



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

DISEÑO DE UN CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

Jorge Crespo Morillo

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales





Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

DISEÑO DE UN CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

Autor:

Crespo Morillo, Jorge

Tutora:

Zulueta Pérez, Patricia Beatriz
Área de Ingeniería de los Procesos
de Fabricación

Valladolid, septiembre 2020.

RESUMEN

La contaminación del aire y el agua, el calentamiento global y la devastación de los medios naturales, entre otros, apuntan a una necesidad crítica de reducir el agotamiento de recursos y el uso de energía. La situación medioambiental actual y las previsiones futuras nos están motivando a reevaluar cómo planificamos, diseñamos y construimos edificios.

Este trabajo es el resultado del diseño inicial, a través de la metodología BIM, de un Centro de Investigación de Energías Renovables que bien podría pertenecer en un futuro a la serie de centros educativos y de investigación de la Universidad de Valladolid.

Se estudiará y se tomará decisiones a cerca de la localización y orientación, los factores cercanos al edificio, las ganancias y pérdidas térmicas a través de la envolvente, el aprovechamiento de aguas, el tratamiento de residuos, el confort y la salud de los ocupantes, los materiales a emplear y el autoabastecimiento de energía.

PALABRAS CLAVE: edificación sostenible, vidrios activos, fachada cinética, materiales de cambio de fase, ETFE.

ABSTRACT

Air and water pollution, global warming, and the devastation of natural environments, among others, point to a critical need to reduce resource depletion and energy use. The current environmental situation and future forecasts are motivating us to re-evaluate how we plan, design and construct buildings.

This work is the result of the initial design, through the BIM methodology, of a Renewable Energy Research Center that could well belong in the future to the series of educational and research centers of the University of Valladolid.

It will be study and will be made decisions about the location and orientation, the factors near the building, the thermal gains and losses through the envelope, the use of water, the treatment of waste, the comfort and the health of the occupants, the materials to be used and the self-sufficiency of energy.

KEYWORDS: sustainable building, active glass, kinetic facade, phase change materials, geothermal, ETFE.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1.	JUSTIFICACIÓN	1
1.2.	OBJETIVOS	6
2.	METODOLOGÍA BIM	9
3.	BOCETOS PREVIOS	11
4.	CRITERIOS DE ELECCIÓN DE LA UBICACIÓN	13
4.1.	EMPLAZAMIENTO	13
4.2.	MOVILIDAD Y ACCESOS	14
4.3.	ORIENTACIÓN DEL EDIFICIO.....	15
5.	DESCRIPCIÓN GENERAL.....	17
5.1.	VIDEO DE PRESENTACIÓN.	17
5.2.	OBJETIVOS Y FINALIDAD	17
5.3.	DIVISIÓN EN DEPARTAMENTOS	18
5.4.	PLAN DE NECESIDADES POR ÁREAS	19
6.	ESTRUCTURA	29
6.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL	29
6.2.	DISEÑO EN REVIT	31
6.3.	VENTAJAS DEL FORJADO.....	32
7.	ENVOLVENTE	35
7.1.	VIDRIOS ACTIVOS.....	35
7.2.	FACHADA CINÉTICA	41
8.	MATERIALES	45
8.1.	ETFE	45
8.2.	MATERIALES DE CAMBIO DE FASE Y ESTRUCTURAS TERMOACTIVAS	48
9.	OTRAS CONSIDERACIONES.....	53
9.1.	CUBIERTAS AJARDINADAS Y EXTERIOR DEL EDIFICIO	53
9.2.	APROVECHAMIENTO DE AGUAS	55
9.3.	GESTIÓN DE RESIDUOS.....	56
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	61

10.1.	REFERENCIAS	61
10.2.	REFERENCIAS DE ILUSTRACIONES.....	64
10.3.	NORMAS	66
11.	CONCLUSIONES	69
12.	ANEXO I. PLANOS	71
12.1.	SITUACIÓN	71
12.2.	EMPLAZAMIENTO	71
12.3.	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA BAJA	71
12.4.	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA PRIMERA.....	71
12.5.	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA SEGUNDA	71
12.6.	DISTRIBUCIÓN EN AZOTEA.....	71
12.7.	ACOTACIÓN PLANTA BAJA.....	71
12.8.	ACOTACIÓN PLANTA PRIMERA	71
12.9.	ACOTACIÓN PLANTA SEGUNDA	71
12.10.	ACOTACIÓN AZOTEA	71
12.11.	ALZADOS.....	71
12.12.	SECCIONES	71
12.13.	CIMENTACIÓN Y ESTRUCTURA.....	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Generación de residuos por actividades económicas y hogares EU28 en 2016.	2
Ilustración 2. Objetivos de Desarrollo Sostenible según las Naciones Unidas.	5
Ilustración 3. Fases de un proyecto en las que interviene la metodología BIM.	9
Ilustración 4. Fotografía real del estadio Fisht, comúnmente conocido como Estadio Olímpico de Sochi.	10
Ilustración 5. Modelo estructural en Autodesk Revit al que se le implementó el sistema de IoT.	10
<i>Ilustración 6. Boceto 1.</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 7. Boceto 2.</i>	<i>11</i>
Ilustración 8. Boceto 3.	11
Ilustración 9. Boceto 4.	12
<i>Ilustración 10. Boceto 5.</i>	<i>12</i>
<i>Ilustración 11. Boceto 6.</i>	<i>12</i>
Ilustración 12. Vista satelital de la ubicación de la parcela.	13
Ilustración 13. Aparcamiento de vehículos eléctricos y bicicletas. Modelo de Revit.	14
Ilustración 14. Recorrido anual del Sol delimitado por el solsticio de verano (21 de junio) e invierno (21 de diciembre). Modelo de Revit.	15
Ilustración 15. División por plantas del edificio que marca la distribución de los departamentos. Modelo de Revit.	18
<i>Ilustración 16. Recepción.</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 17. Área administrativa.</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 18. Área de Energía Eólica, Mini eólica y Sistemas Eléctricos.</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 19. Aseo.</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 20. Sala de exposiciones.</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 21. Taller de formación.</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 22. Área de Energía Solar Térmica y Fotovoltaica.</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 23. Zona de café y descanso, escaleras y ascensor.</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 24. Salón de actos.</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 25. Área de Nuevos Materiales y Reciclaje.</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 26. Sala de procesamiento de datos.</i>	<i>24</i>

<i>Ilustración 27. Área de Medio Ambiente e Impacto Ambiental.</i>	25
<i>Ilustración 28. Área de Energía de la Biomasa y Residuos Sólidos.</i>	25
<i>Ilustración 29. Jardín extensivo.</i>	26
<i>Ilustración 30. Vivero de empresas.</i>	26
<i>Ilustración 31. Aulas 1 y 2.</i>	27
<i>Ilustración 32. Área de Eficiencia Energética.</i>	27
<i>Ilustración 33. Área de equipos de ventilación y refrigeración.</i>	28
<i>Ilustración 34. Jardín intensivo de la azotea.</i>	28
Ilustración 35. Fotografía real de un edificio equipado con el forjado HoleDeckHo45.	29
Ilustración 36. A la izquierda, casetón recuperable HoleDeck completo. A la derecha, vista explosionada con sus distintas partes.	30
Ilustración 37. Proceso de fabricación de un forjado HoleDeckHo45.	30
Ilustración 38. Zonas macizadas (perimetral y ábacos) en el modelo de Revit.	31
Ilustración 39. Fenómeno de punzonamiento del pilar en el forjado.	32
<i>Ilustración 40. Montaje real de la instalación eléctrica.</i>	33
<i>Ilustración 41. Instalaciones.</i>	33
Ilustración 42. Posibilidades de acceso a las instalaciones embebidas en el forjado HoleDeckHo45.	33
Ilustración 43. Eliminación de falsos techos gracias a la registrabilidad del forjado HoleDeckHo45.	34
Ilustración 44. Propagación de las ondas sonoras dentro de los huecos del forjado HoleDeckHo45.	34
Ilustración 45. Fachadas acristaladas del Centro de Investigación de Energías Renovables. Modelo en Revit.	35
Ilustración 46. Proceso de captación en el agua de la mayoría de radiación infrarroja.	36
Ilustración 47. Circuitos primario y secundario del sistema de vidrios activos.	37
Ilustración 48. Comportamiento del sistema de vidrios activos de triple acristalamiento en verano e invierno.	38
Ilustración 49. División de los circuitos secundarios en tres partes para la homogeneización de las fachadas. Modelo en Revit.	39

Ilustración 50. Demostración de la transparencia total de los vidrios con cámara de agua.....	40
Ilustración 51. Fachada cinética de las Torres Al Bahar en Abu Dabi.	42
Ilustración 52. Fachada cinética de lamas de ETFE para el Centro de Investigación de Energías Renovables. Modelo en Revit.....	42
Ilustración 53. A la izquierda, la primera familia creada. A la derecha, la segunda familia. Estas dos familias de lamas se introducirían posteriormente en una tercera adecuada a la forma de las fachadas. Modelo en Revit.	43
Ilustración 54. Fachada cinética cerrada. Modelo en Revit.....	44
Ilustración 55. Fachada cinética abierta. Modelo en Revit.....	44
Ilustración 56. Estructura molecular del etileno-tetrafluoroetileno (ETFE).	45
Ilustración 57. Lamas rectangulares de ETFE que constituyen la fachada cinética.	46
Ilustración 58. Allianz Arena, estadio del Bayern de Múnich.	47
Ilustración 59. The Shed, Nueva York.	47
Ilustración 60. ARTIC, Anaheim, California.	47
Ilustración 61. Cúpula del Milenio, Valladolid.	47
Ilustración 62. Edificio Castellana 77, Madrid.	48
Ilustración 63. San Mames, estadio.....	48
Ilustración 64. Termoactivación del forjado HoleDeckHo45.	50
Ilustración 65. Ciclo de energía en los PCM.....	51
Ilustración 66. Los árboles ayudan a reducir la velocidad del viento incidente, proporcionando más abrigo. La máxima reducción de velocidad se produce de 5 a 8 veces la altura de la barrera (H).	53
Ilustración 67. Cubiertas ajardinadas extensivas en primera y segunda planta. Modelo en Revit.	54
Ilustración 68. Cubierta ajardinada intensiva en la azotea. Modelo en Revit.....	54
Ilustración 69. Terminal del sistema de recogida de basuras por vacío. Modelo en Revit.....	57
Ilustración 70. Contenedor ubicado en la terminal del sistema de recogida de basuras por vacío. Modelo en Revit.....	58
Ilustración 71. Trampillas y conductos en la primera fase de recogida.	59

Ilustración 72. Transporte del contenedor de basuras con los desechos compactados..... 59

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Justificación

La necesaria e imprescindible tarea de cuidar el planeta en el que vivimos tiene aún mucho camino por recorrer. Si bien es cierto que desde las dos últimas décadas la sociedad ha ganado conciencia medioambiental y las políticas europeas tienden cada vez más hacia modelos sostenibles, el avance e implantación de medidas reales que luchen contra el gran consumo energético son más lentos de lo que deberían.

Es complicado que la sociedad sea consciente de que vivimos en un planeta con limitaciones, en el cual solo un 29% de su superficie total es terrestre. Estas limitaciones no solo son en cuanto a superficie, también las hay en el aprovechamiento de sus recursos naturales y energéticos. Por poner un ejemplo, solamente el 11% de la superficie terrestre es cultivable y un 2% de la totalidad de agua es potable (Caparrós Perez, 2017, p. 25).

Ya no solo son las claras evidencias científicas que advertían del calentamiento global o el impacto negativo debido a la degradación y destrucción de los medios naturales. Ahora cualquier persona puede observar a su alrededor y darse cuenta de alguna de las consecuencias. No es raro leer noticias sobre la limitación a la movilidad urbana en alguna de las ciudades españolas, como por ejemplo en Madrid.

En efecto, la contaminación urbana aumenta el riesgo de padecer enfermedades respiratorias agudas, como la neumonía, y crónicas, como el cáncer del pulmón y enfermedades cardiovasculares (Organización Mundial de la Salud, OMS, 2014). "Valladolid supera los límites legales de contaminación en 2019" (Noticias El Día de Valladolid, 2020). No, no es raro escuchar este tipo de noticias.

Según la OMS (2014), más de 1,3 millones de personas mueren al año a causa de la contaminación atmosférica urbana en todo el mundo. Esto no solo trae consigo defunciones, también hace que aumente el número de personas denominadas "de alto riesgo", tan mencionadas en estos últimos meses a causa del COVID-19. Redefinir

las bases de la movilidad urbana y la edificación es y será una de las claves para afrontar estos problemas.

En Europa (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2014) se efectúa un estrecho seguimiento de la cantidad de gases de efecto invernadero que emiten cada sector clave de la economía y sus subactividades. Sin embargo, hay que entender que, aunque las emisiones son nacionales y sectoriales, el efecto se convierte en un problema global.

Así pues, se sabe que el sector de la construcción es uno de los mayores consumidores de recursos y energía. Según un informe de la Oficina Europea de Estadística, Eurostat, (2019) la actividad que mayor cantidad de residuos generó en 2016 en todos los países de la EU-28 fue la construcción, con un 36,4% del total. Sin olvidar los hogares con un 8,5%.

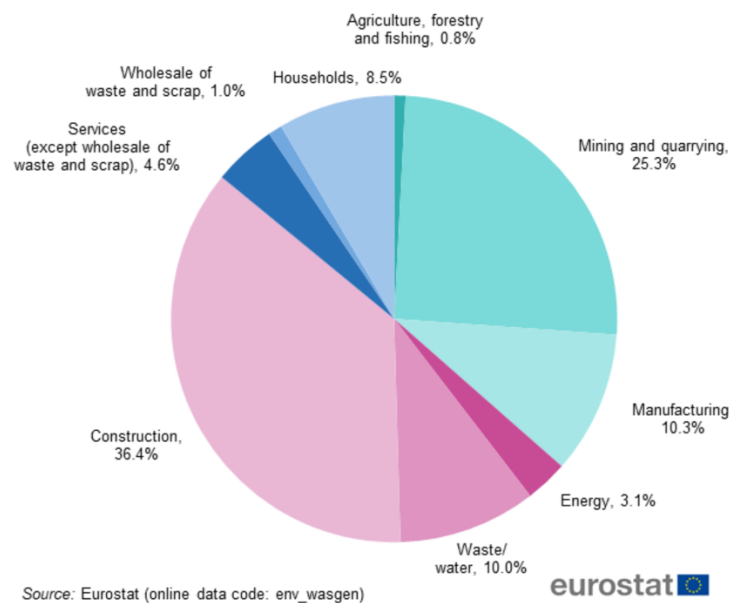


Ilustración 1. Generación de residuos por actividades económicas y hogares EU28 en 2016.
Fuente: Eurostat (2019).

Puede no resultar creíble, pero los edificios y hogares consumen más energía que la industria o el transporte. Lo que es relevante para cualquier discusión sobre diseño sostenible es que la mayor parte del consumo de energía del sector de la construcción no es atribuible a la producción de materiales o al proceso de construcción, sino más

bien a procesos operativos, como la calefacción, refrigeración e iluminación de edificios. Esto significa que para reducir el consumo de energía y las emisiones de GEI generadas por el uso y mantenimiento de los edificios a lo largo de su vida útil, es necesario diseñar, ubicar y dar forma adecuada a los edificios e incorporar estrategias eficientes de calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación (Francis D.K. Ching & Shapiro, 2014).

Tras este descenso hasta la edificación sostenible, se procede a comentar otro tipo de motivaciones más alentadoras. No solo factores como el medio ambiente o la salud humana le dan sentido. Hay muchas otras razones.

Las razones económicas juegan un papel fundamental. Si bien es cierto que la inversión inicial a la hora de construir este tipo de edificios es bastante más elevada que en los edificios sin motivación sostenible, el ahorro e incluso la generación de energía hacen rentables este tipo de proyectos a lo largo de su vida útil.

Para superar este hándicap inicial existen numerosas ayudas económicas promovidas por entidades públicas y privadas, aunque las principales son ayudas europeas, como el Fondo Europeo de Desarrollo Regional, FEDER, (2013).

Una de las vertientes del FEDER en España es el Fondo Nacional de Eficiencia Energética gestionado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE, (2020). El pasado 4 de agosto de 2020 mediante el Real Decreto 737/2020 se aprobó el Programa de Rehabilitación Energética de Edificios, PREE, (2020) por el que se regulan las ayudas para actuaciones de rehabilitación energética en edificios.

“Se estima que solo la intervención en la envolvente térmica de 1,2 millones de viviendas y en las instalaciones térmicas de 3,85 millones movilizaría entre 2021 y 2030 una inversión de 27.112 millones de euros, de los que únicamente el 27% procedería de fondos públicos. Estas actuaciones generarían entre 33.000 y 88.000 puestos de trabajo al año (51.200 empleos de media anual entre 2021 y 2030), que además no se pueden deslocalizar, lo que representa un aumento adicional del

0,44% sobre el empleo previsto en 2030, con una aportación incremental del 0,47% al PIB estimado para ese año" (Roca, El Periódico de la Energía, 2020).

Otra de las principales razones que apoyan la edificación sostenible es el aumento de la demanda de los clientes. Cada vez son más los proyectos que se desarrollan en todo el mundo, demostrando así una clara tendencia. Este tipo de edificios, demandados por empresas e instituciones de todo tipo, aportan una serie de ventajas tales como: mayor prestigio, aumento de la productividad de los trabajadores, creación de un sentido de comunidad y apoyo a la economía local. Los clientes quieren ver reflejadas estas y muchas otras cosas a través de la obtención de Certificados de Edificación Sostenible.

Por último, y para concluir el apartado de justificaciones, se presenta una de las razones más importantes. Muchas veces los principios de la sostenibilidad se quedan solo en el papel ya sea por la falta de compromiso o por razones económicas. La regulación por parte de los gobiernos es indispensable para acelerar el proceso de transformación energética.

Las normativas españolas y europeas son cada vez más exigentes. Así lo hace ver la última modificación del Código Técnico de Edificación (CTE), tras publicarse en el Boletín Oficial del Estado del pasado 27 de diciembre de 2019 (Real Decreto 732/2019). Según este, a finales de este año 2020 las exigencias de eficiencia energética de las viviendas serán más estrictas y con un rumbo hacia el edificio de consumo energético casi nulo. Esta última modificación del CTE, que incluye el nuevo documento DB-HE de Ahorro de Energía (2019), ya era aplicable a edificios públicos durante el año 2019.

La línea futura a seguir parece que será el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, PNIEC (2020) que en el ámbito de la eficiencia energética va en el mismo rumbo que la última modificación del CTE DB HE. Sin embargo, la fase de información pública quedó suspendida en aplicación del Real Decreto 463/2020, de

14 de marzo, por el que se declaró el estado de alarma. Actualmente está a la espera de ser aprobado por Bruselas.

En cuanto al ámbito europeo, la directiva que regula el actual PNIEC es la relativa a la eficiencia energética, 2018/2002/UE.

Además de toda la legislación mencionada, existen objetivos más generales, pero no menos importantes. El Acuerdo de París o la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas marcan la ruta global hacia la transformación económica y social de los próximos años.



*Ilustración 2. Objetivos de Desarrollo Sostenible según las Naciones Unidas.
Fuente: ONU, (2020).*

Existen verdaderas oportunidades gracias a la edificación sostenible: nuevas oportunidades de empleo, de inversión económica, de cambio en la sociedad del consumo, de mejora de la salud humana, etc. Además, existe una verdadera necesidad medioambiental y legislativa. Está en nuestra mano aprovecharlas y enfrentarnos a los nuevos retos que supone el cambio.

1.2. Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es definir el diseño inicial de un edificio, previo a la fase final de elaboración de un proyecto, de acuerdo con una serie de principios que son la base de la edificación sostenible.

La elección de la finalidad que se le ha dado al edificio, un Centro de Investigación en Energías Renovables, vino de acuerdo con las motivaciones mencionadas en el anterior apartado. Qué mejor forma de tratar este tema si el propio edificio sirve como objeto de estudio e investigación.

Otro de los objetivos iniciales, y que ya ha sido alcanzado, era el hecho de diseñar el edificio a partir de la metodología BIM, Building Information Modeling, de la que se hablará en el siguiente capítulo.

Ligado al anterior objetivo aparece otro, la aplicación al proyecto de parte de los conocimientos adquiridos en el Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales.

Todas y cada una de las decisiones que se han llevado a cabo en este trabajo se han hecho de acuerdo con una serie de objetivos subyacentes que forman parte de la edificación sostenible:

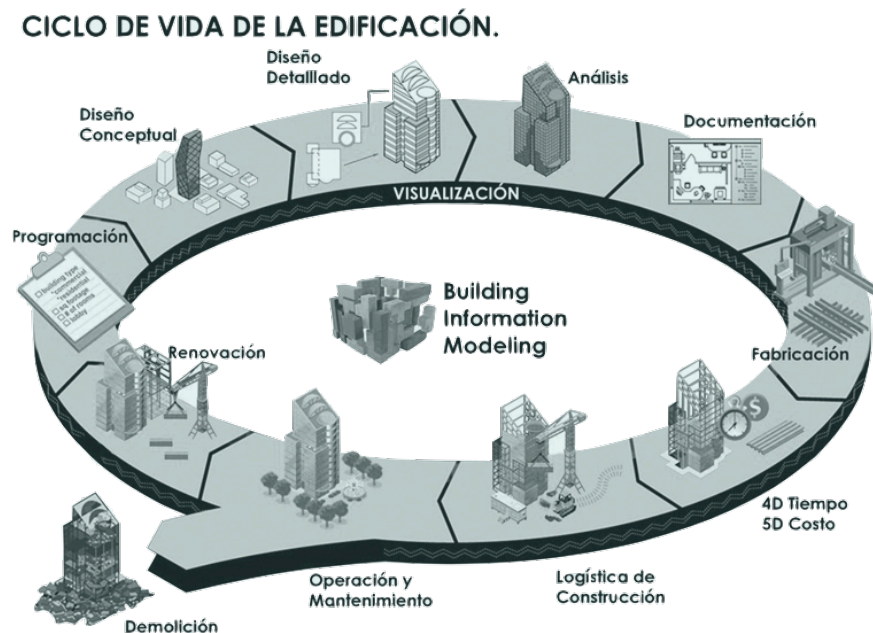
- Desde objetivos medioambientales como: reducir la contaminación del aire, agua y suelo, reducir el impacto ambiental de la construcción y uso del edificio, reducir su consumo energético gracias a la adaptación al clima de Valladolid y a la generación de energía renovable, el máximo aprovechamiento de aguas y materiales, la gestión adecuada de los residuos generados, proteger los hábitats naturales y la diversidad biológica, etc.
- Además de objetivos socioeconómicos como: aumentar la productividad de los ocupantes, tener una red de proveedores locales para la construcción del edificio, reducir las distancias recorridas para transportar las materias primas, una fuerte conexión y proximidad con las redes públicas de movilidad urbana,

el ahorro en facturas, la producción y la posibilidad de introducir energía a la red.

- Hasta objetivos de todo tipo como: la creación de grandes espacios verdes, la reducción del efecto isla de calor, mejorar la calidad del aire interior, reducir al máximo la contaminación acústica, crear consciencia de comunidad, fomentar el transporte público y la movilidad eléctrica, mejorar el acceso y la integración de las personas discapacitadas, seguir prácticas laborales justas, etc.

2. METODOLOGÍA BIM

Hoy en día, los términos eficiencia y sostenibilidad son tendencia en el mundo del diseño (eco-diseño, eco-vivienda, eco-urbanismo, eco-..., etc.), donde es común el estudio del ciclo de vida total de los productos, es decir, desde el proceso de creación hasta el final de la vida de un producto, tratando de establecer ciclos cerrados (Braungart y McDonough, 2015). Esta es una de las muchas bases de la economía circular. Para poder establecer ciclos de vida en el sector de la construcción la metodología BIM es una de las herramientas indispensables.



*Ilustración 3. Fases de un proyecto en las que interviene la metodología BIM.
Fuente: (Esarte Eseverri, 2020)*

“La metodología BIM está en el centro de la transformación digital del sector de la construcción y del entorno construido. Gobiernos y promotores públicos de toda Europa y de todo el mundo reconocen el valor de BIM como factor estratégico para lograr sus objetivos en términos de costes, de calidad y políticos. Muchos están adoptando medidas proactivas para fomentar la utilización de BIM en los sectores de la construcción y en la ejecución y operación de los bienes públicos, a fin de

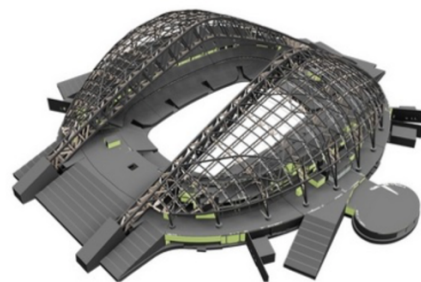
garantizar estos beneficios económicos, medioambientales y sociales" (EUBIM TASK GROUP, 2013).

En definitiva, la metodología BIM es una herramienta colaborativa para la realización de proyectos de edificación, ingeniería y obra civil, que recopila toda la posible información de un proyecto; tiempos, costes, geometría, información de impacto ambiental y mantenimiento. Todo ello se registra en un modelo digital al cual pueden tener acceso simultaneo todos y cada uno de los profesionales que trabajen sobre él.

BIM tiene una estrecha relación con el Internet de las Cosas o el Big Data. Un ejemplo de esto fue la construcción y remodelación de 12 estadios en tiempo récord para la Copa Mundial de Fútbol 2018 en Rusia promovida por la FIFA. Se equipó a los estadios con una red de sensores y sistemas de monitoreo estructural para controlar su estado en tiempo real. Toda la información generada por estos sistemas se recopiló y analizó junto con los modelos 3D, permitiendo detectar el estado de deformación de las estructuras portantes (Autodesk, 2018).



*Ilustración 4. Fotografía real del estadio Fisht, comúnmente conocido como Estadio Olímpico de Sochi.
Fuente: (Autodesk, 2018)*



*Ilustración 5. Modelo estructural en Autodesk Revit al que se le implementó el sistema de IoT.
Fuente: (Autodesk, 2018)*

3. BOCETOS PREVIOS

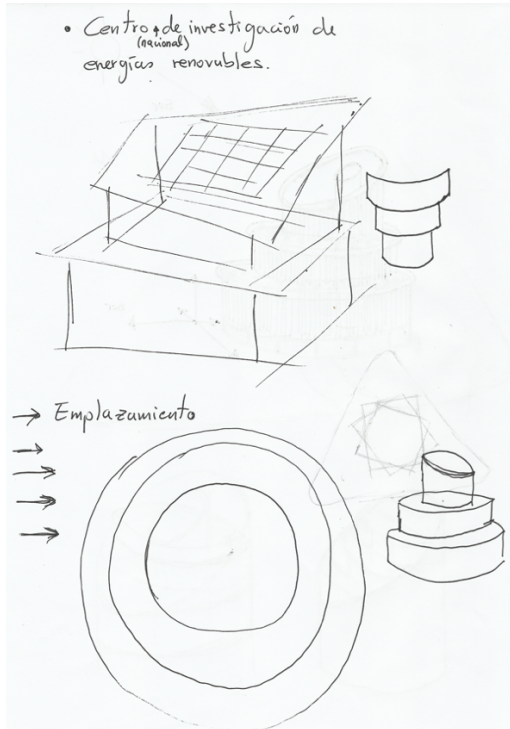


Ilustración 6. Boceto 1.

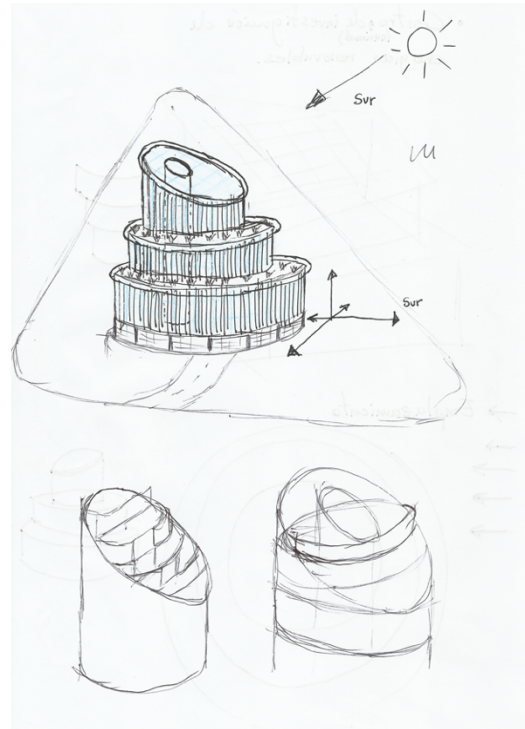


Ilustración 7. Boceto 2.

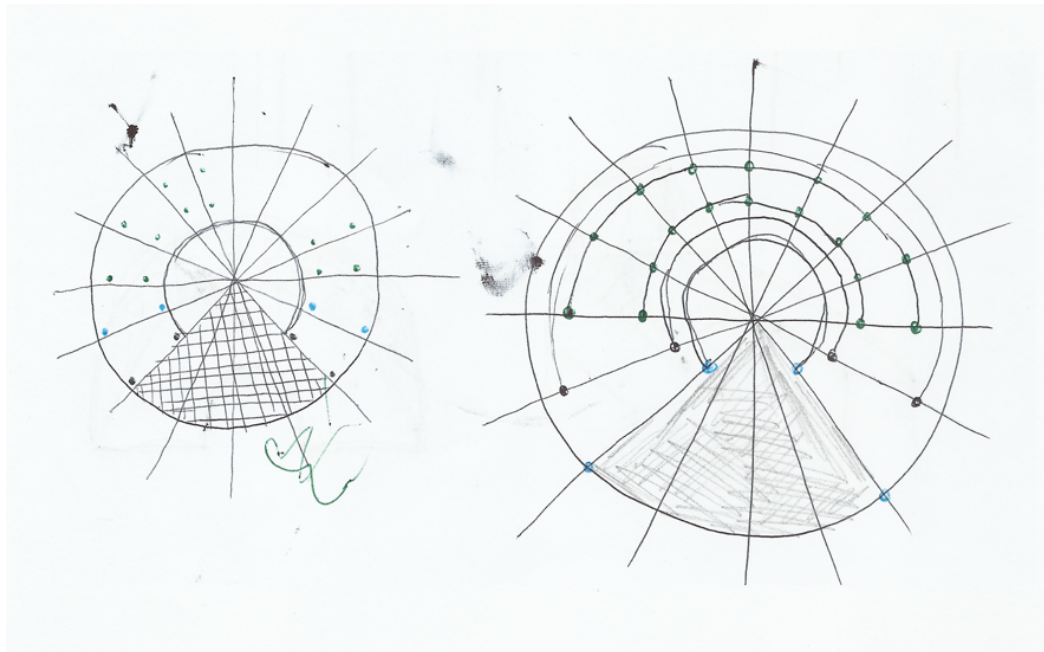


Ilustración 8. Boceto 3.

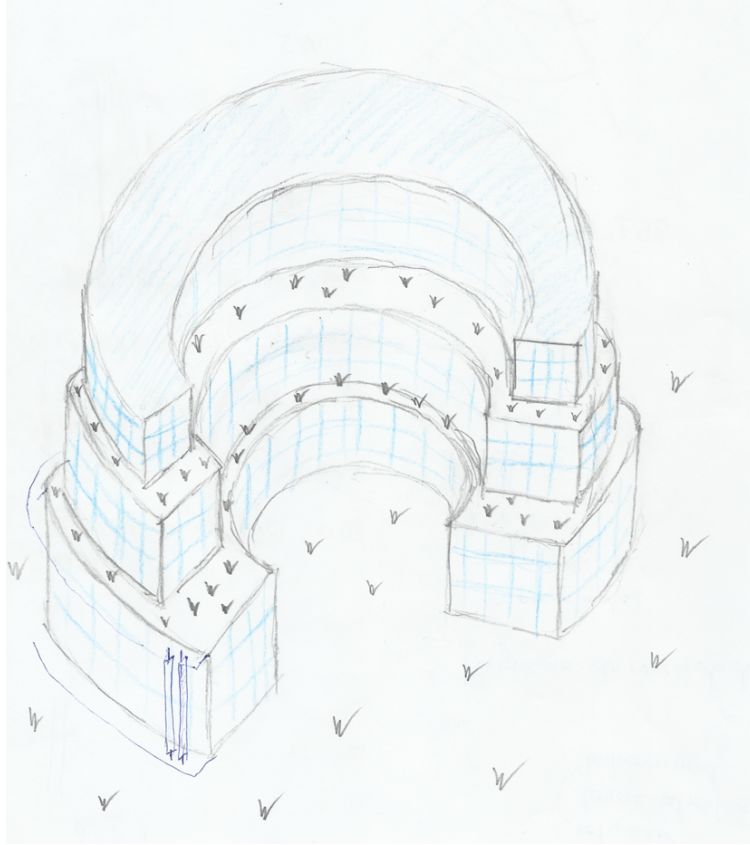


Ilustración 9. Boceto 4.

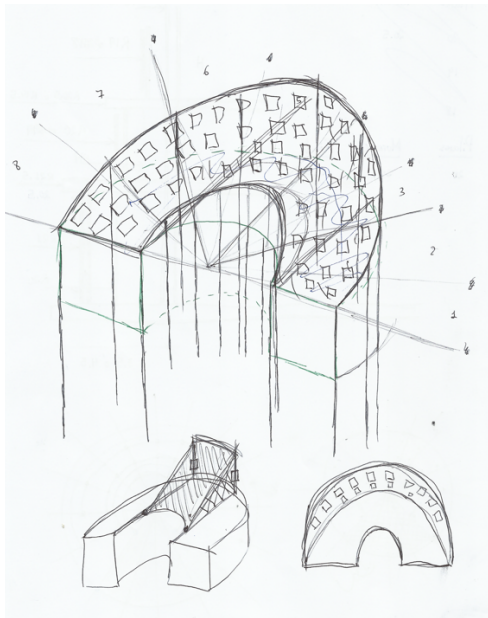


Ilustración 10. Boceto 5.

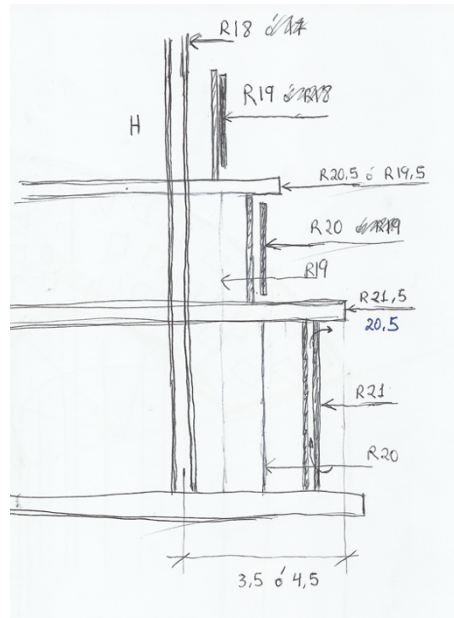


Ilustración 11. Boceto 6.

4. CRITERIOS DE ELECCIÓN DE LA UBICACIÓN

4.1. Emplazamiento

El Centro de Investigación de Energías Renovables nace para dar servicio a la Universidad de Valladolid y estará ubicado en el Campus Universitario Miguel Delibes.

La parcela elegida, con referencia parcelaria 80381, dispone de una superficie de 8.543,54 m², tal y como se muestra en el Anexo 1, en el plano 2 - EMPLAZAMIENTO.



Ilustración 12. Vista satelital de la ubicación de la parcela.
Fuente: (Google Maps, 2020)

La elección del sitio no es arbitraria, pues hay varias razones. Una de ellas es la proximidad a varias facultades pertenecientes a la Universidad de Valladolid; Educación y Trabajo Social, la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones, el Edificio UVainnova, el Edificio Quifima, la Facultad de Ciencias, el Instituto Oftalmobiología Aplicada (IOBA), la Biblioteca del Campus Miguel Delibes y como no, el Edificio Lucia. Cabe destacar su proximidad con otras facultades que no perteneces a dicho campus, como la Facultad de Ciencias Económicas y

Empresariales o la Escuela de Ingenierías Industriales (Sede Paseo del Cauce), entre otras. Esto significa que el Centro de Investigación de Energías Renovables se integra totalmente en el ambiente docente, universitario y de investigación, aportando aún más valor a la comunidad de la zona.

4.2. Movilidad y accesos

Otra de las razones de la elección del sitio es la proximidad a dos servicios de transporte público. Uno es el servicio de autobús urbano de Valladolid, la Línea 8, y el otro el servicio ferroviario de media distancia con su apeadero Valladolid-Universidad. El primero dista unos 70 metros del edificio y el segundo 80 metros.

La parcela dispone de tres entradas peatonales y una de vehículos que da acceso al aparcamiento. Dicho aparcamiento tiene once plazas, dos de ellas adaptadas a personas discapacitadas, destinadas exclusivamente a vehículos eléctricos, pues cada una dispone de una estación de recarga eléctrica. El Centro de Investigación de Energías Renovables disfruta además del aparcamiento del Campus Miguel Delibes para el resto de los vehículos, vehículos de combustión interna e híbridos.

Para promover la movilidad limpia y la actividad física, habrá dos aparcamientos de bicicletas con una capacidad total para 60 bicicletas.

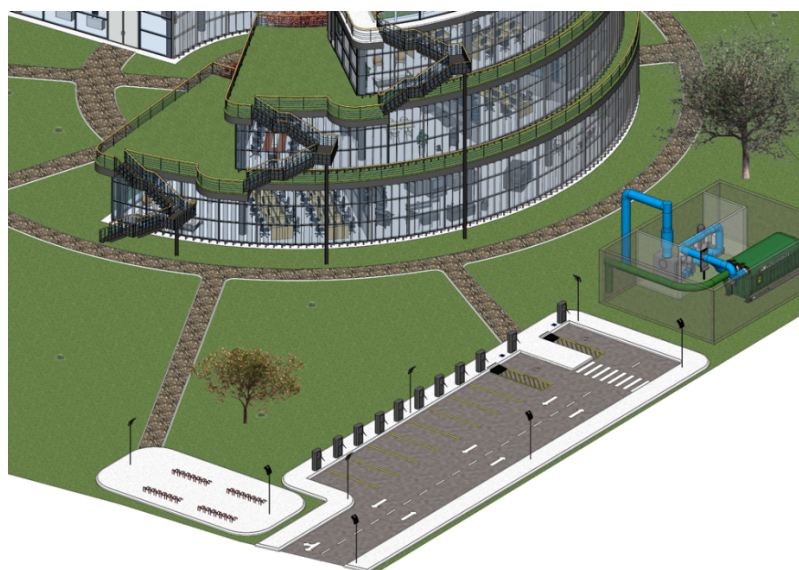


Ilustración 13. Aparcamiento de vehículos eléctricos y bicicletas. Modelo de Revit.

4.3. Orientación del edificio

Gracias al lugar elegido, hay libertad en cuanto a la orientación del edificio. La parte abierta, que tiene mayor superficie al exterior, está orientada hacia el Sur.

Dentro del diseño bioclimático, la orientación del edificio y las condiciones meteorológicas de la zona juegan un papel fundamental para poder aprovechar los recursos disponibles. En Valladolid, la orientación Sur permite aprovechar al máximo la captación solar para ganancias pasivas (ahorro en calefacción en invierno). Por otra parte, se deberá tener en cuenta la protección solar factible (ahorro en refrigeración en verano). En algunos proyectos se prioriza la captación a la protección, o viceversa, dependiendo del clima de la zona. En este trabajo se tendrán en cuenta ambas.

La orientación Sur supondrá un aprovechamiento máximo de la luz natural, que permitirá un menor consumo de energía y está demostrado que tiene influencia positiva en la salud y productividad de las personas. En la siguiente imagen se puede observar cómo gracias a la orientación elegida, la fachada principal del edificio se enfrenta de forma directa al recorrido anual del Sol. Los límites de dicho recorrido representan el solsticio de verano e invierno.

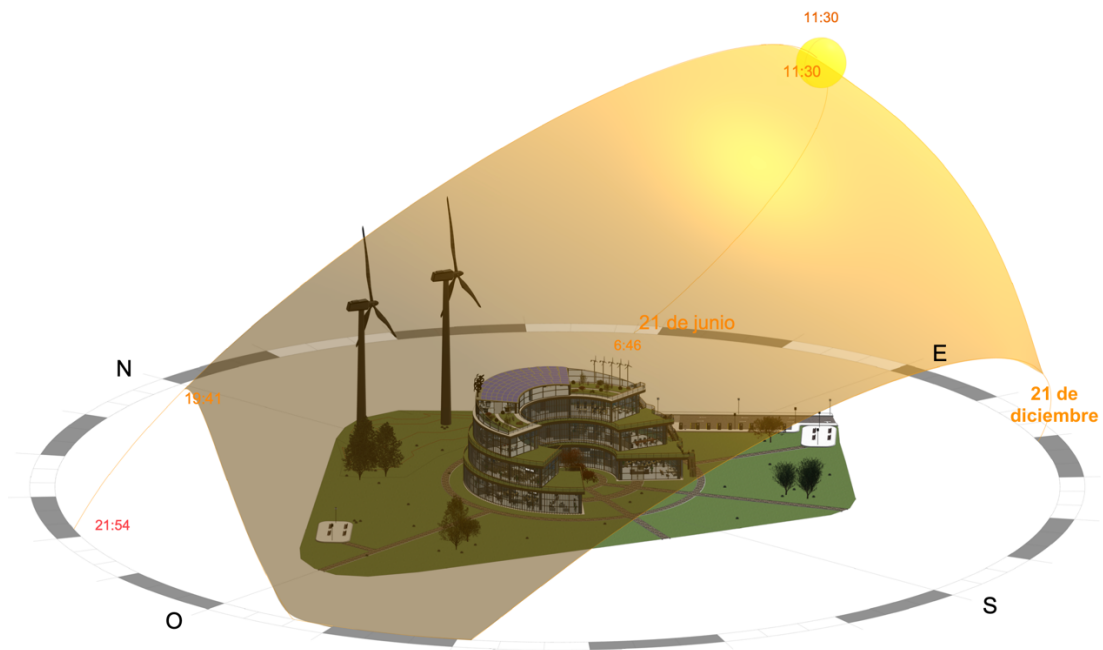


Ilustración 14. Recorrido anual del Sol delimitado por el solsticio de verano (21 de junio) e invierno (21 de diciembre). Modelo de Revit.

5. DESCRIPCIÓN GENERAL

5.1. Video de presentación.

A continuación, se proporciona un enlace a YouTube en el cual se podrá ver una breve presentación del Centro de Investigación en Energías Renovables. Se renderizó con Revit y se editó el video con Adobe Premiere:

<https://www.youtube.com/watch?v=9q9Zglqw5mc>

5.2. Objetivos y finalidad

El Centro de Investigación de Energías Renovables está especializado en el desarrollo, la investigación aplicada y fomento de las energías renovables. La infraestructura tecnológica diseñada y los profesionales de alta cualificación harían de este centro un referente a nivel nacional e internacional.

Se buscará conseguir los mayores estándares que definen las Certificaciones de Edificación Sostenible, tales como LEED, VERDE y AESCAI.

El centro desarrollará las siguientes labores:

- Investigación en todos los departamentos, por parte de profesionales, personal docente, doctorandos, estudiantes de máster y grado.
- Formación para todas aquellas personas que la necesiten, llegando incluso a poder ofrecer algún tipo de máster. Formación específica para profesionales del sector.
- Asesoramiento a instituciones públicas y privadas, empresas, la propia UVa, emprendedores y particulares.
- Promover y ejecutar proyectos innovadores.
- Apoyar la innovación y desarrollo en las pequeñas y medianas empresas castellanoleonesas, tanto en la certificación de sus productos, como en la utilización de los sistemas técnicos para aumentar su productividad.
- Colaboración con otros centros de investigación nacionales e internacionales. Ya que la ubicación geográfica limita la existencia de departamentos enfocados a la energía hidroeléctrica o la energía mareomotriz, mareomotérmica y

undimotriz, también habrá colaboración con otros centros dedicados a este tipo de energías.

5.3. División en departamentos

Para atender a cada uno de los tipos de energías renovables que existen de acuerdo con la geografía de Valladolid y con el fin de diferenciar la localización de los departamentos, se ha elegido una distribución por plantas. Los departamentos que requieran laboratorios, salas de ensayo y equipos más voluminosos se ubican en las plantas bajas del edificio. Por el contrario, hay departamentos que requieren otro tipo de necesidades y realizan una labor similar a la de oficina. Estos últimos se encuentran en las plantas más elevadas. El Centro de Investigación de Energías Renovables se divide en 6 departamentos, tal como se observa en la ilustración 15.

- Departamento de Eficiencia Energética en la Edificación. ●
- Departamento de Energía de la Biomasa y Residuos Sólidos. ●
- Departamento de Medio ambiente e Impacto Ambiental. ●
- Departamento de Materiales y Reciclaje. ●
- Departamento de Energía Eólica, Mini-eólica y Sistemas Eléctricos. ● ●
- Departamento de Energía Solar Térmica y Solar Fotovoltaica. ● ●

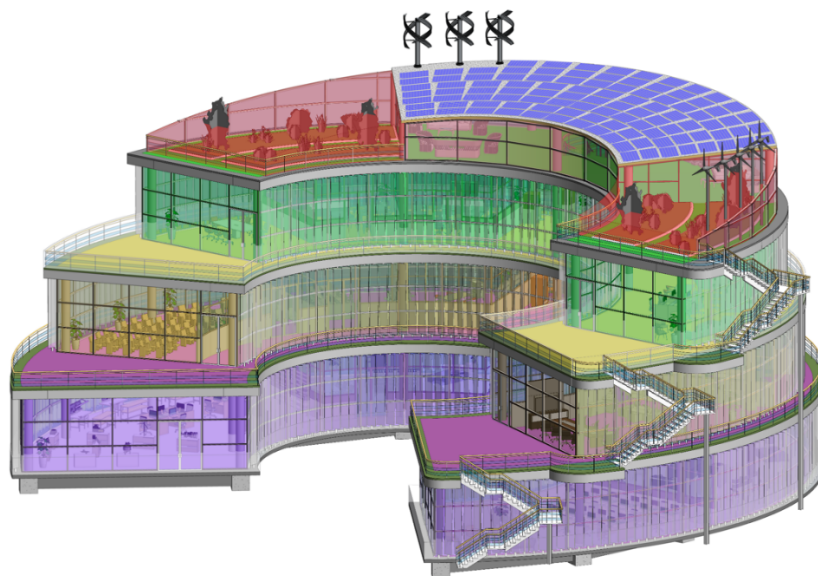


Ilustración 15. División por plantas del edificio que marca la distribución de los departamentos. Modelo de Revit.

5.4. Plan de necesidades por áreas

La distribución de todas las habitaciones y zonas del edificio debe cubrir todas las necesidades tanto de las personas como las actividades que en ellas se realizan.

A continuación, se muestran todas y cada una de las zonas diseñadas en el interior y exterior del edificio de forma ordenada y numerada tal y como se especifica en los planos de distribución en planta del Anexo 1.

- Planta Baja: 1-10 970,16m²
- Planta Segunda: 21-29 773,63m²
- Planta Primera: 11-20 1078,61m²
- Planta Tercera: 30-32 521,86m²

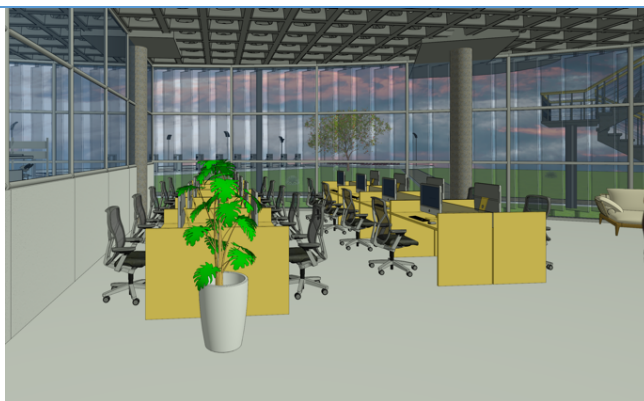
Número/s	1
Nombre	Recepción
Uso y características	Entrada para todo tipo de público. Sin delimitación
Equipamiento	Mostrador y zona de espera con sofás y sillas
Superficie (m ²)	74,27
Situación y conexiones	Comunica con el exterior y con 2

Ilustración 16. Recepción.



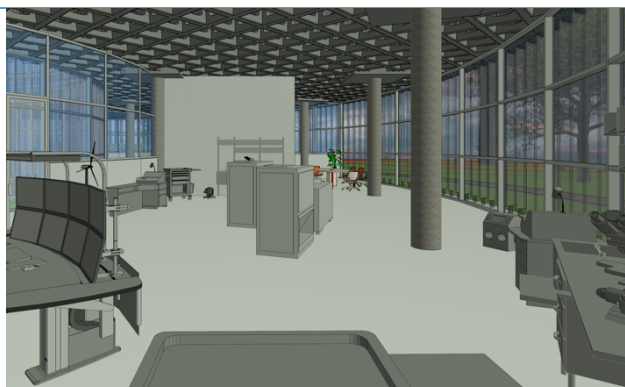
Número/s	2
Nombre	Área administrativa
Uso y características	Espacio abierto. Da servicio a todo el edificio
Equipamiento	Escritorios, sillas de oficina, equipos informáticos
Superficie (m ²)	70,13
Situación y conexiones	Comunica con 1 y es contiguo a 3

Ilustración 17. Área administrativa.



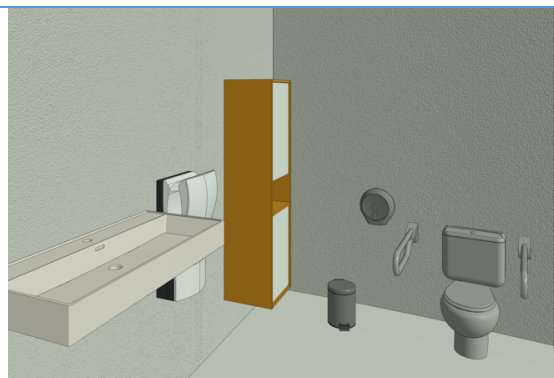
Número/s	3
Nombre	Área de Energía Eólica, Minieólica y Sistemas Eléctricos
Uso y características	Laboratorios y salas de ensayos
Equipamiento	Material de laboratorio y oficinas y equipos de ensayo
Superficie (m ²)	181,39
Situación y conexiones	Sala aislada con ventilación propia. Salida al pasillo

Ilustración 18. Área de Energía Eólica, Mini eólica y Sistemas Eléctricos.



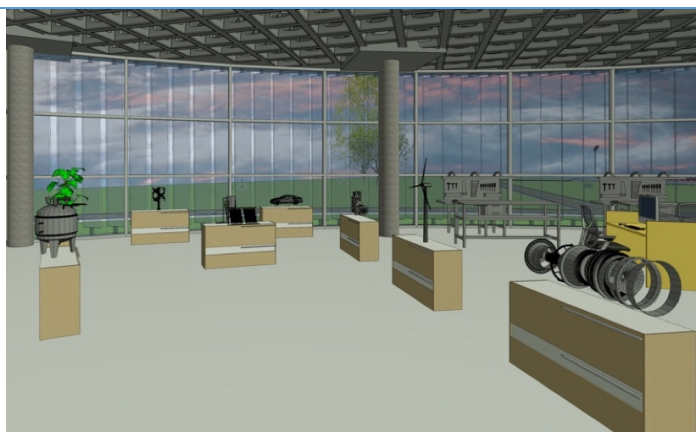
Número/s	(4, 5 y 6), (16, 17 y 18) y (25, 26 y 27)
Nombre	Aseos de la planta baja, primera y segunda resp.
Uso y características	Todos adaptados a personas discapacitadas
Equipamiento	Inodoro, lavabo y demás equipamiento sanitario
Superficie (m ²)	6,45 6,68 5,65. resp.
Situación y conexiones	Comunican con pasillo a través de un pasillo propio

Ilustración 19. Aseo.



Número/s	7
Nombre	Sala de exposiciones
Uso y características	Muestra los proyectos e investigaciones llevados a cabo
Equipamiento	Vitrinas y expositores
Superficie (m ²)	74,27
Situación y conexiones	Comunica con el exterior y con 8

Ilustración 20. Sala de exposiciones.



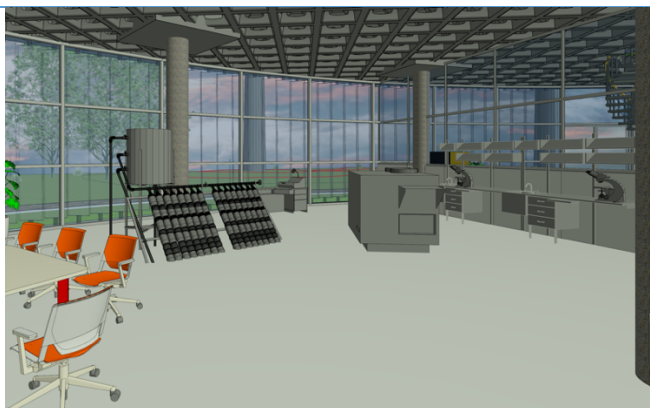
Número/s	8
Nombre	Taller de Formación
Uso y características	Formación a estudiantes y visitas de todo tipo.
Equipamiento	Mesas de herramientas, proyector, equipos informáticos
Superficie (m ²)	140,27
Situación y conexiones	Espacio abierto que comunica con 7 y 9

Ilustración 21. Taller de formación.



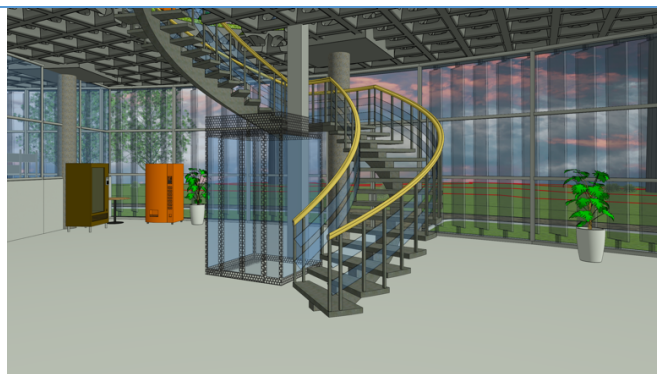
Número/s	9
Nombre	Área de Energía Solar Térmica y Fotovoltaica
Uso y características	Laboratorios y salas de ensayos
Equipamiento	Material de laboratorio y oficinas y equipos de ensayo
Superficie (m ²)	140,27
Situación y conexiones	Sala aislada con ventilación propia. Salida al pasillo

Ilustración 22. Área de Energía Solar Térmica y Fotovoltaica.



Número/s	10, 20 y 24
Nombre	Zona de café y descanso
Uso y características	Zona amplia y recreativa
Equipamiento	Máquinas expendedoras de bebidas y alimentos, mesa
Superficie (m ²)	13,87 11,4 9,28
Situación y conexiones	Espacio abierto junto a la escalera central y ascensor

Ilustración 23. Zona de café y descanso, escaleras y ascensor.



Número/s	11
Nombre	Salón de Actos
Uso y características	Reuniones, exposición de trabajos, eventos
Equipamiento	Proyector y butacas
Superficie (m ²)	116,61
Situación y conexiones	Comunican con pasillo y contiguo a 12

Ilustración 24. Salón de actos.



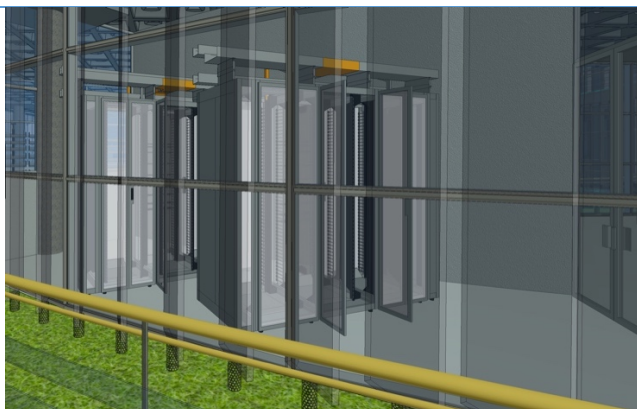
Número/s	12
Nombre	Área de Nuevos Materiales y Reciclaje
Uso y características	Laboratorios y salas de ensayos
Equipamiento	Material de laboratorio y oficinas y equipos de ensayo
Superficie (m ²)	113,29
Situación y conexiones	Sala aislada con ventilación propia. Salida al pasillo

Ilustración 25. Área de Nuevos Materiales y Reciclaje.



Número/s	13
Nombre	Sala de procesamiento de datos
Uso y características	Procesa los datos de todos los sistemas inteligentes
Equipamiento	Equipos informáticos
Superficie (m ²)	25,86
Situación y conexiones	Comunica con la zona común

Ilustración 26. Sala de procesamiento de datos.



Número/s	14
Nombre	Área de Medio Ambiente e Impacto Ambiental
Uso y características	Laboratorios y salas de ensayos
Equipamiento	Material de laboratorio y oficinas y equipos de ensayo
Superficie (m ²)	56,40
Situación y conexiones	Salida al pasillo. Contigua a 13 y 15

Ilustración 27. Área de Medio Ambiente e Impacto Ambiental.



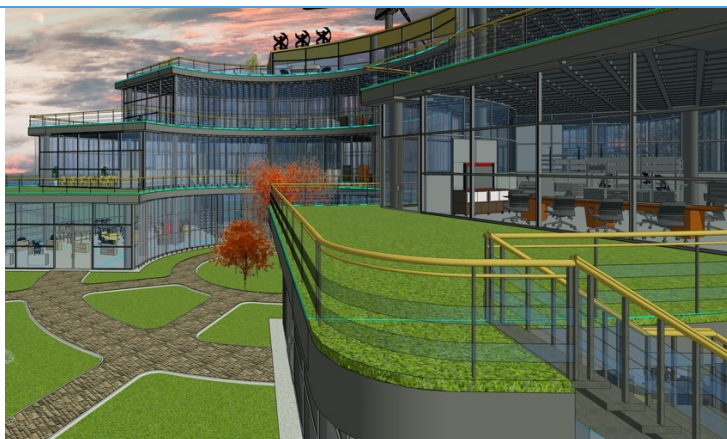
Número/s	15
Nombre	Área de Energía de la Biomasa y Residuos Sólidos
Uso y características	Laboratorios y salas de ensayos
Equipamiento	Material de laboratorio y oficinas y equipos de ensayo
Superficie (m ²)	116,61
Situación y conexiones	Sala aislada con ventilación propia. Salida al pasillo

Ilustración 28. Área de Energía de la Biomasa y Residuos Sólidos.



Número/s	19 y 29
Nombre	Jardín extensivo 1ª y 2ª planta resp.
Uso y características	Recreativo y de descanso
Equipamiento	Riego por goteo
Superficie (m ²)	396,37 328,62
Situación y conexiones	Tiene acceso a través del pasillo principal

Ilustración 29. Jardín extensivo.



Número/s	21
Nombre	Vivero de Empresas
Uso y características	Todos adaptados a personas discapacitadas
Equipamiento	Escritorios, sillas de oficina y equipos informáticos.
Superficie (m ²)	45,65
Situación y conexiones	Comunica con el jardín extensivo 29 y es contiguo a 22

Ilustración 30. Vivero de empresas.



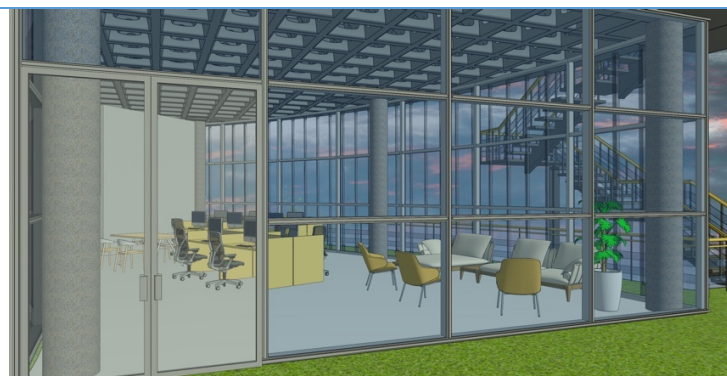
Número/s	22 y 23
Nombre	Aula 1 y Aula 2
Uso y características	Docente
Equipamiento	Pupitres, mesas, sillas, proyectores
Superficie (m ²)	48,64 48,64
Situación y conexiones	Comunican con pasillo principal

Ilustración 31. Aulas 1 y 2.



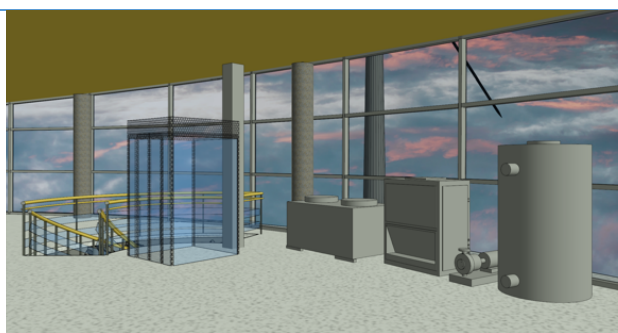
Número/s	28
Nombre	Área de Eficiencia Energética
Uso y características	Investigación y desarrollo
Equipamiento	Mobiliario t material de oficina
Superficie (m ²)	88.61
Situación y conexiones	Zona diáfana que comunica con el jardín extensivo

Ilustración 32. Área de Eficiencia Energética.



Número/s	30
Nombre	Área de equipos de ventilación y refrigeración
Uso y características	Todos adaptados a personas discapacitadas
Equipamiento	Bomba de calor, enfriador evaporativo, unidad de tratamiento de aire
Superficie (m ²)	17.98
Situación y conexiones	Zona aislada

Ilustración 33. Área de equipos de ventilación y refrigeración.



Número/s	31
Nombre	Jardín Intensivo en planta tercera
Uso y características	Recreativo y de descanso
Equipamiento	Riego por goteo y material de jardinería
Superficie (m ²)	153,98
Situación y conexiones	Comunican con pasillo a través de un pasillo propio

Ilustración 34. Jardín intensivo de la azotea.



6. ESTRUCTURA

6.1. Descripción general

Se utilizarán forjados bidireccionales con huecos HoleDeckHo45 en todas las plantas. Calificado como uno de los forjados más sostenibles del mercado, permite ahorrar gran cantidad de hormigón, aligerando la estructura (*Holedeck, 2020*).

Debido a su modulación, el sistema está adaptado para aceptar instalaciones y elementos diseñados específicamente para techos modulares estándar. Los forjados HoleDeckHo45 pueden adaptarse a modulaciones y geometrías cotidianas.



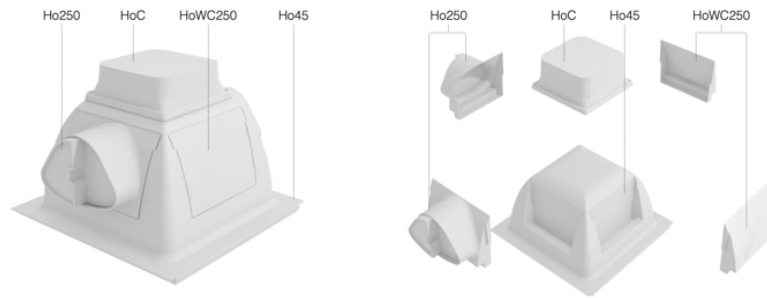
*Ilustración 35. Fotografía real de un edificio equipado con el forjado HoleDeckHo45.
Fuente: Holedeck, (2020).*

Permite ahorrar volumen de hormigón, pero es similar a un forjado reticular convencional en consumo de acero y tiempos de ejecución. Al reducir de forma radical el uso de hormigón reduciendo el peso propio de la estructura, también se reduce el consumo global de acero y la carga del edificio sobre la cimentación.

Se sabe que el cemento es un material con gran huella de carbono, de hecho, la industria cementera supone en torno al 7% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, más que lo que produce toda la flota mundial de camiones, según datos de la Agencia Internacional de la Energía. Por lo tanto, una reducción en el volumen del forjado supondrá un ahorro económico y de impacto ambiental.

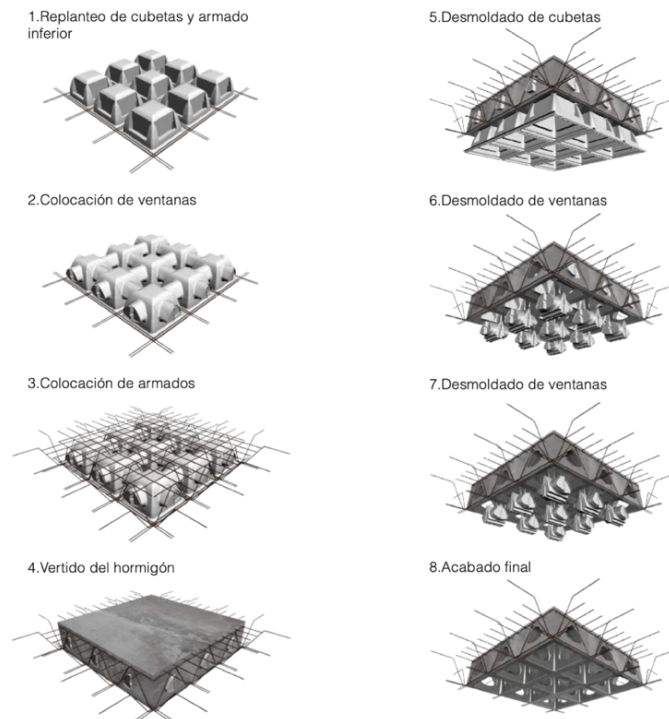
El forjado es moldeado gracias a una serie de casetones recuperables y reutilizables en las sucesivas plantas y/u otras obras, a diferencia que otro tipo de moldes

aligerantes (poliestireno expandido) que quedan perdidos dentro del forjado una vez ha fraguado. Los casetones de HoleDeckHo45 son de polipropileno. Esto permite que una vez finaliza su vida útil, puede ser triturado y fundido para extrusionar nuevos casetones y así ser reciclables. Con un pequeño número de moldes se puede llegar a realizar obras de grandes dimensiones, además son apilables.



*Ilustración 36. A la izquierda, casetón recuperable HoleDeck completo. A la derecha, vista explosionada con sus distintas partes.
Fuente: Holedeck, (2020).*

El proceso de fabricación de los forjados para el Centro de Investigación de Energías renovables es tal y como se muestra en la ilustración 37.



*Ilustración 37. Proceso de fabricación de un forjado HoleDeckHo45.
Fuente: Holedeck, (2020).*

6.2. Diseño en Revit

Como curiosidad, pude contactar con la empresa española HoleDeck y les solicité sus familias de Revit, al no aparecer estas en ninguna web de descarga de objetos BIM. Este forjado es atractivo no solo por las ventajas que ofrece, sino porque la empresa transmite un verdadero compromiso con la edificación sostenible. Pude comprobar que esta empresa española ha participado en proyectos con certificación LEED y BREEAM, y que la utilización de sus forjados otorga puntos extra en la calificación. Expliqué el tipo de proyecto que estaba realizando, que los fines eran educativos y me pude descargar las familias y varios documentos técnicos.

En lo referente a las zonas macizadas, existen dos, una perimetral a todo el forjado y otra en torno a los pilares. Estos últimos reciben el nombre de ábacos. Así se ha hecho constar en el diseño de Revit. Las zonas macizadas tendrán un espesor de 50 centímetros, el mismo que el forjado HoleDeckHo45.

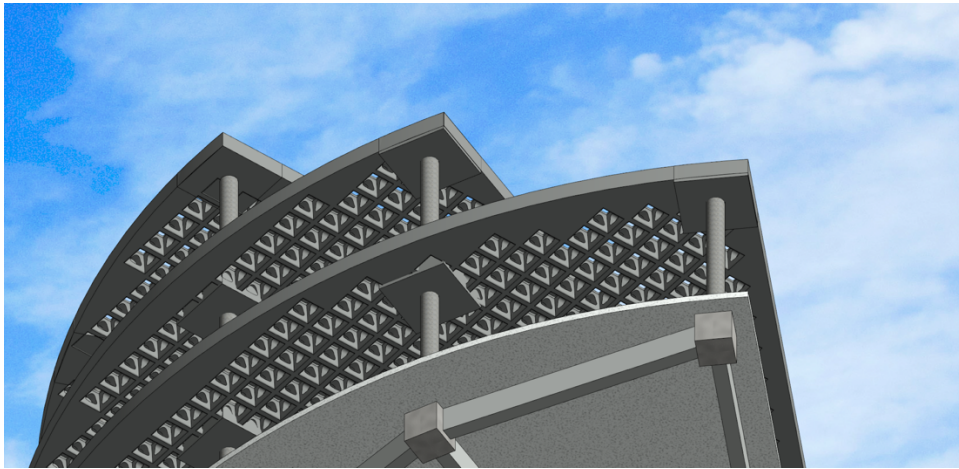
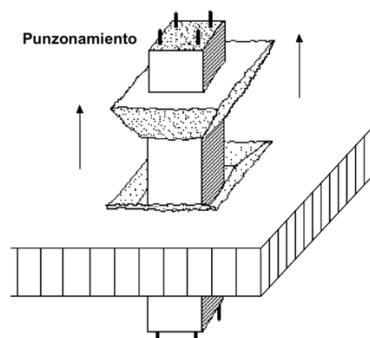


Ilustración 38. Zonas macizadas (perimetral y ábacos) en el modelo de Revit.

Los ábacos, que trabajan a flexión, son las zonas macizadas entorno a los pilares que conforman la estructura del edificio. En estos puntos se reúnen todos los anclajes de las armaduras de las bandas de soporte. Los pilares trabajan a axil de compresión, por tanto, en la acción de transmisión de cargas de un edificio aparecen grandes esfuerzos cortantes, pudiendo llegar a producirse el fenómeno de punzonamiento.



*Ilustración 39. Fenómeno de punzonamiento del pilar en el forjado.
Fuente: (Comprobación de Punzonamiento, n.d.)*

Los espacios entre los casetones crean los nervios del forjado. Estos van de un extremo al otro del forjado con el mismo criterio de la viga continua, pero consiguiendo una deformación menor.

La elección de las luces del Centro de Investigación no ha sido arbitraria. Este forjado admite luces medias entre 7,5 y 12,5 metros. Se podrían obtener luces de hasta 18 metros postensando en 1 o 2 direcciones. El edificio tiene luces que van de los 8 a los 12 metros, por lo tanto, cumple con lo establecido.

De forma similar ocurre con los voladizos. Debido a su ligereza, este forjado es ideal para la construcción de voladizos de todo tipo: con celosía, transitable o habitable. En función del canto, se pueden conseguir voladizos de hasta 4,5 metros (dependiendo de la luz que lo contrarresta, y tipo de cargas). El Centro de Investigación tiene voladizos que van de 1 a 3 metros, así que se asume el buen comportamiento del forjado.

6.3. Ventajas del forjado

El control dimensional de los moldes de polipropileno y su alta calidad hacen que se consigan muy buenos acabados. Esto, unido a que las instalaciones puedan ir por dentro del forjado, a través de los huecos, y apoyadas en los nervios, hace que se puedan eliminar los falsos techos o suelos técnicos. No son necesarias sujeciones auxiliares.



Ilustración 40. Montaje real de la instalación eléctrica.

Fuente: Holedeck, (2020).

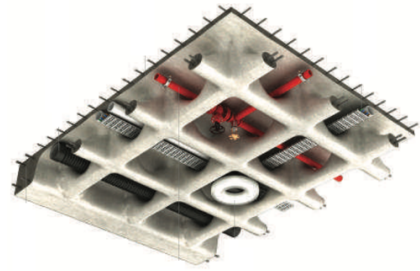


Ilustración 41. Instalaciones antiincendios, eléctrica y registro de aguas embebidas en el forjado HoleDeckHo45.

Fuente: Holedeck, (2020).

Sus huecos proporcionan una alta registrabilidad en cuanto a instalaciones se refiere. Puede albergar instalaciones eléctricas, conductos de aire, conductos de calefacción, instalación contra incendios, etc. Esto mejora el mantenimiento ya que no es necesario realizar obras o paradas de actividad para poder acceder a las instalaciones.

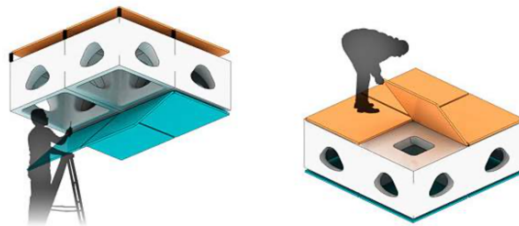
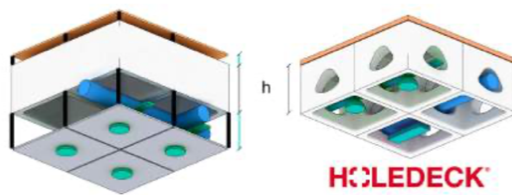


Ilustración 42. Posibilidades de acceso a las instalaciones embebidas en el forjado HoleDeckHo45.

Fuente: Holedeck, (2020).

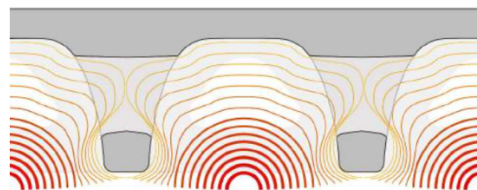
Dado que las instalaciones del edificio conciben la posibilidad de quedar embebidas en el forjado, se puede ganar una planta. Esto quiere decir que, por cada 5 plantas construidas con otro tipo de forjado, para la misma altura, se puede construir 6 plantas con forjado HoleDeckHo45. En consecuencia, para un mismo volumen se puede incrementar de manera notable el área construida al haber ganado una planta. O, por el contrario, para una misma área se puede llegar a reducir el volumen construido hasta un 20%.



*Ilustración 43. Eliminación de falsos techos gracias a la registrabilidad del forjado HoleDeckHo45.
Fuente: Holedeck, (2020).*

Este tipo de forjado reticular no solo representa un ahorro en la cantidad de hormigón utilizado, que se traduce a un ahorro económico, medioambiental y de peso total del edificio; sino que también implica una reducción de la altura construida para cada planta suponiendo un ahorro hasta del 20% en cerramientos interiores, pilares, muros y fachadas. Aligerar el forjado supone un menor dimensionamiento de las estructuras portantes (ahorro de acero).

El forjado HoleDeckHo45 tiene en cuenta la calidad acústica interior. Su geometría y acabado hace que se pueda absorber gran parte del espectro sonoro. Respecto a un forjado de hormigón plano, se reduce en torno al 20% el tiempo de reverberación. Estas características hacen que no sean necesarios falsos techos acústicos para cumplir con DB-HE de Ahorro de Energía (2019).



*Ilustración 44. Propagación de las ondas sonoras dentro de los huecos del forjado HoleDeckHo45.
Fuente: Holedeck, (2020).*

La configuración del forjado (anchura de nervio y recubrimientos de las armaduras) hace que pueda soportar las condiciones de un fuego hasta 120 minutos (EI-120). Cumple perfectamente con la norma CTE DB-SI de seguridad contra incendios (2019).

7. ENVOLVENTE

7.1. Vidrios activos

Actualmente, los edificios públicos son dotados de grandes superficies acristaladas. Las ventajas estéticas y de iluminación natural son muy amplias a la hora del diseño, sin embargo, el gasto en climatización aumenta considerablemente. Esto es debido a que el vidrio permite el paso de gran parte de la radiación solar y es un mal aislante térmico.

El Centro de Investigación de Energías Renovables tiene la característica de que toda la envolvente es acristalada, lo cual conllevará muchas ventajas, pero también un gran inconveniente: grandes pérdidas y ganancias térmicas en invierno y verano, respectivamente.

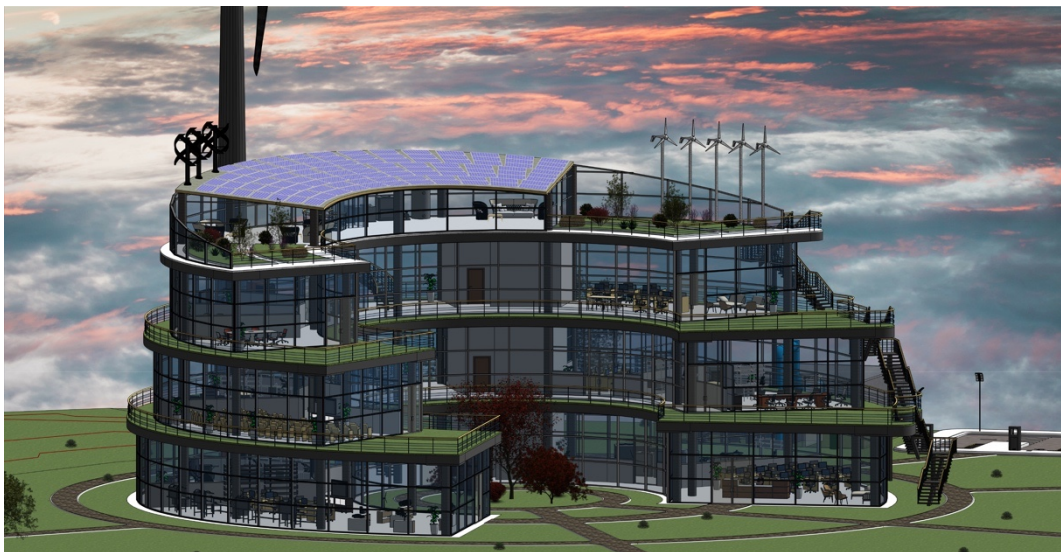
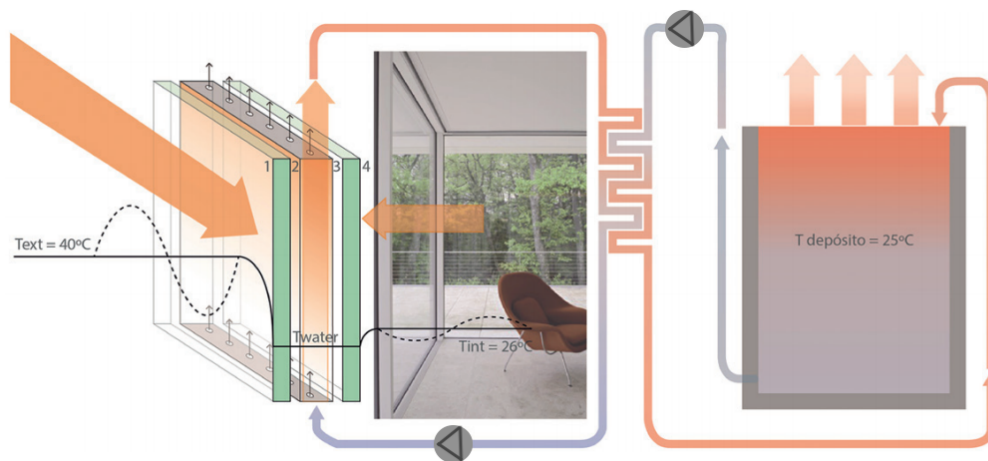


Ilustración 45. Fachadas acristaladas del Centro de Investigación de Energías Renovables. Modelo en Revit.

Son muchas las nuevas tecnologías que han surgido para solucionar los problemas que se plantean al usar vidrio en la edificación: vidrios de control solar, acristalamientos dobles y triples, vidrios de baja emisividad, tratamientos de capa, etc. Pero la principal desventaja de estos cerramientos ligeros radica en que carecen de inercia térmica. Los acristalamientos activos combinan la inercia térmica de alternativas opacas y pesadas con la ligereza y transparencia del vidrio.

Estos tienen una cámara de agua en circulación encerrada entre dos vidrios. El agua, debido a sus propiedades espectrales, absorbe la mayoría de la radiación solar infrarroja, disminuyendo el flujo de calor hacia el interior. A su vez, deja pasar la componente visible, permitiendo que los acristalamientos presenten mayor luminosidad (Ama et al., 2014).

El paso de la luz solar a través de los acristalamientos activos del edificio hace que la radiación capturada por el agua se transforme en energía calorífica, aumentando la temperatura de esta. Esta es la gran diferencia respecto a sistemas de vidrios de control solar, cuya intención es expulsar hacia el exterior parte de la radiación.



*Ilustración 46. Proceso de captación en el agua de la mayoría de radiación infrarroja.
Fuente: (Claros-Marfil et al., 2018)*

Pero la idea no solo llega aquí. El hecho de que el agua esté en circulación permite poder transportar esa energía calorífica para poder utilizarla, almacenarla o disiparla. Esto abre un amplio abanico de estrategias de almacenamiento estacional o diario en depósitos de inercia.

El amortiguamiento de la onda térmica, la homogeneización de fachadas, de la que ahora se hablará, y varias técnicas de enfriamiento nocturno son algunas de las ventajas que ofrecen los acristalamientos activos y que contribuyen a reducir el consumo energético del edificio.

La instalación consta de los siguientes circuitos: uno primario y otro secundario. El circuito primario comprende una bomba y un sistema para calentar o enfriar el agua y el secundario (circuito cerrado) consta de otra bomba que distribuye el agua a los vidrios de la fachada. Los fluidos de ambos circuitos nunca se mezclan. La transferencia de energía (primario-secundario) se realiza a través de un intercambiador de calor de placas (Ama et al., 2014).

El circuito primario proporciona o disipa la energía necesaria para labores de calefacción o enfriamiento, respectivamente, en su intercambio con el secundario. La fuente de energía del circuito primario debe proporcionar agua a la temperatura deseada con el mínimo gasto energético. Para ello se recomienda utilizar colectores solares para calentar el agua en invierno, y depósitos de agua o bombas de calor geotérmicas para disipar el calor en verano.

La bomba de impulsión debe vencer la pérdida de carga que se produce a lo largo del circuito. Esta es muy pequeña debido a la poca velocidad del agua a su paso a través de los vidrios, por tanto, la potencia de las bombas de impulsión no será elevada.

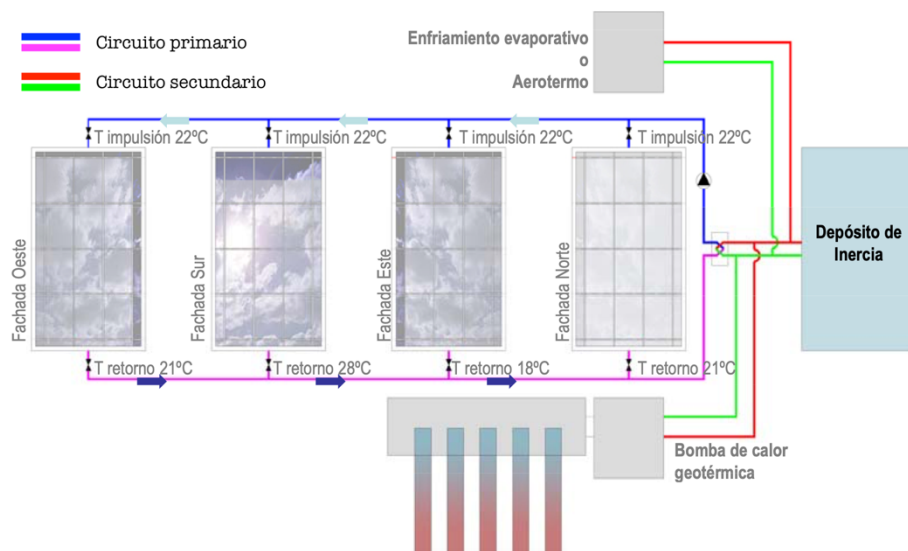


Ilustración 47. Circuitos primario y secundario del sistema de vidrios activos. Fuente: (Ama et al., 2014).

Día de verano: la radiación incidente se transforma en energía calorífica que eleva la temperatura del agua. La circulación forzada del agua transporta el calor absorbido hasta el intercambiador de calor. Este elemento se encarga de enfriar el agua antes de su regreso a la cámara entre los dos vidrios.

Día de invierno: se considera una temperatura interior de confort en torno a los 20°C, por lo tanto, las pérdidas a través de la envolvente exigen un caudal de circulación a través de los vidrios menor que en verano. Si la temperatura del agua se sitúa por encima de la temperatura de confort, la envolvente del edificio se convierte en un radiador de calor hacia el interior del edificio. Combinado con un sistema de producción de energía gratuito, reduce el consumo energético asociado a la calefacción o la refrigeración entre un 40 y 70%.

A su vez se puede combinar con un sistema de triple acristalamiento al exterior, cámara de aire más cámara de agua, aumentando aún más el aislamiento. En invierno la cámara de aire minimiza la transferencia de calor hacia el exterior y si, por ejemplo, la temperatura interior del edificio es menor que temperatura del agua, la fachada funcionará como un radiador transparente hacia el interior.

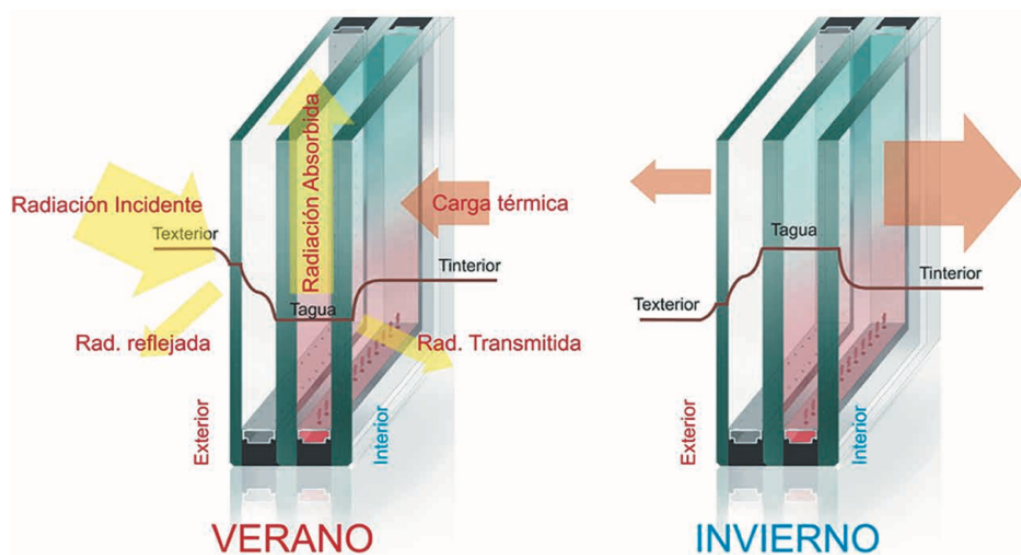


Ilustración 48. Comportamiento del sistema de vidrios activos de triple acristalamiento en verano e invierno. Fuente: (Ama et al., 2014).

Imagínese un día primaveral soleado en el que la temperatura exterior no es muy baja, en torno a 10-15°C. En la fachada sur de nuestro edificio (la fachada donde hay mayor superficie debido al hueco central) estará recibiendo radiación solar, y probablemente la temperatura superficial de nuestros vidrios supere la temperatura interior de confort (21 grados). A su vez, en nuestra fachada norte, los vidrios estarán a una temperatura ligeramente superior a los 10-15°C, pero inferior a los 21 interiores. Si se hace una división de los circuitos secundarios, por ejemplo, en tres diferentes (como se indica en la ilustración 49), podemos transportar energía calorífica desde los vidrios de la fachada sur hasta la norte, consiguiendo una homogeneización de las fachadas.

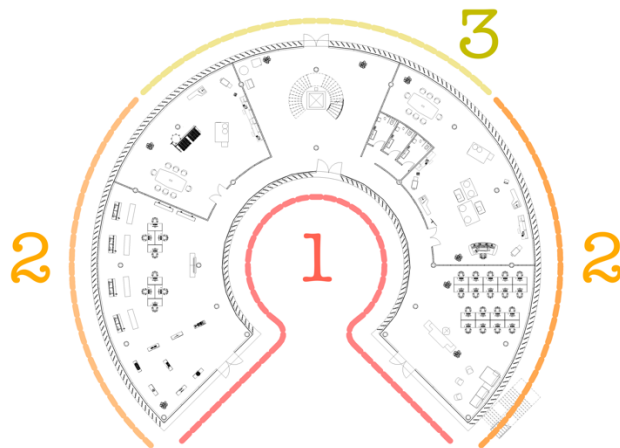


Ilustración 49. División de los circuitos secundarios en tres partes para la homogeneización de las fachadas. Modelo en Revit.

Por último, la inercia térmica de los vidrios activos es variable. Esta es la clave de los sistemas adaptativos en la edificación sostenible, buscar la adaptación a las condiciones climáticas en tiempo real. En inviernos soleados interesará aprovechar las ganancias térmicas para que el edificio se caliente sin consumir energía. Solo bastaría con apagar las bombas de impulsión, que no exista circulación del agua a través de los vidrios, y que la radiación entre al interior del edificio para que caliente las masas térmicas pasivas como suelos y forjados de hormigón.

Los acristalamientos activos pueden usarse en el interior, actuando al mismo tiempo como división interior y como climatizador. Sin embargo, la aplicación más interesante es su uso en exteriores (fachadas, muros cortina, lucernarios y cubiertas).

Lo mismo ocurre con su aplicación en viviendas, cuyas superficies acristaladas no representan un área suficiente para que este sistema sea rentable y eficiente. Lo ideal pues, es su aplicación en grandes edificios, con grandes superficies acristaladas, con un uso no residencial, a poder ser de oficinas y/o docentes, y como cerramiento. El Centro de Investigación de Energías Renovables está entonces en el escenario óptimo.

Diversas investigaciones (Lauret & Ovando, 2016) demuestran que como virtud principal tienen la de mantener la transparencia total, sin crear aberración visual alguna, ni en el plano cercano ni en el lejano. Transparencia incluso mejor que la de un vidrio doble convencional, ya que desaparecen las reflexiones de las caras interiores.



*Ilustración 50. Demostración de la transparencia total de los vidrios con cámara de agua.
Fuente: (Lauret & Ovando, 2016).*

En la ingeniería y arquitectura actual, se tiende a buscar una continuidad en los vidrios de suelo a techo (cuando sea posible) dando lugar a vidrios muy altos, de hasta 3 metros. En los vidrios activos hay que tener en cuenta la presión hidrostática del agua encerrada o la sobrepresión originada por alguna avería, ya que pueden provocar la rotura de este. También es obvio la complejidad técnica del sistema, sobre todo el alojamiento de tuberías y conducciones en la marquería del muro cortina. Sin

embargo, los bajos caudales permiten que los conductos sean de sección muy reducida.

7.2. Fachada cinética

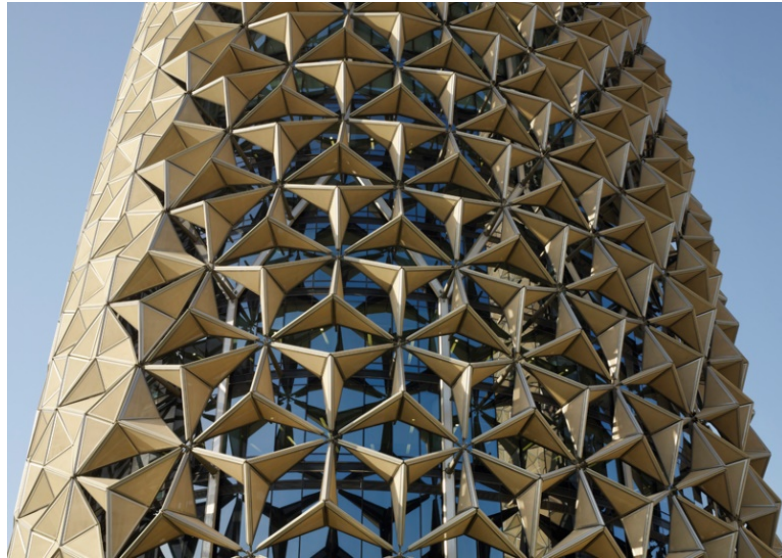
El primer control energético de un edificio es su envolvente. La adaptación al entorno arquitectónico y al lugar ya lo contemplan las fachadas tradicionales, sin embargo, son fachadas estacionales en cuanto al clima.

En los edificios con fachadas acristaladas, muy expuestas a la radiación solar, también es un desafío asegurar el confort visual y térmico de los ocupantes. El uso de protección solar móvil es una forma esencial de facilitar el confort en edificios con un elevado acristalamiento.

Las fachadas cinéticas (Alotaibi, 2015) son la alternativa óptima para hacer frente a los cambios climáticos, especialmente en el caso de la protección solar (sombreamiento), y para proporcionar una iluminación natural conveniente y aire fresco. Dichas fachadas activas deben responder a través de dispositivos de control automático, con el objetivo de optimizar significativamente el desempeño energético.

El Centro de Investigación de Energías Renovables necesita reaccionar en tiempo real según las necesidades internas del usuario y los cambios del clima exterior. Se propone una fachada cinética con una respuesta inmediata (minuto a minuto) y que pueda dar el máximo confort y el mínimo consumo de energía en cada momento del día.

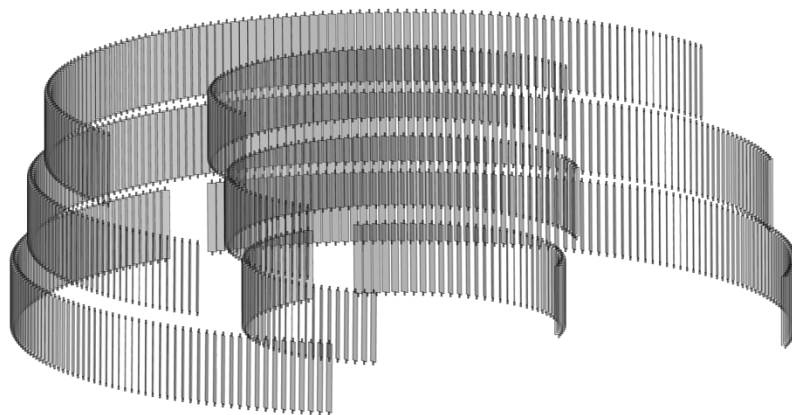
Se han tomado multitud de formas a lo largo de los años. Habitualmente median entre la utilidad y la estética, generando impresionantes diseños que ayudan a proteger el medio ambiente. Uno de los ejemplos más citados son las Torres Al Bahar (Babilio et al., 2019) en Abu Dabi. Su estructura de tensegridad con paneles formando geometrías de origami (pueden parecerse a paraguas) se abre y se cierra a lo largo del día a partir del recorrido del sol, protegiendo a los ocupantes del calor desértico y la excesiva luz.



*Ilustración 51. Fachada cinética de las Torres Al Bahar en Abu Dabi.
Fuente: (Babilio et al., 2019).*

Una vez se ha optado por la utilización de una fachada cinética, queda definir qué tipo de geometría se adaptaría mejor al Centro de Investigación, para que así la eficiencia y la rentabilidad sean máximas. Ligado a la geometría, aparece la elección del material a emplear, existiendo multitud de posibilidades.

Se ha optado por una lama rectangular vertical (4,5 x 0,5m) distribuida a través de toda la superficie exterior del edificio, excepto en las zonas donde se corta la circunferencia, pues serán las entradas y salidas del edificio.



*Ilustración 52. Fachada cinética de lamas de ETFE para el Centro de Investigación de Energías Renovables.
Modelo en Revit.*

Cada lama tiene un marco de aluminio, el cual irá recubierto por una película de EFTE. De esta forma se forma un cojín en cuyo interior hay aire, aumentando el aislamiento. Las lamas irán desde el suelo de una planta hasta el principio del forjado de la siguiente, unidas entre sí por un mecanismo alojado a continuación del hormigón que las haga girar en función de las necesidades interiores y de las condiciones climáticas de ese momento. El objetivo principal es el sombreado, sin embargo, es muy importante que no se sobrecalienten y que no radien hacia el interior del edificio. Para ello deben encontrarse lo suficientemente ventiladas manteniendo una distancia mínima con el muro cortina que permita el flujo de aire.

El giro de las lamas estará controlado de manera automatizada. Todo lo realizará la unidad central de control localizada en la sala de procesamiento de datos, que interconectará y controlará los demás sistemas activos y pasivos. Por tanto, todo estará ligado: la posición de las lamas, los caudales de fluido de los vidrios, la producción de energía solar térmica y fotovoltaica, la geotermia, la ventilación, los sistemas complementarios de calefacción y refrigeración, el control de la calidad de aire interior, las necesidades de iluminación, la cantidad de energía almacenada en las masas térmicas (hormigón y materiales de cambio de fase), la producción de los aerogeneradores, las condiciones meteorológicas, etc.

Se creó una primera familia en Revit, que posteriormente se introdujo en otra familia. Después se creó una masa, se obtuvieron solo las superficies deseadas, y se parametrizaron y dividieron en función de cada lama.

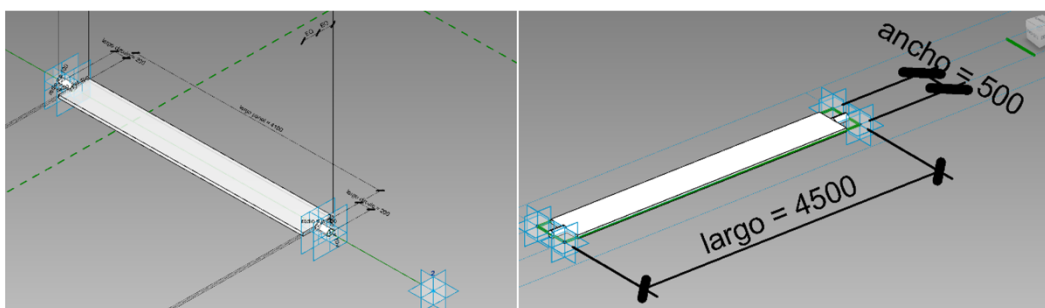


Ilustración 53. A la izquierda, la primera familia creada. A la derecha, la segunda familia. Estas dos familias de lamas se introducirían posteriormente en una tercera adecuada a la forma de las fachadas. Modelo en Revit.

Obteniendo una última familia que finalmente se cargó en el proyecto. Lo interesante es que se puede cambiar todas las dimensiones que se deseen, al igual que el ángulo de giro de las lamas. También se puso atención en los materiales de cada elemento, dándole transparencia al recubrimiento de ETFE, así en las renderizaciones todo se verá de forma coherente.

La estética del edificio queda de la siguiente manera. En la ilustración 54 las lamas están cerradas y en la ilustración 55 abiertas un cierto ángulo.

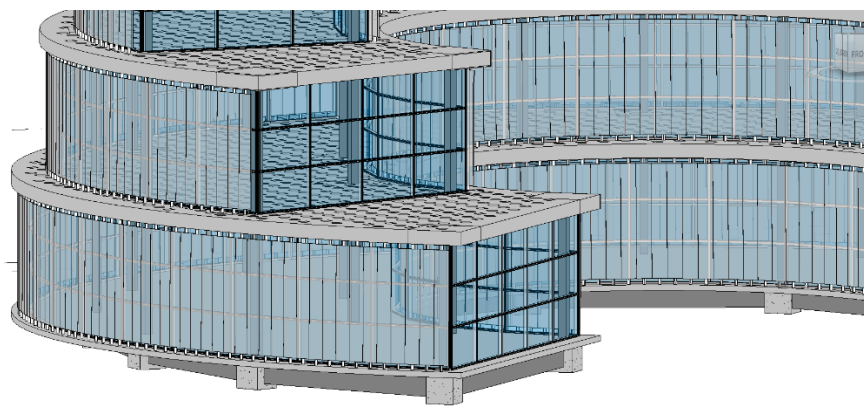


Ilustración 54. Fachada cinética cerrada. Modelo en Revit.

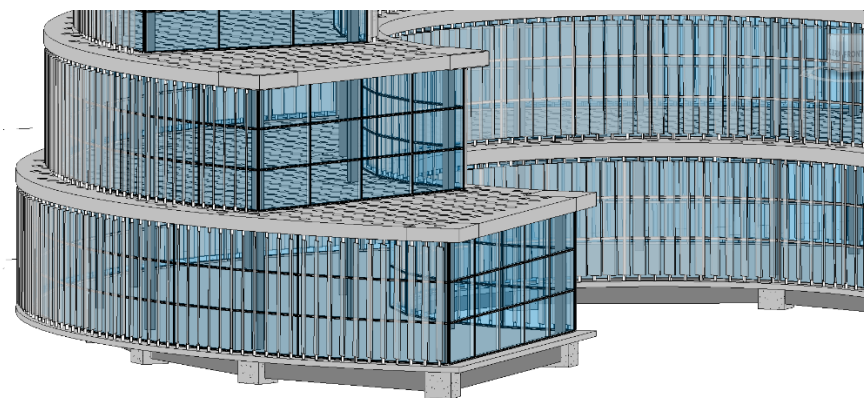


Ilustración 55. Fachada cinética abierta. Modelo en Revit.

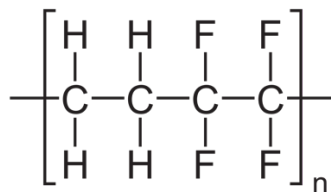
8. MATERIALES

8.1. ETFE

En comparación con los materiales tradicionales, los cerramientos estructurales de membranas textiles y láminas utilizan una cantidad mínima de materiales para cubrir espacios o cerrar fachadas, gracias especialmente a su capacidad de tensado. Sin embargo, la compatibilidad ambiental, debido a su origen real de combustibles fósiles, junto con los rendimientos térmicos, ópticos y acústicos, son factores cruciales a verificar durante la fase de diseño (Maywald & Riesser, 2016).

El mundo de la construcción ya no considera a los polímeros como materiales inferiores en cuanto a su utilización a gran escala. Ahora este tipo de materiales se utilizan no solo para generar superficies que se limpian fácilmente, sino que se ha extendido su uso en el revestimiento de edificios como elementos de control solar. El ETFE es uno de los más conocidos y que mayores ventajas presenta.

También conocido como etileno-tetrafluoretileno, su copolímero es ortorrómbico con cuatro cadenas planas en zigzag y procesa la naturaleza paracristalina (Tanigami et al., 1986). Los fuertes enlaces dentro del polímero a base de flúor evitan la degradación del material con respecto a las condiciones climáticas y de radiación ultravioleta, por lo tanto, no son necesarios revestimientos para preservar su tenacidad. Por esta razón, la lámina de ETFE no se deteriora, decolora o endurece durante su vida útil (aproximadamente 50 años).



*Ilustración 56. Estructura molecular del etileno-tetrafluoroetileno (ETFE).
Fuente: (ETFE - Wikipedia, La Enciclopedia Libre, n.d.)*

Además, el ETFE posee gran estabilidad química haciéndolo resistente a la corrosión y a las grandes variaciones de temperatura. Sus características mecánicas hacen que tenga gran resistencia y pueda ser tensado para poder adaptarse a casi todas las superficies.

Suele requerir un sistema de fijación para su uso en cubiertas y fachadas. Estos sistemas de fijación que consumen poco material debido a la baja densidad del ETFE y su utilización suele ser de dos tipos: en forma de una sola lámina o en forma de cojín (varias láminas insufladas con aire a presión). Como todo el sistema de lamas estará en la zona del forjado en voladizo, se optó por un sistema que fuera lo más liviano posible. Por ello se han elegido marcos de aluminio y tres películas de ETFE formando un cojín.

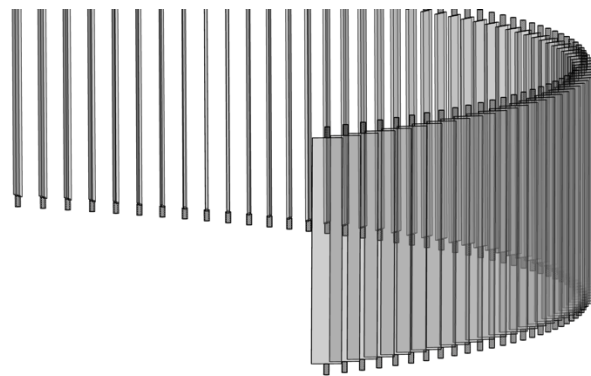


Ilustración 57. Lamas rectangulares de ETFE que constituyen la fachada cinética.

Uno de los atributos más atractivos de la lámina de ETFE en comparación con otros materiales plásticos de construcción es su comportamiento frente al fuego. En caso de incendio, el ETFE podría ser autoextinguible debido al flúor en su estructura química y un bajo índice de oxígeno. ETFE produce humos tóxicos solo cuando se quema a una temperatura superior a 800 C (Hu et al., 2017)

A continuación, se enumera una serie de ventajas que este material aportará a la fachada cinética del Centro de Investigación de Energías Renovables:

- Autolimpiable con el agua de lluvia.
- Su bajo coeficiente de fricción hace que sea antiadherente evitando que se deposite y acumule polvo y partículas de contaminación.
- No es un derivado del petróleo ni requiere disolventes en su fabricación. Es 100% reciclable y requiere poca energía, aunque si agua, para su producción.
- Altamente transparente dejando pasar en torno al 90% de la luz visible.

- Su transporte e instalación en obra es muy eficiente. Requiere muy poco consumo energía debido a la poca cantidad que se utiliza y a su bajo peso.

La idea es que no sea necesario ningún tipo de control solar adicional como toldos, persianas, cortinas, etc. Que la envolvente del edificio sea completamente de vidrio es un verdadero reto, por ello se requiere la colaboración de la fachada cinética, para dar sombreadamiento y ser una primera barrera de la radiación solar e inclemencias meteorológicas, y de los vidrios activos con cámara de agua. Si en algún momento específico se desea que la radiación entre al edificio (como en invierno), cada lama girará de forma que no interfiera en su camino y/o la circulación del agua en los vidrios se detendrá.

También es importante su misión estética, pudiendo iluminar por la noche cada lama con diferentes colores, creando formas. Existen numerosos proyectos arquitectónicos que utilizan el ETFE, ya sea en sistemas estáticos o dinámicos. Las 4 primeras imágenes se observa la utilización del ETFE en forma de cojín.



Ilustración 58. Allianz Arena, estadio del Bayern de Múnich.
Fuente: (Seele, n.d.)



Ilustración 59. The Shed, Nueva York.
Fuente: (Plataforma Arquitectura The Shed, n.d.)



Ilustración 60. ARTIC, Anaheim, California.
Fuente: (ARTIC, n.d.)



Ilustración 61. Cúpula del Milenio, Valladolid.
Fuente: (Wikipedia, n.d.)

En las 2 siguientes imágenes se observa la utilización del EFTE en forma de lama:



*Ilustración 62. Edificio Castellana 77, Madrid.
Fuente: (Plataforma Arquitectura Castellana 77, n.d.)*



*Ilustración 63. San Mames, estadio
del Athletic Club de Bilbao.
Fuente: (Plataforma Arquitectura San Mames, n.d.)*

8.2. Materiales de cambio de fase y estructuras termoactivas

El consumo de energía eléctrica varía significativamente durante el día y la noche de acuerdo con la demanda de las actividades industriales, comerciales y residenciales, aunque la mayor parte de la variación se debe a la calefacción y el aire acondicionado. Dicha variación provoca un sistema de precios diferencial para los períodos pico y no pico de uso de energía. Se puede lograr una mejor gestión de la generación de energía y un beneficio económico significativo si parte de la carga máxima se pudiera desplazar al período de carga baja. Esto se puede lograr mediante el almacenamiento térmico de calor o frío (Lizana et al., 2017).

El calor latente de fusión es la cantidad de energía que necesita ser absorbida o liberada cuando un material cambia de fase de estado sólido a líquido o viceversa. Por otra parte, el calor sensible no implica cambio de fase, pues solamente hay variación de temperatura, y se traduce en menores flujos de calor para un mismo material. Se puede comparar la capacidad calorífica sensible del hormigón (1.0 kJ/ kg K) con el calor latente de un material de cambio de fase (PCM), como cloruro de calcio hexahidrato $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (193 kJ / kg) (Khudhair & Farid, 2004). Es obvio que cualquier sistema de almacenamiento de energía que incorpore PCM comprenderá

volúmenes significativamente más pequeños en comparación con otros materiales que almacenan solo calor sensible.

Otra ventaja del almacenamiento de calor latente en los PCM es que el almacenamiento y la entrega de calor ocurren a temperatura constante (zona de transición), pudiéndola ajustar a la temperatura de confort interior deseada (20-22°C). Esto acota la búsqueda del tipo de PCM a utilizar.

Los PCM son materiales pasivos e inteligentes, que actúan de manera reversible en base a las condiciones térmicas del entorno. Con el fin de aumentar la inercia térmica de todo el edificio, se incorporarán a los suelos, forjados y tabiques interiores.

De este modo, los techos, suelos y las paredes contribuyen a mantener la temperatura interior del edificio constante, además de servir de complemento (y no de sustituto) a los sistemas de refrigeración y calefacción, permitiendo instalar unidades más pequeñas y menores secciones de tubería. Dependiendo de la época del año y del clima, el consumo energético de un edificio se puede reducir en un 25%.

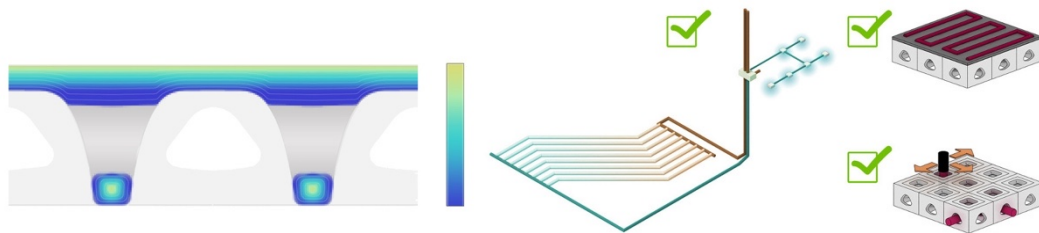
Los PCM más utilizados en la edificación sostenible son los microencapsulados. Los más frecuentes son las parafinas, ácidos grasos, algunas sales hidratadas y mezclas eutécticas (Oliver et al., 2012). Las sales hidratadas tienen mayor calor latente que los demás PCM, sin embargo, son muy corrosivos, y en el interior de una estructura de hormigón como es el forjado, sería nefasto para las armaduras de acero. Las sales hidratadas suelen estar macroencapsuladas para evitar el problema de corrosión, por ejemplo, dentro de placas de aluminio para facilitar el intercambio de calor.

Recordando el forjado HoleDeckHo45, si se introduce una placa de aluminio dentro de él, sería difícil conservar las propiedades de viga continua, afectando a la integridad estructural. Por lo tanto, se opta por la parafina microencapsulada. El pequeño tamaño de las capsulas (10 to 20 μm) permitirá su mezcla con el hormigón antes de ser vertido, creando una masa inercial más uniforme y sin afectar a sus características mecánicas. Además, los cambios de fase en las parafinas tienen menos oscilaciones

térmicas consiguiendo de forma más precisa la temperatura de confort. No son tóxicas y tienen un ciclo de vida mayor.

Se elige la línea de productos PCM-RT (Rubitherm Technologies GmbH, 2020) del fabricante alemán Rubitherm, líder en este sector. En concreto se elige el RT25HC, con un calor latente de 230 kJ / kg y una temperatura de fusión de 22 a 26°C (la más probable es 25°C).

Combinado con los PCM, se termoactivará el forjado. Sigue el mismo principio que la calefacción radiante y además el forjado HoleDeckHo45 está preparado para ello. Permitirá tanto el calentamiento como el enfriamiento del edificio. Se ha constatado la magnífica complementación de los PCM y una masa termoactiva (Mazo Olarte, 2016).



*Ilustración 64. Termoactivación del forjado HoleDeckHo45.
Fuente: Holedeck, (2020).*

Al principio de este apartado se hablaba de poder trasladar los periodos de carga máxima y mínima. En modo refrigeración (días calurosos), el conjunto por la noche, cuando la energía es más barata y el edificio este vacío, se enfría el forjado a través del bombeo de agua procedente de los tubos geotérmicos. De día, cuando el edificio se encuentre a pleno rendimiento y los usuarios estén en su interior, los forjados, que estaban fríos, acumulan la carga térmica de la radiación solar, repitiendo el ciclo y enfriándose de nuevo por la noche.

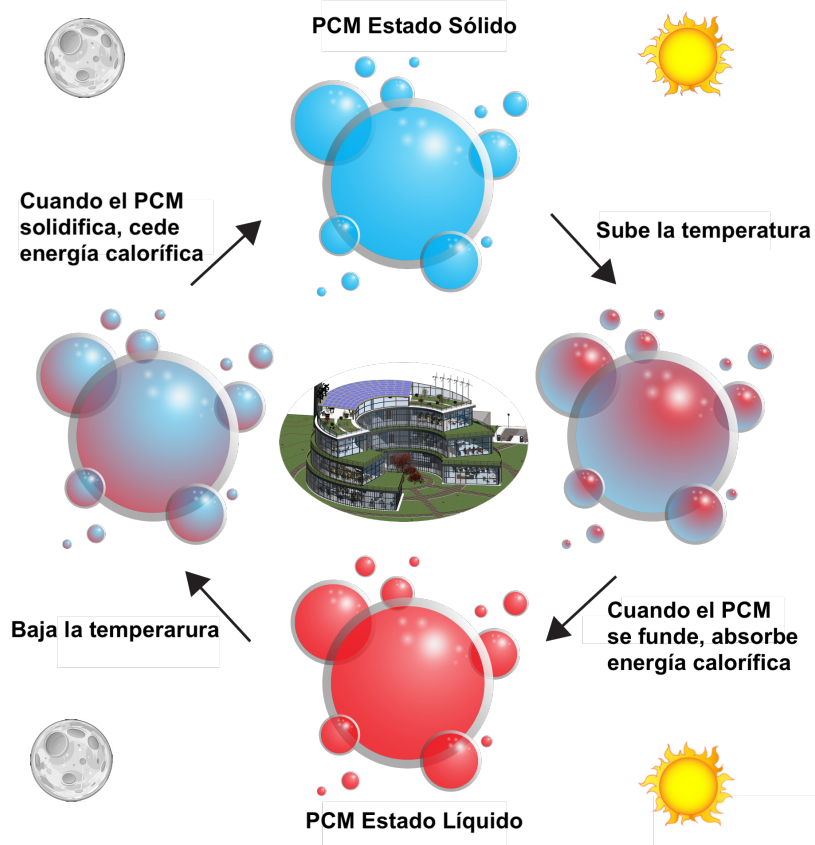


Ilustración 65. Ciclo de energía en los PCM.

9. OTRAS CONSIDERACIONES

9.1. Cubiertas ajardinadas y exterior del edificio

Se ha buscado tener la mayor superficie ajardinada posible, tanto en el exterior como en el interior del edificio. Las zonas verdes desempeñan una importante labor filtrante, previenen la erosión, las inundaciones y el agotamiento de acuíferos.

Las aguas recogidas de la lluvia junto con las aguas grises del edificio serán almacenadas para poder aprovecharlas. El principal destino será el riego de las zonas verdes.

En el exterior habrá un jardín con grandes árboles autóctonos, con el fin de reducir el efecto isla de calor. La fachada dinámica de lamas de ETFE no será la primera barrera para las inclemencias meteorológicas. Se buscará un mayor abrigo gracias a los árboles, que reducirán la velocidad del viento incidente.

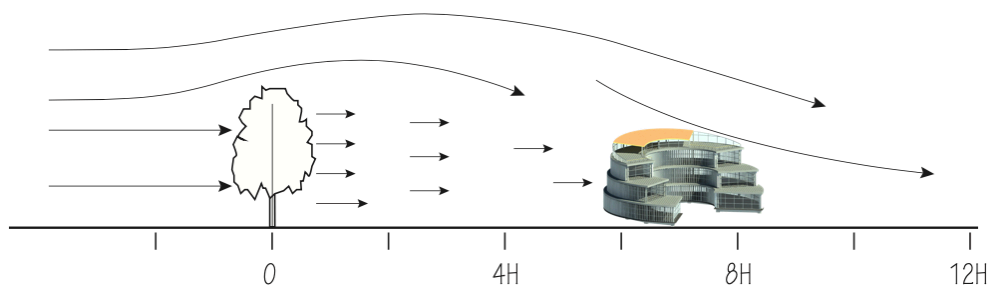


Ilustración 66. Los árboles ayudan a reducir la velocidad del viento incidente, proporcionando más abrigo. La máxima reducción de velocidad se produce de 5 a 8 veces la altura de la barrera (H).

En las zonas exteriores de primera y segunda planta se instalará una cubierta ajardinada extensiva. Este tipo de cubiertas son ligeras, pues el conjunto de sus capas no es muy grueso, entre 10 y 25 cm. Se instalará una cubierta tipo EXT1 del fabricante español Danosa (*DANOSA EXT1*, 2020).

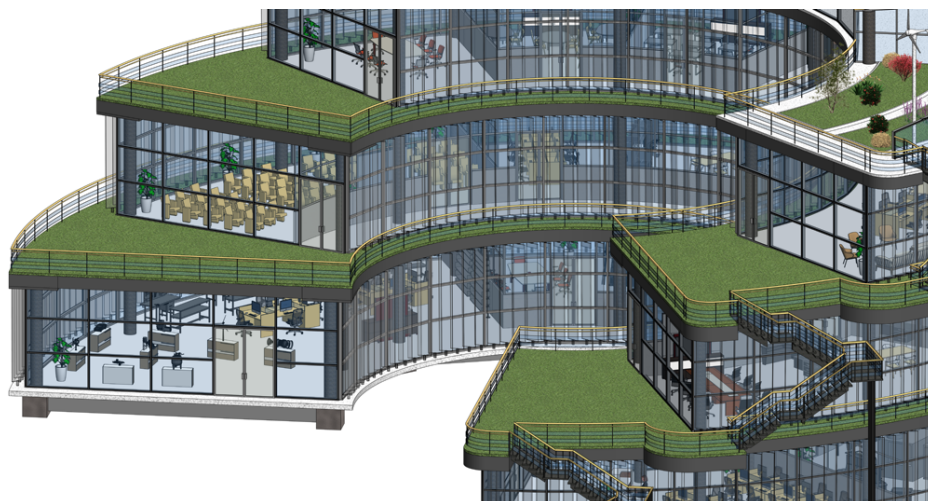


Ilustración 67. Cubiertas ajardinadas extensivas en primera y segunda planta. Modelo en Revit.

Las cubiertas ajardinadas extensivas tienen muy poco mantenimiento debido al tipo de vegetación que albergan. Se utilizará vegetación tapizante muy resistente, llamada sedum, que apenas requiere riego.

En la azotea se instalará una cubierta intensiva. Este tipo de cubiertas son más pesadas que las anteriores, con grosores superiores a 60 cm. El diseño de la estructura del edificio ha tenido en cuenta el peso de ambos tipos de cubierta. Se instalará una cubierta tipo INT2 del mismo fabricante (*DANOSA INT2, 2020*).



Ilustración 68. Cubierta ajardinada intensiva en la azotea. Modelo en Revit.

Las cubiertas intensivas tienen fines recreativos ya que intentan simular los parques y jardines convencionales. Debido a las características del tipo de vegetación, precisa un mantenimiento de forma regular contemplando labores de riego, limpieza, poda, replantaciones, fertilización, control fitosanitario, siega, etc. La finalidad de parte de la cubierta intensiva del Centro de Investigación de Energías Renovables será la de huerto ecológico para disfrute de sus ocupantes.

Para finalizar este apartado, se deben remarcar otras ventajas de las cubiertas ajardinadas:

- Creación de nuevos hábitats para la fauna.
- Creación de espacios para las personas.
- Mejora el paisaje urbano.
- Mejora la estética del edificio.
- Mejora la calidad del aire.
- El rocío diario y la transpiración de las plantas reducen el efecto isla de calor.
- Reducción del ruido.
- Mejora el rendimiento de las placas solares colindantes, ya que disminuyen la temperatura.
- Alargan la vida útil de las cubiertas evitando daños mecánicos y las inclemencias meteorológicas.

9.2. Aprovechamiento de aguas

“En el año 2040 España formará parte de los 30 países con menos agua del mundo. España ya es uno de los países más secos de Europa y el estrés hídrico aumenta conforme el cambio climático trae consigo un tiempo más seco y cálido. ¿Podrá soportarlo el suministro de agua del país?” (Heggie, 2020).

En los últimos años es fácil recordar noticias que hablan de que nuestros embalses están por debajo de un tercio de su capacidad en épocas estivales. También es fácil ver imágenes en la televisión de camiones cisterna abasteciendo de agua potable a ciertas comarcas españolas o la proliferación de incendios debido a épocas de sequía

más largas. España no es un país al que le sobre el agua y necesita una remodelación nacional de su sistema hídrico, pero ese es otro tema.

La edificación sostenible vuelve de nuevo a jugar un papel fundamental. En lo que al aprovechamiento del agua se refiere, es muy sencillo tenerlo en cuenta en el diseño de un nuevo edificio, pero también es de las medidas más asequibles a la hora de remodelar. Se puede resumir en minimizar su demanda, su vertido y sus necesidades de depuración.

El Centro de Investigación de Energías Renovables contará con sistemas reductores de caudal, como eyectores y aireadores en la grifería. La apertura de estos será temporizada y por detección infrarroja. Contará también con inodoros de doble descarga y se estudiará la posibilidad de instalar inodoros secos en edificios públicos.

Las canalizaciones recogerán el agua de lluvia, almacenándola en tanques, que posteriormente se utilizará en el sistema de riego por goteo en el jardín exterior y las cubiertas ajardinadas. Las aguas grises podrán reutilizarse en los inodoros y en el riego.

Los laboratorios e inodoros (aguas negras) contarán con separadores de grasas, y en un futuro se estudiará la rentabilidad de un sistema de depuración propio del edificio.

9.3. Gestión de residuos

Las principales consecuencias que supone la elección de materiales en la construcción son: los recursos energéticos que consumen, las emisiones relacionadas, el agotamiento de las fuentes finitas y la acumulación de residuos en los vertederos.

El proceso de diseño de un edificio debe anticipar el impacto ambiental de los desechos generados durante toda la vida útil. Por ejemplo, a través del diseño de áreas de reciclaje en el edificio, la planificación para la eliminación de materiales

peligrosos y la planificación para la demolición y reutilización de materiales de construcción (Francis D.K. Ching & Shapiro, 2014).

El uso de menos materiales a través del diseño se aplica no solo a los componentes arquitectónicos sino también a los componentes mecánicos y eléctricos, como los equipos de iluminación, calefacción y refrigeración.

En cuanto a la gestión de los residuos generados durante el uso del edificio, se opta por incorporar un sistema neumático de recogida de residuos. Ya es muy usado en hospitales, centros públicos, comunidades de vecinos e incluso ciudades. Se optará el servicio que ofrece la empresa LogiWaste, con quien puede contactar para que me proporcionaran sus modelos BIM.

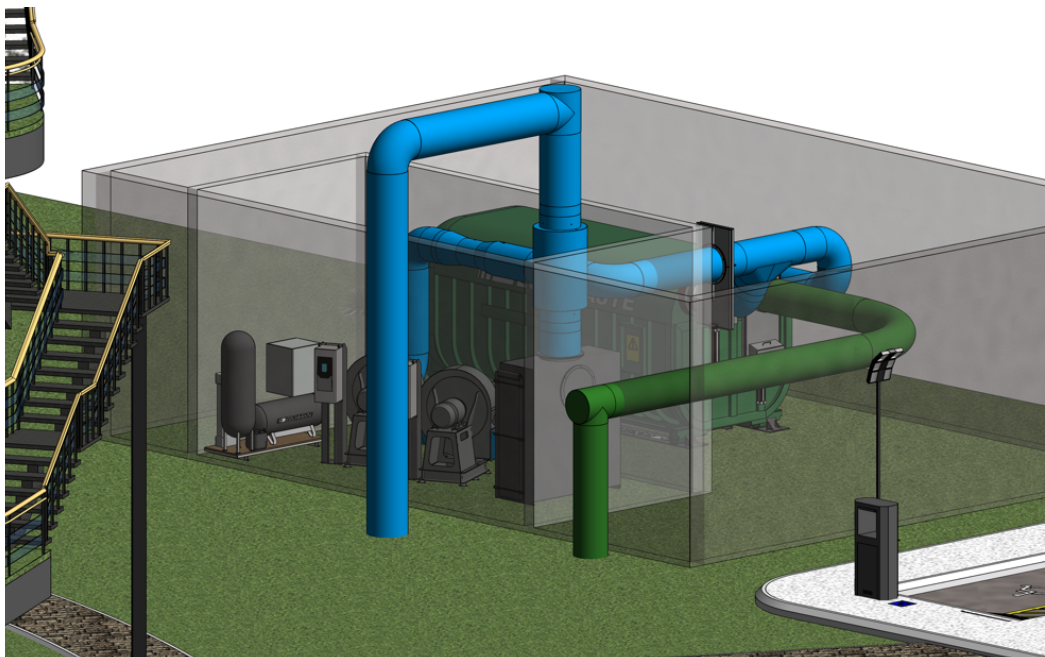


Ilustración 69. Terminal del sistema de recogida de basuras por vacío. Modelo en Revit.

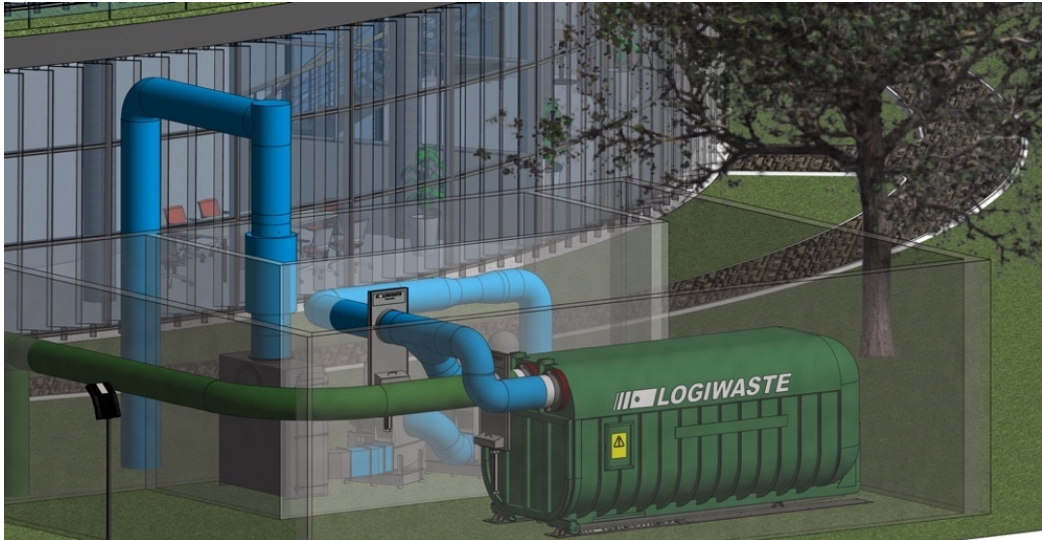


Ilustración 70. Contenedor ubicado en la terminal del sistema de recogida de basuras por vacío. Modelo en Revit.

Este sistema recoge y transporta residuos, generalmente de forma subterránea, a través de una red de vacío, lo que supone eliminar las actividades en superficie, malos olores y contenedores en las calles.

La recogida se realiza a través de trampillas que se colocan en lugares estratégicos en interiores, exteriores y en varios pisos. La basura se almacena temporalmente sobre una válvula de almacenamiento que evita que los desechos caigan. En momentos predeterminados o cuando la cantidad de basura ha alcanzado un cierto nivel, se abre la válvula y se vacía la basura de la trampilla. Gracias al vacío, la basura se aspira a través del sistema de tuberías que conecta la entrada con el terminal. El sistema de tuberías se suele dividir en secciones mediante válvulas para reducir la sensibilidad a las perturbaciones y poder optimizar el funcionamiento del sistema.



*Ilustración 71. Trampillas y conductos en la primera fase de recogida.
Fuente: (Logiwaste, 2020).*

La basura cae en un contenedor hermético y posteriormente es compactada. Al aire que ha transportado los desechos se le hace pasar por filtros desodorantes, de polvo y silenciadores. El contenedor se recoge de la terminal cuando ha alcanzado los niveles de llenado correctos o en momentos específicos. El número de transportes de residuos en la zona se reduce considerablemente en comparación con la gestión tradicional de residuos con contenedores y salas de basura. La única vez que se requiere un camión es cuando el contenedor debe ser recogido de la terminal.



*Ilustración 72. Transporte del contenedor de basuras con los desechos compactados.
Fuente: (Logiwaste, 2020).*

Este sistema sostenible, energéticamente eficiente e higiénico facilita en gran medida la separación de residuos desde un inicio, contando con un contenedor para cada tipo de desechos.

10. BIBLIOGRAFÍA

10.1. Referencias

- Agencia Europea de Medio Ambiente. (2014). Entender la complejidad del cambio climático y actuar. Disponible en:
<https://www.eea.europa.eu/es/articles/entender-la-complejidad-del-cambio>
- Alotaibi, F. (2015). The Role of Kinetic Envelopes to Improve Energy Performance in Buildings. *Journal of Architectural Engineering Technology*, 04(03), 1–5.
<https://doi.org/10.4172/2168-9717.1000149>
- Ama, F. del, Alonso, A., & Hernandez, J. A. (2014). Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios. Consejería de Economía y Hacienda de la Comunidad de Madrid. Disponible en:
<https://inarquia.es/media/k2/attachments/5524f020480d9-Guia-sobre-Estructuras-Termoactivas-y-Sistemas-Inerciales-en-la-Climatizacion-de-edificios-fenercom-2014.pdf>
- Autodesk. (2018, June 29). BIM e Internet de las Cosas (IoT): cómo se diseñaron y operaron los estadios de la FIFA-2018 | Autodesk LATAM.
<https://blogs.autodesk.com/latam/2018/06/29/bim-e-internet-de-las-cosas-iot-como-se-disenaron-y-operaron-los-estadios-de-la-fifa-2018/>
- Babilio, E., Miranda, R., & Fraternali, F. (2019). On the kinematics and actuation of dynamic sunscreens with tensegrity architecture. *Frontiers in Materials*, 6(February). <https://doi.org/10.3389/fmats.2019.00007>
- Braungart y McDonough, *Cradle to cradle (De la cuna a la cuna): Rediseñando la forma en la que hacemos las cosas*, S.A. McGraw-Hill/Interamericana de España, 2005.
- Caparrós Perez, D. (2017). Viabilidad para generar territorios sostenibles. Aplicación ecoeficiente de materiales y sistemas constructivos en los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos. 253.
<http://repositorio.ucam.edu/bitstream/handle/10952/2436/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- DANOSA EXT1. (2020). Cubierta Plana Ajardinada Extensiva (Ecológica) - Impermeabilización Bicapa Con Soplete. Solución Adherida.
https://portal.danosa.com/danosa/CMSServlet?node=_CEXT1&lng=1&site=1

- DANOSA INT2. (2020). Cubierta Plana Ajardinada Intensiva (Jardín) (Bicapa) - Impermeabilización Bicapa Con Soplete. Solución Adherida.
https://portal.danosa.com/danosa/CMSServlet?node=_CINT2&lng=1&site=1
- EUBIM TASK GROUP. (2013). Manual para la introducción de la metodología BIM por parte del sector público europeo. *Journal of Petrology*, 369(1), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Eurostat. (2019). Estadísticas sobre residuos. 12.
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics/es
- Fondo Europeo de Desarrollo Regional, FEDER (2013) - Política Regional - Comisión Europea. (n.d.). Retrieved September 11, 2020, from https://ec.europa.eu/regional_policy/es/funding/erdf/
- Francis D.K. Ching, & Shapiro, I. M. (2014). *Green Building Illustrated*.
- Heggie, J. (2020). National Geographic. España: ¿se Agotará Nuestra Agua?
<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/espana-se-agotara-nuestra-agua>
- Holedeck | Sistema certificado de losas aligeradas de hormigón armado que ahorra el 20% en obra. (n.d.). Retrieved September 17, 2020, from <https://holedeck.com/>
- Hu, J., Chen, W., Zhao, B., & Yang, D. (2017). Buildings with ETFE foils: A review on material properties, architectural performance and structural behavior. *Construction and Building Materials*, 131, 411–422.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.062>
- Khudhair, A. M., & Farid, M. M. (2004). A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials. *Energy Conversion and Management*, 45(2), 263–275.
[https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(03\)00131-6](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00131-6)
- Las ayudas a la eficiencia energética. Programas de ayudas gestionados por el IDAE con cargo al FNEE y el PAREER-CRECE. (n.d.). Retrieved September 11, 2020, from <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/fondo-nacional-de-eficiencia-energetica>
- Lauret, B., & Ovando, G. (2016). Fachadas de vidrio activo con cámara de agua en

circulación: su aportación a los edificios de consumo casi nulo. December.
https://www.researchgate.net/publication/309208825_Fachadas_de_vidrio_activas_con_camara_de_agua_en_circulacion_su_aportacion_a_los_edificios_de_consumo_casi_nulo

Lizana, J., Chacartegui, R., Barrios-Padura, A., & Valverde, J. M. (2017). Advances in thermal energy storage materials and their applications towards zero energy buildings: A critical review. *Applied Energy*, 203, 219–239.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.008>

Maywald, C., & Riesser, F. (2016). Sustainability - The Art of Modern Architecture. *Procedia Engineering*, 155(0), 238–248.

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.025>

Mazo Olarte, J. (2016). Investigación sobre la aplicación del almacenamiento de energía térmica mediante materiales de cambio de fase en elementos de construcción termoactivos. Disponible en:

<https://zagan.unizar.es/record/48320/files/TESIS-2016-115.pdf>

Oliver, A., Neila, F. J., & García-Santos, A. (2012). Nota técnica: Clasificación y selección de materiales de cambio de fase según sus características para su aplicación en sistemas de almacenamiento de energía térmica. *Materiales de Construcción*, 62(305), 131–140. <https://doi.org/10.3989/mc.2012.58010>

OMS | Los efectos sobre la salud. (2014). WHO.

Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 | IDAE. (n.d.).

Retrieved September 18, 2020, from <https://www.idae.es/informacion-y-publicaciones/plan-nacional-integrado-de-energia-y-clima-pniec-2021-2030>

Programa PREE. Rehabilitación Energética de Edificios | IDAE. (n.d.). Retrieved

September 11, 2020, from <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-la-rehabilitacion-de-edificios/programa-pree-rehabilitacion-energetica-de>

Roca, R. (2020, July 15). El sector de la eficiencia energética en la edificación propone al Gobierno 20 medidas para generar hasta 88.000 empleos al año – El Periodico de la Energía | El Periodico de la Energía con información diaria sobre energía eléctrica, eólica, renovable, petróleo y gas, mercados y legislación energética. <https://elperiodicodelaenergia.com/el-sector-de-la-eficiencia-energetica-en-la-edificacion-propone-al-gobierno-20-medidas-para->

generar-hasta-88-000-empleos-al-ano/

Rubitherm Technologies GmbH. (2020). Technical Data Sheet RT25HC. Technical Data Sheet RT25HC, 1.

https://www.rubitherm.eu/media/products/datasheets/Techdata_RT25HC_EN_15012020.PDF

Tanigami, T., Yamaura, K., Matsuzawa, S., Ishikawa, M., Mizoguchi, K., & Miyasaka, K. (1986). Structural studies on ethylene-tetrafluoroethylene copolymer: 2.

Transition from crystal phase to mesophase. *Polymer*, 27(10), 1521–1528.

[https://doi.org/10.1016/0032-3861\(86\)90098-4](https://doi.org/10.1016/0032-3861(86)90098-4)

Valladolid supera los límites de contaminación en 2019 | Noticias El Día de Valladolid. (2020). Día de Valladolid.

<https://www.eldiadevalladolid.com/noticia/Z2FF2DBF1-CAFD-6483-7C219B359A608EE6/202001/Valladolid-supera-los-limites-de-contaminacion-en-2019>

10.2. Referencias de ilustraciones

Ama, F. del, Alonso, A., & Hernandez, J. A. (2014). Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios. Consejería de Economía y Hacienda de la Comunidad de Madrid. Disponible en:

<https://inarquia.es/media/k2/attachments/5524f020480d9-Guia-sobre-Estructuras-Termoactivas-y-Sistemas-Inerciales-en-la-Climatizacion-de-edificios-fenercom-2014.pdf>

ARTIC. (n.d.). Anaheim, CA - Official Website. Retrieved September 17, 2020, from <https://www.anaheim.net/3329/ARTIC>

Autodesk. (2018, June 29). BIM e Internet de las Cosas (IoT): cómo se diseñaron y operaron los estadios de la FIFA-2018 | Autodesk LATAM.

<https://blogs.autodesk.com/latam/2018/06/29/bim-e-internet-de-las-cosas-iot-como-se-disenaron-y-operaron-los-estadios-de-la-fifa-2018/>

Babilio, E., Miranda, R., & Fraternali, F. (2019). On the kinematics and actuation of dynamic sunscreens with tensegrity architecture. *Frontiers in Materials*,

6(February). <https://doi.org/10.3389/fmats.2019.00007>

Claros-Marfil, L., Perez-Pujazón, B., Ovando, G., Lauret, B., & Padial, J. F. (2018).

Ventanas con cámara de agua circulante en edificios de consumo de energía casi nulo. Edición. Disponible en:
http://oa.upm.es/29588/1/INVE_MEM_2013_171084.pdf

Comprobación de punzonamiento. (n.d.). Retrieved September 17, 2020, from
https://www.prontubeam.com/Pag_prontu_punzonamiento.php

Esarte Eseverri, A. (2020, January 16). Metodología BIM, ¿qué es la metodología BIM? | Espacio BIM. <https://www.espaciobim.com/metodologia-bim>

ETFE - Wikipedia, la enciclopedia libre. (n.d.). Retrieved September 17, 2020, from
<https://es.wikipedia.org/wiki/ETFE>

Eurostat. (2019). Estadísticas sobre residuos. 12.
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics/es

Google Maps. (2020). <https://www.google.es/maps/@41.6612315,-4.705014,675m/data=!3m1!1e3>

Holedeck | Sistema certificado de losas aligeradas de hormigón armado que ahorra el 20% en obra. (n.d.). Retrieved September 17, 2020, from
<https://holedeck.com/>

Lauret, B., & Ovando, G. (2016). Fachadas de vidrio activo con cámara de agua en circulación: su aportación a los edificios de consumo casi nulo. December.
https://www.researchgate.net/publication/309208825_Fachadas_de_vidrio_activo_con_camara_de_agua_en_circulacion_su_aportacion_a_los_edificios_de_consumo_casi_nulo

Logiwaste. (2020). Sopsug Och Automatiserad Insamling Av Avfall Och Tvätt.
<https://logiwaste.com/se/>

ONU. (2020) Objetivos y metas de desarrollo sostenible – Desarrollo Sostenible. (n.d.). Retrieved September 17, 2020, from
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Plataforma Arquitectura Castellana 77 . (n.d.). Luis Vidal + Arquitectos | . Retrieved September 17, 2020, from
<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/897279/castellana-77-luis-vidal-plus-arquitectos>

Plataforma Arquitectura San Mames. (n.d.). Estadio San Mames / ACXT . Retrieved September 17, 2020, from <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/755444/estadio-san-mames-acxt>

Plataforma Arquitectura The Shed. (n.d.). Se Inaugura The Shed de Diller Scofidio + Renfro En Nueva York. Retrieved September 17, 2020, from <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/914499/se-inaugura-the-shed-en-hudson-yards-el-nuevo-cobertizo-de-diller-scofidio-plus-renfro>

Seele. (n.d.). Allianz Arena in Munich: Membrane Construction. Retrieved September 17, 2020, from <https://seele.com/references/allianz-arena>

Wikipedia. (n.d.). Cúpula Del Milenio - Wikipedia, La Enciclopedia Libre. Retrieved September 17, 2020, from https://es.wikipedia.org/wiki/Cúpula_del_Milenio

10.3. Normas

Código Técnico de la Edificación, CTE DB HE, Documento Básico por el que se establece las reglas y procedimientos que permiten cumplir el requisito básico de ahorro de energía, 2019. Disponible en:

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>

Código Técnico de la Edificación, CTE DB SI, Documento Básico por el que se establecen reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de seguridad en caso de incendio, 2019. Disponible en:

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadIncendio/DBSI.pdf>

Directiva (UE) 2018/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética. Diario Oficial de la Unión Europea, 21 de diciembre de 2018, L328/210.

Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica. Boletín Oficial del Estado, 24 de junio de 2020, núm. 175, pp. 35. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2020/BOE-A-2020-6621-consolidado.pdf>

Real Decreto 737/2020, de 4 de agosto, por el que se regula el programa de ayudas para actuaciones de rehabilitación energética en edificios existentes y se regula la concesión directa de las ayudas de este programa a las

comunidades autónomas y ciudades de Ceuta y Melilla. Boletín Oficial del Estado, 6 de agosto de 2020, núm. 212, pp. 65005 a 65017. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2020/08/06/pdfs/BOE-A-2020-9273.pdf>

Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Boletín Oficial del Estado, 27 de diciembre de 2019, núm. 311. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2019/12/27/pdfs/BOE-A-2019-18528.pdf>

11. CONCLUSIONES

Este trabajo es el resultado del diseño inicial de un Centro de Investigación de Energías Renovables. En él se ha conseguido exponer el gran papel que hoy en día desempeña la edificación sostenible en el sector de la construcción.

Gracias al gran número de motivaciones expuestas, se justifica la necesidad de diseñar desde el punto de vista del ahorro energético. Pero no solo eso, un diseño sostenible implica tener en cuenta factores ambientales, económicos, humanos y legislativos.

Se puede afirmar que se han conseguido los objetivos marcados desde un inicio, tanto objetivos de diseño sostenible como de uso del BIM o la implementación de nuevas tecnologías en la edificación.

Se ha tenido que hacer frente a un gran reto; que el edificio posea la totalidad de sus fachadas en muro cortina. Nunca se ha querido descartar esta opción, pues con la ayuda de sistemas novedosos es posible hacer frente a las grandes pérdidas térmicas a través de la envolvente, pero sin renunciar a los beneficios que un muro cortina proporciona.

El grueso de este trabajo es el diseño en Revit del edificio, en donde se han tenido que trasladar todas y cada una de las decisiones tomadas. La muestra visible son los planos adjuntos en el Anexo 1.

En primer lugar, se ha visto que la orientación del edificio de acuerdo a las características climatológicas de Valladolid es fundamental, eligiendo la orientación Sur como principal. Se afronta el problema de las pérdidas térmicas a través de los vidrios activos con cámara de agua y de la fachada cinética con lamas de ETFE. El sombreado y la calidad lumínica interior también van asociados a estos. También se proponen soluciones que implican ahorro de material, como los forjados HoleDeckHo45 y la aplicación de materiales de cambio de fase al concreto para incrementar la inercia térmica de estas masas.

Se maximiza el aprovechamiento de agua y se hace un tratamiento adecuado de los residuos generados gracias a decisiones como las cubiertas ajardinadas y el sistema de recogida de basuras por vacío LogiWaste, respectivamente.

Y para concluir el trabajo, se hablará de posibles mejoras en fases posteriores del diseño. Una de ellas es el dimensionamiento de todos los sistemas; refrigeración, calefacción y ventilación. Para ello sería necesario cuantificar el impacto positivo de todas las decisiones mencionadas para así saber cuanta energía se ahorraría respecto al mismo edificio basado en criterios no sostenibles.

Se proponen dos formas de cuantificar dicho ahorro. La primera es aplicar al edificio el programa de cálculo energético Autodesk Insight Revit. Y la segunda es someterlo a un examen de certificación sostenible, como podría ser LEED o VERDE.

12. Anexo I. Planos

- 12.1. Situación
- 12.2. Emplazamiento
- 12.3. Distribución en Planta Baja
- 12.4. Distribución en Planta Primera
- 12.5. Distribución en Planta Segunda
- 12.6. Distribución en Azotea
- 12.7. Acotación Planta Baja
- 12.8. Acotación Planta Primera
- 12.9. Acotación Planta Segunda
- 12.10. Acotación Azotea
- 12.11. Alzados
- 12.12. Secciones
- 12.13. Cimentación y estructura