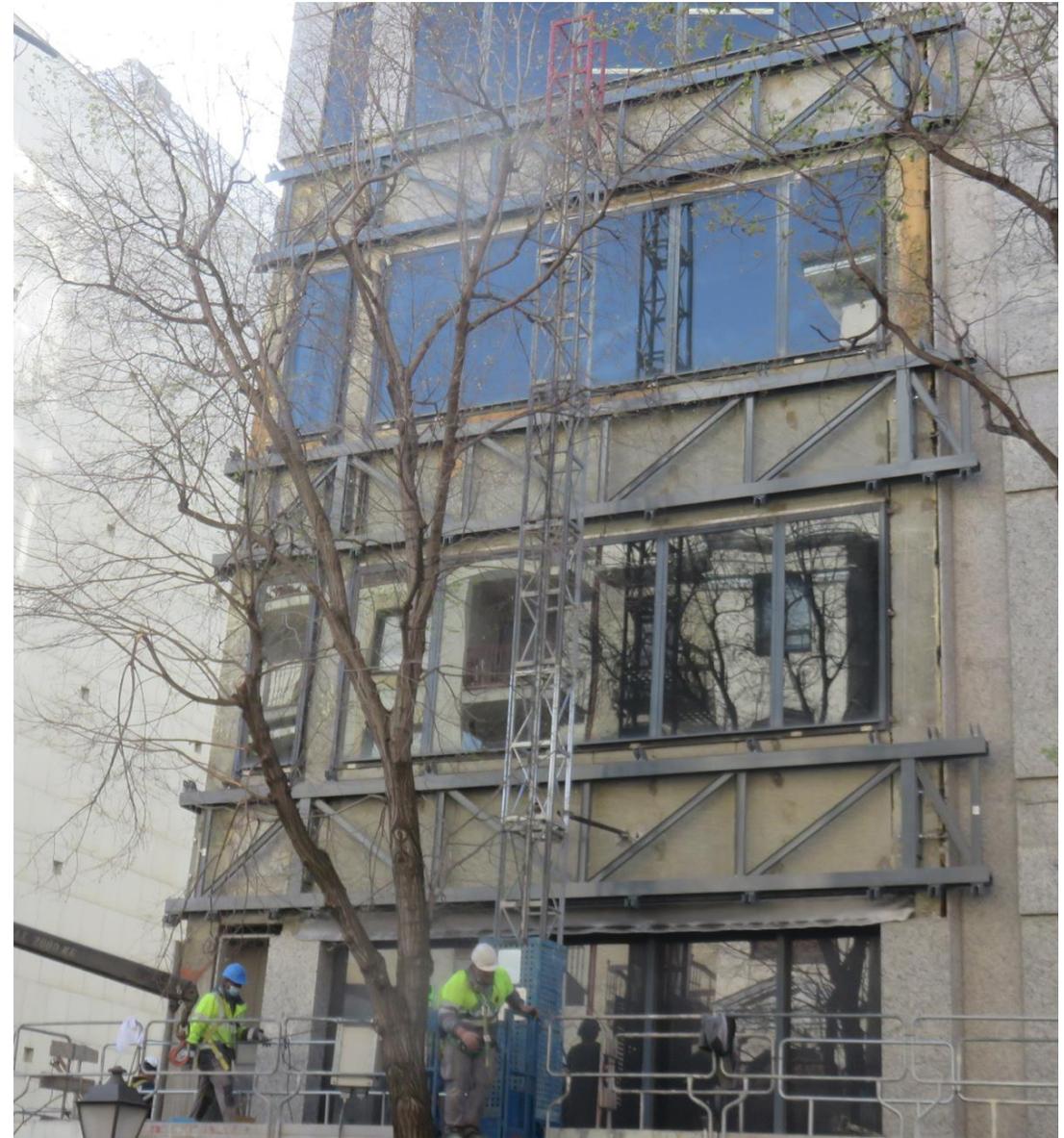
Observaciones

Diseño integrado en los frames arquitectónicos de fachada principal, teniendo en cuenta que las medidas de todos los marcos no son exactas y que la definición de módulos a medida para estos frames puede hacer una solución constructiva (en cuanto al diseño y fabricación de módulos), que debe ser tenida en cuenta. No obstante tanto las fachadas de Castellana como de Pinar son aceptables como propuesta mas bien "Arquitectónica Solar" que como puramente energética.

FRAME M-MOLINA M1	POTENCIA PICO	AREA MODULO SOLAR	PRODUCCION ESTIMADA	IRRADIANCIA	MATERIAL REF
	79,8 kWp	405.3 M ²	36.391,6 kWh	456,9 kWh/kWp	Porcelanic Frame
SISTEMA SOLAR ON-SITE	PERDIDA SOMBREADO	PRODUCCION M ²	MEDIA ANUAL		Precio Referencia
	-12,3 %	89,78 kWh/M ²	4.756,38 €/year		

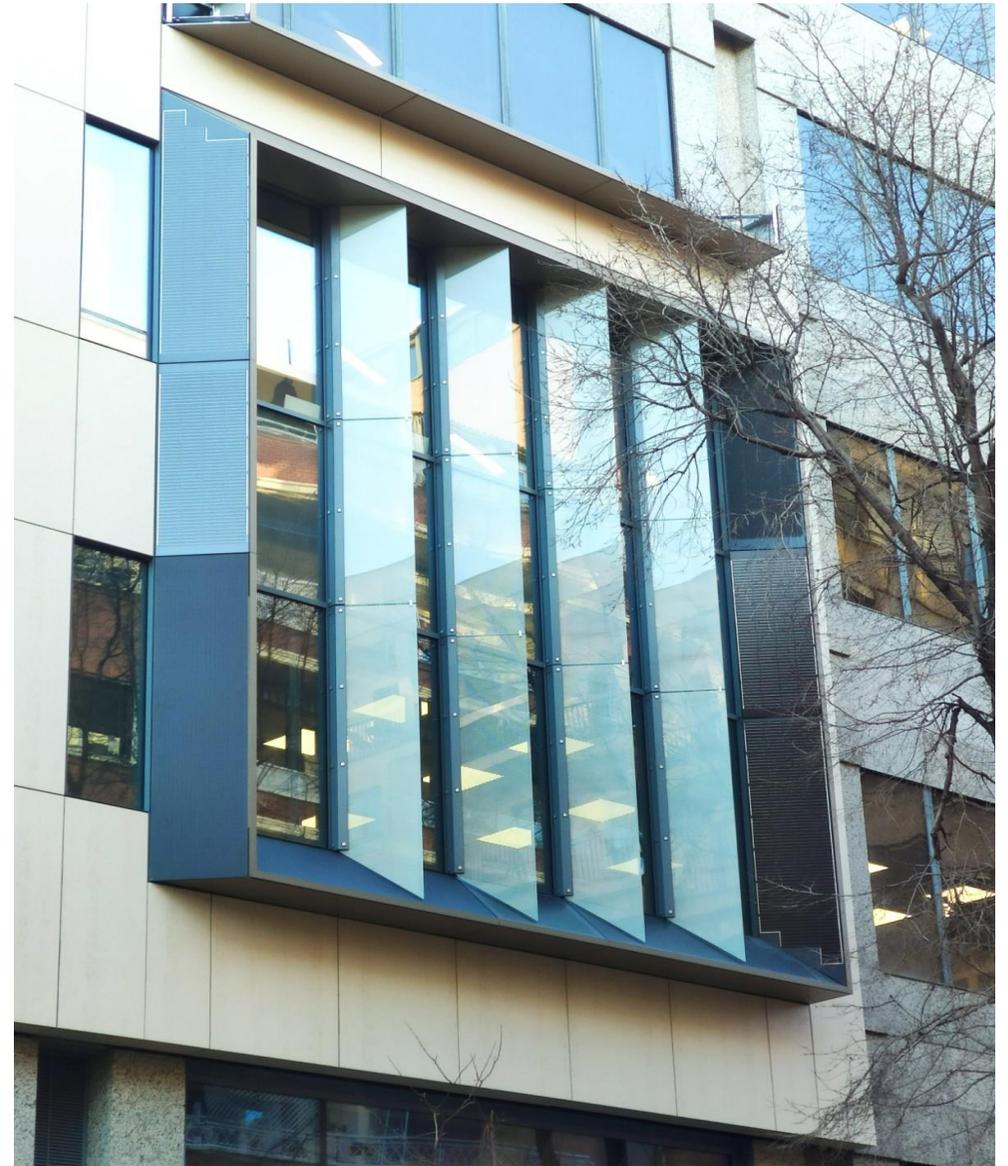
Análisis de radiación (MAGNA)

BIPV – Mock-Up Visual



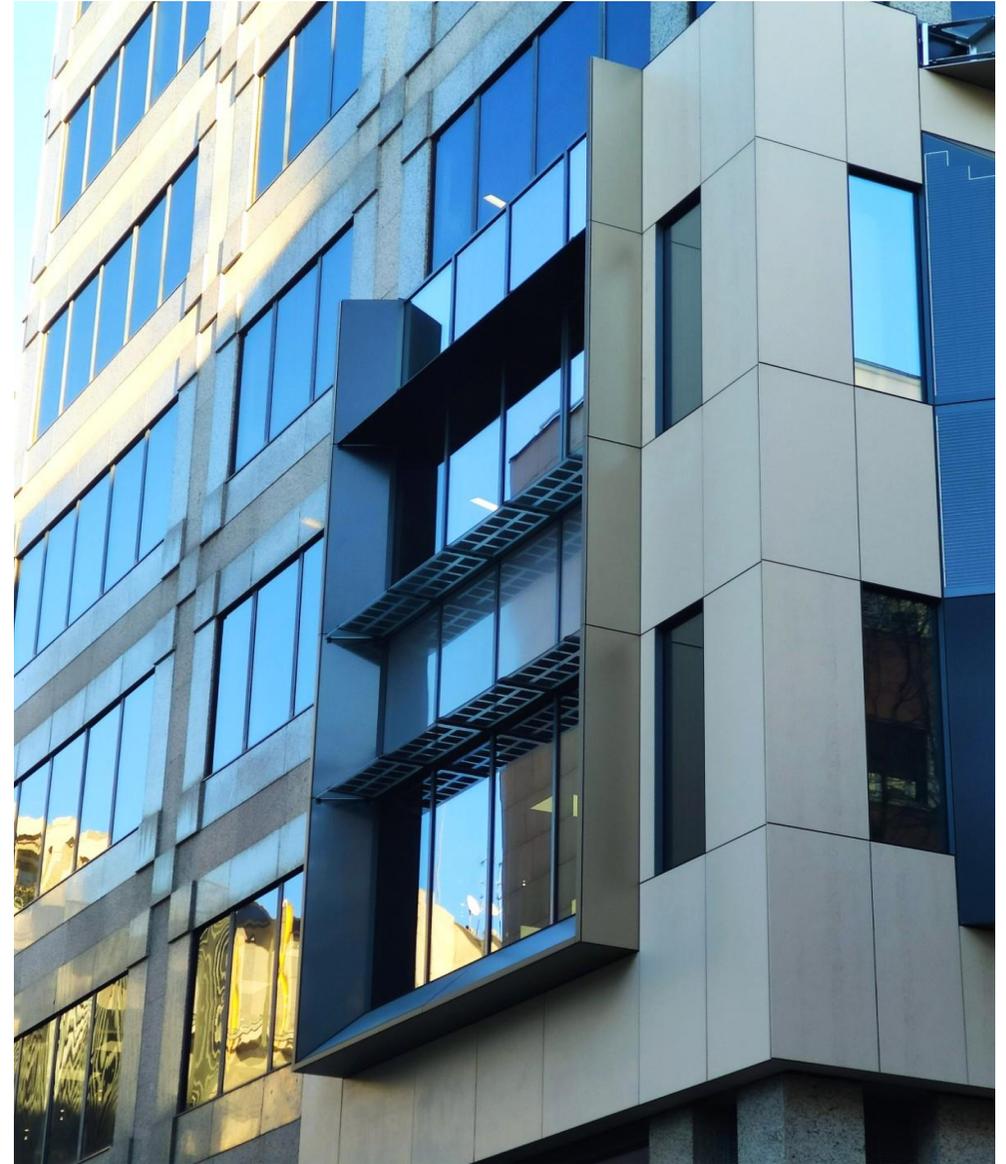
Instalación de Mock-up Visual (INASUS)

BIPV – Mock-Up Visual



Instalación de Mock-up Visual (INASUS)

BIPV – Mock-Up Visual



Instalación de Mock-up Visual (INASUS)

b Torre Diagonal 407



Visión aérea actual del edificio

Información de proyecto



Proyecto / **Torre Diagonal 407**

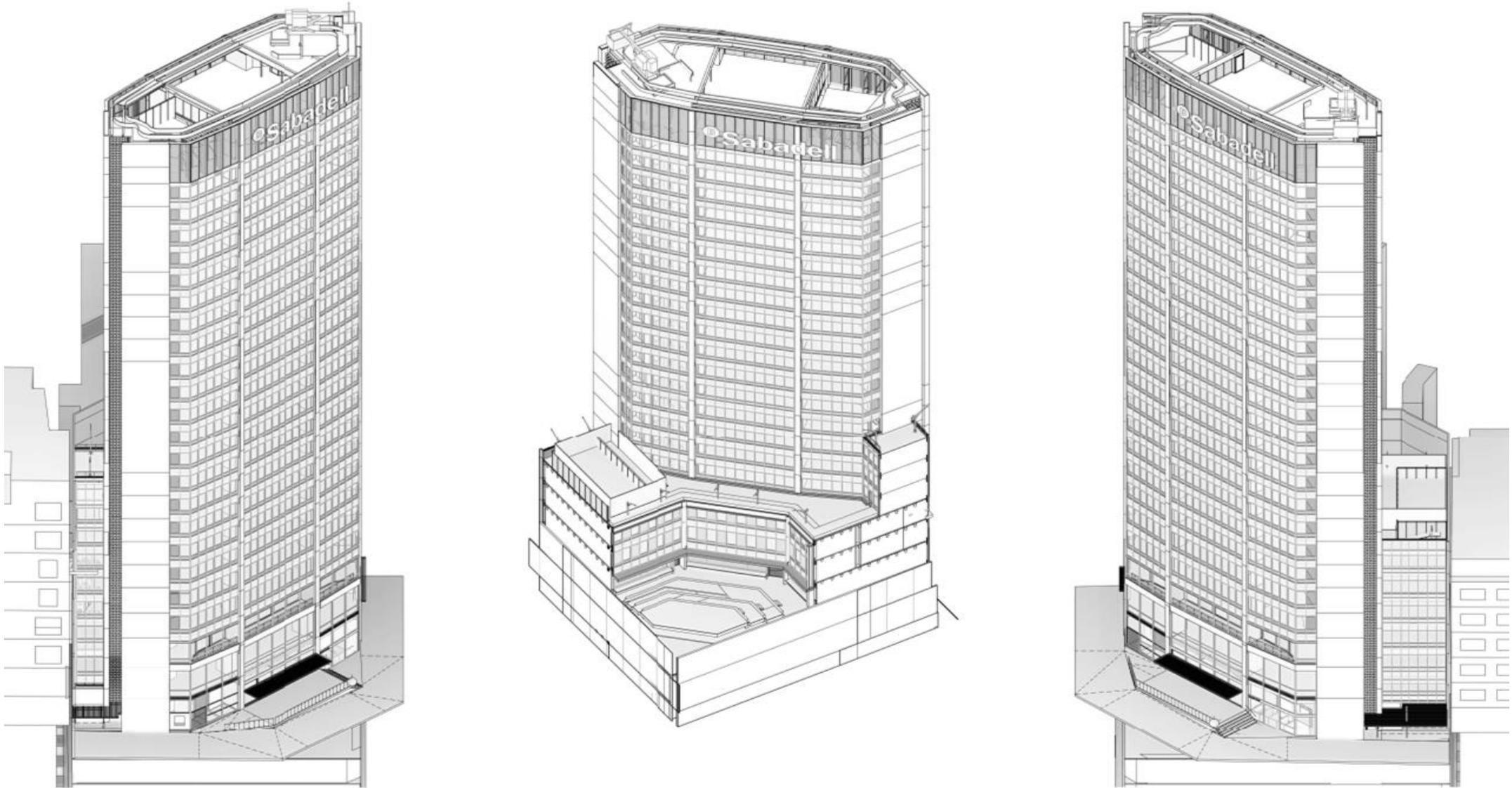
Localización / **Barcelona**

Arquitectos / **Mitjans + Balcels
Batlle i Roig**

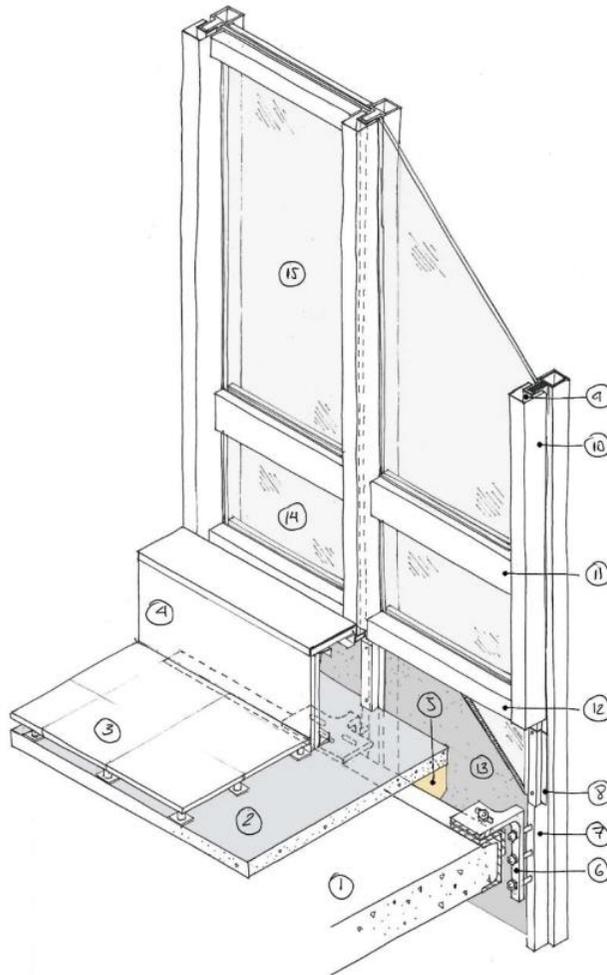
Propiedad / **Hines**

Consultor fachadas / **ENAR**

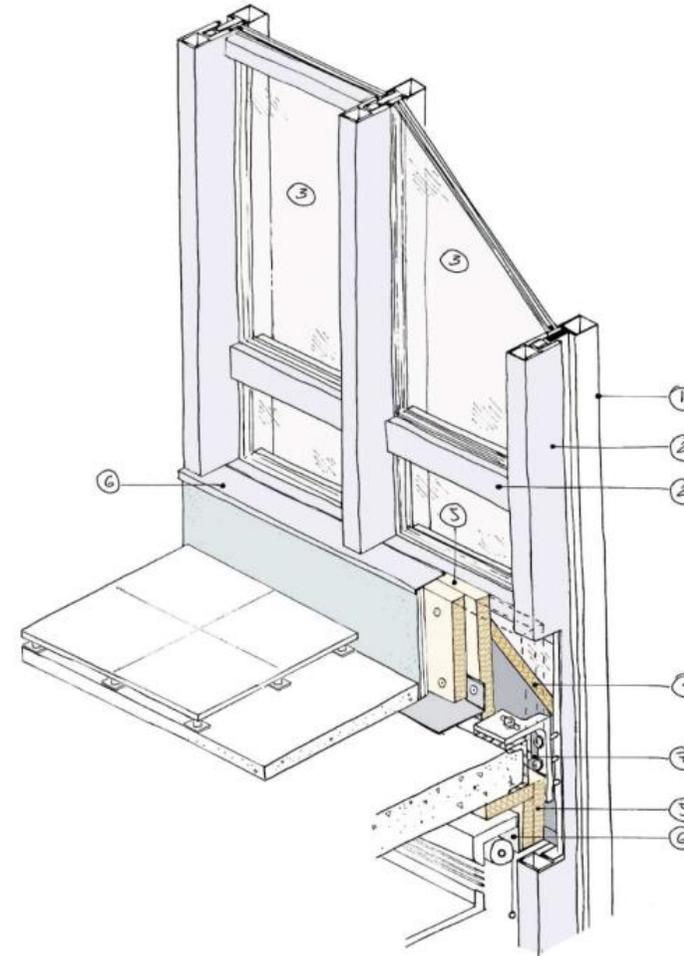
Contratista fachada / **Pendiente**



Axonometría estado actual (ENAR)



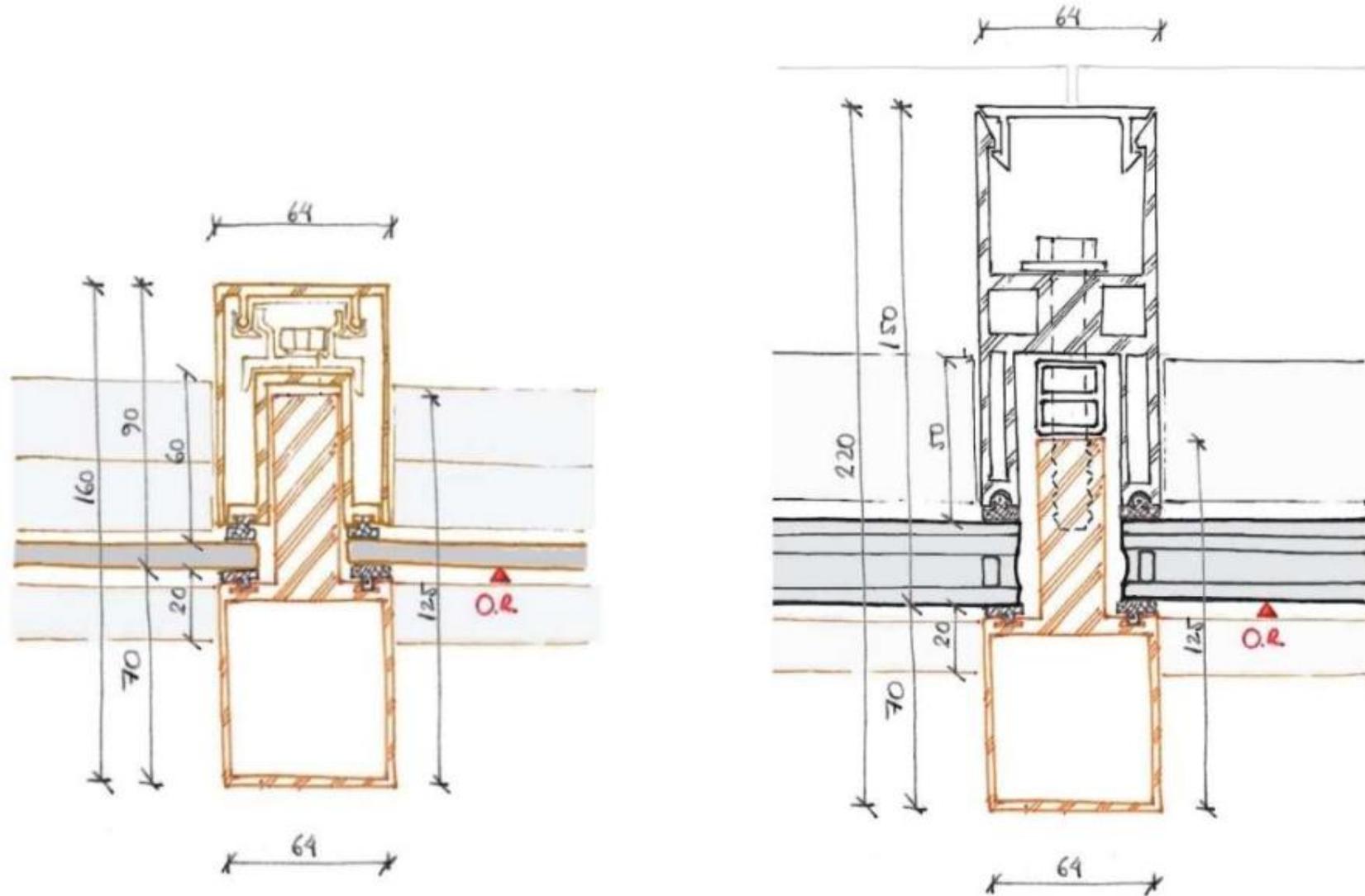
1. Forjado de hormigón
2. Recrecido de mortero
3. Falso suelo
4. Mueble cubre fancoil
5. Espuma
6. Anclaje de acero
7. Montante de aluminio
8. Presor interior (antepecho)
9. Presor interior (visión)
10. Tapeta interior (montante)
11. Tapeta interior (travesaño 1)
12. Tapeta interior (travesaño 2)
13. Panel amianto
14. Vidrio visión pequeño
15. Vidrio visión grande



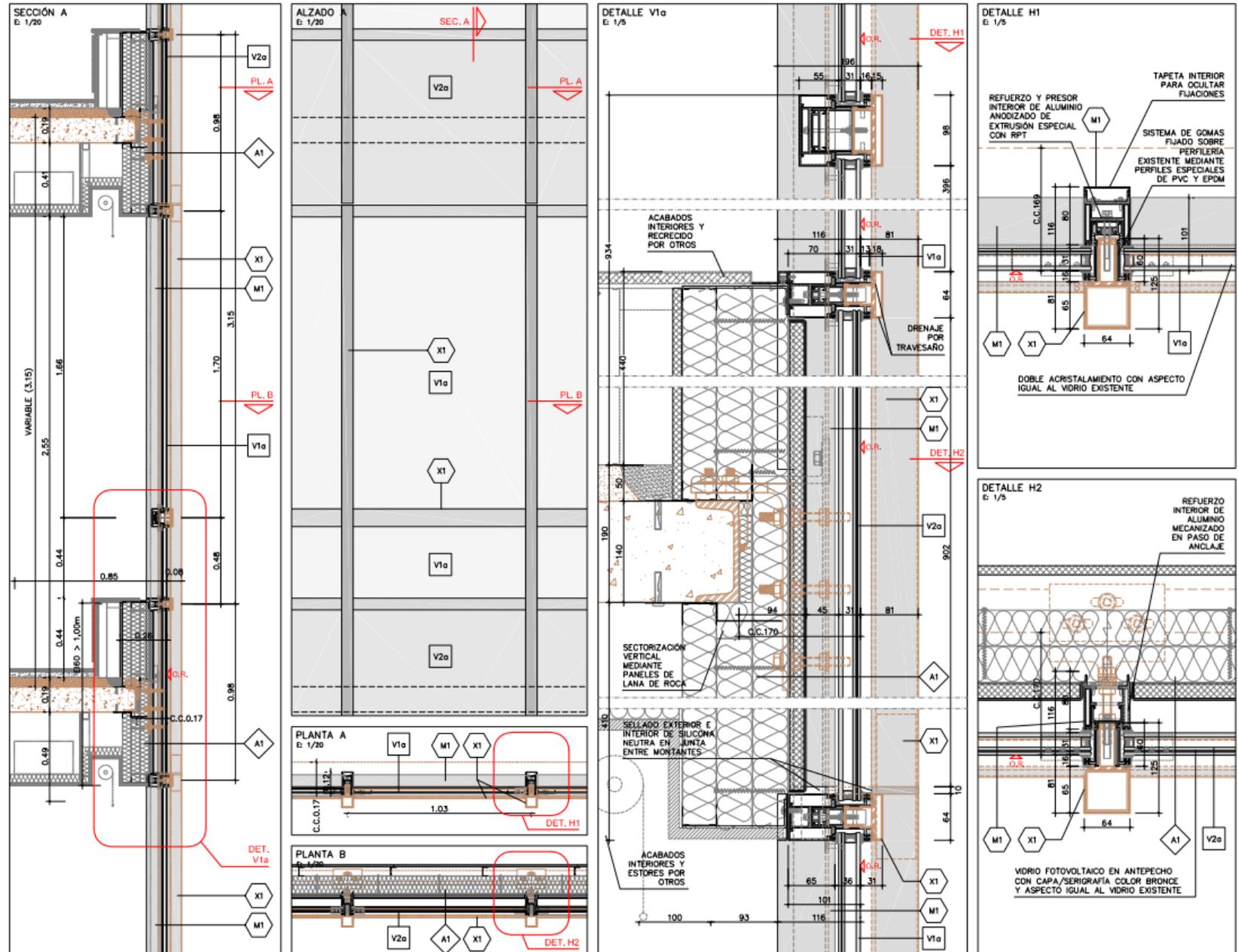
1. Perfilera existente
2. Perfilera añadida con RPT
3. Doble acristalamiento
4. Panel de aluminio
5. Sistema sectorización
6. Remates de chapa
7. Retacado de lana de roca

Axonometría estado actual (ENAR)

Axonometría de propuesta (ENAR)

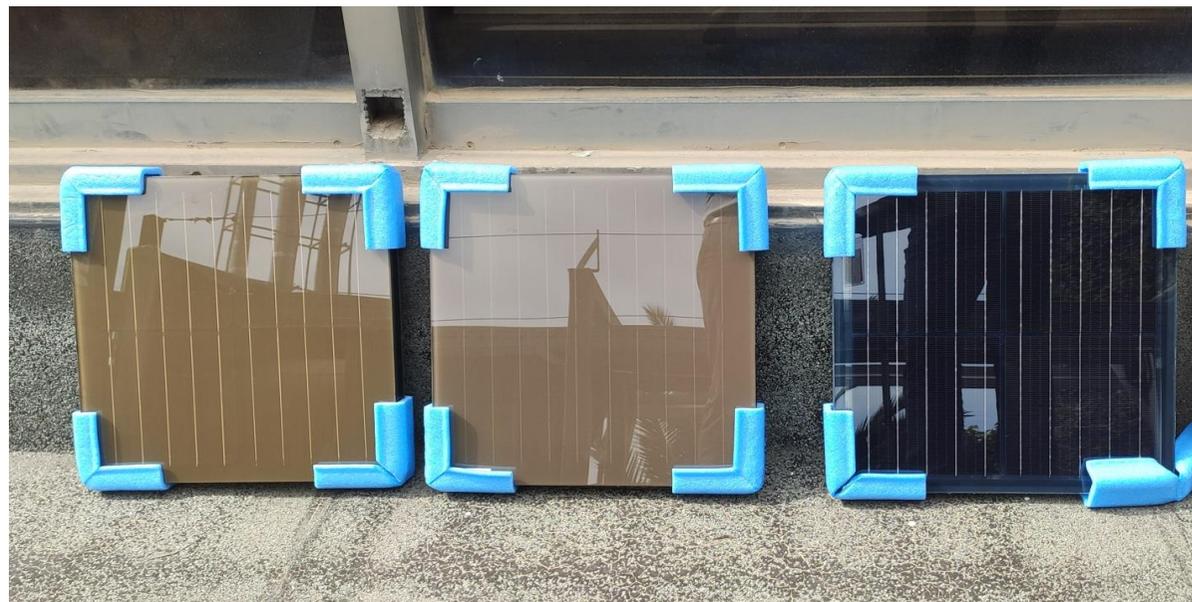


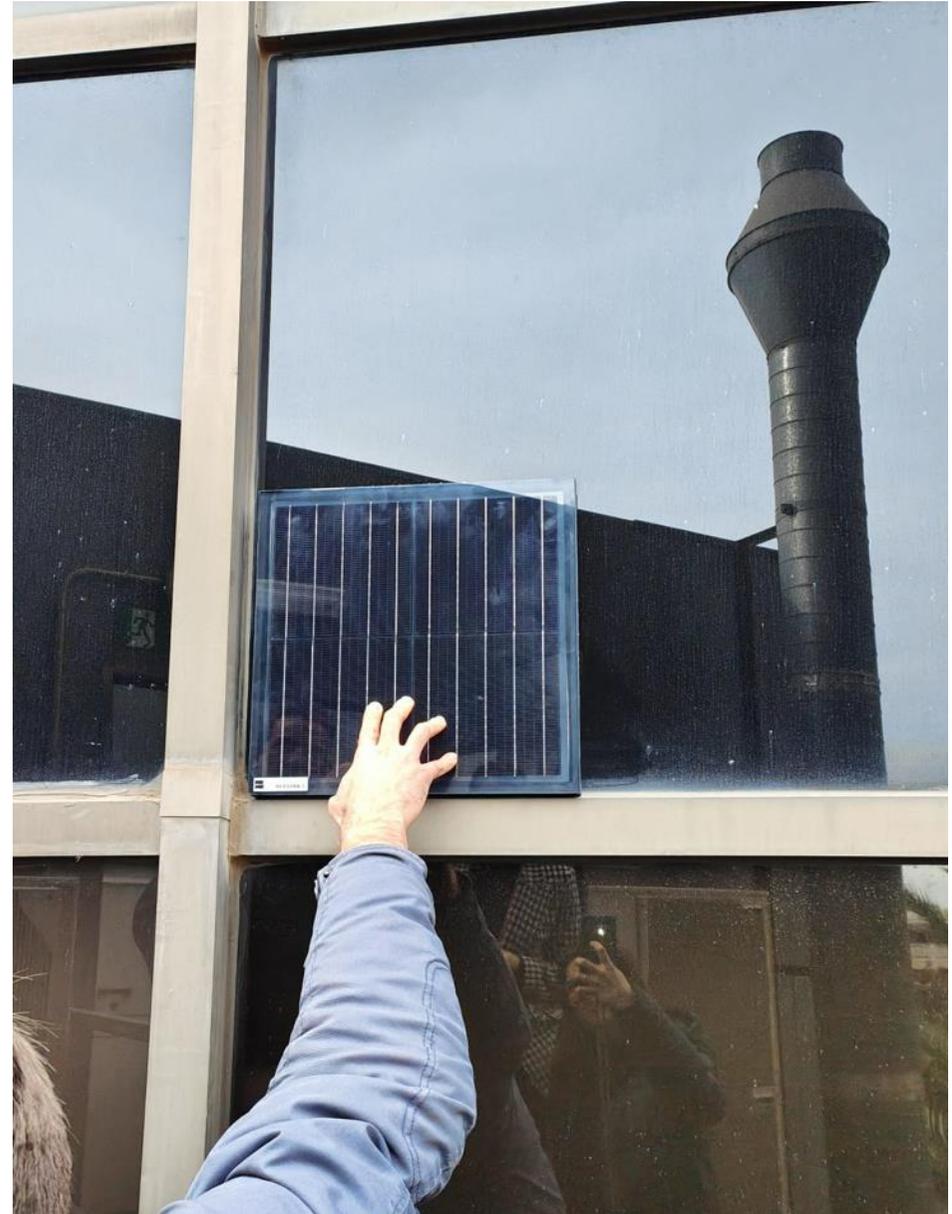
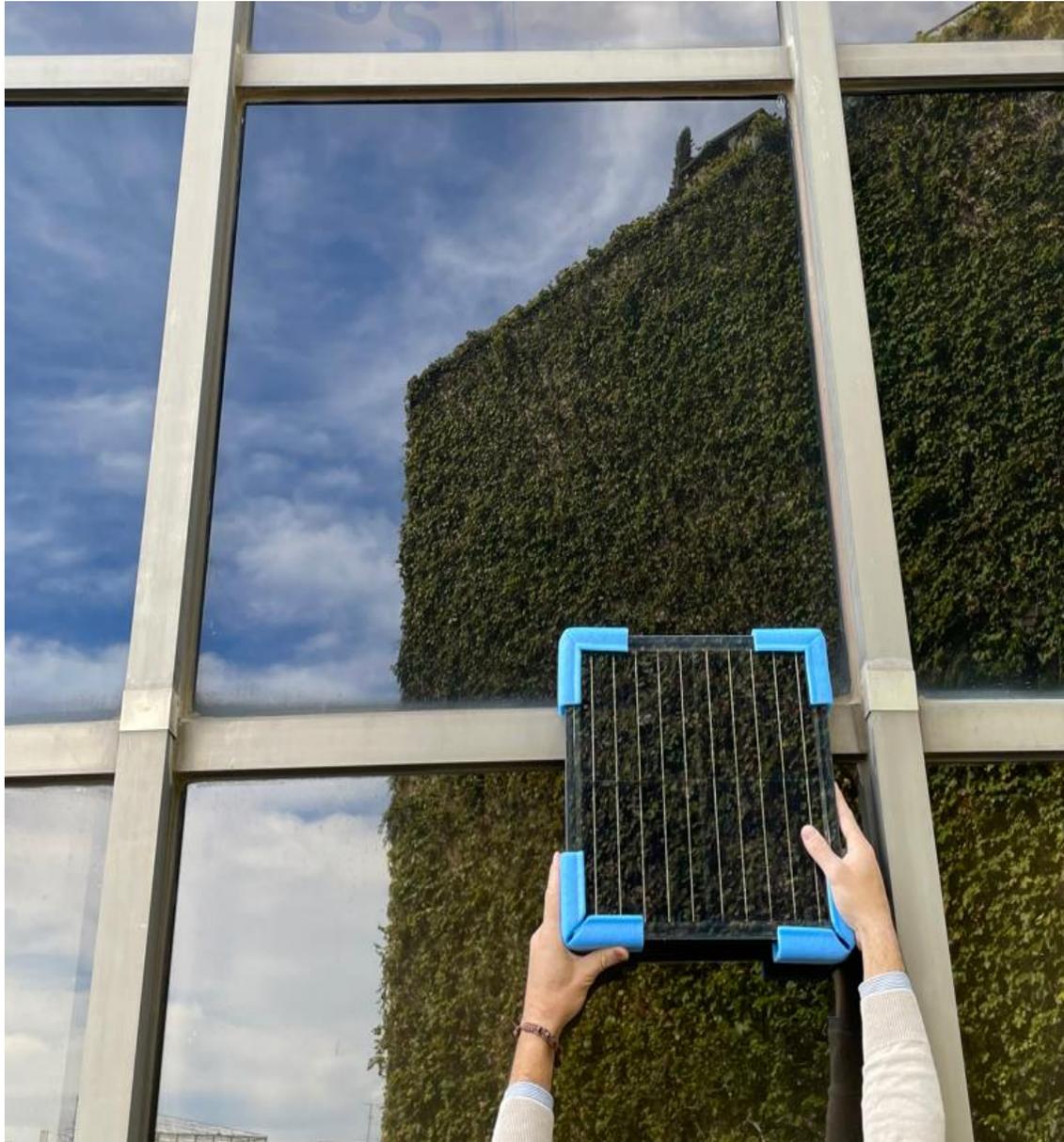
Concepto constructivo (ENAR)

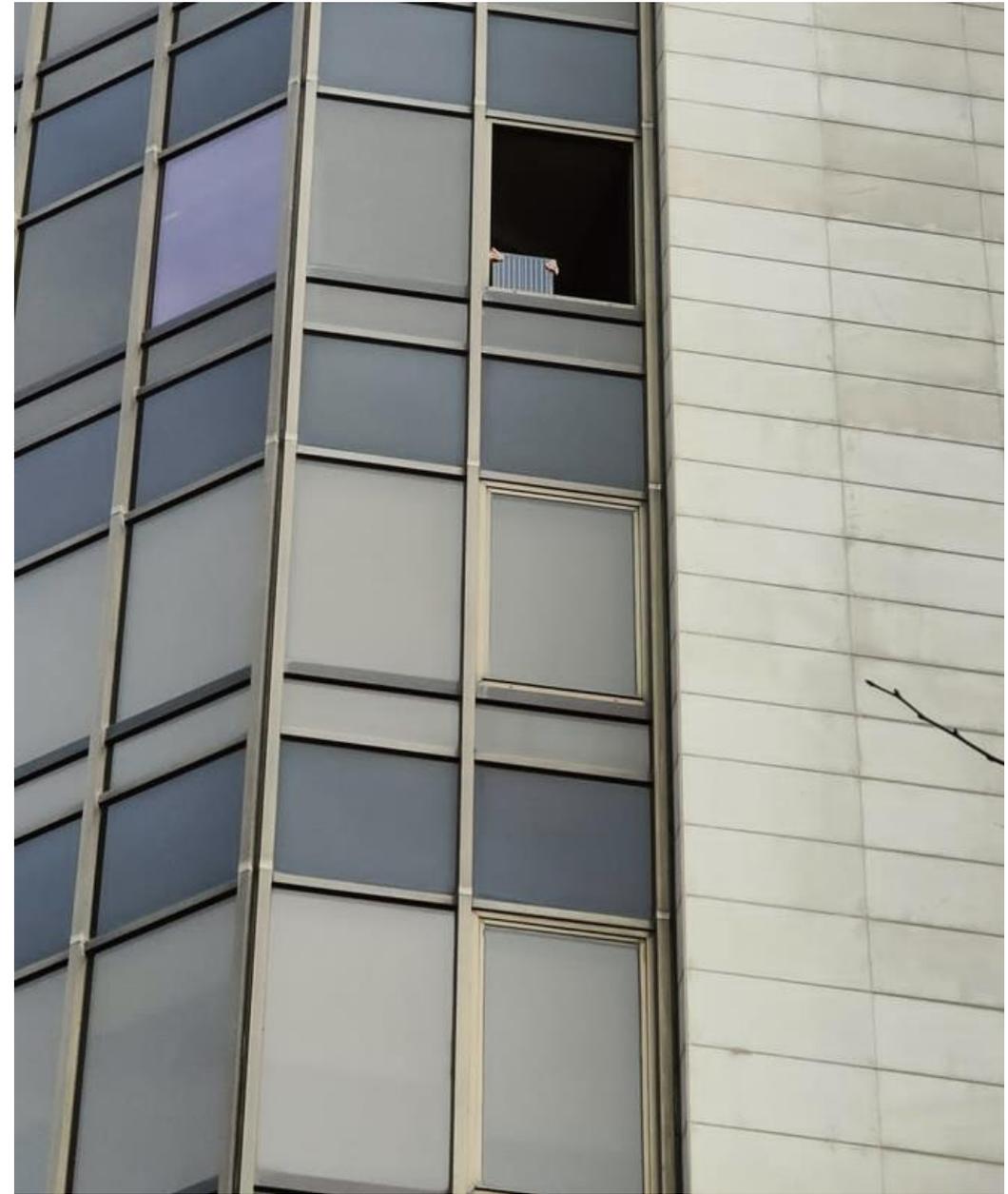


Torre Diagonal 407

BIPV – Muestras

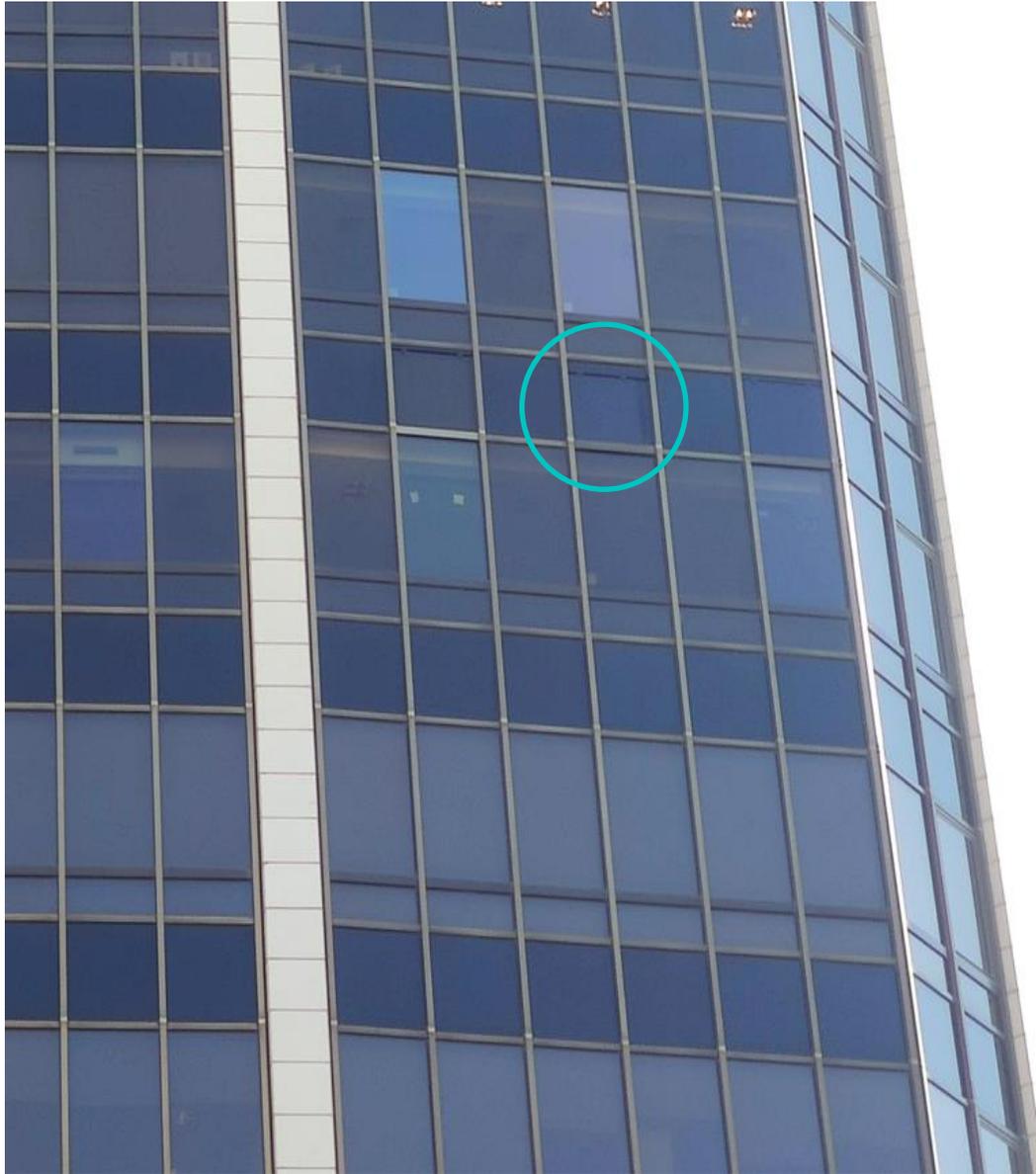






Torre Diagonal 407

BIPV – Mock-Up Visual



c UNED

Información de proyecto



Proyecto / **UNED Políticas**

Localización / **Madrid**

Arquitectos / **Antonio Rubio**

Propiedad / **UNED**

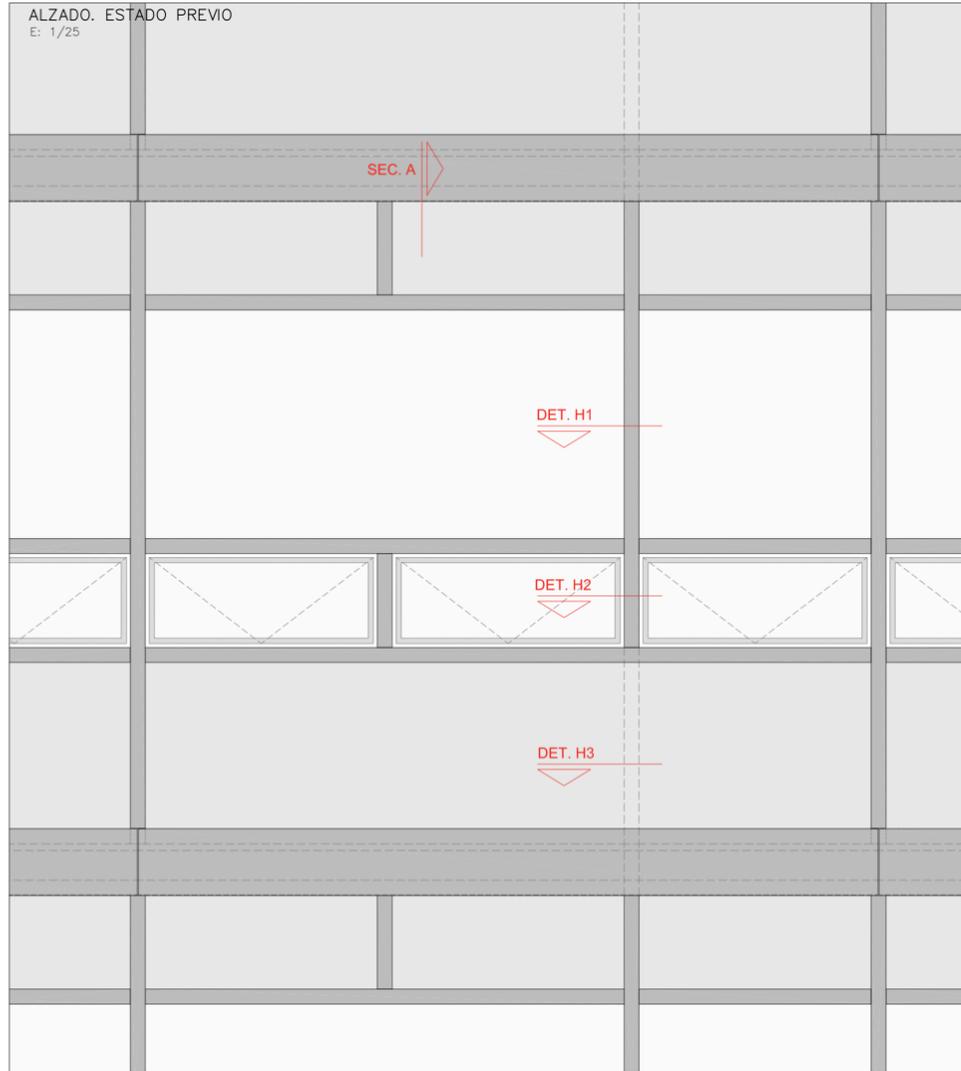
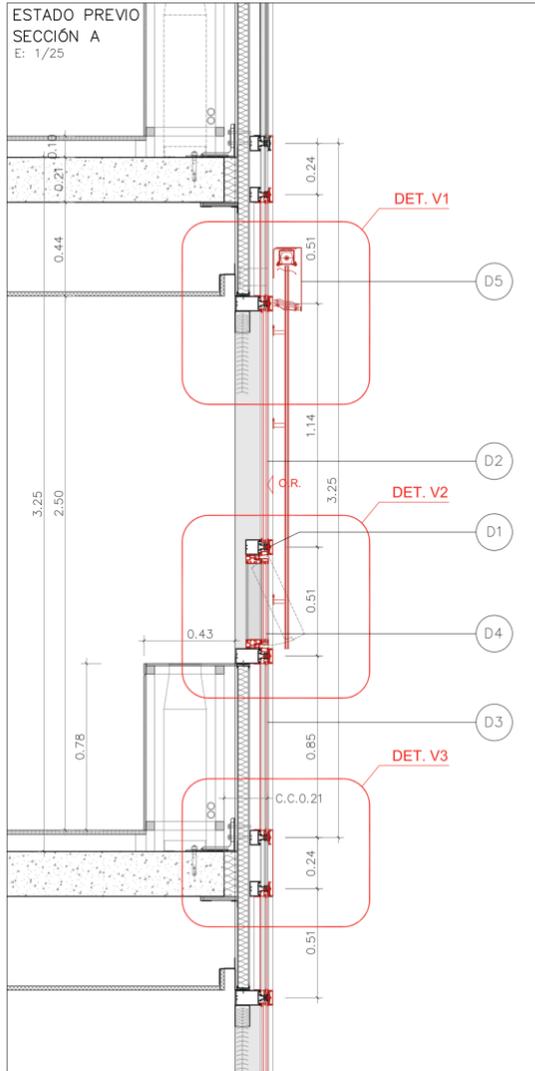
Consultor fachadas / **ENAR**

Contratista fachada / **Pendiente**

BIPV - Inspección

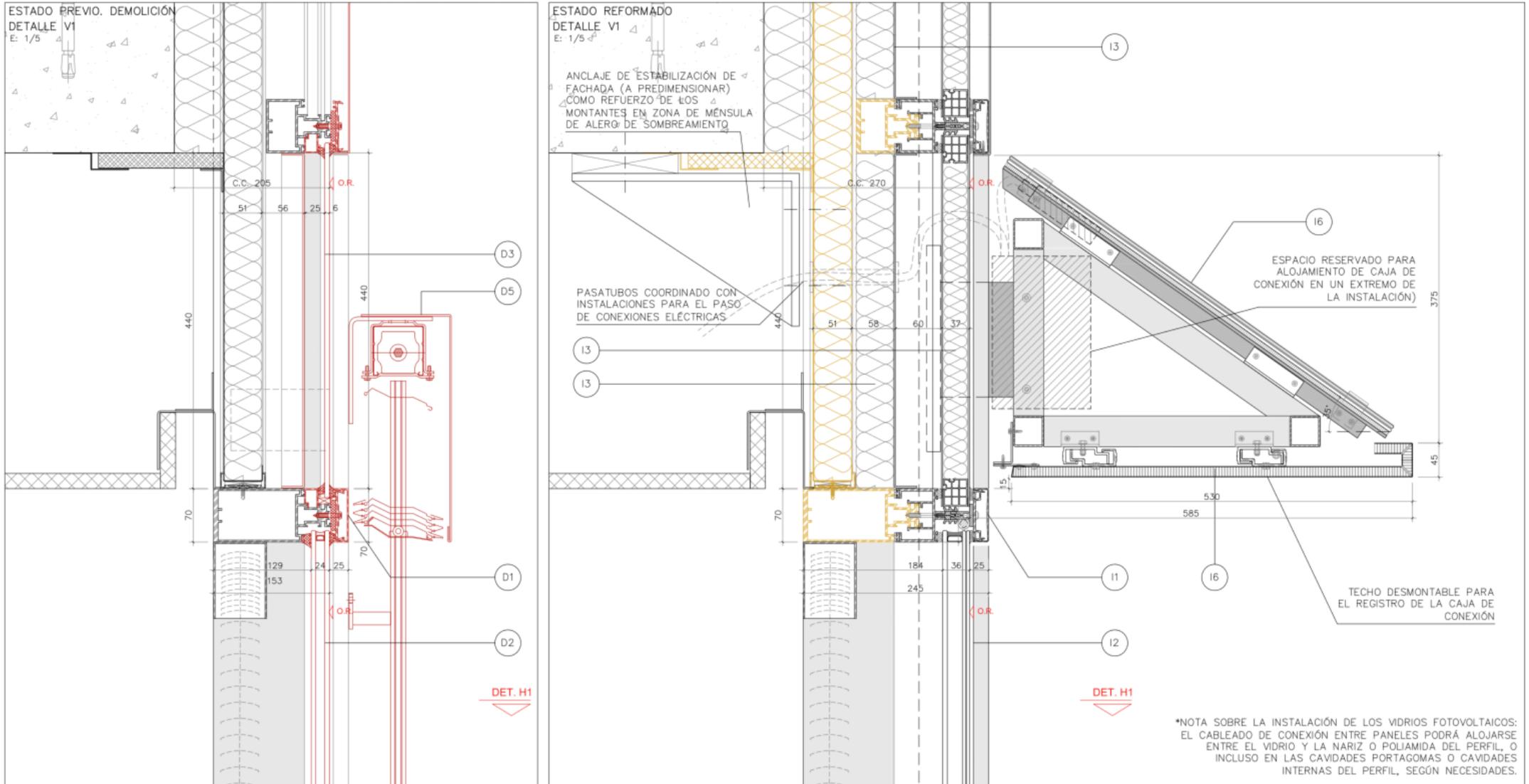


BIPV - Diseño

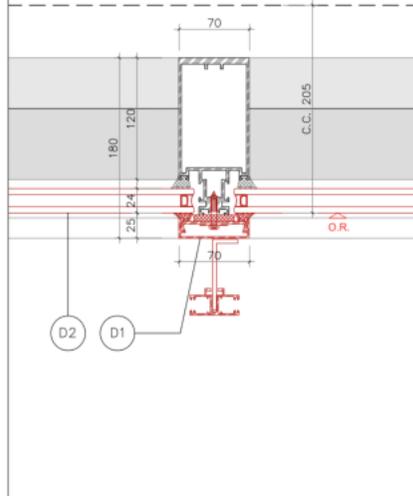


- D1: COMPONENTES DEL MURO CORTINA EXISTENTE: PRESOR, TAPETA Y GOMAS DE ESTANQUEIDAD DEL MURO CORTINA.
- D2: DOBLE ACRISTALAMIENTO EN ZONA DE VISIÓN 6 mm / 12 / 6 mm
- D3: COMPONENTES EN ZONA DE ANTEPECHO:
 - o VIDRIO MONOLÍTICO e= 6 mm
 - o SUPLEMENTO DE CARPINTERÍA PARA FIJACIÓN DE VIDRIO MONOLÍTICO
 - o CHAPA PLEGADA DE ALUMINIO OPACITANTE DETRÁS DEL VIDRIO MONOLÍTICO
 - o CHAPA PLEGADA DE ALUMINIO e= 2 mm
- D4: VENTANA PROYECTANTE HACIA EL EXTERIOR (INCLUIDO ACRISTALAMIENTO DE VENTANA)
- D5: PERSIANA EXTERIOR DE LAMAS APILADAS

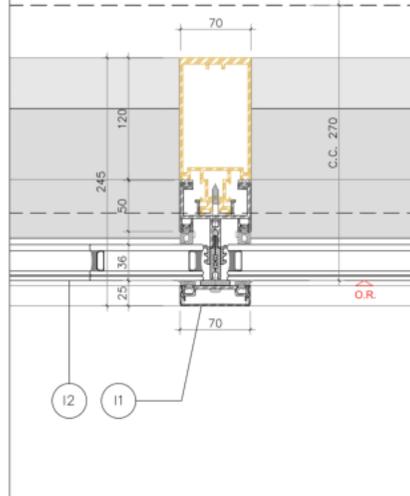
BIPV - Diseño



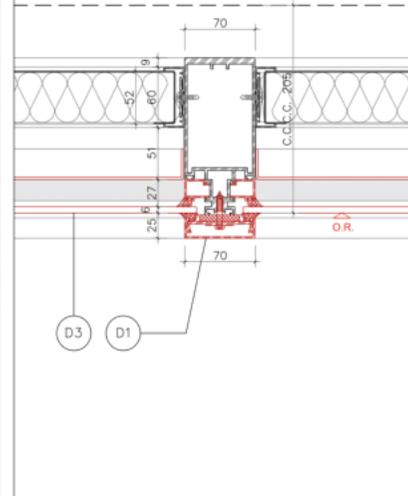
ESTADO PREVIO. DEMOLICIÓN
DETALLE H1
E: 1/5



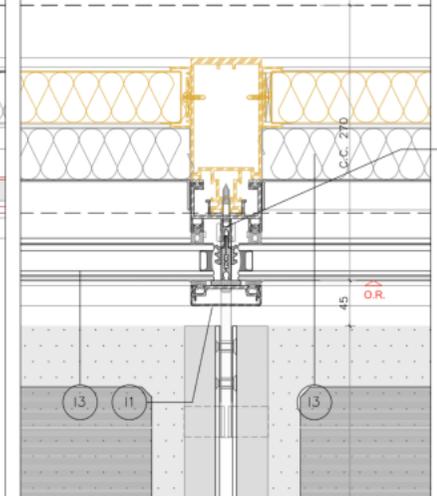
ESTADO REFORMADO
DETALLE H1
E: 1/5



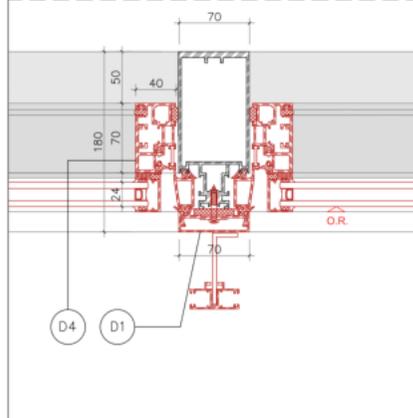
ESTADO PREVIO. DEMOLICIÓN
DETALLE H3
E: 1/5



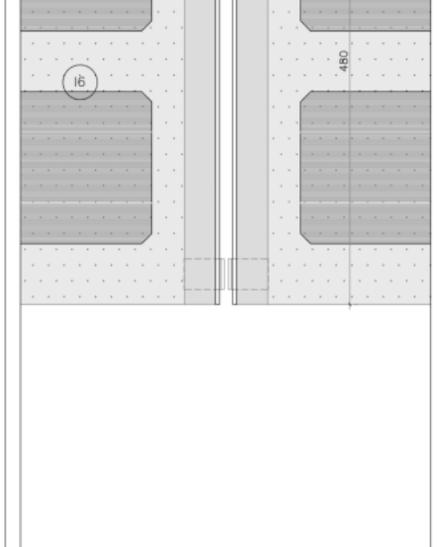
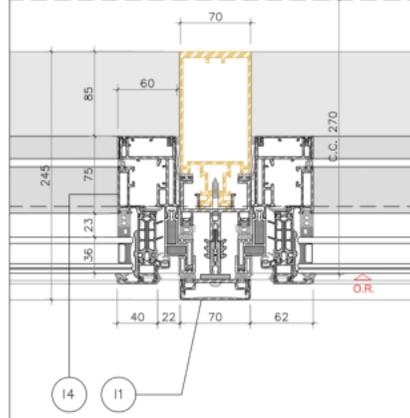
ESTADO REFORMADO
DETALLE H3
E: 1/5



ESTADO PREVIO. DEMOLICIÓN
DETALLE H2
E: 1/5

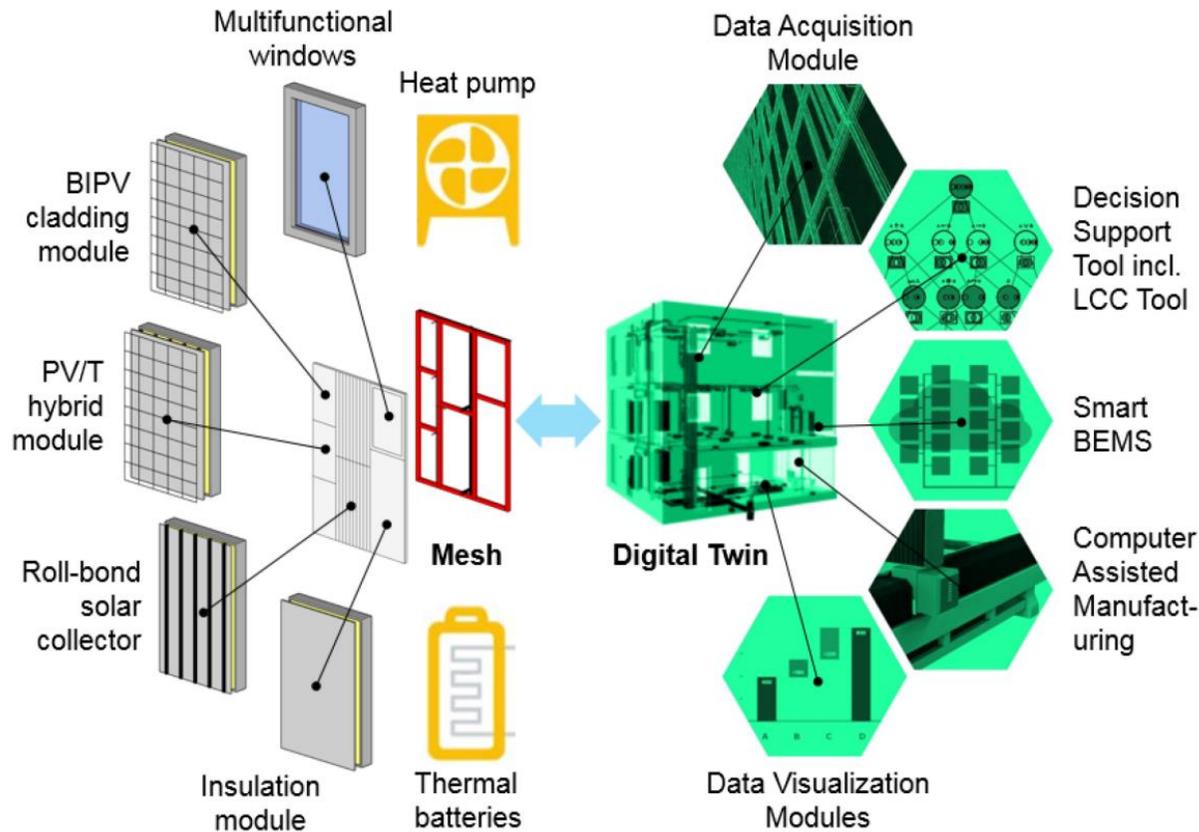


ESTADO REFORMADO
DETALLE H2
E: 1/5

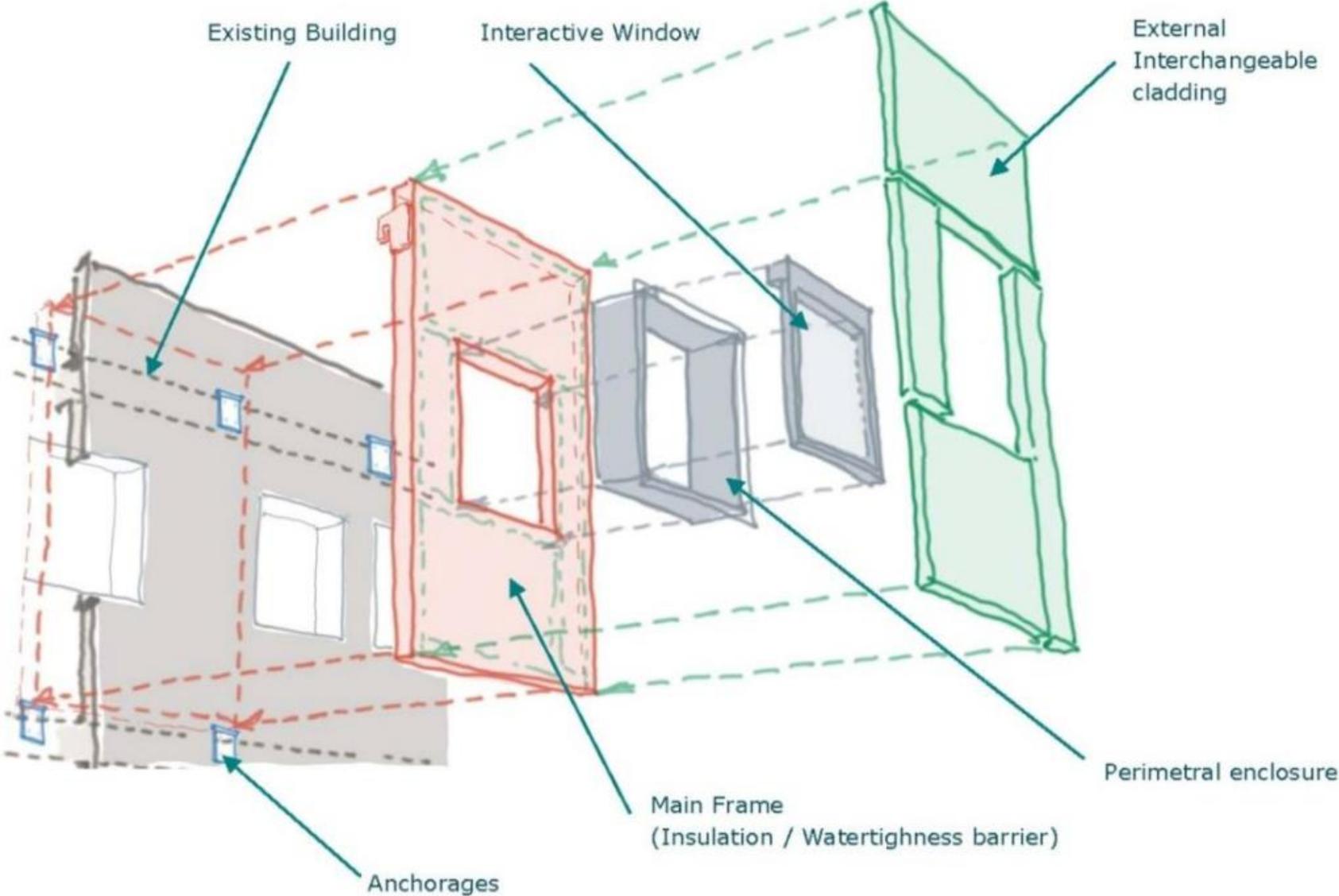


d ENSNARE

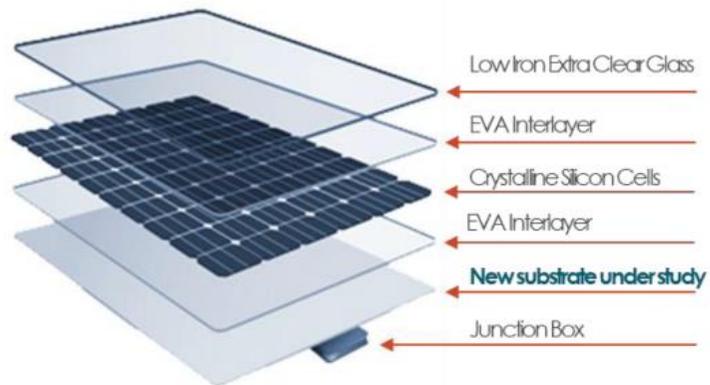
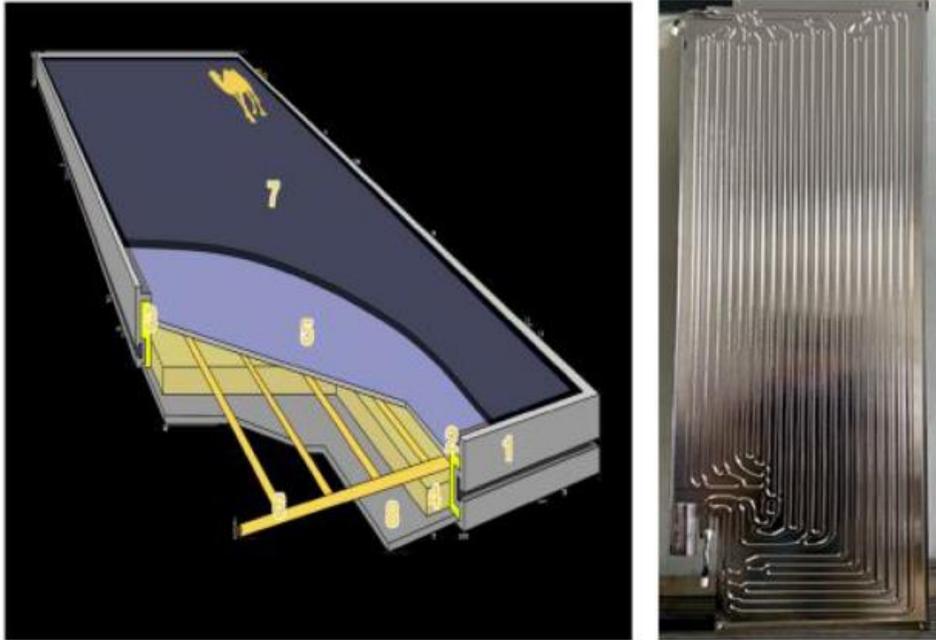
Información de proyecto



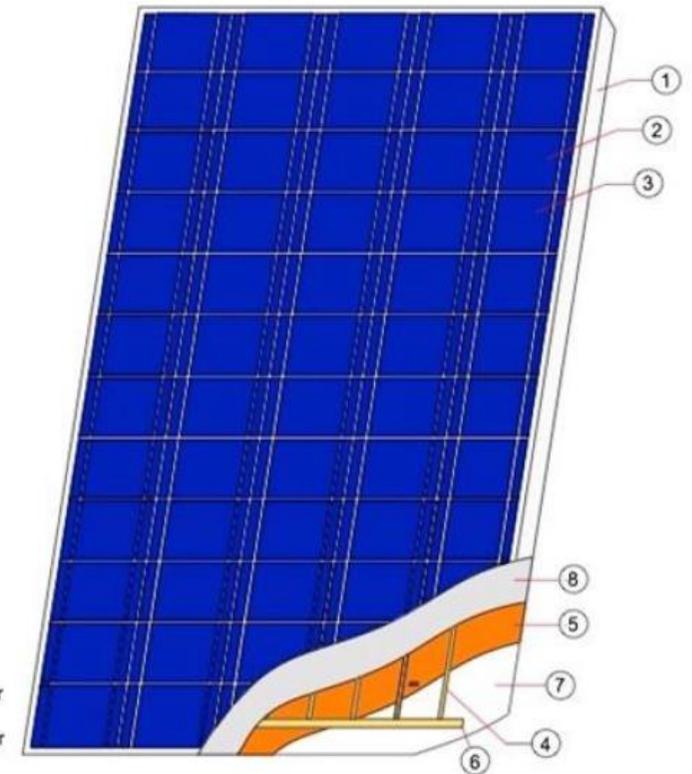
 This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement **No 958445**.



BIPV – Mock-Up Visual



1. Aluminium frame
2. Low iron solar glass
3. Photovoltaic module
4. Copper pipe of thermal absorber
5. Insulation
6. Inlet/Outlet of the thermal absorber
7. Back side aluminium sheet
8. Absorber sheet of thermal collector



04 Conclusiones



Auge de la integración

El uso de BIPV está actualmente en auge, acelerado por aspectos socioeconómicos y por la búsqueda de soluciones más respetuosas.

Colaboración multidisciplinar

Los proyectos de BIPV requieren desarrollar sinergias en fases tempranas de diseño entre arquitectos, consultores, instalaciones, suministradores...

Eficiencia vs diseño

El diseño debe primar sobre la eficiencia, lo que puede implicar una reducción de la generación energética

Propiedades

La voluntad de las propiedades es fundamental para alcanzar la aprobación de sistemas BIPV.

Normativa

La Administración jugará un papel importante en el desarrollo de normas que ordenen las implicaciones estéticas de los sistemas fotovoltaicos.

Gracias

Jacobo.pc@envolventesarquitectonicas.es

BIPV
boost



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement N° 817991

envolventesarquitectónicas | **ENAR**
architecturalenvelopes