

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN

**El Vidrio. Eficiencia Energética en Rehabilitación de
Oficinas en Clima Mediterráneo Peninsular (1971-1980)**

**Glazing. Energy Efficiency in Office Buildings Retrofitting
in the Mediterranean Peninsula Climate (1971-1980)**

Tesis Doctoral

Autor

Jorge Ávila Delgado

Directores

Dra. María Dolores Robador González

Dr. José Antonio Barrera Vera

Dra. Madelyn Marrero Meléndez

Junio 2019

AGRADECIMIENTOS

D. Juan Antonio Tocino Olarte (R.V.), Arquitecto Técnico e Ingeniero de Edificación, por animarme a realizar una tesis doctoral.

D. Francisco Javier García Sola, Arquitecto Técnico e Ingeniero de Edificación, en su asesoramiento técnico inicial de edificios de oficinas y herramientas de simulación energética.

Dr. D. Servando Álvarez Domínguez, Catedrático del Departamento de Ingeniería Energética de la ETSI de la Universidad de Sevilla, por su gran ayuda y clases magistrales en la asistencia a su asignatura del Máster Universitario en Sistemas de Energía Térmica curso 2014/2015.

Subdirección General de Política de Suelo. Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo. Ministerio de Fomento, por facilitar los listados de referencias catastrales de inmuebles con clave de uso oficinas de las tres capitales de provincia consideradas.

D^a. Diana Torres, Arquitecta del Dpto. Prescripción. Profine Iberia, S.A. Unipersonal SISTEMAS KÖMMERLING, por las aclaraciones a las preguntas planteadas y a la documentación facilitada.

D. David Blanco Santos, Arquitecto del Soporte Técnico Centro de Información Técnica de Aplicaciones del Vidrio (CITAV), por las aclaraciones a las preguntas planteadas sobre los acristalamientos.

D. Iñigo Rexach Benavides, Ingeniero Industrial, por su gran interés en la búsqueda de personas especializadas en sistemas de climatización y asesoramiento técnico.

D. Guillermo Martín Reina, Ingeniero Industrial, por su colaboración en el manejo de la herramienta de cálculo DIALux.

Dr. D. José Antonio Barrera Vera, profesor titular del Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica de la ETSIE de la Universidad de Sevilla, por el apoyo en que continuara con la investigación del acristalamiento fruto del Trabajo Fin de Máster, y asesoramiento.

Dra. D^a. Madelyn Marrero Meléndez, profesora titular del Departamento de Construcciones Arquitectónicas II de la ETSIE de la Universidad de Sevilla, por su constante seguimiento y correcciones en la elaboración de la tesis.

Dra. D^a. María Dolores Robador González Catedrática de Universidad del Departamento de Construcciones Arquitectónicas II de la ETSIE de la Universidad de Sevilla, por la dirección de la tesis y gran interés en ampliar el conocimiento de los alumnos transmitiendo el concepto de la eficiencia del vidrio.

RESUMEN

La apuesta 20 20 20 establece tres claros objetivos con el fin de reducir las emisiones de dióxido de carbono. La rehabilitación energética de edificios puede contribuir a ello en cualquiera de sus ámbitos constructivos y/o sistemas. En particular, el hueco es considerado la parte más influyente en el comportamiento energético lo que lo hace ser el primer elemento de la envolvente a ser valorado técnica y económicamente.

La medida de eficiencia energética general que se realiza consiste en sustituir las ventanas por otras de mejores prestaciones de idénticas características aislantes y energéticas en todas las orientaciones. El acristalamiento bajo emisivo es el elegido por excelencia por su bajo valor de transmitancia térmica. Esto ha llevado a plantear poder conseguir un mayor incremento de eficiencia energética colocando, respecto a la superficie acristalada, aquel que mejor se adapte a cada orientación. Para ello, se ha realizado un profundo análisis del comportamiento teórico de los tres parámetros característicos que la definen (transmitancia térmica, factor solar y transmisión luminosa) que permita sentar las bases de una metodología en la sustitución del acristalamiento.

Los edificios de oficinas son los más interesantes a estudiar por la sucesión de circunstancias, tales como, su elevada superficie vidriada, consumo energético y potencial aprovechamiento de la luz natural. Para ello, ha sido necesario diseñar un modelo basado en un conjunto de edificios representativos. Se ha englobado dentro de un periodo constructivo de mayor construcción y uso generalizado del vidrio monolítico sencillo (1971-1980), en tres entornos climáticos con severidad de invierno y verano completamente diferente (Barcelona «C2», Sevilla «B4» y Málaga «A3» en clima mediterráneo peninsular.

Tres procedimientos de selección han sido analizados basados en la eliminación de los acristalamientos que no se ajusten a la secuencia establecida para cada parámetro característico. Secuencia, compuesta por la dirección, ascendente o descendente, y orden de influencia, elección del primer parámetro y sucesivamente. Con el orden binomio (transmitancia térmica y factor solar) y transmisión luminosa es con el que se consigue una reducción de emisiones en mayor número de orientaciones. Procedimiento utilizado en la propuesta de la metodología de sustitución del acristalamiento. Metodología que descarta las limitaciones producidas por cumplimiento de normativa o de diseño, al condicionar en parte éstas el grado de eficiencia energética a conseguir.

Como conclusión, tanto la dirección como el orden de influencia de los parámetros son muy significativos si se quiere conseguir un menor consumo y emisiones de dióxido de carbono. La calefacción se identifica con transmitancia térmica baja, factor solar alto y transmisión luminosa baja. La refrigeración, con transmitancia térmica alta, factor solar bajo y transmisión luminosa alta. En el periodo anual, cuatro posibles combinaciones se pueden dar de transmitancia y factor solar, siendo ambas bajas la más repetitiva en las orientaciones de los espacios.

ABSTRACT

The 20-20-20 strategy establishes three clear goals in order to reduce carbon dioxide emissions. Building energy retrofitting can contribute in any of the construction and/or systems areas. Opening is considered the most influential part in energy behavior becoming the first envelope design element to be assessed, technically and economically.

The standard energy efficiency measure consists of replacing windows by others of better performance, placed equally in all façade orientations. Low-emissivity glazing is the choice for excellence U-value.

This has brought the possibility of achieving greater energy efficiency by placing, regarding the glazed surface, the one that best suits each orientation. A thorough theoretical behavior analysis based on three parameters (thermal transmittance, solar heat gain coefficient and light transmittance) has been carried out, in order to lay the foundations of a selection criteria methodology.

Office buildings are the most interesting due to their high glazed surface, energy consumption and potential use of natural light. A model has been designed based on a set of buildings with more geometric and construction similarities. The period studied has been of greater construction along with use of single monolithic glazing (1971-1980), located in the Mediterranean Peninsula Climate. Three climate zones of different winter and summer severity (Barcelona «C2», Seville «B4» and Malaga «A3») have been considered.

Three glazing selection procedures have been analyzed, based on the elimination of those that do not follow each parameter sequence. A sequence based on: the up-and-down direction, and the order of influence, the selection of the first and last parameter. The thermal transmittance/solar heat gain coefficient and afterwards visible transmittance parameter combination, greater number of orientations a reduction of CO₂ emissions has been achieved. Compliance with regulations or design limitations, determine in part, the degree of energy efficiency.

In conclusion, the parameters' direction and order of influence are very significant if lower consumption and carbon dioxide emissions want to be achieved. Heating identifies with low thermal transmittance, high SHGC and low visible transmittance. Cooling identifies with high thermal transmittance, low SHGC and high visible transmittance. In the annual period, four possible thermal transmittance and SHGC combinations can occur. In the north-south and east-west building spaces orientations, both low combinations is the most repetitive one.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	13
ÍNDICE DE TABLAS	16
GLOSARIO DE TÉRMINOS	20
ACRÓNIMOS	23
NOTACIONES Y UNIDADES	28
1. INTRODUCCIÓN	29
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN	35
3. OBJETIVOS	43
3.1. Objetivo general.....	43
3.2. Objetivos específicos.....	43
4. METODOLOGÍA	45
4.1. Fase preliminar.....	45
4.2. Fase desarrollo.....	46
4.3. Fase de mercado.....	47
4.4. Fase final.....	49
5. EL VIDRIO. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS, CONFIGURACIÓN Y TRATAMIENTO DE CAPA	51
5.1. Parámetros característicos.....	51
5.2. Configuración y tratamiento de capa.....	54
5.3. Código Técnico de la Edificación.....	56
6. HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN Y EDIFICIO MODELO	57
6.1. Herramienta de simulación energética.....	57
6.2. Diseño del edificio modelo de oficinas (estado actual).....	60
6.2.1. Parque de oficinas existente y zonas climáticas.....	61
6.2.2. Edificios representativos.....	62
6.2.3. Obtención de datos y consideraciones de partida.....	69
6.2.4. Definición del modelo. Características constructivas y del entorno.....	74
6.2.4.1. Geometría y número de plantas.....	76

6.2.4.2. Envolvente térmica y particiones interiores.....	76
6.2.4.3. Hueco de fachada y ventana.....	81
6.2.4.4. Distribución interior.....	84
6.2.4.5. Infiltraciones.....	86
6.2.4.6. Puentes térmicos.....	87
6.2.4.7. Elementos de sombreado y patrón de sombras.....	87
6.2.4.8. Orientación de fachadas.....	88
6.2.4.9. Alzados y sección tipo.....	88
6.2.5. Definición del modelo. Características ocupacionales, operacionales, funcionales y equipos.....	90
6.2.5.1. Sistemas técnicos.....	91
6.2.5.1.1. Calefacción y refrigeración (sistemas térmicos).....	91
6.2.5.1.2. Ventilación mecánica. Calidad del aire interior.....	91
6.2.5.1.3. Iluminación artificial y aprovechamiento de la luz natural.....	91
6.2.5.1.3.1. Iluminación artificial.....	92
6.2.5.1.3.2. Aprovechamiento de la luz natural.....	95
6.2.5.2. Ganancias internas.....	97
6.2.5.3. Horarios de usos.....	98
6.2.6. Definición del modelo. Características técnicas del vidrio.....	98
6.2.6.1. Protección frente al ruido.....	99
6.2.6.2. Seguridad de utilización.....	102
7. CASO DE ESTUDIO.....	103
7.1. Planteamiento inicial.....	103
7.2. Selección del acristalamiento según prestación.....	114
7.2.1. Planta cuadrada simplificada (CUS).....	116
7.2.2. Módulo lateral (MLA).....	117
7.2.3. Módulo de esquina (MES).....	117
7.3. Selección de la combinación de los parámetros característicos por orientación.....	119
7.3.1. Acristalamiento ideal por orientación.....	120
7.4. Validación con el acristalamiento de experimentación.....	120
7.5. Acristalamientos de mercado.....	122
7.6. Disposición de los parámetros característicos en la selección del acristalamiento de mercado.....	123
7.7. Validación con el acristalamiento de mercado.....	125
7.8. Influencia de la protección frente al ruido.....	126
7.9. Propuesta de metodología en la selección del acristalamiento.....	126
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	129
8.1. Planteamiento inicial.....	129

8.2. Selección del acristalamiento según prestación.....	129
8.2.1. Planta cuadrada simplificada (CUS)	131
8.2.2. Módulo lateral (MLA).....	138
8.2.3. Módulo de esquina (MES) A y B.....	145
8.3. Selección de la combinación de los parámetros característicos por orientación.....	161
8.3.1. Sistemas técnicos	161
8.3.2. Periodo anual.....	165
8.3.3. Acristalamiento ideal por orientación	171
8.4. Validación con el acristalamiento de experimentación	177
8.4.1. Planta cuadrada prototipo (CUP)	178
8.4.2. Planta rectangular prototipo (REP)	179
8.4.3. Diferencia de emisiones entre configuraciones de recintos	180
8.5. Acristalamientos de mercado	181
8.6. Selección del acristalamiento	182
8.6.1. Procedimiento “orden de incidencia”.....	182
8.6.2. Procedimiento “orden secuencial”	183
8.6.3. Procedimiento “orden binomio y transmisión luminosa”	185
8.7. Validación con el acristalamiento de mercado	190
8.7.1. Planta cuadrada prototipo (CUP)	190
8.7.2. Planta rectangular prototipo (REP)	191
8.8. Influencia de la protección frente al ruido.....	191
8.9. Metodología en la selección del acristalamiento.....	192
9. CONCLUSIONES.....	195
9.1. Conclusiones sobre el objetivo general	195
9.2. Conclusiones sobre los objetivos específicos.....	196
10. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	201
11. FUENTES DE INFORMACIÓN	203
12. ANEXOS	211
12.1. Edificios de oficinas	211
12.2. Horarios de usos	211
12.2.1. Ocupación.....	211
12.2.2. Iluminación artificial, fuentes internas, calefacción, refrigeración y ventilación ...	212
12.2.3. Infiltración.....	213
12.3. Selección del acristalamiento según prestación	213
12.4. Selección combinación de los parámetros característicos por orientación.....	214
12.5. Validación con el acristalamiento de experimentación	214

12.6. Acristalamientos de mercado	215
12.7. Selección del acristalamiento	227
12.8. Validación con el acristalamiento de mercado.....	227

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Consumo en el sector servicios por usos. Años 1980 y 2000.....	40
Figura 2. Porcentaje energía eléctrica de iluminación por sectores	41
Figura 3. Esquema de la metodología aplicada.....	49
Figura 4. Factores lumínicos del vidrio.....	52
Figura 5. Factores energéticos del vidrio	53
Figura 6. Acristalamiento con emisividades 0,89 y 0,15 a 0,02	53
Figura 7. Parámetros lumínicos y energéticos. Equivalencia entre simbología antigua y norma UNE EN 410.....	54
Figura 8. Tipos de gases en cámara. Propiedades físicas.....	55
Figura 9. Edificio modelo. Diagrama inicial.....	60
Figura 10. Climas en España.....	61
Figura 11. Planeamiento de la ciudad de Sevilla. Situación edificios de oficinas para el periodo 1971-1980.....	64
Figura 12. Edificios de referencia. Avda. a) San Francisco Javier 24, b) Cardenal Bueno Monreal 56, c) San Francisco Javier 9.....	68
Figura 13. Edificios de referencia. Situación. Avda. a) Cardenal Bueno Monreal 56, b) San Francisco Javier 24 y 9	68
Figura 14. Edificio modelo. Diagrama de características constructivas y entorno.....	75
Figura 15. Huecos muro de fachada. Alzado y sección	82
Figura 16. Detalle ventana de PVC. Alzado y acotado.....	83
Figura 17. Edificios de referencia. Pasillo central a) Sevilla-1 (2,18 m) b) Sevilla-2 (2,40 m).....	84
Figura 18. Planta modelo tipo. Distribución de los recintos	85
Figura 19. Fachada de 50 m. Alzado.....	88
Figura 20. Fachada de 20 m. Alzado.....	88
Figura 21. Sección tipo A-A'	89
Figura 22. Edificio modelo. Diagrama características ocupacionales, operacionales, funcionales y equipos	90
Figura 23. Módulo lateral (MLA). Parámetros lumínicos en DIALux.....	93
Figura 24. Módulo lateral (MLA). Plano distribución luminarias en DIALux.....	93
Figura 25. Módulo de esquina (MES). Parámetros lumínicos	94
Figura 26. Módulo de esquina (MES). Plano distribución luminarias.....	94
Figura 27. Módulo pasillo (MPA). Parámetros lumínicos.....	95
Figura 28. Módulo pasillo (MPA). Plano distribución luminarias.....	95
Figura 29. Planta modelo tipo. Posición del fotosensor en oficinas	97
Figura 30. Edificio modelo. Diagrama características técnicas del acristalamiento.....	99
Figura 31. Altura límite inferior acristalamiento: a) Alzado CTE. b) Alzado en sección tipo ..	102
Figura 32. Planta rectangular prototipo (REP) P05 (+15,50 m) de 50 x 20 m en DesignBuilder	103
Figura 33. Planta cuadrada prototipo (CUP) P05 (+15,50 m) de 20 x 20 m.....	104
Figura 34. Primera configuración. Planta cuadrada prototipo (CUP) situación norte-sur (NS) y este-oeste (EO).....	105
Figura 35. Segunda configuración. Planta cuadrada simplificada (CUS).....	106
Figura 36. Tercera configuración. Módulo lateral (MLA). Orientación a puntos cardinales ...	107
Figura 37. Tercera configuración. Módulo de esquina (MES) situación "A y B". Orientación a puntos cardinales.....	108
Figura 38. Planta cuadrada simplificada (CUS). Posición del fotosensor	109

Figura 39. Edificio modelo. Diagrama transformación en recintos y plantas prototipos	110
Figura 40. Configuraciones de recintos (a) CUS, b) MLA y c) MES A y B, y plantas prototipos d) REP y e) CUP	111
Figura 41. Diagrama interacción solicitaciones exteriores, acristalamiento y sistemas técnicos. Indicadores	113
Figura 42. Diagrama procedimientos selección del acristalamientos de mercado	125
Figura 43. Diagrama proceso de selección de acristalamientos de experimentación y de mercado en configuración simplificada y módulo, y validación en plantas prototipos	127
Figura 44. Planta cuadrada simplificada. Acristalamientos según prestación. Periodo de calefacción (kWh)	132
Figura 45. Planta cuadrada simplificada. Acristalamientos según prestación. Periodo de refrigeración (kWh)	134
Figura 46. Planta cuadrada simplificada. Incremento del consumo de calefacción y reducción de la refrigeración en el aprovechamiento de la luz natural	135
Figura 47. Planta cuadrada simplificada. Reducción de la iluminación artificial por aprovechamiento de la natural con acristalamientos según prestación	136
Figura 48. Planta cuadrada simplificada. Acristalamientos según prestación. Periodo anual (kgCO ₂).....	137
Figura 49. Módulo lateral. Acristalamientos según prestación. Periodo de calefacción (kWh).....	139
Figura 50. Módulo lateral. Acristalamientos según prestación. Periodo de refrigeración (kWh).....	141
Figura 51. Módulo lateral. Incremento del consumo de calefacción y reducción de la refrigeración en el aprovechamiento de la luz natural.....	142
Figura 52. Módulo lateral. Reducción de la iluminación artificial por aprovechamiento de la natural con acristalamientos según prestación	143
Figura 53. Módulo lateral. Acristalamientos según prestación. Periodo anual (kgCO ₂).....	144
Figura 54. Módulo de esquina B. Acristalamientos según prestación. Periodo anual (kgCO ₂).....	152
Figura 55. Módulo de esquina A. Acristalamientos según prestación. Periodo anual (kgCO ₂).....	160
Figura 56. Planta cuadrada simplificada. Combinación de los parámetros por orientación. Periodo de calefacción y refrigeración (kWh).....	162
Figura 57. Planta cuadrada simplificada. Combinación de los parámetros por orientación. Periodo de iluminación (kWh)	163
Figura 58. Planta cuadrada simplificada. Consumo de calefacción y refrigeración con la combinación de parámetros U (0, 1, 2, 3 y 4 W/m ² K) y FS (0,0; 0,2; 0,5; 0,8 y 1) en Barcelona, Sevilla y Málaga	164
Figura 59. Cambio de dirección parámetros U y FS por efecto de la variación de la carga térmica de iluminación	169
Figura 60. Planta rectangular prototipo (REP) en Málaga N-S. Acristalamiento ideal por orientación (trinomio).....	174
Figura 61. Planta cuadrada simplificada y módulo lateral. Reducción kgCO ₂ en el aprovechamiento de la luz natural.....	175
Figura 62. Módulo de esquina B y A. Reducción kgCO ₂ en el aprovechamiento de la luz natural.....	176
Figura 63. Planta cuadrada prototipo. Emisiones dióxido de carbono acristalamientos RE_BE e ideal CUS y MLA/MES	178

Figura 64. Planta cuadrada prototipo. Reducción emisiones dióxido de carbono acristalamientos RE_BE e ideal CUS y MLA/MES.....	179
Figura 65. Planta rectangular prototipo. Emisiones dióxido de carbono acristalamientos RE_BE e ideal CUS y MLA/MES.....	180
Figura 66. Planta rectangular prototipo. Reducción emisiones dióxido de carbono acristalamientos RE_BE e ideal CUS y MLA/MES.....	180
Figura 67. Orden de incidencia. Reducción emisiones en módulo lateral orientación norte en Sevilla. Trinomio	183
Figura 68. Orden de incidencia. Reducción emisiones en módulo lateral orientación norte en Sevilla. Binomio	183
Figura 69. Orden secuencial. Reducción emisiones en módulo lateral orientación sur en Sevilla	185
Figura 70. Acristalamientos de experimentación y de mercado. Semejanza dirección parámetros (binomio y trinomio).....	186
Figura 71. Orden binomio y transmisión luminosa. Reducción emisiones en módulo lateral: a) Barcelona, b) Sevilla y C) Málaga.....	187
Figura 72. Orden binomio y transmisión luminosa. Reducción emisiones en módulo de esquina situación A y B en Barcelona	188
Figura 73. Orden binomio y transmisión luminosa. Reducción emisiones en módulo de esquina situación A y B en: b) Sevilla y c) Málaga.....	189

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Evolución temporal del uso del acristalamiento convencional. Parámetro transmitancia térmica.....	36
Tabla 2. Nivel de detalle introducción de datos en DesignBuilder.....	59
Tabla 3. Provincias con mayor superficie construida total de oficinas, clima peninsular y zona climática.....	62
Tabla 4. Edificios de oficinas en Sevilla. Periodo 1971-1980_1/3.....	65
Tabla 5. Edificios de oficinas en Sevilla. Periodo 1971-1980_2/3 (continuación).....	66
Tabla 6. Edificios de oficinas en Sevilla. Periodo 1971-1980_3/3 (continuación).....	67
Tabla 7. Ficha técnica Avda. San Francisco Javier, 24 (Sevilla 1): a) Edificio. b) Fachada. c) Planta. d) Exterior hueco. e) Interior hueco. f) Carpintería y acristalamiento	71
Tabla 8. Ficha técnica Avda. Cardenal Bueno Monreal, 56: a) Edificio. b) Fachada. c) Planta. d) Exterior hueco. e) Interior hueco. f) Carpintería y acristalamiento	72
Tabla 9. Ficha técnica Avda. San Francisco Javier, 9 (Sevilla 2): a) Edificio. b) Fachada. c) Planta. d) Interior hueco. e) Sección hueco. f) Carpintería y acristalamiento.....	73
Tabla 10. Características de la planta, hueco y ventana edificios de referencia y modelo	74
Tabla 11. Cotas soleras de plantas	76
Tabla 12. Valores estimados de los elementos de la envolvente en el intervalo 1961-1980. Herramienta CE3	77
Tabla 13. Valores estimados elementos de la envolvente. Intervalo anterior a 1980.	77
Tabla 14. Características de la envolvente y particiones interiores según NTE	78
Tabla 15. Cubierta. Capas, propiedades de los materiales, valor U_C y espesor total.....	79
Tabla 16. Muro de fachada. Capas, propiedades de los materiales, valor U_M y espesor total	80
Tabla 17. Suelo. Capas, propiedades de los materiales, valor U_S y espesor total.....	80
Tabla 18. Partición horizontal - Forjados. Capas, propiedades de los materiales, valor U_P y espesor total	81
Tabla 19. Partición vertical - Tabicónes. Capas, propiedades de los materiales, valor U_P y espesor total	81
Tabla 20. Áreas y porcentaje de huecos.....	82
Tabla 21. Características del perfil de marco de PVC	84
Tabla 22. Vidrio monolítico sencillo 6 mm. Valores de los parámetros U , FS y TL	84
Tabla 23. Planta modelo tipo. Características de los recintos.....	85
Tabla 24. Nivel superficie acristalada recintos de oficina	86
Tabla 25. Estimación renovaciones hora de ventilación e infiltración	86
Tabla 26. Parámetros de cálculo infiltraciones	87
Tabla 27. Tipologías y rendimientos equipos de producción calor y frío. Vectores energéticos.....	91
Tabla 28. Herramientas diseño de sistema de iluminación artificial	92
Tabla 29. Luminarias, lámparas y parámetros lumínicos por recintos	95
Tabla 30. Densidad ocupación, tasa por persona y condiciones metabólicas y vestimenta.....	98
Tabla 31. Masas y valor de $R_{A,fr}$ parte ciega de la envolvente térmica.....	100
Tabla 32. Índice $R_{A,fr}$. Edificios de referencia: a) Avda. San Francisco Javier, 24. b) Avda. Bueno Monreal, 56. c) Avda. San Francisco Javier, 9	101
Tabla 33. Planta simplificada y por módulos. Características de los recintos	112
Tabla 34. Acristalamientos UVA y ATR. Valores de los parámetros U , FS y TL	114
Tabla 35. Acristalamientos de experimentación reales. Valores parámetros U , FS y TL	115
Tabla 36. Identificación orientaciones fachadas (tonalidades de grises) y periodos (iconos) ...	116
Tabla 37. Planta cuadrada simplificada (CUS). Simulaciones.	117

Tabla 38. Módulo lateral (MLA). Simulaciones	117
Tabla 39. Módulo de esquina (MES) B. Simulaciones	118
Tabla 40. Módulo de esquina (MES) A. Simulaciones	118
Tabla 41. Acristalamientos de experimentación ficticios. Valores de los parámetros: U, FS y TL y simbología.....	120
Tabla 42. Planta rectangular y cuadrada prototipo (REP y CUP). Simulaciones	121
Tabla 43. Primera configuración. Emisiones CO ₂ con monolítico sencillo (binomio) en Sevilla.	129
Tabla 44. Planta cuadrada simplificada. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo calefacción (kWh).....	131
Tabla 45. Planta cuadrada simplificada. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo refrigeración (kWh)	133
Tabla 46. Planta cuadrada simplificada. Secuencia orientaciones y porcentaje menor incremento con acristalamientos según prestación. Periodo iluminación artificial (kWh).....	135
Tabla 47. Planta cuadrada simplificada. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo anual (kgCO ₂)	136
Tabla 48. Módulo lateral. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo calefacción (kWh)	138
Tabla 49. Módulo lateral. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo refrigeración (kWh).....	140
Tabla 50. Módulo lateral. Secuencia orientaciones y porcentaje menor incremento con acristalamientos según prestación. Periodo iluminación artificial (kWh).....	142
Tabla 51. Módulo lateral. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo anual (kgCO ₂).....	143
Tabla 52. Módulo de esquina B. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo calefacción kWh (1/2)	145
Tabla 53. Módulo de esquina B. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo calefacción kWh (2/2 continuación).....	146
Tabla 54. Módulo de esquina B. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo refrigeración kWh (1/2).....	147
Tabla 55. Módulo de esquina B. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo refrigeración kWh (2/2 continuación) ...	148
Tabla 56. Módulo de esquina B. Secuencia orientaciones y porcentaje menor incremento con acristalamientos según prestación. Periodo iluminación artificial (kWh)	149
Tabla 57. Módulo de esquina B. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo anual kgCO ₂ (1/2).....	150
Tabla 58. Módulo de esquina B. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo anual kgCO ₂ . (2/2 continuación)	151
Tabla 59. Módulo de esquina A. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo calefacción kWh (1/2)	153
Tabla 60. Módulo de esquina A. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo calefacción kWh (2/2 continuación).....	154
Tabla 61. Módulo de esquina A. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo refrigeración kWh (1/2).....	155
Tabla 62. Módulo de esquina A. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo refrigeración kWh (2/2 continuación) ...	156
Tabla 63. Módulo de esquina A. Secuencia orientaciones y porcentaje menor incremento con acristalamientos según prestación. Periodo iluminación artificial (kWh)	157

Tabla 64. Módulo de esquina A. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo anual kgCO ₂ (1/2).....	158
Tabla 65. Módulo de esquina A. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo anual kgCO ₂ (2/2 continuación).....	159
Tabla 66. Planta cuadrada simplificada (CUS), módulo lateral (MLA) y de esquina (MES). Dirección parámetros (binomio y trinomio). Periodo calefacción, refrigeración e iluminación artificial	165
Tabla 67. Planta simplificada (CUS). Dirección y orden de los parámetros (binomio y trinomio). Periodo anual.....	166
Tabla 68. Módulo lateral (MLA). Dirección y orden de los parámetros (binomio y trinomio). Periodo anual.....	166
Tabla 69. Módulo de esquina (MES) B. Dirección y orden de los parámetros (binomio y trinomio). Periodo anual.....	167
Tabla 70. Módulo de esquina A. Dirección y orden de los parámetros (binomio y trinomio). Periodo anual.....	168
Tabla 71. Dirección parámetros U y FS. Combinaciones.....	170
Tabla 72. Planta cuadrada simplificada (CUS), módulo lateral (MLA) y de esquina (MES). Acristalamiento ideal por orientación (Binomio).....	172
Tabla 73. Planta cuadrada simplificada (CUS), módulo lateral (MLA) y de esquina (MES). Acristalamiento ideal por orientación (trinomio).....	173
Tabla 74. Planta cuadrada simplificada (CUS), módulo lateral (MLA) y de esquina (MES). Porcentaje reducción kgCO ₂ en el aprovechamiento de la luz natural.....	177
Tabla 75. Planta cuadrada prototipo (CUP). Emisiones dióxido de carbono, energía final y % de reducción. Acristalamiento ideal experimentación (trinomio).....	178
Tabla 76. Planta rectangular prototipo (REP). Emisiones dióxido de carbono, energía final y % de reducción. Acristalamiento ideal experimentación (trinomio).....	179
Tabla 77. Plantas prototipos cuadrada (CUP) y rectangular (REP). Diferencia reducción de emisiones según configuración de recinto.....	181
Tabla 78. Planta cuadrada prototipo (CUP). Emisiones dióxido de carbono, energía final y % de reducción. Acristalamiento de mercado (trinomio).....	190
Tabla 79. Planta rectangular prototipo (CUP). Emisiones dióxido de carbono, energía final y % de reducción. Acristalamiento de mercado (trinomio).....	191
Tabla 80. Acristalamientos de mercado. Valor RA _{tr} mayor o igual a 40 dBA	192
Tabla 81. TESIS_OCUPA. Horario diario ocupación	211
Tabla 82. TESIS_OCUPA. Horario semanal ocupación	212
Tabla 83. TESIS_OCUPA. Horario anual ocupación.....	212
Tabla 84. TESIS_ILUMI. Horario diario iluminación y fuentes internas	212
Tabla 85. TESIS_ILUMI. Horario semanal iluminación y fuentes internas.....	212
Tabla 86. TESIS_ILUMI. Horario anual iluminación y fuentes internas	213
Tabla 87. TESIS_INFIL. Horario diario infiltración	213
Tabla 88. TESIS_INFIL Horario semanal infiltración	213
Tabla 89. TESIS_INFIL. Horario anual infiltración.....	213
Tabla 90. Acristalamientos dobles sin tratamiento RE_DC (básicos)_1/4.....	215
Tabla 91. Acristalamientos dobles sin tratamiento RE_DC (básicos)_2/4 (continuación).....	216
Tabla 92. Acristalamientos dobles sin tratamiento RE_DC (básicos)_3/4 (continuación).....	217
Tabla 93. Acristalamientos dobles sin tratamiento RE_DC (básicos)_4/4 (continuación).....	218
Tabla 94. Acristalamientos dobles con tratamiento bajo emisivo RE_BE_1/3	218
Tabla 95. Acristalamientos dobles con tratamiento bajo emisivo RE_BE_2/3 (continuación). 219	
Tabla 96. Acristalamientos dobles con tratamiento bajo emisivo RE_BE_3/3 (continuación). 220	
Tabla 97. Acristalamientos dobles con tratamiento control solar RE_CS_1/1	221

Tabla 98. Acristalamientos dobles con tratamiento bajo emisivo y control solar RE_BC_1/5 .	221
Tabla 99. Acristalamientos dobles con tratamiento bajo emisivo y control solar RE_BC_2/5 (continuación)	222
Tabla 100. Acristalamientos dobles con tratamiento bajo emisivo y control solar RE_BC_3/5 (continuación)	223
Tabla 101. Acristalamientos dobles con tratamiento bajo emisivo y control solar RE_BC_4/5 (continuación)	224
Tabla 102. Acristalamientos dobles con tratamiento bajo emisivo y control solar RE_BC_5/5 (continuación)	225
Tabla 103. Acristalamientos dobles objetos de consideración. Tipo de sustrato interior y exterior	226

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Características constructivas¹

Absortividad (α): fracción de la radiación solar incidente a una superficie que es absorbida por la misma.

Adiabático: cerramiento a través del cual se considera que no se produce intercambio de calor.

Plénium: En climatización, es el espacio comprendido entre el falso techo y la cara inferior del forjado utilizado para el retorno del aire procedente de los espacios del edificio.

Características técnicas del acristalamiento²

Cromogénicos: vidrios que tienen la capacidad de cambiar el color o transparencia según las condiciones climáticas.

Diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, en fachadas, en cubiertas y en suelos en contacto con el aire exterior para ruido de automóviles ($D_{2m,nT,Atr}$): valoración global de la diferencia de niveles estandarizada de una fachada en contacto con el aire exterior para un ruido exterior de automóviles (dBA).

Iluminante D65: uno de los estándares establecidas por el CIE para condiciones medias de iluminación en un mediodía en Europa Occidental.

Índice de ruido: magnitud física del nivel de presión sonora continuo.

Índice de ruido día (L_d): índice de ruido asociado a la molestia durante el periodo día y definido como el nivel sonoro medio a largo plazo, ponderado A, determinado a lo largo de todos los periodos día de un año (dBA).

Índice global de reducción acústica, ponderado A, para ruido exterior dominante de automóviles (R_{Atr}): valoración global del índice de reducción acústica (R) para un ruido exterior de automóviles (dBA).

Índice global de reducción acústica (R_w): valor en decibelios de la curva de referencia, a 500 Hz, ajustada a los valores experimentales del índice de reducción acústica, R, según el método especificado en la UNE EN ISO 717 – 1.

Término de adaptación espectral (C, C_{tr}): valor en decibelios, que se añade al valor de una magnitud global obtenida por el método de la curva de referencia de la ISO 717-1 (R_w , por

¹ Definiciones extraídas en su mayoría del CTE (2017). DB-HE 1 Limitación de la demanda energética. Ministerio de Fomento.

² Definiciones extraídas del CTE (2009). DB-HR Protección frente al Ruido. Ministerio de Fomento.

ejemplo), para tener en cuenta las características de un espectro de ruido particular. C (ruido incidente es rosa o ruido ferroviario o de estaciones ferroviarias) y C_{tr} (ruido de automóviles o aeronaves).

Banda espectral: división del espectro electromagnético en intervalos ordenados con similares características de radiación (longitud de onda y frecuencia).

Características ocupacionales, operacionales, funcionales y equipos³

Altura del local: altura de suelo a techo del recinto.

Altura de montaje: altura a la que van situadas las luminarias y lámparas.

Factor de mantenimiento (F_m): cociente entre la iluminancia media sobre el plano de trabajo después de un cierto periodo de uso de una instalación de alumbrado y la iluminancia media obtenida bajo la misma condición para la instalación considerada como nueva.

Flujo luminoso (Φ): cantidad de iluminación emitida por una fuente de luz en todas las direcciones por unidad de tiempo (lm).

Índice de Deslumbramiento Unificado (UGR): índice de deslumbramiento molesto procedente directamente de las luminarias de una instalación de iluminación interior, definido en la publicación CIE n° 177.

Iluminancia (E): cociente del flujo luminoso incidente sobre un elemento de la superficie que contiene el punto, por el área de ese elemento (lux).

Iluminancia media horizontal mantenida (E_m): valor por debajo del cual no debe descender la iluminación media en el área especificada. Es la iluminancia media en el periodo en el que debe ser realizado el mantenimiento (lux).

Iluminación general: iluminación sustancialmente uniforme de un espacio sin tener en cuenta los requisitos locales especiales.

Plano útil: altura desde el suelo cuyos niveles de iluminación deben ser medidos y especificados cumpliendo la cantidad mínima establecida en normativa.

Sistemas técnicos: aquellos equipos que producen calor y/o frío, o luz.

Sistemas térmicos: aquellos equipos que producen calor y/o frío.

³ Definiciones extraídas en su mayoría del CTE (2017). DB-HE 3 Eficiencia energética en instalaciones de iluminación. Ministerio de Fomento.

Spacing to Height Ratio (SHR): ratio de la distancia entre el centro de las luminarias adyacentes y la altura sobre el plano de trabajo.

Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI): valor que mide la eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona de actividad diferenciada (W/m^2 por cada 100 lx). $\text{VEEI} = P \cdot 100 / S \cdot E_m$

Zona marginal: zona no considerada en el cálculo y diseño de la iluminación del recinto.

ACRÓNIMOS

A

AE - Factor de **A**bsorción **E**nergética del vidrio

AENOR - Asociación Española de **NOR**malización y Certificación

AGI32 - **A**dvanced **G**raphical **I**nterface **32**

AIA - **A**rquitectos e **I**ngenieros **A**sociados

ASEFAVE - **A**sociación Española de **F**abricantes de fachadas ligeras y **V**entanas

ATR - **A**islamiento **T**érmico **R**eforzado

AUTOCAD - **A**UTO **C**omputer **A**ided **D**esign

B

BEST - **B**uilding **E**nergy **S**oftware **T**ool

BLAST - **B**uilding **L**oads **A**nalysis and **S**ystem **T**hermodynamics

C

CALENER - **C**ALificación **E**NERgética de edificios

CAT COACM - **C**entro de **A**sesoramiento **T**écnico **C**olegio **O**ficial de **A**rquitectos de **C**astilla
la **M**ancha

CE³ - **C**alificación **E**nergética de **E**dificios **E**xistentes

CE³X - **C**alificación **E**nergética de **E**dificios **E**xistentes **X**

CERMA - **C**alificación **E**nergética **R**esidencial **M**étodo **A**breviado

CFD - **C**omputational **F**luid **D**ynamic

CIE - **C**ommission **I**nternational de l'Éclairage (**C**omisión **I**nternacional de la **I**luminación)

CTE - **C**ódigo **T**écnico de la **E**dificación

CTE DA - **D**ocumento de **A**poyo

CTE DB - **D**ocumento **B**ásico

CTE DB HE - **H**abitabilidad. **A**horro de **E**nergía

CTE DB HR - **H**abitabilidad. **P**rotección frente al **R**uido

CTE DB HS - **H**abitabilidad. **S**alubridad

CTE DB SI - **S**eguridad en caso de **I**ncendio

CTE DB SUA - **S**eguridad de **U**tilización y **A**ccesibilidad

CTN - Comité Técnico de Normalización

CUP - Planta CUadrada Prototipo (planta edificio modelo)

CUS - Planta CUadrada Simplificada (recinto)

D

DIAL - Deutsches Institut für Angewandte Lichttechnik (Instituto Alemán de Luminotecnia Aplicada)

DOE - United States Department Of Energy

D65 - Iluminante estándar serie D65

E

EPW - Energy Plus Weather (archivo climático)

EO - Orientación Este Oeste (planta modelo)

EPS - Expanded PolyStyrene

F

FI - Acristalamiento FIcticio

FI_BE - Bajo Emisivo

FI_DC - Doble Claro

FM - Fracción de perfil de Marco de ventanas

FM - Fracción de Mantenimiento de luminarias y lámparas

FR - Forjado Reticular

FS - Factor Solar (Factor de transmisión de la energía solar) del vidrio

G

GEI - Gas de Efecto Invernadero

H

HVAC - Heating, Ventilation and Air Conditioning

HULC - Herramienta Unificada Lider Calener

I

IAPH - Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico

IDA - InDoor Air quality

IDEA - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

IGN - Instituto Geográfico Nacional

L

LAI - Lighting Analysts, Inc

LH - Ladrillo Hueco

LIDER - Limitación de Demanda Energética

LP - Ladrillo Perforado

M

MES - Recinto Módulo Esquina

MINETAD - Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital

MLA - Recinto Módulo Lateral

MPA - Recinto Módulo Pasillo

MV - Ministerio de la Vivienda

N

NBE CT - Norma Básica de la Edificación sobre Condiciones Térmicas en los edificios

NTE - Normas Tecnológicas de la Edificación

NTE CSL - Cimentaciones Superficiales. Losas

NTE EHR - Estructuras de Hormigón armado. Forjados Reticulares

NTE FFL - Fachadas de Fábrica de Ladrillo

NTE PTL - Particiones Tabiques de Ladrillo

NTE QAT - (Q) Cubiertas: Azoteas Transitables

NTE RPE - Revestimientos de Paramentos. Enfoscados

NTE RPG - Revestimiento de Paramentos. Guarnecidos y enlucidos

NTE RSB - Revestimientos de Suelos. Baldosas

NTE RST - Revestimientos de Suelos. Terrazos

NTE RTP - Revestimientos de Techos de Placa

NE - Orientación Norte Este (recinto en esquina)

NO - Orientación Norte Oeste (recinto en esquina)

NS - Orientación Norte Sur (planta modelo)

O

OTAISA - Oficinas Técnicas de Arquitectura e Ingeniería Sociedad Anónima

P

PPM - Partes Por Millón

PVC - PolyVinyl Chloride

R

RE - Factor de REflexión solar directa del vidrio

RE - Acristalamiento REal

RE_BC - Bajo emisor Control Solar

RE_BE - Bajo Emisor

RE_CS - Control Solar

RE_DC - Doble Claro

RE_MS - Monolítico Sencillo

REP - Planta REctangular Prototipo (planta edificio modelo)

RITE - Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios

RL - Factor de Reflexión Luminosa del vidrio

S

SC - Shading Coefficient (coeficiente de sombreado)

SE - Orientación Sur Este (recinto en esquina)

SEC - Sede Electrónica del Catastro

SHGC - Solar Heat Gain Coefficient

SHR - Spacing to Height Ratio

SO - Orientación Sur Oeste (recinto en esquina)

T

TED - Factor de Transmisión de Energía solar Directa

TL - Factor de Transmisión Luminosa del vidrio

TRNSYS - TRaNsient SYstems Simulation

U

UGR - Unified Glare Rating

UNE EN - Una Norma Española European Norm

USD - United States Dollars

UV - Factor de transmisión del UltraVioleta del vidrio

UVA - Unidad de Vidrio Aislante

V

VEEI - Valor de la Eficiencia Energética de la Instalación

VER_M_6 - Posición VERTical Monolítico hoja de 6 mm (herramienta HULC)

W

WERS - Window Energy Raiting System (Sistema de Certificación Energética de Ventanas)

WWR - Window to Wall Ratio (Porcentaje de Ventana respecto a Fachada)

NOTACIONES Y UNIDADES

Características constructivas

C_p	Calor específico [J/kgK]
d	Densidad [kg/m^3]
e	Espesor de una capa [m]
G	Grueso del ladrillo [mm]
$D_{2m,nT,Atr}$	Diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, en fachadas, en cubiertas y en suelos en contacto con el aire exterior para ruido de automóviles [dBA]
L_d	Índice de ruido día [dBA]
n^{50}	Tasa de renovación de aire a 50 Pa [1/h]
nm	Nanómetro
q_i	Factor de reemisión térmica hacia el interior [$\text{W/m}^2\text{K}$]
q_e	Factor de reemisión térmica hacia el exterior [$\text{W/m}^2\text{K}$]
$R_{A,tr}$	Índice global de reducción acústica, ponderado A, para ruido exterior dominante de automóviles [dBA]
R_n	Resistencia térmica de la capa «n» de un cerramiento [$\text{m}^2\text{K/W}$]
U	Transmitancia térmica [$\text{W/m}^2\text{K}$]
U_C	Transmitancia térmica de cubiertas [$\text{W/m}^2\text{K}$]
U_f	Transmitancia térmica de perfil de marco y hoja de ventanas [$\text{W/m}^2\text{K}$]
U_g	Transmitancia térmica del vidrio [$\text{W/m}^2\text{K}$]
U_M	Transmitancia térmica de muros de fachada [$\text{W/m}^2\text{K}$]
U_P	Transmitancia térmica de particiones interiores [$\text{W/m}^2\text{K}$]
U_S	Transmitancia térmica de suelos [$\text{W/m}^2\text{K}$]
α	Absortividad [-]
λ	Conductividad térmica [W/mK]
ρ (material)	Densidad [kg/m^3]
μm	Micrómetro
ϵ_n	Emisividad normal [adimensional]

Características ocupacionales, operacionales, funcionales y equipos

E_m	Iluminancia media horizontal mantenida [lux]
E_{max}	Iluminancia máxima horizontal mantenida [lux]
E_{min}	Iluminancia mínima horizontal mantenida [lux]
P	Potencia eléctrica [W]
S	Superficie iluminada (m^2)
ρ (iluminación)	Reflectancia [%]
Φ	Flujo luminoso [lm]

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático por causas antropogénicas es una realidad cada vez más evidente. Numerosos indicios tangibles así lo indican como atestigua la comunidad científica superándose la barrera de las 400 ppm⁴ de dióxido de carbono (CO₂), unos de los gases intervinientes en el efecto invernadero (GEI). Esta elevada cifra, junto al continuo e imparable incremento en tan breve espacio de tiempo, augura una alarmante incertidumbre en cuanto a las posibles consecuencias desastrosas que puede acarrear en un futuro. Éstas podrían ser, derivadas del aumento de la temperatura media sobre el clima, como pueden ser la magnitud e incidencia del deshielo de los polos en la elevación del nivel del mar y los drásticos cambios atmosféricos en la frecuencia e intensidad de lluvias, entre otros fenómenos naturales. También, la desertización de zonas de cosechas o altamente pobladas y el aumento de la temperatura en áreas ya de por sí bastante calurosas por mencionar algunos, sobre la flora, fauna y personas.

No hay duda a estas alturas que la frenética actividad humana es la gran responsable del desequilibrio que está sufriendo actualmente el planeta. No sólo en cuanto a la composición y niveles de gases en la atmósfera, sino también a la contaminación y residuos que genera. El ser humano ha pasado de utilizar procesos, técnicas y materiales tolerantes e inocuos para el medio ambiente, a elegir otros sin reparar en las consecuencias que ello puede provocar.

El sector de la edificación está contribuyendo en buena parte a dicho cambio representando el 40% del consumo total de energía en la Unión Europea⁵. El ansia de construir de una manera rápida y desmesurada en la reducción de costes, y obtención de un retorno rentable, han hecho crear un vasto parque edificatorio muy deficiente energéticamente. La pésima calidad térmica (infiltraciones, transmitancia inadecuadas, etc.) junto con la falta de un buen diseño o soluciones constructivas que contemplen medidas pasivas, y/o la mala ejecución durante la fase de construcción, se han ido compensando con el uso irracional de los sistemas de calefacción y refrigeración. Esto ha traído como consecuencia un elevado consumo energético de los edificios, y por ello, una masiva extracción de recursos fósiles para la transformación y generación de energía. También en el transporte y distribución hasta los respectivos puntos de consumo para satisfacer la gran demanda, agudizando las consecuencias sobre el medio ambiente.

A principio de la década de los setenta del siglo pasado, concretamente en 1973, se produce la primera crisis energética mundial motivada en gran parte por la falta de abastecimiento e incremento de los precios del petróleo, produciendo un encareciendo de la energía. La total dependencia sobre los recursos fósiles y países productores trajo consigo una primera concienciación sobre el consumo energético, al que se le sumaría posteriormente la preocupación por el impacto ambiental a medida que se ha ido haciendo más evidente. Esto ha hecho que países industrializados comenzaran a investigar e implementar medidas en la reducción de las

⁴ Hunger, T. (2016). Ciencias. Divulgador científico. <http://www.asocem.org.pe/archivo/files/330406028-La-Humanidad-Ante-El-Temido-Hito-de-Las-400-Ppm-de-CO2.pdf>.

⁵ Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo (2010). Directiva 2010/31/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición). Diario Oficial de la Unión Europea, n° L 153. Unión Europea.

emisiones. Todo ello, mediante un uso racional de la energía con la implementación de políticas energéticas a través de directivas y normativas, y estrategias de fomento de técnicas limpias que aprovechen los recursos naturales renovables que ofrece el planeta, sin dañar o alterar el entorno.

La apuesta 20 20 20 para el 2020 (objetivo 20 20 20) establece tres claros compromisos con el fin de mitigar la negativa influencia sobre el cambio climático. Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero respecto a los niveles de 1990, ahorro de energía primaria mediante un aumento de la eficiencia energética, así como promover las fuentes renovables en al menos un 20 por ciento para cada una de ellas⁶. Un aumento en la aplicación de la eficiencia energética va asociado a una reducción de las emisiones de dióxido de carbono donde la rehabilitación de los edificios existentes, en cualquiera de sus ámbitos constructivos y/o sistemas, puede contribuir a la descarbonización. Para ello, bastaría con la implementación de medidas más eficientes en la elección de fuentes de energía y materiales, que sean además sostenibles con el medio ambiente, así como la colocación apropiada de acuerdo a las circunstancias del lugar.

La envolvente del edificio se convierte generalmente en la primera actuación a realizar por su papel condicionante sobre los sistemas de calefacción, refrigeración e iluminación (sistemas técnicos). Un hueco⁷ practicado en el muro de fachada implica un cambio en la configuración de la parte opaca provocando una discontinuidad en el tipo, espesor, características y funcionalidad de los materiales que lo engloba, pasando a ser la zona más vulnerable a las solicitaciones exteriores. Es por ello que el elemento de cierre, la ventana, sea considerada la parte más influyente en el comportamiento térmico y lumínico en los edificios, más acentuada a mayor porcentaje de huecos por superficie construida, lo que le hace ser el primer elemento de la envolvente a ser valorada técnica y económicamente⁸.

De los dos principales elementos que la componen (perfil de marco/hoja y acristalamiento), el acristalamiento destaca por su mayor superficie ocupada⁹ así como posibilitar la entrada de la radiación solar. Circunstancia ésta última con incidencia directa sobre los sistemas de calefacción, refrigeración e iluminación artificial. La calefacción y refrigeración, en el confort térmico, y la iluminación artificial, en el lumínico. Situaciones ambas de gran influencia en la habitabilidad y salud de las personas convirtiendo al acristalamiento en el elemento más interesante a analizar.

En obras de rehabilitación de huecos de fachada, la medida generalizada de eficiencia energética consiste en sustituir las ventanas compuestas por acristalamientos normalmente monolíticos sencillos por otras de mejores prestaciones de idénticas características aislantes y energéticas en todas las orientaciones, siendo el acristalamiento con tratamiento bajo emisivo el elegido por

⁶ **Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo** (2010). Directiva 2010/31/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición). Diario Oficial de la Unión Europea, nº L 153. Unión Europea.

⁷ **CTE** (2017). DB-HE 1 Limitación de la demanda energética. Ministerio de Fomento. Lo define como “cualquier elemento transparente o semitransparente de la envolvente del edificio. Comprende las ventanas, lucernarios y claraboyas, así como las puertas acristaladas con una superficie semitransparente superior al 50%”.

⁸ **IDAIE** (2008). Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios. Soluciones de Aislamiento con Vidrios y Cerramientos. Capítulo 5, Soluciones de rehabilitación. Pág. 13.

⁹ *Ibidem* Apartado 4.2. Propiedades del vidrio. Pág. 8.

excelencia por su bajo valor de transmitancia térmica. Esto lleva a plantear la posibilidad de poder alcanzar un incremento de eficiencia energética, con el consiguiente ahorro económico y reducción del impacto ambiental, estableciendo y colocando respecto a la superficie acristalada aquel que mejor se adapte para cada orientación.

Para ello, se hace necesario realizar un profundo análisis del comportamiento teórico de los tres parámetros característicos asociados al acristalamiento: transmitancia térmica, factor solar y transmisión luminosa. Primeramente, sobre los sistemas técnicos, para posteriormente, considerar el periodo anual, con el fin de sentar las bases de una propuesta de metodología en la obtención de un mayor aprovechamiento y eficiencia en la sustitución del acristalamiento (indicador kgCO₂), facilitando la labor del proyectista en la rehabilitación.

De las diferentes tipologías de edificios existentes, la investigación se ha centrado en los de oficinas por su elevada superficie vidriada, consumo energético y potencial aprovechamiento de la luz natural. Edificios englobados dentro del periodo constructivo de mayor construcción y uso del acristalamiento monolítico sencillo (1971-1980).

Del parque edificatorio de la ciudad de Sevilla se diseña un edificio modelo a partir de un conjunto homogéneo y representativo con mayor número de características geométricas y constructivas similares. Por simplificación, la investigación se ha acotado a la planta más representativa, intermedia, que es sometida a tres entornos con severidades climáticas de calefacción y refrigeración completamente diferentes de acuerdo al Código Técnico de la Edificación. Estas son: Barcelona «C2», Sevilla «B4» y Málaga «A3» englobados en un clima mediterráneo peninsular.

Para poder conocer el comportamiento teórico de los parámetros característicos del acristalamiento en el periodo anual, y por sistemas, a la misma vez que se propone una metodología en la selección del acristalamiento, ha sido necesario realizar un primer proceso de adaptación de la planta tipo. En ella, se descartan primero los recintos que no son exclusivamente de oficinas, salvo distribuidor, los elementos arquitectónicos y sombras interiores y exteriores, salvo retranqueo, eligiendo la opción de máxima incidencia de la radiación solar. Posteriormente, la planta modelo de forma rectangular tipo celda es considerada de dos formas. Cuadrada y por espacios, permitiendo con dichas medidas la comparación de la superficie acristalada a igualdad de condiciones, tanto interiores como exteriores, en todas las orientaciones.

Se ha comparado primero dos procedimientos de selección del acristalamiento, para lo cual se han utilizado tres tipologías (el monolítico sencillo más otros dos de mejores prestaciones: doble básico sin tratamiento en ninguna de sus caras y de baja emisividad en la cara dos), denominados de experimentación. Por un lado el procedimiento general, comúnmente utilizado en el que sin o mediante estudio previo de simulaciones colocadas iguales en todas las orientaciones se elige el acristalamiento con el que se obtiene una mayor reducción. Por otro lado, la combinación de los parámetros: transmitancia térmica, factor solar y transmisión luminosa para lo que ha sido necesario la creación de acristalamientos auxiliares ficticios en la obtención de un mayor incremento de eficiencia energética.

Con el procedimiento general, se aprecia cómo el acristalamiento más aislante térmicamente (bajo emisivo) se comporta peor en calefacción siendo en algunas orientaciones incluso peores que el monolítico sencillo. Resultado que contradice con el concepto que se tiene de esta tipología para dicho periodo del año, pues al tener menor valor de transmitancia térmica es asociado con una mayor reducción del consumo energético en calefacción. En la configuración por módulo y orientación sur, puede llegar a obtenerse un empeoramiento del consumo del 40% en Sevilla y Málaga. En refrigeración es en cambio el mejor, pudiendo alcanzarse mejoras superiores al 30% en la orientación este. El bajo emisivo se comporta peor en invierno y mejor en verano siendo al contrario el doble sin tratamiento de capa. En el sistema de iluminación artificial con aprovechamiento de la luz natural (acristalamientos con diferentes valores de transmisión luminosa), el monolítico sencillo es el mejor de los tres al tener el valor de transmitancia térmica mayor, aunque la diferencia en el consumo de energía eléctrica es muy pequeña. Como se esperaba, en el periodo anual se obtiene con el acristalamiento de baja emisividad una mayor reducción de emisiones.

Con el procedimiento compuesto por la combinación de los parámetros característicos por orientación, a través de una sistemática basada en la conversión de los valores alto y bajo en flechas ascendente y descendente, se ha obtenido hacia dónde tienden cada uno de ellos con el fin de reducir el consumo de los diferentes sistemas técnicos. Además, se ha establecido qué recintos de la planta modelo retienen o disipan calor. La calefacción se identifica con una transmitancia baja, factor solar alto y transmisión luminosa baja, siendo en refrigeración, al contrario. La iluminación artificial se identifica con una transmisión luminosa y factor solar alto. Málaga es la zona climática donde mayor número de orientaciones y espacios, los situados en las esquinas del edificio, necesitan disipar calor (transmitancia térmica alta).

En el aprovechamiento de la luz natural mediante el uso de un sensor de luz (de no a si considerar el parámetro transmisión luminosa) se consigue una reducción de emisiones en los diferentes recintos en torno al 20%. La reducción es mayor a menor latitud con pequeña diferencia entre ciudades y orientaciones. Se aprecia también, la influencia de la transmisión luminosa en el cambio de dirección de la transmitancia térmica, pasando de disipar a mantener el calor, en capitales de provincia situadas más al sur (Sevilla y Málaga), y en el factor solar, en la más al norte (Barcelona), permitiendo un aumento de la entrada de la radiación solar.

Apoyado en el análisis de la combinación teórica de los parámetros característicos por orientación, se comparan tres procedimientos en la selección de los acristalamientos de mercado. Todos ellos basados en la eliminación de los acristalamientos que no mantengan o sigan la dirección y el orden de los parámetros. La dirección de la transmitancia térmica, factor solar y transmisión luminosa es común para los tres procedimientos, diferenciándose únicamente en el orden. Los tres procedimientos son: “orden de incidencia”, “orden secuencial” y “orden binomio (transmitancia/factor solar) y transmisión luminosa”, siendo con el tercero con el que se consigue una reducción de emisiones en mayor número de orientaciones. En ella, se apoya la propuesta de metodología de selección del acristalamiento de mercado.

Tiene el inconveniente de que la dirección de la transmitancia térmica, factor solar y transmisión luminosa se obtiene de los dos acristalamientos del estudio previo, cuando en la selección del acristalamiento de mercado existe un mayor rango y variedad de valores de los tres parámetros. Esta situación lleva en algunos casos a obtener resultados peores que con el acristalamiento bajo emisor.

La disponibilidad de los acristalamientos de mercado sobre los que se pueden elegir, está supeditada a las características técnicas a cumplir de acuerdo al diseño del edificio (protección frente al ruido, seguridad de uso, condensaciones, rotura por choque térmico, etc.) y entorno. Primera circunstancia a tener en cuenta en la aplicación de la metodología de selección propuesta.

Por último, la rentabilidad en la sustitución del acristalamiento pasaría por considerar las circunstancias reales del edificio (sombras propias o por edificios colindantes, elementos interiores que eviten el deslumbramiento o intensa radiación solar, entre otras), no consideradas en la investigación. La metodología de selección del acristalamiento se ha planteado de manera que permitiera conocer, además, el comportamiento del acristalamiento y de los parámetros característicos por espacios según la distribución en el edificio.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La configuración del acristalamiento ha ido evolucionando considerablemente a lo largo de las últimas décadas mediante la aplicación de nuevos diseños, técnicas y materiales. De ella, se puede hacer una somera y rápida diferenciación entre los acristalamientos convencionales, vidrios estáticos constituidos por uno o varios sustratos que son comúnmente utilizados en huecos de fachadas por su sencillez y viabilidad económica, y los dinámicos o inteligentes. Llamados también cromogénicos¹⁰ entre los que se encuentran: los fotocromicos, termocromicos, electrocromicos, gasocromicos, etc.

Los acristalamientos dinámicos, a diferencia de los convencionales, varían sus propiedades al modificar su transparencia o color según las condiciones climáticas del momento o comportamiento del usuario. Están diseñados para conseguir una mayor eficiencia imposible de alcanzar con los acristalamientos convencionales. Todo ello gracias al uso de nuevas tecnologías más complejas en continua mejora y desarrollo. María del Carmen Giménez (2011), enfatiza en su investigación la ventaja de poder ser adaptados a periodos fríos, permitiendo una mayor entrada de la radiación solar, y periodos calurosos aumentando la reflexión, con el consiguiente ahorro en calefacción y refrigeración indistintamente. Propone el fluido circulante (agua) en el interior de la cámara del doble acristalamiento como otra opción.

Centrándonos en los acristalamientos convencionales, ámbito de la investigación, se pueden diferenciar varias tipologías de acuerdo a la configuración (simple, doble, triple), y tratamiento de capa de alguna de las caras (bajo emisivo, control solar, combinación de ambas). Situación que condiciona el valor de los parámetros característicos asociados al acristalamiento (reflexión luminosa, absorción energética, transmisión ultravioleta, etc.). De entre todos los parámetros que definen el acristalamiento destacan: la transmitancia térmica «U», el factor solar «FS» y la transmisión luminosa «TL» por su efecto directo en el comportamiento térmico y lumínico de los recintos interiores, siendo las utilizadas por las herramientas de simulación energética.

Al igual que la parte opaca de la envolvente de los edificios, el nivel de eficiencia y elección del acristalamiento se ha asociado principalmente al parámetro transmitancia térmica, dejando a un nivel secundario el factor solar y transmisión luminosa. Así queda reflejado a la hora de establecer su uso más habitual durante los últimos años (Tabla 1), donde aquellos utilizados mayoritariamente hasta la década de los ochenta han sido los vidrios monolíticos sencillos. Acristalamientos que son sustituidos en obras de rehabilitación de huecos de fachadas por otros de mejores prestaciones térmicas (menor valor de «U»), doble básico primero y con tratamiento de baja emisividad posteriormente, o en el uso de configuraciones más complejas como el acristalamiento triple, teniéndose el concepto generalizado de una mayor reducción del consumo y mejora de la calificación energética cuanto más bajo es el valor de la transmitancia térmica.

¹⁰ Boletín VT (2010). Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. Materiales cromoactivos. https://icono.fecyt.es/sites/default/files/filepublicaciones/bvt_mat_n4.pdf

Tabla 1. Evolución temporal del uso del acristalamiento convencional. Parámetro transmitancia térmica
Fuente: ASEFAVE (2014). Guía Técnica de Ventanas para la Certificación Energética de Edificios

Años	Descripción	Transmitancia del acristalamiento (W/m ² K)
1970-1980	Vidrio monolítico	5,7
1980-1990	Doble acristalamiento	3,3
1995-2000	Primeros vidrios bajo emisivos	1,8 - 1,6
2007	Mayor presencia vidrios bajo emisivos	1,5 - 1,3
2013	Vidrios bajo emisivos	1,1 - 0,5

Con el objetivo de conseguir edificios más eficientes energéticamente se han realizado numerosos y diversos estudios del hueco en cuanto a su forma, porcentaje, disposición, elementos de sombras, tipos de ventanas, zonas climáticas, tipologías edificatorias y entorno. Nielsen et al. (2001) se centran en establecer un método sencillo de cálculo de ganancia energética neta para el periodo de calefacción que facilite, mediante una sencilla gráfica, la elección de la ventana más idónea para obras de nueva planta o rehabilitación de viviendas unifamiliares en Dinamarca. Igualmente, Urbikain et al. (2009) proponen un sistema de calificación energética que comparen el comportamiento y ahorro energético en edificios residenciales para dos de las zonas climáticas (C1 y D1) que establece el Código Técnico de la Edificación. Consideran para ello, los parámetros transmitancia y factor solar del vidrio, así como transmitancia y absorptividad del marco e infiltraciones. De los tres métodos analizados, el balance energético neto es considerado el más fiable en la reducción de la demanda.

Avanzando en la mejora energética de la ventana, Beatriz Arranz (2013) plantea en su tesis doctoral un indicador como herramienta para el análisis integral del hueco que aporte mayor información de la actualmente disponible en el proceso de diseño. Para ello, considera la influencia de aspectos relacionados con el confort térmico, lumínico, acústico, calidad del aire, consumo de energía y coste, asignándole una probabilidad y efecto en base a una matriz de evaluación de riesgos. Parte de unas ventanas comerciales que cumplen el CTE, para la orientación y porcentaje de huecos en la opción simplificada, asignándole un valor para cada unidad de medición. Mediante ponderación establece el indicador final. La investigación se centra en un espacio adiabático de 30 m² de superficie con 9 m² de fachada en zonas climáticas D3, B4 y E1.

En edificios de uso residencial con clima mediterráneo en Sevilla, Domínguez et al. (2012) evalúan la reducción del consumo energético de un edificio plurifamiliar existente considerando diferentes soluciones constructivas de envolventes más utilizadas. Establecen la ventana como la primera actuación a tener en cuenta si se quiere conseguir una mejora significativa en la reducción del consumo, entorno al 20 y 25%, a partir de un vidrio monolítico sencillo de 6 mm de espesor.

Para un clima predominantemente frío en Gotemburgo, Suecia, y conjunto de viviendas adosadas altamente aisladas, Persson et al. (2005) centran su investigación en la influencia del tamaño de la ventana sobre el consumo energético disminuyendo y aumentándola en fachadas opuestas, norte y sur, respectivamente. Los resultados muestran que el tamaño de la ventana no tiene gran influencia sobre el consumo de calefacción, pero sí en refrigeración concluyendo que es posible aumentar su superficie al norte aprovechando mayor luz natural. En Corea del Sur, Yoo et al. (2013) analizan el comportamiento térmico de diferentes sistemas de ventanas, desde la tipo estándar, doble sin o con capa bajo emisiva, hasta de alta eficiencia con vidrio de doble piel o “super-ventanas”, en una cámara de ensayo termostática. En ella, obtienen el valor de transmitancia térmica y evalúan su efecto en la mejora que se puede alcanzar en la calificación energética tomando como referencia un apartamento estándar en bloque de viviendas. También, Ihm et al. (2012) establecen directrices en la mejora del Código Técnico de Edificación al contemplar únicamente el valor de la transmitancia térmica. Proponen la tipología de ventana que mejor se adapta a cada zona climática considerando además el parámetro factor solar, pues elegir las características apropiadas puede ser neutro o proporcionar ganancias reduciendo el consumo. Concluyen en elegir el acristalamiento doble bajo emisivo frente al doble sin tratamiento de capa de entre los estudiados.

Gasparella et al. (2011) centran su investigación en el comportamiento de acristalamientos dobles y triples bajo emisivos. Establecen que aun siendo los más eficientes en cuanto a nivel de aislamiento se caracterizan a su vez por su valor bajo del factor solar, favorable en verano por la menor entrada de radiación solar pero desfavorable en invierno por la reducción de energía radiante. El correcto diseño para alcanzar edificaciones de bajo consumo pasa por establecer un equilibrio entre los valores característicos del vidrio, su porcentaje en la envolvente y la orientación a la que están expuestas. Manz y Menti (2011) analizan el comportamiento energético del acristalamiento a través del flujo energético en varios climas europeos (Bucarest, Londres, Madrid, Moscú, Roma, Estocolmo, Varsovia y Zúrich) para el periodo de calefacción. Concluyen que acristalamiento triple es el mejor en todas las ciudades y orientaciones.

En cuanto a los edificios terciarios de uso oficinas, Poirazis et al. (2008) enfatizan el alto consumo de calefacción y refrigeración de edificios con elevado porcentaje de huecos y acristalamientos de una sola piel, siendo cada vez más cuestionados. Establecen posibilidades y limitaciones en el diseño para climas nórdicos analizando uno existente de planta rectangular en Gotemburgo, Suecia. Analizan dos tipos de plantas, la diáfana y distribución en celdas, para varios porcentajes de huecos. Afirman que los edificios de oficinas con elevada superficie vidriada deben estar diseñados de manera que eviten la alta carga de refrigeración, aunque baja transmitancia térmica es importante para mantener un consumo racional de calefacción. La orientación apenas influye en el consumo energético, así como un aumento de la superficie acristalada no implica realmente un menor uso de la iluminación artificial. Grynning et al. (2013), analizan el comportamiento energético de varias configuraciones de ventanas en un edificio rectangular en Oslo, Noruega, mediante tres métodos de cálculo. En términos absolutos se obtiene con cada método un ahorro energético diferente.

En climas con predominio de refrigeración, Huang et al. (2014) basan su investigación en un edificio de planta cuadrada. Consideran una serie de tipologías de ventanas comúnmente utilizadas con acristalamientos convencionales de buenas prestaciones, así como elementos de sombras interiores y exteriores. Establecen la combinación ideal y orientación en la que se consigue mayor reducción considerando para una misma orientación todos los recintos de diferente carga térmica, simultáneamente. Tsikaloudaki et al. (2012) evalúan el comportamiento de un grupo de ventanas sobre la demanda de refrigeración mediante el cálculo del valor del índice energético. Utilizan un módulo de oficina rectangular diseñado bajo la referencia ISO en clima mediterráneo. Establecen que valores de transmitancia térmica inferiores a un valor de $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ no son aconsejables si se quiere conseguir que la carga de refrigeración sea la más baja posible, siendo perjudiciales el uso de ventanas con valores cada vez más bajos. Tian et al. (2010) desarrollan el primer “WERS” (Sistema de Certificación Energética de Ventanas) para edificios de oficinas más comunes de Hong Kong teniendo en cuenta todos los factores más influyentes. El estudio se centra en un módulo rectangular a una orientación dividido en tres zonas para diferentes porcentajes de huecos. Destacan que las propiedades del acristalamiento, porcentaje respecto a la parte opaca, orientación y estrategias de control de la iluminación artificial tienen un gran impacto en la calificación energética de la ventana.

Goia (2016), establece el WWR (Window-to-Wall Ratio) ideal de una oficina rectangular de bajo consumo en diferentes climas europeos (Oslo, Frankfurt, Rome and Athens). Afirman que la mayoría de los valores ideales se encuentran en un estrecho margen entre 0.30 y 0.45. Ma et al. (2015) determinan la relación entre el comportamiento térmico y WWR máximo para diferentes resistencias térmicas de la envolvente en edificio rectangular en siete ciudades de Estados Unidos. Obtienen porcentajes muy diferentes en algunas de ellas. Pino et al. (2012) destacan el tamaño de la superficie acristalada como el factor más influyente en la demanda energética en un edificio de planta cuadrada en Santiago, Chile. Con un WWR del 20%, protecciones solares exteriores y acristalamiento selectivo se obtiene un consumo de $25 \text{ kWh/m}^2\text{año}$. Méndez et al. (2015) destacan la importancia de la disposición de las ventanas y circunstancias urbanísticas del entorno en la eficiencia energética. Consideran una oficina rectangular diáfana en cuatro climas europeos más representativos según la clasificación Köppen (Palermo, Torino, Frankfurt y Oslo).

Hee et al. (2016) ponen de manifiesto el impacto de la tipología del acristalamiento, estático y dinámico, sobre el comportamiento térmico y aprovechamiento de la luz natural. La configuración y material influye en el valor de los parámetros característicos haciendo que se comporte mejor en una u otra orientación. Lee et al. (2017) analizan la combinación: factor solar y transmisión luminosa proponiendo una guía que mejore la eficiencia económica según coste energético e inversión inicial en Korea del Sur. Afirman que el consumo energético disminuye a medida que el factor solar disminuye y la transmisión luminosa aumenta. Lee et al. (2013) investigan el efecto del acristalamiento en edificio de base cuadrada para cinco climas típicos de Asia (Manila, Taipei, Shanghai, Seoul and Sapporo). Exponen diferentes propuestas para cada clima basado en el tamaño, porcentaje y orientación.

Ihara et al. (2015) estudian, además del efecto de la transmitancia y factor solar de la ventana, la reflectancia y transmitancia térmica de la parte opaca para varias geometrías de edificios en Tokio, Japón. Afirman que la medida más efectiva para reducir la demanda energética pasaría por reducir primero el factor solar seguido de la transmitancia térmica de la ventana, para posteriormente aumentar la reflectancia solar de la parte opaca. Destacan que la reducción de la transmitancia del muro aumenta la demanda en la mayoría de los edificios siendo necesario determinar el valor apropiado. La reducción en calefacción no compensa siempre el incremento de refrigeración.

Franzetti et al. (2004) resaltan la importancia de tener en cuenta la influencia de la luz artificial sobre los sistemas de climatización debido a las cargas internas que generan, y con ello entender y prever las necesidades energéticas que requiere realmente un edificio. El uso de mecanismos que interactúen la iluminación artificial con la natural incidente se hace necesario si se quiere mejorar el comportamiento térmico. Establecen una mejora del 25%. Bodart y De Herde (2002) evalúan el impacto del aprovechamiento de la luz natural con acristalamientos y configuración de huecos más utilizados en oficinas en Uccle, Bélgica. Afirman poder reducir la iluminación artificial entre un 50 y 80 %.

Asadi et al. (2014) desarrollan una herramienta no exhaustiva que ayude al proyectista a predecir y cuantificar el consumo de energía, proponiendo medidas de ahorro energético en la fase de diseño. De los edificios estudiados, los de planta en H son los de mayor consumo. Lu et al. (2016) analizan el consumo de energía de los edificios situados en la zona interior oeste de Mongolia, siendo baja comparado con otras ciudades más desarrolladas. De acuerdo al modelo de regresión lineal planteado, se puede conseguir un elevado potencial de ahorro en el consumo eléctrico. Jia et al. (2018) identifican los factores e instrumentos normativos responsables del incremento del consumo de energía en refrigeración entre 2004-2013 en Hong Kong. La herramienta de simulación Montecarlo y análisis de regresión muestran que el aumento del uso de enfriadoras más eficientes y unidades de refrigeración han contribuido al aumento de la eficiencia en el uso de la energía. Ben-David et al. (2018) desarrollan modelos simplificados de energía para estimar el impacto diario del consumo de electricidad y gas natural por cambios de ratios en la ventilación de edificios en Nueva York. Rafsanjani et al. (2018) estudian el comportamiento de los ocupantes durante la llegada y salida del edificio a través del encendido y apagado de los diferentes equipos. Demuestran la existencia de un patrón repetitivo en el uso de la energía en ambas situaciones, asociando cambios del consumo eléctrico al comportamiento de los trabajadores.

Por último y con visión a futuro, Rubio-Bellido et al. (2016) estudian hipotéticos escenarios climáticos que podrían surgir como consecuencia del cambio climático, y qué efecto tendrían sobre la demanda energética a diferentes años vista en Chile. Proponen cómo la planta (factor de forma) y la envolvente (relación ventana y parte ciega) podrían ser optimizadas. En la misma dirección, Shibuya et al. (2016) estudian el impacto del cambio del clima sobre el consumo de calefacción y refrigeración de un edificio estándar existente en tres regiones de Japón. Analizan diferentes medidas de ahorro energético. Las cargas de calefacción se reducirían, siendo al contrario en refrigeración motivado por el aumento de las temperaturas. Igualmente, Wang et al.

(2017) investigan el impacto utilizando dos modelos climáticos en cinco ciudades de Estados Unidos, siendo Miami, Phoenix y Los Ángeles las que experimentarían incrementos sustanciales del consumo energético.

De de las diferentes tipologías edificatorias que se pueden encontrar, las oficinas destacan por su elevado consumo energético (Fig. 1). Su elevada superficie construida habitable, ganancias internas y porcentaje de huecos les hacen ser uno de los más interesantes a estudiar del sector terciario en España.

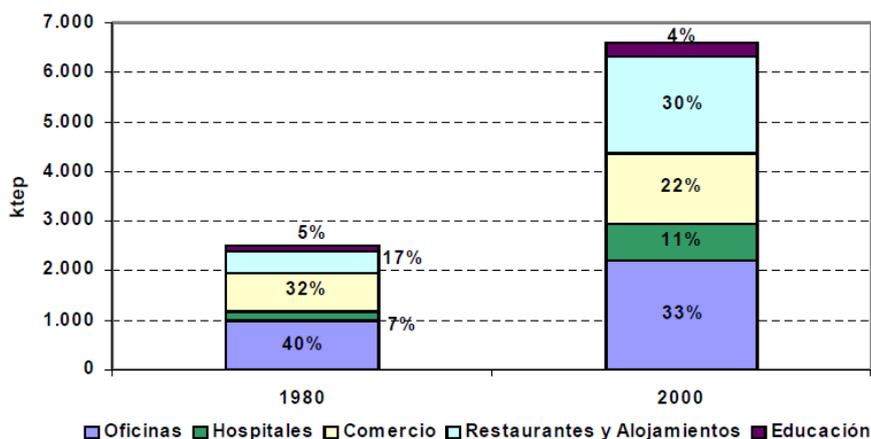


Figura 1. Consumo en el sector servicios por usos. Años 1980 y 2000
Fuente: Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (2003). Sector Edificación

La Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo¹¹ a través del documento “Observatorio de Vivienda y Suelo. Boletín Especial Censo 2011 Parque edificatorio” refleja una superficie construida de oficinas en España de 111,29 millones de m². De ellos, el 31,8% fueron construidos en los años 2002-2011, el 23,1% en el intervalo 1991-2001 y un 15,2% entre 1971 a 1980. Periodo este último caracterizado por el uso del acristalamiento monolítico sencillo sobre el cual se ha centrado la investigación.

Otro aspecto destacable de esta tipología edificatoria es el posible aprovechamiento de la luz natural en la reducción del consumo de la iluminación artificial, así como su efecto sobre los sistemas de calefacción y refrigeración. Primero, por el tiempo que permanecen las lámparas encendidas durante las horas diurnas de máxima radiación solar, y segundo, por la ganancia interna que generan durante dicho intervalo de funcionamiento. La iluminación artificial puede llegar a suponer, si no se toma ninguna medida de ahorro energético, un porcentaje del consumo eléctrico mayor al 50%¹² del total (Fig. 2). Su disminución puede ser abordada mediante la utilización de equipos más eficientes, el empleo de detectores de presencia, o dentro del ámbito de la investigación, con la instalación de un sistema de regulación y control mediante el uso de

¹¹ Datos extraídos de la base de datos catastral con fecha de referencia septiembre 2013. Se considera todo el territorio nacional exceptuando las Comunidades Autónomas del País Vasco y Navarra. Año edición abril 2014.

¹² Consejería de Economía e Innovación Tecnológica (2006). Guía Técnica de Iluminación Eficiente. Sector Residencial y Terciario. Dirección General de Industria, Energía y Minas. Comunidad de Madrid. Capítulo 2, Introducción. Pág. 7.

sensores de luz que adapten el nivel de la iluminación interior a las necesidades del momento. En el caso que nos ocupa, condicionada por la cantidad de radiación lumínica que pasa a través del acristalamiento, según valor del parámetro transmisión luminosa (TL), así como por las condiciones de visibilidad a cumplir en el plano de trabajo (luxes) de acuerdo a los niveles mínimos de iluminación exigidos.

Sector	% de energía eléctrica dedicada a iluminación
Oficinas	50 %
Hospitales	20-30 %
Industria	15 %
Colegios	10-15 %
Comercios	15-70 %
Hoteles	25-50 %
Residencial	10-15 %

Figura 2. Porcentaje energía eléctrica de iluminación por sectores
Fuente: **Consejería de Economía e Innovación Tecnológica** (2006). Guía Técnica de Iluminación Eficiente. Sector Residencial y Terciario. Dirección General de Industria, Energía y Minas. Comunidad de Madrid

La presente investigación se ha centrado en establecer una propuesta de metodología que facilite la selección del acristalamiento convencional en obras de rehabilitación de hueco de fachada de oficinas por orientación a nivel de espacio. Está basado en el orden de los parámetros característicos de mayor influencia en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono anual. Realizada, de manera que permita analizar a la misma vez el elemento acristalado, tanto como unidad, caracterizada por la prestación que más la define (no tener tratamiento de capa y con tratamiento de baja emisividad), como de sus tres parámetros característicos (transmitancia térmica, factor solar y transmisión luminosa), en la reducción del consumo de calefacción, refrigeración e iluminación artificial. Todo ello, mediante una sistemática que permita entender, además, el comportamiento del acristalamiento, los parámetros característicos y espacios de la planta del edificio. Ávila-Delgado et al. (2016) hacen una primera aproximación para una hipotética vivienda unifamiliar en Sevilla teniendo en cuenta únicamente las variables transmitancia térmica y factor solar.

Para ello, un modelo de edificio de oficinas ha sido diseñado basado en un conjunto representativo existente con mayor número de características similares dentro de un periodo constructivo de uso del acristalamiento monolítico sencillo (1971-1980). Edificio, que es situado en tres ciudades con mayor superficie construida de oficinas con severidades climáticas de invierno y verano completamente diferentes de acuerdo al CTE. Las ciudades son: Barcelona «C2» (41° 28' N), Sevilla «B4» (37° 42' N) y Málaga «A3» (36° 67' N) dentro de un clima mediterráneo peninsular.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Propuesta de metodología que facilite la selección del acristalamiento convencional por orientación a nivel de espacio (parámetros transmitancia térmica, factor solar y transmisión luminosa).

3.2. Objetivos específicos

01) Implantar y comparar los diferentes escenarios que posibiliten el estudio y selección del acristalamiento (planta del edificio y recintos).

02) Determinar y comparar, para el periodo anual, el procedimiento de selección del acristalamiento general, definido por la prestación que la caracteriza, con el procedimiento compuesto por la combinación teórica de los parámetros característicos por orientación.

03) Establecer el comportamiento teórico de la prestación del acristalamiento sobre el consumo de calefacción, refrigeración e iluminación artificial.

04) Aplicar una sistemática que permita entender el comportamiento de los parámetros característicos del acristalamiento, asociando los valores a una simbología.

05) Establecer el comportamiento teórico de los tres parámetros del acristalamiento sobre el consumo de calefacción, refrigeración e iluminación artificial.

06) Determinar el efecto del aprovechamiento de la iluminación natural sobre el consumo de calefacción, refrigeración e iluminación artificial, emisiones de dióxido de carbono y parámetros transmitancia térmica y factor solar.

4. METODOLOGÍA

Se definen las fases tenidas en cuenta en el comportamiento del acristalamiento como unidad y parámetros característicos, y propuesta de metodología de selección del acristalamiento (Fig. 3).

4.1. Fase preliminar

ETAPA A_01. Definición del ámbito de estudio.

Elegir el elemento de la envolvente térmica con incidencia sobre los sistemas de calefacción, refrigeración e iluminación artificial (acristalamiento), y tipología edificatoria con elevado consumo energético, porcentaje de huecos y potencial aprovechamiento de la luz natural (oficina).

Seleccionar el periodo de estudio de mayor superficie construida de oficinas y uso generalizado del acristalamiento monolítico sencillo (1971-1980). Oficinas correspondientes a tres capitales de provincia con severidades climáticas de invierno y verano diferentes, según Código Técnico de la Edificación, en clima mediterráneo peninsular. Estas son: Barcelona «C2» (41° 28' N), Sevilla «B4» (37° 42' N) y Málaga «A3» (36° 67' N).

ETAPA A_02. Identificación de edificios de oficinas representativos en la definición del modelo (caso de estudio).

Seleccionar un conjunto de edificios de oficinas del parque edificatorio, con similar geometría y características, sobre los que establecer el modelo de estudio. Sevilla ha sido la capital de provincia elegida en el muestreo de campo.

ETAPA A_03. Herramienta de simulación energética.

Elegir la herramienta de simulación, con motor de cálculo altamente reconocida, que considere los tres parámetros característicos del acristalamiento (DesignBuilder). De las variables consideradas por la herramienta se identifican los diferentes elementos a tener en cuenta en el diseño del modelo. Por otro lado, la herramienta de cálculo de los parámetros lumínicos, fuentes de luz interior y distribución de luminarias de los recintos.

ETAPA A_04. Definición y adaptación del edificio modelo (estado actual).

Establecer la forma, número y altura de plantas, la superficie de los espacios, las orientaciones, el entorno urbano y elemento de sombreado, así como el hueco y el elemento de cierre (acristalamiento y perfil de hoja y marco) de los edificios representativos. También, de la normativa en vigor, las características constructivas de la envolvente térmica, particiones horizontales y verticales, y distribución interior para la década de construcción considerada. El resto de componentes del edificio modelo, tales como equipos de producción de calor y frío, sistema de iluminación artificial, el aprovechamiento de la luz natural, los horarios, infiltraciones

y ganancias internas, se han considerado situaciones estándar extraídas de guías técnicas, manuales e información de casas comerciales.

Para conocer la disponibilidad real del grupo de acristalamiento objeto de consideración sobre los que se realiza la selección, se define las características técnicas del vidrio a cumplir según CTE (protección frente al ruido y seguridad de uso).

Para conocer el comportamiento de los tres parámetros, y del acristalamiento según prestación, en los sistemas de calefacción, refrigeración e iluminación artificial, se realiza durante el diseño del edificio modelo un proceso de adaptación de la planta. Éste, consiste en descartar aquellos elementos de la envolvente térmica y recintos interiores que impidan considerar una igualdad de condiciones de la superficie acristalada en todas las orientaciones. Tampoco se han considerado, sistemas u otros consumos que no son afectados por las solicitaciones exteriores a través del acristalamiento.

4.2. Fase desarrollo

ETAPA B_01. Situación de partida, escenarios y criterio de comparación.

Una vez definido el modelo, se establece la manera de afrontar el edificio, los posibles escenarios y procedimiento de comparación de la superficie vidriada. Se ha acotado a la planta más representativa al tener todas ellas idénticas distribución interior, sombras propias y entorno urbano (situación de partida). Con origen en la planta modelo se han definido los diferentes escenarios (configuraciones de recintos y plantas prototipos). A nivel de recinto, se realiza el estudio de los acristalamientos de experimentación y se aplican los procedimientos de selección general y por combinación de parámetros. Con las plantas prototipos se procede a la validación de reducción de emisiones de dióxido de carbono con los acristalamientos seleccionados. Se hace una diferenciación entre considerar primero los parámetros transmitancia y factor solar (binomio) para posteriormente incluir la influencia de la iluminación natural, con el parámetro transmisión luminosa, mediante la incorporación de un fotosensor (trinomio).

El criterio de comparación se basa en el cálculo de porcentaje de kgCO_2 y kWh según periodo anual y sistemas técnicos, respectivamente, siendo el acristalamiento monolítico sencillo el tomado como referencia. Únicamente los tres parámetros característicos son considerados variables dejando constante el resto de componentes de la planta modelo.

ETAPA B_02. Selección del acristalamiento según prestación.

Se realiza el primer grupo de simulaciones en el que se expone el procedimiento de selección del acristalamiento generalmente utilizado. Está basado en la elección directa según la prestación que más la define o mediante estudio con simulaciones colocadas iguales en todas las orientaciones, para elegir el acristalamiento con el que se obtiene mayor reducción.

Se utilizan tres acristalamientos. El de referencia, establecido en el edificio modelo, y otros dos dobles de mejores prestaciones térmicas, básico (sin tratamiento de capa) y de baja emisividad, a los que se les asignan un código y color que facilite su identificación. Las simulaciones se comienzan considerando primero el acristalamiento monolítico sencillo en todas las orientaciones para posteriormente ser sustituido por el doble claro y de baja emisividad en el orden establecido. Se establece también, el comportamiento teórico de los tres acristalamientos en el consumo de calefacción, refrigeración e iluminación artificial.

ETAPA B_03. Selección de la combinación de los parámetros característicos por orientación.

En este segundo grupo de simulaciones se quiere obtener una reducción mayor de emisiones respecto al procedimiento general (etapa B_02). Está basado en la selección de la combinación de valores ideales de los tres parámetros característicos para cada orientación.

Para ello se utilizan, además de los tres acristalamientos reales anteriores, otros ficticios auxiliares creados de la combinación de valores de los tres parámetros característicos de los acristalamientos de mejores prestaciones. Se aplica una sistemática basada en el uso de flechas ascendentes y descendentes que permitan visualizar además el comportamiento de los tres parámetros sobre el consumo de calefacción, refrigeración e iluminación artificial, y de los recintos, para el periodo anual. De los valores de la combinación ideal de los tres parámetros se establece la dirección de cada uno de ellos. Dirección que es utilizada posteriormente en los diferentes procedimientos de selección para determinar la disposición (jerarquía) de la transmitancia, factor solar y transmisión luminosa.

ETAPA B_04. Validación de una mayor reducción de emisiones, con la combinación de los parámetros característicos de los acristalamientos de experimentación por orientación, en las plantas prototipos.

En este tercer grupo de simulaciones se valida conseguir un incremento de eficiencia energética con los acristalamientos que mejor se adaptan a cada orientación obtenido en la etapa B_03. Éstos son aplicados sobre la planta cuadrada y rectangular prototipo (situaciones N-S y E-O) para un periodo de funcionamiento anual, cotejando los resultados con el de mejor prestación real obtenida en el procedimiento general de la etapa B_02.

4.3. Fase de mercado

ETAPA C_01. Acristalamientos objetos de consideración.

Una vez validada la posibilidad de conseguir un mayor incremento en la reducción de emisiones de dióxido de carbono, se propone idéntico objetivo utilizando únicamente acristalamientos de mercado.

Para ello, se establecen primero los grupos de acristalamientos objetos de consideración de los que se haya podido obtener información sobre la configuración, tratamiento y posición de capa/s,

así como valores de los parámetros característicos transmitancia, factor solar y transmisión luminosa, nivel acústico y precio por metro cuadrado, acotado a sustratos de tonalidades incoloras o de aspecto neutro. Éstos son los grupos: doble básico, baja emisividad, control solar y combinación de tratamiento de capa de los dos últimos acristalamientos a los que se les asigna una codificación y color que facilite igualmente su identificación.

Sobre ellos se realiza un estudio del efecto de la configuración, tratamiento y posición de capa en la variación de los valores de los tres parámetros característicos estableciendo qué condiciona y en qué medida determina cada uno de ellos.

ETAPA C_02. Disposición de los parámetros característicos.

En este cuarto grupo de simulaciones se analiza el orden de los parámetros mediante tres procedimientos en la propuesta de una metodología de selección del acristalamiento de mercado.

Los procedimientos se basan en la eliminación de los acristalamientos que no sigan las directrices o secuencia de los tres parámetros compuesta por: la dirección, establecida en la etapa B_03, y el orden o jerarquía, a establecer en esta etapa C_02. Se comienza con el procedimiento “orden de incidencia”, seguido del denominado “secuencial” para finalizar con el denominado “binomio y transmisión luminosa”. Aquel procedimiento con el que se consigue una reducción de emisiones en el mayor número de orientaciones respecto al mejor acristalamiento de la etapa B_02, es el propuesto. El estudio se realiza por espacios diferenciándose dos tipos: módulo lateral y de esquina.

ETAPA C_03. Validación de una mayor reducción de emisiones, con el acristalamiento de mercado, en las plantas prototipos.

En este quinto grupo de simulaciones se valida conseguir un incremento de eficiencia energética con los acristalamientos de mercado seleccionados con el procedimiento con el que se obtuvo una reducción de emisiones en el mayor número de orientaciones en la etapa C_02 (“binomio y transmisión luminosa”), en la planta rectangular y cuadrada prototipo (situaciones norte-sur y este-oeste). Al igual que en la etapa B_04 se cotejan los resultados con el de mejor prestación real de experimentación obtenido en el procedimiento general en la etapa B_02.

ETAPA C_04. Influencia de las características técnicas del acristalamiento.

Una vez conseguido un incremento de eficiencia energética con los acristalamientos de mercado, se analiza la característica “protección frente al ruido aéreo por tráfico rodado” sobre la disponibilidad real de los grupos de acristalamientos objetos de consideración. Éstos son comparados con el valor medio del “índice global de reducción acústica, ponderado A, para ruido exterior dominante de automóviles ($R_{A,tr}$)” establecido en la etapa “A_04. Definición y adaptación de la planta modelo (estado actual)”.

4.4. Fase final

ETAPA D_01. Propuesta de metodología de selección del acristalamiento de mercado.

Una vez definido la dirección y disposición de los parámetros, configuración de recintos posibles e influencia de las características técnicas, se describen finalmente los pasos a seguir en la propuesta de metodología de selección del acristalamiento de mercado.

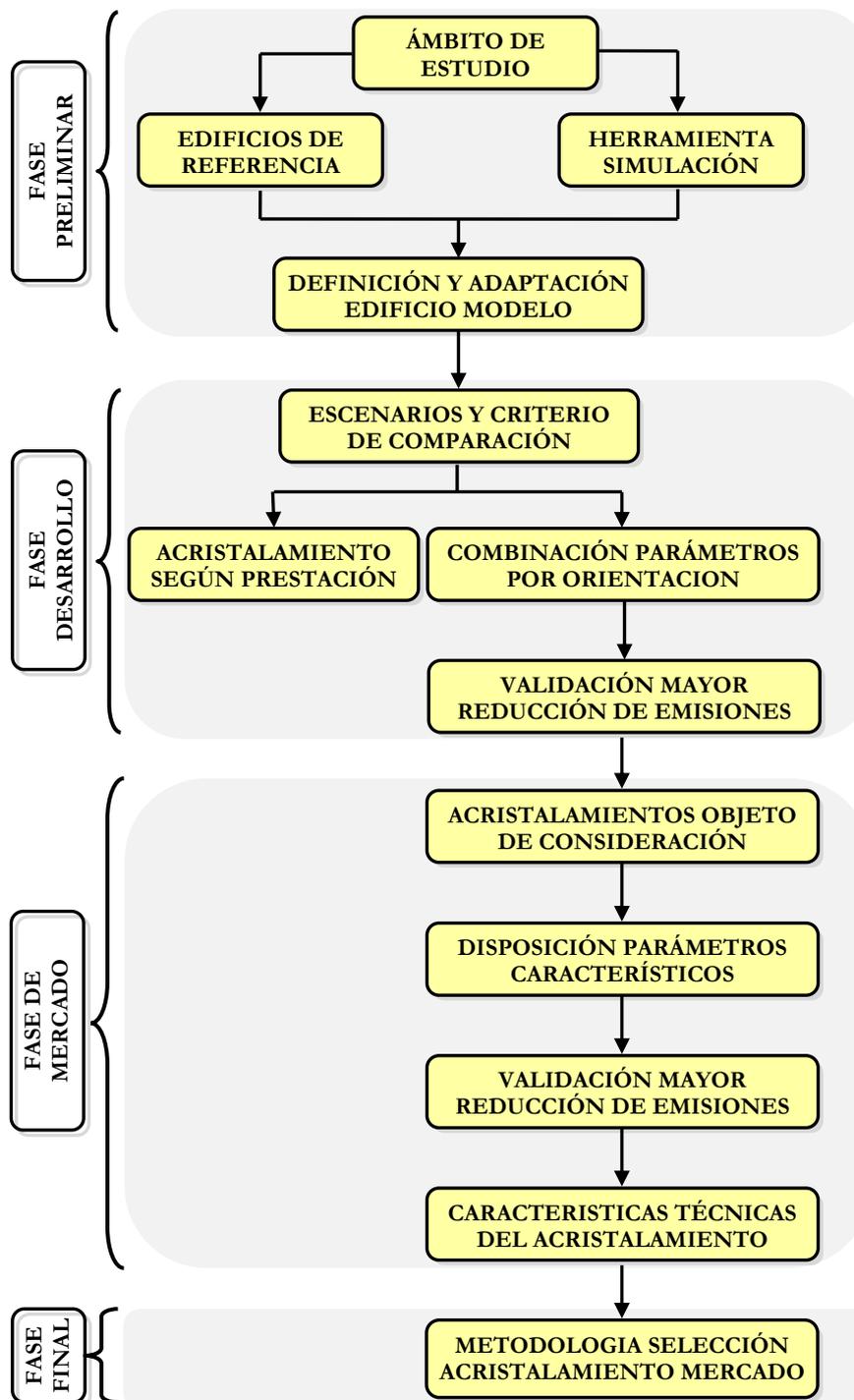


Figura 3. Esquema de la metodología aplicada

5. EL VIDRIO. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS, CONFIGURACIÓN Y TRATAMIENTO DE CAPA

“El vidrio es un producto inorgánico fundido que se ha enfriado hasta un estado rígido, sin experimentar cristalización, constituido predominantemente por sílice, duro, frágil y transparente, de elevada resistencia química y deformable a alta temperatura” (Robador, 1993). Se pueden encontrar en diferentes grados de transparencia y color como parte esencial e intrínseca de la ventana en huecos de fachadas. Permite la entrada directa de la radiación solar, como luz visible y energía radiante, diferenciándolo del elemento opaco de la envolvente térmica. Característica que le hace influir no sólo sobre los sistemas diseñados para obtener el confort térmico (calefacción y refrigeración), sino también, el lumínico (iluminación artificial) dándole un protagonismo especial en el comportamiento energético del edificio.

5.1. Parámetros característicos

La influencia del vidrio sobre el comportamiento energético del edificio viene determinada por sus propiedades luminosas, solares y térmicas. Éstas, vienen definidas en las normas UNE¹³ como parámetros característicos para cada una de las bandas espectrales que constituyen el espectro electromagnético.

Dentro del ultravioleta, definida sobre el rango de longitudes de onda del espectro solar entre 280 y 380 nm, y que se divide a su vez en los intervalos UV-B (280 a 315 nm) y UV-A (315 a 380 nm), se encuentra:

- Factor de transmisión del ultravioleta, fracción del componente ultravioleta incidente en % que es transmitido por el vidrio al interior.

En la banda de la luz visible, definida sobre el rango de longitudes de onda del espectro solar entre 380 y 780 nm, correspondiente al iluminante de referencia D65¹⁴, se encuentran (Fig. 4):

- Factor de reflexión luminosa (RL), fracción de la luz visible incidente en % que es reflejada por el vidrio al exterior. Un RL del 20 % indica que dicho porcentaje de la luz incidente es reflejada al exterior siendo el 80% absorbida y/o transmitida al interior.
- Factor de transmisión luminosa (TL), fracción de la luz visible incidente en % que es transmitida por el vidrio al interior. Un TL del 75% indica que dicho porcentaje de la

¹³ Conjunto de normas tecnológicas creadas por los Comités Técnicos de Normalización (CTN) a través de la entidad privada AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación. UNE-EN 410_2011 y UNE-EN 1096_2012

¹⁴ Uno de los iluminantes estándares propuestos por la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), en español Comisión Internacional de la Iluminación, que describe las condiciones medias de iluminación a un sol de mediodía en Europa Occidental. Representa una temperatura de color de 6504 K

luz incidente es introducida al interior siendo el 25% absorbida y/o reflejada al exterior.

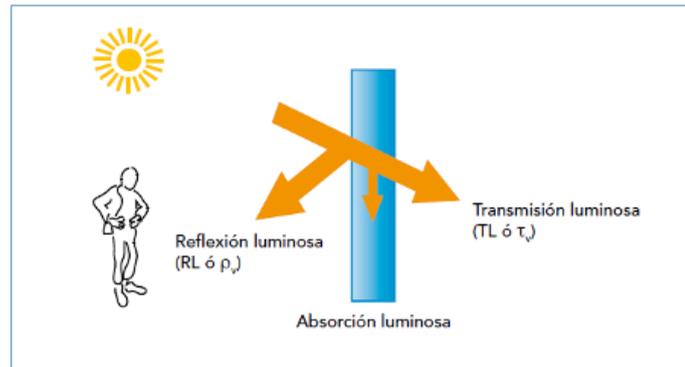


Figura 4. Factores lumínicos del vidrio

Fuente: AGC Yourglass (2008). Todo sobre el vidrio

Dentro de la banda solar, definida sobre el rango de longitudes de onda del espectro entre 300 y 2.500 nm, se encuentran (Fig. 5):

- Factor de reflexión de la energía solar directa (RE), fracción de la radiación solar incidente en % reflejada por el vidrio al exterior. Un RE del 10% indica que dicho porcentaje de la energía incidente es reflejado al exterior siendo el 90% absorbida y/o transmitida al interior.
- Factor de transmisión de la energía solar directa (TED), fracción de la radiación solar incidente en % transmitida directamente por el vidrio al interior. Un TED del 90% indica que dicho porcentaje de la energía incidente es introducido al interior siendo el 10% absorbida y/o reflejada al exterior.
- Factor de transmisión de energía solar total (Factor Solar - FS), fracción de la radiación solar incidente transmitida totalmente por el vidrio al interior (la directa más la absorbida que es reirradiada en diferente longitud de onda al interior).

Cuanto más bajo sea el valor del factor solar mayor fracción de energía solar incidente es reflejada al exterior reduciendo la ganancia energética, siendo a la inversa a mayor valor.

- Factor de absorción energética (AE), fracción de la radiación solar incidente que es absorbida por el vidrio produciendo un aumento de su temperatura. Calor que es reemitido al interior (factor de reemisión térmica hacia el interior «qi») o exterior (factor de reemisión térmica hacia el exterior «qe») del recinto, por conducción/convección, según temperatura existente a ambos lados del sustrato vítreo.

- Coeficiente de sombreado total (Shading Coefficient - SC), relación entre el factor solar del vidrio en cuestión y el de referencia (vidrio flotado transparente) de valor 0,87.

Relaciona la ganancia de calor a través de un vidrio indicando la reducción de ganancia por radiación solar. Se considera una medida comparativa de rendimiento. A menor valor de SC más eficiente es el control solar.

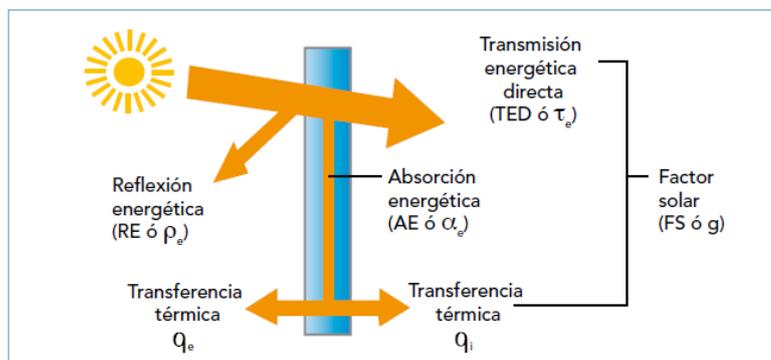


Figura 5. Factores energéticos del vidrio
Fuente: AGC Yourglass (2008). Todo sobre el vidrio

Dentro de la banda térmica, definida sobre el rango de longitudes de onda del espectro térmico entre 5 y 50 μm , se encuentran:

- Emisividad total normal (ϵ_n), relación en una dirección perpendicular a la superficie entre la potencia emisiva (radiación térmica emitida) de la superficie del vidrio y la de un cuerpo negro (Fig. 6).

Cuanta más baja es la emisividad menor es la transferencia de calor por radiación térmica reduciendo el valor de U y aumentando las características aislantes del sustrato vítreo. El valor oscila entre 0 (0 %) y 1 (100 %).

Un ϵ_n del 89% (acristalamiento de emisividad normal) indica que dicho porcentaje del flujo de calor es absorbido y reirradiado al ambiente más frío siendo el 11% reflejado en dirección contraria a dicho flujo.

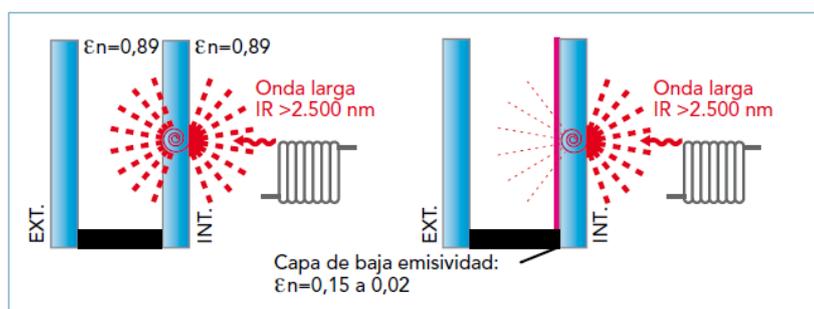


Figura 6. Acristalamiento con emisividades 0,89 y 0,15 a 0,02
Fuente: AGC Yourglass (2008). Todo sobre el vidrio

- Coeficiente de transmitancia térmica (U). Cantidad de calor que fluye por unidad de tiempo en régimen estacionario a través de una unidad de superficie para cada grado de diferencia de temperatura (W/m^2K) entre el interior y el exterior. A menor valor más aislante es el vidrio.

Se adjunta equivalencia en la identificación de los parámetros del acristalamiento antiguo (utilizada en la investigación) y la que considera la norma UNE-EN 410:2011 “Vidrio para la edificación. Determinación de las características luminosas y solares de los acristalamientos”, referida a los parámetros luminosos y energéticos del vidrio (Fig. 7).

Índice	Expresión antigua	EN 410
Factor de reflexión de la luz	RL	ρ_v
Factor de transmisión luminosa	TL	τ_v
Transmitancia solar directa	TED	τ_e
Absorción solar directa	AE	α_e
Reflectancia solar directa	RE	ρ_e
Factor solar	FS	g

Figura 7. Parámetros lumínicos y energéticos. Equivalencia entre simbología antigua y norma UNE EN 410

Fuente: AGC Yourglass (2008). Todo sobre el vidrio

Además de las características espectrofotométricas y energéticas definidas en las normas UNE, se hace mención del concepto selectividad¹⁵. Definida como la relación entre la transmisión luminosa (TL) y el factor solar (FS). A mayor diferencia entre ambos parámetros más selectivo es el vidrio, traduciéndose en dejar pasar mayor cantidad de luz visible con relación a la radiación energética. Como ejemplo se expone que para un valor TL de 41 y FS de 22 la selectividad del vidrio es de 1,86 (41/22).

5.2. Configuración y tratamiento de capa

El acristalamiento, como parte integrante de la ventana, puede estar constituido por uno o varios sustratos unidos en toda su superficie o a través de un elemento separador por el perímetro, confiriéndole la configuración. Término que le atribuye una parte de la prestación que le caracteriza, y que es reflejada en el valor de los parámetros transmitancia térmica (U - W/m^2K), factor solar (FS - adimensional) y transmisión luminosa (TL - %) utilizados en la investigación.

Atendiendo a su complejidad, entendiéndose como el número de paneles que la componen, la configuración se puede clasificar como acristalamiento simple (conocido como monolítico), el

¹⁵ AGC Yourglass. Empresa de producción, transformación y distribución de vidrios. Documento. <https://es.scribd.com/document/142218195/Todo-Sobre-El-Vidrio>. 03/01/2016. Apartado 2.4.1. Factores energéticos y luminosos. Pág. 54.

cual puede estar formado por un único sustrato (sencillo), o en unión con otro en toda su superficie mediante una lámina de Butiral de Polivinilo (laminar). El acristalamiento doble, formado por dos paneles, que a diferencia del laminar, están separados por una pieza intercalario o espaciador en su perímetro formando una cámara rellena de un gas. Por último, el acristalamiento triple el cual presenta un segundo intercalario y cámara, y sucesivamente. Las configuraciones: doble, triple y siguientes están formadas por combinaciones de vidrios simples, sencillo y/o laminar, concebidas para disminuir la pérdida de energía calorífica del interior de los recintos por conducción. A igualdad de condiciones, la pérdida será menor en el triple y siguientes por el efecto de un mayor número de cámaras. Éstas, pueden estar rellenas de aire deshidratado u otros gases nobles menos conductores de la energía como el argón, kriptón o xenón, siendo este último el de menor conductividad mejorando aún más el aislamiento del elemento acristalado (Fig. 8).

Gas	Temperatura ϑ °C	Densidad ρ kg/m ³	Viscosidad dinámica μ kg/(m·s)	Conductividad λ W/(m·K)	Calor específico c J/(kg·K)
Aire	- 10	1,326	$1,661 \times 10^{-5}$	$2,336 \times 10^{-2}$	$1,008 \times 10^3$
	0	1,277	$1,711 \times 10^{-5}$	$2,416 \times 10^{-2}$	
	10 ^a	1,232	$1,761 \times 10^{-5}$	$2,496 \times 10^{-2}$	
	20	1,189	$1,811 \times 10^{-5}$	$2,576 \times 10^{-2}$	
Argón	- 10	1,829	$2,038 \times 10^{-5}$	$1,584 \times 10^{-2}$	$0,519 \times 10^3$
	0	1,762	$2,101 \times 10^{-5}$	$1,634 \times 10^{-2}$	
	10 ^a	1,699	$2,164 \times 10^{-5}$	$1,684 \times 10^{-2}$	
	20	1,640	$2,228 \times 10^{-5}$	$1,734 \times 10^{-2}$	
Kriptón	- 10	3,832	$2,260 \times 10^{-5}$	$0,842 \times 10^{-2}$	$0,245 \times 10^3$
	0	3,690	$2,330 \times 10^{-5}$	$0,870 \times 10^{-2}$	
	10 ^a	3,560	$2,400 \times 10^{-5}$	$0,900 \times 10^{-2}$	
	20	3,430	$2,470 \times 10^{-5}$	$0,926 \times 10^{-2}$	
Xenón	-10	6,121	$2,078 \times 10^{-5}$	$0,494 \times 10^{-2}$	$0,161 \times 10^3$
	0	5,897	$2,152 \times 10^{-5}$	$0,512 \times 10^{-2}$	
	10 ^a	5,689	$2,226 \times 10^{-5}$	$0,529 \times 10^{-2}$	
	20	5,495	$2,299 \times 10^{-5}$	$0,546 \times 10^{-2}$	

Figura 8. Tipos de gases en cámara. Propiedades físicas
Fuente: AENOR (2011). UNE-EN 673 Vidrio en la construcción.
Determinación del coeficiente de transmisión térmica (valor U)

Otra parte importante que influye en la prestación del acristalamiento es el tratamiento y posición de una película delgada y sólida de materiales inorgánicos en alguna de las caras, denominado vidrio de capa. Lo que modifica nuevamente las propiedades espectrofotométricas, energéticas y térmicas, de las configuraciones dobles, triples, etc.

Según el tipo de tratamiento, los acristalamientos se pueden clasificar en: básico, entendiéndose aquel que no tiene tratada ninguna de las caras, bajo emisor, con el fin de reducir la pérdida de

energía del interior, control solar, en la disminución de la ganancia energética por radiación solar, o como combinación de las prestaciones del control solar y baja emisividad.

5.3. Código Técnico de la Edificación

El CTE DB HE 1 y su Documento de Apoyo consideran el acristalamiento en unión con: la forma y superficie del hueco, los elementos de sombras por obstáculos fijos (retranqueo, voladizo) y/o móviles (laminas verticales/horizontales, toldos), y restos de elementos que componen la ventana (transmitancia térmica superficial/lineal, longitud de contacto, absorptividad y fracción del marco). Con ello, se obtiene el valor de transmitancia térmica y factor solar modificado del hueco comprobándose, mediante tablas de zonificación de valores límites, el cumplimiento para la orientación de estudio.

El CTE DB HE 3 considera el acristalamiento en unión con el sistema de aprovechamiento de la luz natural bajo unas condiciones específicas. Éstas, tienen en cuenta: la profundidad del recinto, el ángulo formado por el punto medio del elemento acristalado con la cota máxima del edificio colindante y el cumplimiento de un valor dado por una expresión.

En los edificios existentes, salvo reforma integral de la fachada, la forma del hueco, los elementos de sombras e incluso aquellas producidas por edificaciones colindantes están definidos. En cambio, en los edificios de nueva construcción no lo están, pudiendo en este caso el diseño del hueco ser jerarquizado. Comenzando por la geometría y sus dimensiones, los elementos de sombras, dejando en último lugar las características propias de la ventana.

De los dos principales elementos que compone la ventana (perfil de marco/hoja y vidrio), el elemento acristalado presenta un mayor abanico de combinaciones a elegir propiciada por los parámetros: transmitancia, factor solar y transmisión luminosa. Esto da lugar a una multitud de configuraciones. En cambio, el perfil de marco/hoja se centra básicamente en la transmitancia térmica cuyo valor depende del diseño (número de cámaras), rotura de puente térmico y especialmente en el tipo de material. Su diversidad se circunscribe a madera, plástico y metal¹⁶, siendo su selección de una forma directa, rápida y sencilla.

Debido a la importancia del acristalamiento en el comportamiento energético del edificio, su gran diversidad en la selección y siendo establecido como último elemento a definir, la investigación queda circunscrita a la selección de los tres parámetros por orientación bajo las circunstancias propias del inmueble objeto con el entorno (planeamiento de la ciudad y zona climática).

¹⁶ IDAE (2008). Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios. Soluciones de Aislamiento con Vidrios y Cerramientos. Capítulo 4, Propiedades de los vidrios y marcos. Pág. 14.

6. HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN Y EDIFICIO MODELO

6.1. Herramienta de simulación energética

Hoy día existen en el mercado, en continua y constante mejora, una gran variedad de herramientas de simulación con el fin de diseñar edificios más eficientes. Éstas han pasado a convertirse en un instrumento fundamental en la evaluación teórica del comportamiento energético. Permiten obtener una estimación de la demanda y/o consumo de acuerdo a la geometría, características de los diferentes elementos arquitectónicos que componen la envolvente térmica, perfiles de uso, equipos (producción de calor, frío e iluminación artificial) con relación al entorno, orientación y zona climática.

Estas aplicaciones difieren según el tipo y nivel de especialización que ofrecen, haciéndolas más interesantes en su manejo o utilización, así como en la posible gratuidad de las mismas. El Building Energy Software Tool¹⁷ (BEST directory) incluye un amplísimo número de programas clasificados según las prestaciones que ofrecen. Unos se centran en aspectos relacionados con el análisis de la radiación solar e iluminación natural (ECOTECT, ArchiWIZARD, RADIANCE, etc.), otras en la iluminación artificial interior (DIALux, RELUX, LUMENLUX, etc.). También las hay que se especializan en la dinámica de fluidos computacional (PHOENICS, Khamsin, etc.), en la energía térmica dinámica (Energy Plus, DOE 2, TRNSYS, ESP-r, etc.), en ciertos elementos concretos de la envolvente como puentes térmicos (THERM, TerMus-BRIDGE, etc.), o en la modelización (SketchUp, TRNBuild, etc.), entre muchos otros. Hay algunos programas que se apoyan en un conjunto de motores de cálculo evaluando el edificio desde diferentes perspectivas con su propia estructura de introducción de la información, haciéndolas más versátiles (DesignBuilder, OpenStudio, etc.).

A la hora de seleccionar una herramienta de simulación, se tienen en cuenta una serie de características tales como la modelización del edificio en geometría 3D, que favorezca su diseño (rapidez y visualización), o un entorno o interfaz gráfica ordenada y amigable que agilice la entrada de datos. También la potencia, régimen y número de variables que consideran los motores de cálculo, así como la cantidad y forma de representar los resultados que facilite su interpretación y análisis para establecer las respectivas conclusiones.

En España, a través de la Secretaria de Estado de Energía perteneciente del Ministerio de Energía, Turismo y Agencia Digital¹⁸ (MINETAD), actualmente denominado Ministerio para la Transición Ecológica, ofrece un conjunto de herramientas oficiales encaminadas a la limitación de la demanda o consumo energético. Unos se centran en obras de nueva planta con el fin de diseñar edificios que cumplan unas medidas mínimas de eficiencia en cumplimiento del CTE

¹⁷ BEST Directory. Building Energy Software Tool Directory. <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/> 18/11/16.

¹⁸ Secretaría de Estado de Energía. Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. <http://www.minetad.gob.es/ENERGIA/DESARROLLO/EFICIENCIAENERGETICA/CERTIFICACIONENERGETICA/DOCUMENTOSRECONOCIDOS/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx>. 27/04/15.

DB-HE, entre los que se encuentran las conocidas LIDER y CALENER (en su versión unificada HULC). En los existentes, se utilizan además del CALENER los procedimientos simplificados como el CE3, CE3x y CERMA, este último también para vivienda nueva, para conocer mediante una letra el nivel de eficiencia que presentan. Desde el 5 de julio de 2018 son admitidos también los programas CYPETHERM HE Plus, SG SAVE y complemento CE3X para edificios nuevos.

Al centrarse la investigación únicamente en el acristalamiento, y al ser éste un elemento íntegramente de la envolvente térmica, la herramienta de simulación LIDER es en principio la que más se ajusta al analizar el edificio a nivel de demanda. Tiene el inconveniente de considerar solamente dos de los parámetros característicos más representativos del vidrio: transmitancia térmica y factor solar, lo que hace necesario elegir otro “software” que incluya además el aprovechamiento de la luz natural (transmisión luminosa) sin necesidad de definir de forma detallada los equipos de producción de calor y frío.

Se ha elegido la conocida y extendida herramienta de simulación DesignBuilder¹⁹, la cual permite una rápida y fácil modelación del edificio con una interfaz gráfica detallada y sectorizada según elementos constructivos y sistemas. Trabaja con el motor de cálculo EnergyPlus²⁰ desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, creado de la unión de las herramientas DOE-2 y BLAST, permitiendo realizar simulaciones dinámicas avanzadas en tiempo real. También incluye RADIANCE en el análisis de la iluminación natural incidente a través de los parámetros lumínicos: nivel de iluminancia y factor de luz diurna, mediante el método “ray-tracing” (trazado de rayos) en el plano de trabajo. Emplea el modelo de cálculo estadístico Monte Carlo incluyendo la reflexión, refracción de la luz, sombras y otros efectos necesarios de forma unificada para conseguir un efecto realista. El módulo HVAC, en el que considera un amplio rango de sistemas incluyendo todos los de referencia del estándar ASHRAE 90.1, y la dinámica de fluidos computacional (CFD) en el estudio detallado del movimiento del aire interior y distribución de temperaturas, entre otros aspectos.

La iluminación artificial considera los parámetros iluminancia (lux) y densidad (W/m^2) para el cálculo de la ganancia térmica en su efecto sobre los equipos de producción de calor y frío, e incidencia en el consumo energético. Del programa DesignBuilder se ha basado la caracterización y estructuración de los diferentes elementos pasivos y activos del edificio modelo de oficinas.

En el cuadro “opciones del modelo” se establece el nivel de detalle de los datos introducidos en la herramienta de simulación. Se ha elegido la opción “etapa de diseño arquitectónico inicial con análisis del edificio completo”. Se adjunta la relación de todas las opciones posibles y breve explicación, extraídos del manual de ayuda²¹ del programa, resaltando en negrita las que han sido consideradas (Tabla 2).

¹⁹ Versión 5.0.1.021

²⁰ Versión 8.5.0.001

²¹ Ordoñez, A. (2014). Manual de ayuda DesignBuilder en español. Versión 2014.12.03. Apartado Opciones del modelo. Pág. 87.

Tabla 2. Nivel de detalle introducción de datos en DesignBuilder

Datos	Nivel de detalle	Descripción
Cerramientos y acristalamientos	Pre-diseño	Evaluar rápidamente el efecto de diferentes niveles de aislamiento y masa térmica
	General	Definir los cerramientos del modelo de manera personalizada
Ganancias	Agrupadas	Todas las ganancias internas asociadas a personas, aparatos e iluminación se agrupan en un único valor
	Simplificadas	Las ganancias internas asociadas a personas, aparatos e iluminación se definen por separado
	Detalle	Ídem opción simplificada siendo las ganancias por aparatos e iluminación modelados especificando elementos individuales en cada zona
Sincronización	Día laborable	Se modela de forma simplificada mediante periodos diarios según hora inicio y finalización
	Programaciones	Se modela de forma más detallada mediante programaciones 7/12 o compactas
HVAC	Simple	Se modelan sistemas ideales que suministran la energía de calefacción y refrigeración
	Detallado	Se modelan los sistemas de forma detallada, incluyendo sus componentes y circuitos
Ventilación natural e infiltración	Programada	Las tasas de ventilación se definen directamente. No se definen aperturas de puertas ni ventanas
	Calculada	Considera las condiciones de viento así como grado apertura y funcionamiento de puertas y ventanas

La herramienta de simulación utiliza el término transmisión solar total (SHGC -Solar Heat Gain Coefficient) para definir la cantidad de radiación energética que entra a través del acristalamiento. En las fichas técnicas de casas comerciales, dicho concepto viene definido por el concepto factor solar de acuerdo a la norma UNE EN 410:2011 “Vidrio para la edificación. Determinación de las características luminosas y solares de los acristalamientos”. Al ser la nomenclatura de la herramienta de simulación diferente a la norma UNE, se realiza una comprobación del criterio de medición de la radiación solar entre ambas terminologías. En los dos casos es la misma, basada en una incidencia perpendicular con acristalamiento en posición vertical.

Comentar por último, que la herramienta de simulación considera las solicitudes exteriores mediante archivos de datos climáticos horarios para un año típico en formato de extensión “epw (Energy Plus Weather)”. En cambio, la comparación entre las capitales de provincias elegidas en

la investigación se ha basado en la codificación por zonas climáticas que establece el CTE²². En ella, están claramente definidas las severidades climáticas de invierno y verano mediante una letra y número, respectivamente. Codificación que ofrece una primera aproximación sobre el grado de demanda de calefacción y refrigeración para cada una de las zonas que componen el territorio español.

6.2. Diseño del edificio modelo de oficinas (estado actual)

Se diseña un modelo de oficinas basado en un conjunto de edificios representativos del parque edificatorio de la ciudad de Sevilla con mayor número de características similares. El edificio se ha situado en tres entornos climáticos completamente diferentes dentro de un mismo clima Peninsular (Fig. 9).

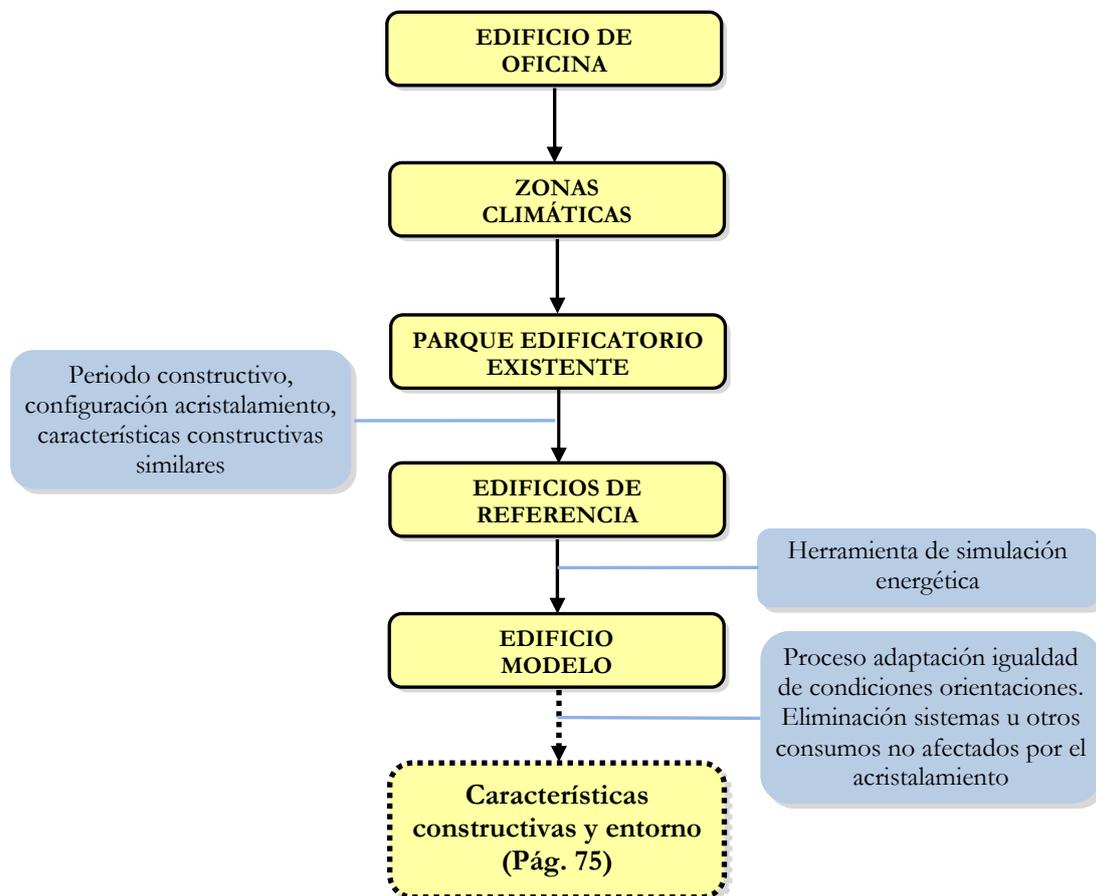


Figura 9. Edificio modelo. Diagrama inicial

²² CTE (2017). DB-HE 1 Limitación de la demanda energética. Ministerio de Fomento. Apéndice B Zonas climáticas. Tabla B1 Zonas climática de la Península Ibérica. Pág. 27.

6.2.1. Parque de oficinas existente y zonas climáticas

En la Península Ibérica, por su situación y orografía, confluyen una variedad de climas siendo el Mediterráneo uno de los más característicos y predominante del territorio español (Fig. 10). Dentro de ella se han considerado las tres primeras capitales de provincia que presenten mayor superficie construida de inmuebles de oficinas (en miles de m²) con severidades climáticas de invierno y verano diferentes. Con ello se ha querido realizar un estudio del comportamiento e influencia del acristalamiento en tres entornos totalmente distintos. Las ciudades consideradas, extraídas del Boletín Especial Censo 2011 Parque Edificatorio del Observatorio de Vivienda y Suelo, han sido Barcelona «C2», Sevilla «B4» y Málaga «A3» (Tabla 3), englobadas dentro de un clima Mediterráneo costero.



Figura 10. Climas en España

Fuente: IGN. Centro Nacional de Información Geográfica. El clima de España http://www.ign.es/espmap/clima_bach.htm. 03/11/16.

Tabla 3. Provincias con mayor superficie construida total de oficinas, clima peninsular y zona climática
 Fuente: Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo (2014). Observatorio de Vivienda y Suelo. Boletín Especial Censo 2011 Parque edificatorio.

Posición	Capital de provincia	Superficie inmuebles (miles de m ²)	Clima peninsular	Zona climática (CTE)
01	Madrid	32.656,9	Mediterráneo continentalizado	D3
02	Barcelona	17.945,3	Mediterráneo costero	C2
03	Valencia	5.721,9	Mediterráneo costero	B3
04	Sevilla	4.383,7	Mediterráneo costero	B4
05	Zaragoza	3.290,2	Mediterráneo árido y subárido	D3
06	Alicante	3.118,2	Mediterráneo costero	B4
07	Coruña	3.027,7	Oceánico costero	C1
08	Asturias	2.851,9	Oceánico costero	C y D1
09	Murcia	2.704,5	Mediterráneo árido y subárido	B3
10	Baleares	2.552,4	Mediterráneo costero	B3
11	Málaga	2.239,3	Mediterráneo costero	A3

En dicho Boletín, la superficie construida de inmuebles aparece clasificada por periodos (desde anterior a 1900 hasta posterior al 2012) dividido en intervalos de veinte años, los primeros, y en diez el resto a mayor superficie edificada (<1900, 1900-1920, 1921-1940, 1941-1950, 1951-1960, 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2001, 2002-2011, >2012).

6.2.2. Edificios representativos

Para la selección de los edificios de referencia se ha obtenido de la Subdirección General de Política de la Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo del Ministerio de Fomento el listado de referencias catastrales de inmuebles con clave uso oficina de las tres capitales de provincia seleccionadas. Los datos facilitados corresponden: al año de construcción local principal, la superficie construida total y el número de referencia catastral. Este último, utilizado en la obtención de la dirección de los edificios a través de la Sede Electrónica del Catastro²³ para la localización posterior en el planeamiento de la ciudad.

Para establecer el periodo de estudio así como el modelo objeto de la experimentación se ha realizado un estudio de campo en Sevilla capital, eliminándose previamente todos los edificios que no desarrollan exclusivamente actividades propias de oficinas. Estos son los que forman parte de: un bloque de viviendas, edificio industrial o comercial. De los restantes, se ha realizado una primera inspección visual *in situ*, centrándose en la geometría, número de plantas y envolvente exterior, con especial atención a los huecos de fachada.

²³ SEC. Servicios electrónicos de la Dirección General del Catastro. <https://www.sedecatastro.gob.es/>. 04/02/15.

Una vez visitados, se han descartado aquellos edificios con poca superficie de cerramiento de fachada, por estar situados entre medianeras (elevado porcentaje de superficie adiabática), tener elementos de sombra próximos donde la incidencia de la radiación solar es escasa impidiendo el aprovechamiento de la luz natural, así como edificios singulares o de poca superficie construida. Tampoco se han considerado aquellos edificios con patios interiores o de superficie acristalada con soluciones constructivas no convencionales (dinámicos o doble piel).

A cada uno de los edificios restantes se le ha asignado una codificación. Ésta, está compuesta por el intervalo de construcción, un guion bajo y un número correlativo de acuerdo al orden del año construcción local principal. Además, se ha incluido una vista general de la fachada más representativa, otra específica de la configuración y distribución de los huecos del muro de cerramiento, y una tercera correspondiente a la forma de la planta. Esta última extraída de la Sede Electrónica del Catastro.

En la selección final de los edificios representativos se han tenido en cuenta dos aspectos. Por un lado, un intervalo caracterizado por un mayor uso del acristalamiento de peor calidad aislante (monolítico sencillo) de acuerdo a la Guía Técnica de Ventanas para la Certificación de Edificios elaborado por ASEFAVE (2014), que esté a su vez en un periodo constructivo de mayor superficie construida de oficinas (entre 1971-1980) según el documento Observatorio de Vivienda y Suelo. Boletín Especial Censo 2011 Parque edificatorio²⁴. Por otro lado, y debido a la inexistencia de una clara homogeneidad constructiva en esta tipología edificatoria, los edificios que presenten mayor número de características y diseño similares con elevado porcentaje de huecos (Fig. 11 y Tablas 4 a 6). En el anexo 12.1 se encuentran el resto de edificios visitados.

Del estudio de campo se puede apreciar las características de los huecos como: morfología, rectangular o cuadrada, posición, vertical o apaisado, distribución y separación, corridos o modulares, donde el retranqueo es el elemento de sombreamiento predominante. Se puede contemplar también la diversidad o variedad constructiva de la envolvente en esta tipología edificatoria.

²⁴ Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo (2014).
<https://apps.fomento.gob.es/CVP/handlers/pdfhandler.ashx?idpub=BAW021>.



Figura 11. Planeamiento de la ciudad de Sevilla. Situación edificios de oficinas para el periodo 1971-1980
Gerencia de Urbanismo. Ayuntamiento de Sevilla. Planos de Ordenación Pormenorizada.
<http://gie.urbanismosevilla.org/wsurb01/opc/default.aspx>, 06/07/15.

Tabla 4. Edificios de oficinas en Sevilla. Periodo 1971-1980 1/3

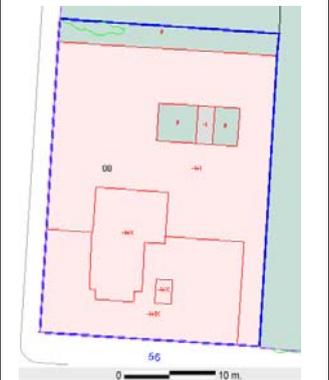
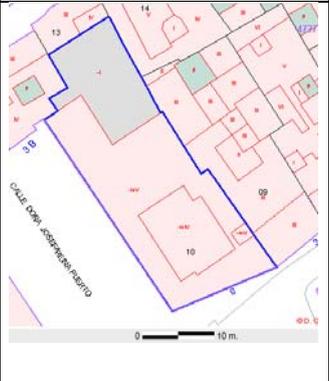
Periodo 1971-1980 1/3				
Cd	Localización	Fachada	Hueco	Planta
1971-1980_01	<p>Avda. San Francisco Javier, 24</p> <p>Año construcción: 1972</p>			
1971-1980_02	<p>C/ Graham Bell, 5</p> <p>Año construcción: 1972</p>			
1971-1980_03	<p>Avda. Cardenal Bueno Monreal, 56</p> <p>Año construcción: 1974</p>			
1971-1980_04	<p>Plza. La Magdalena, 9</p> <p>Año construcción: 1975</p>			

Tabla 5. Edificios de oficinas en Sevilla. Periodo 1971-1980 2/3 (continuación)

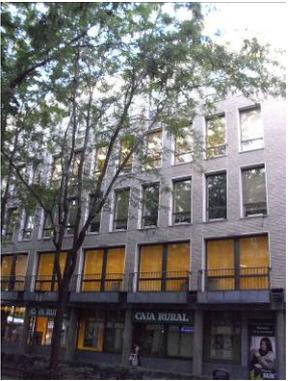
Periodo 1971-1980 2/3				
Cd	Localización	Fachada	Hueco	Planta
1971-1980_05	C/ Maestro Guridi, 2 Año construcción: 1977			
1971-1980_06	Avda. San Francisco Javier, 9 Año construcción: 1978			
1971-1980_07	C/ Doña Josefa Reina Puerto, 1 Año construcción: 1979			
1971-1980_08	PR. Marques de Nervión, 101 Año construcción: 1980			

Tabla 6. Edificios de oficinas en Sevilla. Periodo 1971-1980 3/3 (continuación)

Periodo 1971-1980 3/3				
Cd	Localización	Fachada	Hueco	Planta
1971-1980_09	Plza. la Encarnación, 24 Año construcción: 1980			
1971-1980_10	C/ Fernández y González, 4 Año construcción: 1980			

Para el diseño del modelo se ha escogido finalmente como edificios de referencia tres inmuebles de planta rectangular con elevada superficie construida, número de plantas y huecos modulados de iguales dimensiones, forma y porcentaje en todas las orientaciones. Éstos son los situados en las avenidas: San Francisco Javier nº 24, conocido como Sevilla 1 (1971-1980_01), Cardenal Bueno Monreal nº 56 (1971-1980_03), y San Francisco Javier nº 9, conocido como Sevilla 2 (1971-1980_06) (Fig. 12), orientados acorde al planeamiento de la ciudad (Fig. 13).

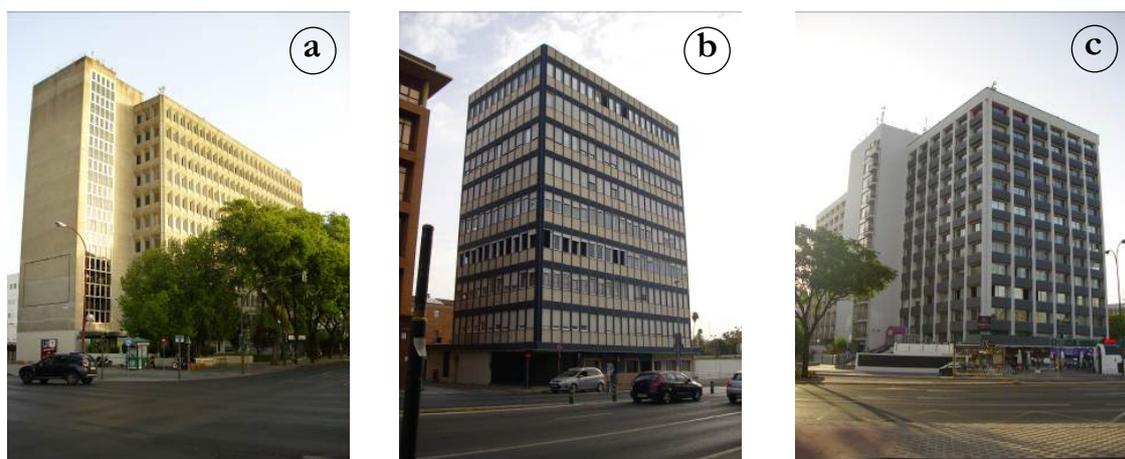


Figura 12. Edificios de referencia. Avda. a) San Francisco Javier 24, b) Cardenal Bueno Monreal 56, c) San Francisco Javier 9

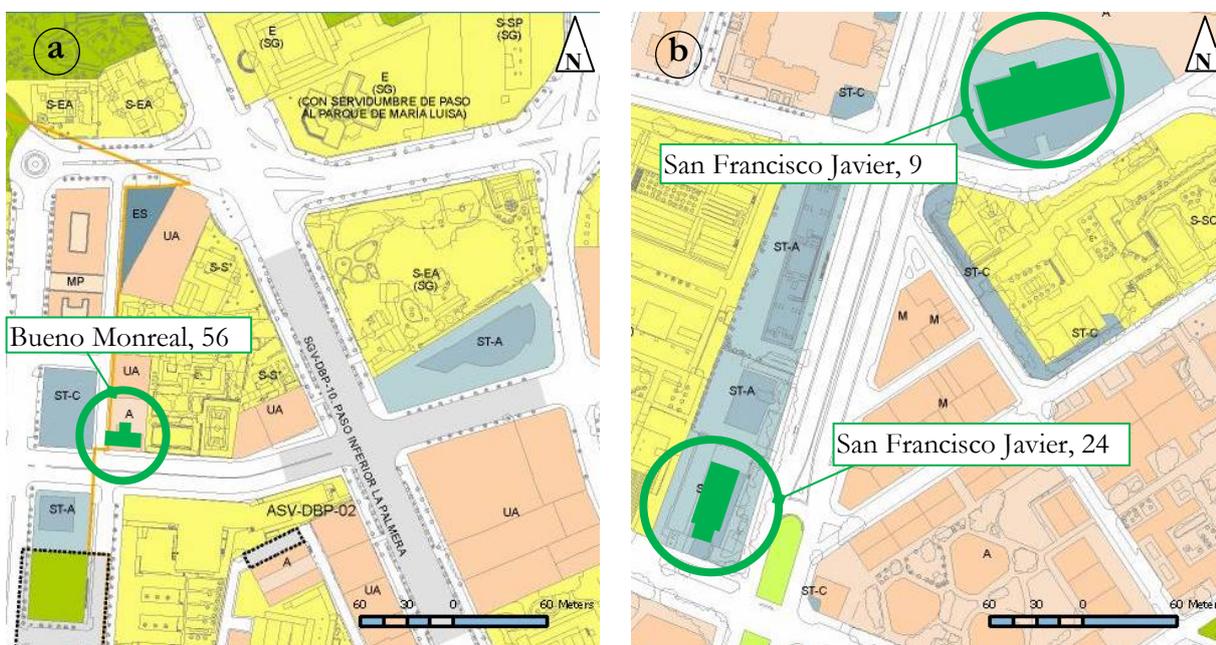


Figura 13. Edificios de referencia. Situación. Avda. a) Cardenal Bueno Monreal 56, b) San Francisco Javier 24 y 9
Fuente: Gerencia de Urbanismo. Ayuntamiento de Sevilla. Planos de Ordenación Pormenorizada.
<http://gie.urbanismosevilla.org/wsurb01/opc/default.aspx>. 06/07/15.

El edificio de oficinas Sevilla 1²⁵, previamente denominado como Edificio Metalgráfica Sevillana S.A., fue diseñado por los arquitectos Luís Fernando Gómez Estern y Manuel Trillo de Leyva del estudio OTAISA. De arquitectura racionalista, está compuesto por dos cuerpos, uno de servicios y otro de oficinas claramente diferenciados, con cerramiento exterior formado por paneles prefabricados de hormigón. Está catalogada como Bien de Interés Cultural.

²⁵ IAPH. Base de datos de Arquitectura Contemporánea de Andalucía. Edificio de oficinas Sevilla 1.
<http://www.iaph.es/arquitectura-contemporanea-andalucia/resumen.do?id=252467>. 22/04/17.

En la avenida Cardenal Bueno Monreal²⁶ se encuentra el edificio de oficinas Arquinde, conocido previamente como Torre Palmera. Fue diseñado por los arquitectos Ramón Monserrat Balleste y Alberto Donaire Rodríguez del estudio ARQUINDE AIA. Está compuesto por un solo cuerpo en el que se entremezclan la zona de servicios y la de oficinas. El cerramiento exterior es un muro cortina.

El edificio de oficinas Sevilla 2, de mayor número de plantas y superficie, presenta una similitud con el Sevilla 1. Está compuesto igualmente por dos cuerpos: de servicio y de oficinas, aunque en este caso el núcleo de escaleras y ascensor dan a una de las fachadas de mayor longitud cortando la modulación de los huecos. La envolvente opaca está compuesta de piedra prefabricada de hormigón con relleno interior de bloque ytong.

6.2.3. Obtención de datos y consideraciones de partida

Una vez establecido el grupo de edificios de referencia se definen a continuación: las características constructivas y del entorno, las ocupacionales, operacionales, funcionales, y equipos, así como las técnicas del acristalamiento. Para ello, se identifican primero los diferentes elementos que tienen que ser introducidos en las diferentes interfaces gráficas de la herramienta de simulación energética, reflejadas de forma esquematizada en los correspondientes apartados. La búsqueda de la información se ha dividido en tres fases. Las dos primeras relacionadas con las características energéticas del edificio (pasivas y activas), y la tercera, con las técnicas propias del acristalamiento.

La primera fase corresponde a un nuevo estudio de campo, más exhaustivo, de los tres edificios. En ella se han establecido la orientación, geometría, distribución interior, número y altura de plantas, elementos de sombreado, así como todos aquellos que definen los huecos y ventanas (porcentaje, geometría, posición, escuadría, altura dintel y antepecho, elementos de sombra propios y de cierre, marco y acristalamiento). En fichas técnicas se han reflejado las características de los edificios Sevilla 1 (Tabla 7), Cardenal Bueno Monreal 56 (Tabla 8) y Sevilla 2 (Tabla 9).

En una segunda fase se han definido las soluciones constructivas de: la envolvente térmica, divisiones horizontales y verticales interiores (materiales, número y espesor de capas), de acuerdo a la normativa en vigor. La iluminación artificial, aprovechamiento de la luz natural, horarios, infiltraciones, ganancias internas de ocupación y equipos de oficinas, así como los aparatos de producción de calor y frío, han sido mediante situaciones estándar extraídas también de normativas o guías técnicas, manuales e información de casas comerciales. Por último, en una tercera fase se ha descrito las características técnicas del acristalamiento en cuanto a protección frente al ruido y seguridad de uso. Debido a la falta de homogeneidad en las dimensiones de los elementos y orientación de los edificios se ha realizado una unificación de criterios tomando una situación intermedia o más repetitiva (Tabla 10).

²⁶ IAPH. Base de datos de Arquitectura Contemporánea de Andalucía. Edificio de oficinas Arquinde. <http://www.iaph.es/arquitectura-contemporanea-andalucia/resumen.do?id=252826>. 22/04/17.

Es bien sabido que la incidencia e intensidad de la radiación solar durante el día difiere según la orientación de las fachadas. Esto provoca un comportamiento desigual en cuanto al uso de elementos de sombreado interiores (persianas, venecianas, estores, etc.) con el fin de disminuir la ganancia solar durante el periodo estival, y/o evitar el deslumbramiento sobre los usuarios. La consideración de ambas circunstancias implicaría contemplar factores correctores solares diferentes en los huecos por orientación, hecho que impediría conocer el comportamiento teórico del acristalamiento entre fachadas y zonas climáticas al no considerarse una misma igualdad de condiciones en todos los muros de cerramiento.

Para conseguir una misma base de comparación se ha planteado por simplificación una situación inicial de partida de máxima incidencia de la radiación solar. Esto ha supuesto, en la fase de definición del modelo, un primer proceso de adaptación de la planta del edificio en el que se prescinde de algunos elementos constructivos y recintos interiores. Se descartan también, elementos de sombreado interior o por circunstancias del entorno, así como sistemas que no son afectadas por la incidencia de la radiación solar a través del acristalamiento, u otros consumos, especificados en los correspondientes apartados.

Tabla 7. Ficha técnica Avda. San Francisco Javier, 24 (Sevilla 1): a) Edificio. b) Fachada. c) Planta. d) Exterior hueco. e) Interior hueco. f) Carpintería y acristalamiento

Ficha técnica: **1971/1980_01 - Avda. San Francisco Javier, 24 (Sevilla 1)**



1) DATOS GENERALES

Año construcción principal: **1972**

Geometría planta: **Rectangular**

Nº plantas sobre rasante: **Baja + 09 + Alta = 11**

Altura planta: **3,30 m**

Caja escalera y/o ascensor: **Al exterior línea de fachada sur**

Tipo planta: **Celda**

Dimensiones: **49,70 x 21,85 m**

Superficie planta: **1.085,95 m²**

Orientación: **Este-oeste**

2) HUECO DE FACHADA Y VENTANA



Hueco

Geometría: **Rectangular**

Altura dintel: **2,46 m**

Elem. sombra propio: **Retranqueo**

Dimensiones: **1,18 x 1,56 m**

Altura antepecho: **0,90 m**

Distancia: **0,46 m**

Posición: **Vertical**

% huecos: **34,13**

Ventana

Tipo carpintería: **Pivotante**

Tipo vidrio: **Doble (6+C+6)**

Tipo marco: **Aluminio anodizado**

Original: **Si**

% vidrio: **1,38 m² (75,00%)**

% marco: **0,46 m² (25,00%)**

Área total: **1,84 m²**

Color: **Gris**

Tabla 8. Ficha técnica Avda. Cardenal Bueno Monreal, 56: a) Edificio. b) Fachada. c) Planta. d) Exterior hueco. e) Interior hueco. f) Carpintería y acristalamiento

Ficha técnica: **1971/1980_03 - Avda. Cardenal Bueno Monreal, 56**



1) DATOS GENERALES

Año construcción principal: 1974	Tipo planta: Celda
Geometría edificio: Rectangular	Dimensiones: 21,6 x 11,15 m
Nº plantas sobre rasante: Baja + 07 + Alta = 09	Superficie planta: 248,40 m²
Altura planta: 3,06 m	Orientación: Norte-sur
Caja escalera y/o ascensor: Al exterior línea de fachada norte	

2) HUECO DE FACHADA Y VENTANA



Hueco

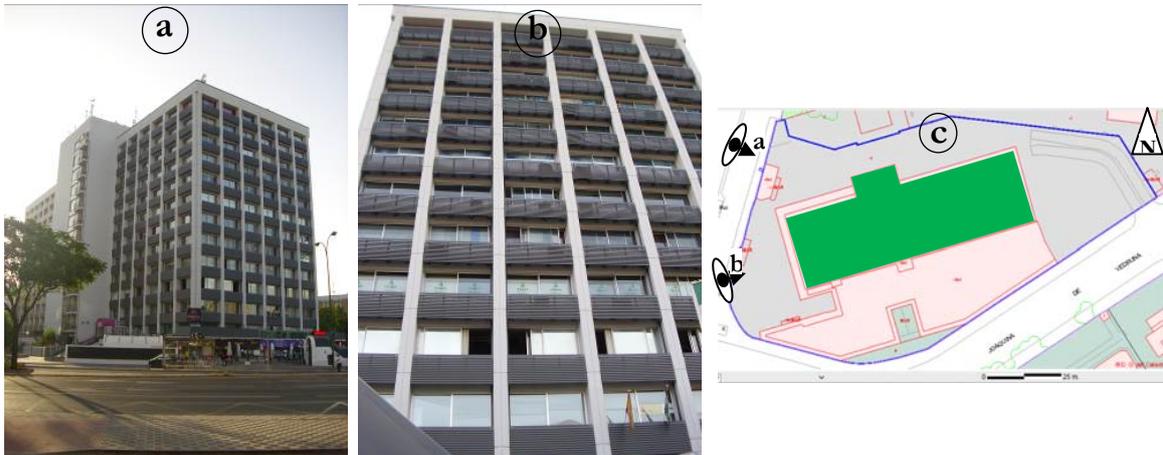
Geometría: Rectangular	Dimensiones: 0,95 x 1,60 m	Posición: Vertical
Altura dintel: 2,56 m	Altura antepecho: 0,96 m	% huecos: 51,83
Elem. sombra propio: Retranqueo	Distancia: 0,16 m	

Ventana

Tipo carpintería: Practicable	Original: No	Área total: 1,52 m²
Tipo vidrio: Doble (4+C+4)	Área vidrio: 0,88 m² (58,18%)	
Tipo marco: Metálico lacado blanco	Área marco: 0,64 m² (41,82%)	Color: Blanco

Tabla 9. Ficha técnica Avda. San Francisco Javier, 9 (Sevilla 2): a) Edificio. b) Fachada. c) Planta. d) Interior hueco. e) Sección hueco. f) Carpintería y acristalamiento

Ficha técnica: 1971/1980_06 - Avda. San Francisco Javier, 9 (Sevilla 2)



1) DATOS GENERALES

Año construcción principal: **1978**

Geometría edificio: **Rectangular**

Nº plantas sobre rasante: **Baja + 10 + alta = 12**

Altura planta: **2,97 m**

Caja escalera y/o ascensor: **Al exterior línea de fachada norte**

Tipo planta: **Celda**

Dimensiones: **81,4 x 25,30 m**

Superficie planta: **2.059,52 m²**

Orientación: **Norte-sur**

2) HUECO DE FACHADA Y VENTANA



Hueco

Geometría: **Rectangular**

Altura dintel: **2,40 m**

Elem. sombra propio: **Retranqueo**

Dimensiones: **3,65 x 1,60 m**

Altura antepecho: **0,80 m**

Distancia: **0,68/0,92 m**

Posición: **Horizontal**

% huecos: **52,80**

Ventana

Tipo carpintería: **Deslizante (doble)**

Tipo vidrio: **Monolítico (10 mm)**

Tipo marco: **Aluminio anodizado**

Original: **Si**

% vidrio: **5,02 m² (86,00%)**

% marco: **0,82 m² (14,00%)**

Área total: **5,84 m²**

Color: **Gris**

Tabla 10. Características de la planta, hueco y ventana edificios de referencia y modelo

Características constructivas		Capitales de provincia			
		Sevilla			Barcelona, Sevilla y Málaga
Edificio	Localización	San Francisco Javier, 24	Cardenal Bueno Monreal, 56	San Francisco Javier, 9	Modelo
	Año	1972	1974	1978	1971 - 1980
Planta	Geometría	Rectangular	Rectangular	Rectangular	Rectangular
	Dimensiones exteriores	49,70 x21,85 m	21,60 x11,50 m	81,40 x25,30 m	50,58 x20,58 m
	Orientación fachadas mayor longitud	Este - oeste	Norte - sur	Norte - sur	Norte-sur
	Altura de suelo a suelo	3,30 m	3,06 m	2,97 m	3,10 m
	Número de plantas	Baja + 09 + Alta = 11	Baja + 07 + Alta = 09	Baja + 10 + Alta = 12	Baja+09+ Alta=11
Hueco	Geometría y colocación	Rectangular-Vertical	Rectangular-Vertical	Rectangular-Apaisado	Rectangular-Apaisado
	Escuadría	1,18 x 1,56 m	0,95 x 1,60 m	3,65 x 1,60 m	2,00 x 1,60 m
	Altura dintel	2,46 m	2,56 m	2,40 m	2,45 m
	Altura antepecho	0,90 m	0,96 m	0,80 m	0,85 m
	Elemento sombreado	Retranqueo	Retranqueo	Retranqueo	Retranqueo
	Porcentaje por fachada	34,13 %	51,83 %	52,80 %	46,71 %
Ventana	Carpintería	Original	Reformado	Original	Reformado
	Elemento de cierre	Pivotante eje vertical	Practicable al interior	Deslizante horizontal	Fijo
	Perfil hoja/marco y color	Aluminio anodizado gris	Aluminio lacado en blanco	Aluminio anodizado gris	PVC blanco
	Configuración acristalamiento	Doble 6 + C + 6 mm	Doble 4 + C + 4 mm	Doble ventana Monolítico sencillo 10 mm	Monolítico sencillo 6 mm
	Fracción de hoja/marco	25,00 %	41,82 %	14,00 %	15,13 %
	Fracción de vidrio	75,00 %	58,18 %	84,00 %	84,86 %

6.2.4. Definición del modelo. Características constructivas y del entorno

Se expone de forma esquematizada las características constructivas (elementos pasivos) que han sido consideradas en la definición del edificio modelo y entorno (Fig. 14).

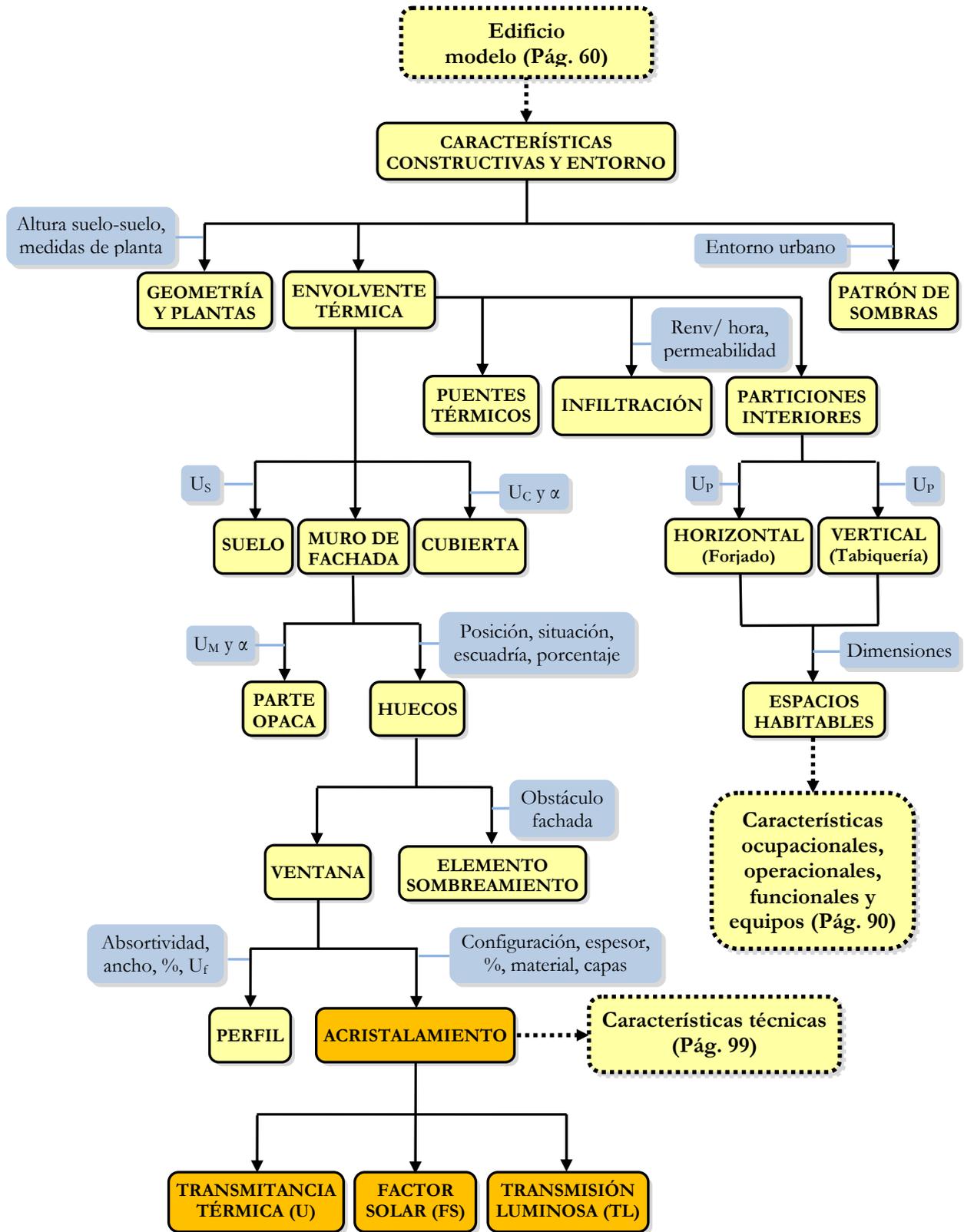


Figura 14. Edificio modelo. Diagrama de características constructivas y entorno

6.2.4.1. Geometría y número de plantas

Los tres edificios de referencia tienen forma rectangular (49,70 x 21,85; 21,60 x 11,25 y 81,40 x 25,30 m) y alturas de plantas (11, 9 y 12), referenciados según orden de la codificación en fichas técnicas, con caja de escalera y/o ascensor sobresaliente de uno de los paramentos de fachada.

Se ha considerado un edificio de 11 plantas de medidas interiores 50,00 x 20,00 m con una distancia de suelo a suelo de 3,10 m. El falso techo es de placas con juntas aparentes suspendidas mediante entramados metálicos con fijaciones al forjado, y rasante $\pm 0,00$ a cota de solería de planta baja (Tabla 11). En él se han obviado las zonas no afectadas por la radiación solar, como sótanos o garajes, y espacios de uso diferente al de oficinas (locales comerciales), a excepción del distribuidor central.

Tabla 11. Cotas solerías de plantas

Código	Planta	Cota
P10	Alta	+ 31,00
P09	Novena	+ 27,90
P08	Octava	+ 24,80
P07	Séptima	+ 21,70
P06	Sexta	+ 18,60
P05	Quinta	+ 15,50
P04	Cuarta	+ 12,40
P03	Tercera	+ 09,30
P02	Segunda	+ 06,20
P01	Primera	+ 03,10
P00	Baja	$\pm 0,00$

6.2.4.2. Envoltente térmica y particiones interiores

Para la definición de las características constructivas del suelo, cubierta y parte opaca de la fachada así como los elementos interiores de separación vertical y horizontal para el periodo 1971-1980, se han analizado primeramente las herramientas simplificadas de Certificación Energética de Edificios Existentes²⁷ que consideran la opción de edificios del Sector Terciario. Éstas son las denominadas CE³ y CE³X²⁸.

En la herramienta CE³ la época de estudio encaja dentro del intervalo 1961-1980²⁹, periodo en vigor de las normas técnicas MV del Ministerio de Vivienda y anterior a la aplicación de la Norma Básica de la Edificación sobre Condiciones Térmicas en los edificios (NBE-CT 79). En

²⁷ Herramientas reconocidas por el Ministerio Industria, Energía y Turismo.

²⁸ Herramienta CE³ (V 20160303-2387) y CE³X (V_2.3).

²⁹ IDAE (2012). Manual de Usuario. Calificación Energética de Edificios Existentes CE3. Apartado 3.3 Introducción de datos generales sobre el proyecto. Pág. 24.

ella se establece unos valores de transmitancia térmica basado en el criterio “tipología/antigüedad por defecto” (Tabla 12).

Tabla 12. Valores estimados de los elementos de la envolvente en el intervalo 1961-1980. Herramienta CE3
Fuente: CE3 (V - 20160906).

Elemento envolvente	Valor U (W/m ² K)
Cubierta	1,40
Fachada	1,80
Cerramiento en contacto con el terreno	1,40

En la herramienta CE³X, el intervalo de estudio se sitúa dentro del periodo “anterior al año 1981” permitiendo elegir entre la opción valores estimados o por defecto (Tabla 13).

Tabla 13. Valores estimados elementos de la envolvente. Intervalo anterior a 1980.
Fuente: Herramienta CE³X (V - 2.3)

Elemento envolvente	Estimados		Por defecto	
	Características	Valor U (W/m ² K)	Características	Valor U (W/m ² K)
Cubierta en contacto con el aire	Cubierta plana con forjado reticular	2,63	Cubierta plana	2,17
Muro de fachada	Doble hoja con cámara no ventilada	1,69	-	2,38
Suelo en contacto con el terreno	Superficie 1000 m ² perímetro 140 m Profundidad < 0,5 m	0,38	Profundidad < 0,5 m	1,0

Con independencia de las herramientas simplificadas de Certificación Energética, existe una normativa aún en vigor y con rango de buenas prácticas publicadas en su gran mayoría dentro del intervalo 1971-1980. En ella se establecen soluciones técnicas constructivas recomendables para casos prácticos normales en la edificación, fijando las condiciones funcionales y de calidad que deben cumplir los materiales y equipos. Estas son las conocidas Normas Tecnológicas de la Edificación³⁰ (NTE), tomadas como referencia en la composición de las distintas capas que conforman la envolvente térmica, particiones verticales y horizontales interiores (Tabla 14).

³⁰ Ministerio de la Vivienda (1972). Decreto 3565/72 por el que se establecen las normas tecnológicas de la edificación NTE. Boletín Oficial del Estado, nº 13. España. No tienen carácter obligatorio. No aparecen derogadas en las disposición derogatoria única, derogación normativa, en el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Se pueden seguir consultándose manteniendo las exigencias del CTE.

Tabla 14. Características de la envolvente y particiones interiores según NTE

Envolvente térmica	Particiones horizontales y verticales interiores
NTE-RST 1973. Terrazos. NTE-QAT 1973. Cubiertas. Azoteas transitables. NTE-FFL 1978. Fachadas. Fábrica de ladrillo. NTE-RPE 1974. Revestimientos de paramentos. Enfoscados. NTE-CSL 1984. Cimentaciones superficiales. Losas.	NTE-RSB 1975. Revestimiento de suelos. Baldosas NTE-EHR 1973. Estructura de hormigón armado. Forjados reticulares. NTE-PTL 1973. Particiones. Tabiques de ladrillo. NTE-RPG 1974 Revestimientos de paramentos. Guarnecidos y enlucidos.

Para establecer los valores de transmitancia térmica de los diferentes elementos de la envolvente, y particiones interiores, se han considerado las propiedades físicas de los materiales (conductividad, densidad, calor específico y resistencia) que vienen especificadas en la biblioteca de la Herramienta Unificada de Verificación del Documento Básico HE del CTE y Certificación Energética de Edificios³¹, (HULC). Se especifica el desglose por capas, espesor total y valor global de la transmitancia térmica (U) de:

- Cubierta, U_C (Tabla 15).
- Muro de fachada, U_M (Tabla 16).
- Suelo en contacto con el terreno, U_S (Tabla 17).
- Elemento de separación horizontal interior, U_P (Tabla 18).
- Elemento de separación vertical interior, U_P (Tabla 19).

El falso techo se ha considerado permeable a efecto de cálculo térmico (NTE-RTP 1973) al ser considerado como elemento registrable. Es decir, no se ha tenido en cuenta en la obtención del valor “U” por no ofrecer el aire ocluido en dicho espacio una resistencia al flujo de calor.

³¹ HULC (Versión 1.0.193.1049, de fecha 10-mar-2016).

Tabla 15. Cubierta. Capas, propiedades de los materiales, valor U_C y espesor total
Fuente: Biblioteca herramienta HULC

Elemento envolvente	Material de la capa	e (m)	λ (W/mK)	ρ (Kg/m ³)	C_p (J/kgK)	R_n (m ² K/W)	U_C (W/m ² K)	e total (m)
Cubierta (C)	Plaqueta o baldosa cerámica	0,010	1,000	2.000	800	-	0,91	0,466
	Mortero de cemento o cal 1450<d<1600	0,010	0,800	1.525	1.000	-		
	Mortero de cemento o cal 1600<d<1800	0,020	1,000	1.525	1.000	-		
	Betún fieltro o lámina	0,003	0,230	1100	1.000	-		
	Mortero de cemento o cal 1600<d<1800	0,020	1,000	1.525	1.000	-		
	Hormigón celular d = 600	0,100	0,180	600	1.000	-		
	Betún puro	0,003	0,170	1050	1.000	-		
	FR entrevigado EPS enrasado canto 30 mm	0,300	1,056	1.450	1.000	-		

Tabla 16. Muro de fachada. Capas, propiedades de los materiales, valor U_M y espesor total
Fuente: Biblioteca herramienta HULC

Elemento envolvente	Material de la capa	e (m)	λ (W/mK)	ρ (Kg/m ³)	C_p (J/kgK)	R_n (m ² K/W)	U_M (W/m ² K)	e total (m)
Muro de fachada (M)	Mortero de cemento o cal 1800<d<2000	0,020	1,300	1.900	1.000	-	1,28	0,29
	½ pie LP métrico 40<G<60 mm	0,115	0,667	1.140	1.000	-		
	Cámara aire sin ventilar vertical 5 cm	0,05	-	-	-	0,18		
	Tabicón LH doble 60<E<90 mm	0,090	0,432	930	1.000	-		
	Yeso alta dureza 900<d<1200	0,015	0,430	1.050	1.000	-		

Nota: La herramienta de simulación DesignBuilder toma un valor de reflectancia para el muro de fachada de 0,40.

Tabla 17. Suelo. Capas, propiedades de los materiales, valor U_S y espesor total
Fuente: Biblioteca herramienta HULC

Elemento envolvente	Material de la capa	e (m)	λ (W/mK)	ρ (Kg/m ³)	C_p (J/kgK)	R_n (m ² K/W)	U_S (W/m ² K)	e total (m)
Suelo (S)	Plaqueta o baldosa cerámica	0,020	1,000	2.000	800	-	2,36	0,51
	Mortero de cemento o cal 1450<d<1600	0,020	0,800	1.525	1.000	-		
	Arena y grava 1700<d<2200	0,020	2,000	1.450	1.050	-		
	Hormigón armado d>2500	0,400	2,500	2.600	1.000	-		
	Hormigón convencional d = 2000	0,050	1,320	2.000	1.000	-		

Tabla 18. Partición horizontal - Forjados. Capas, propiedades de los materiales, valor U_p y espesor total
Fuente: Biblioteca herramienta HULC

Partición interior	Material de la capa	e (m)	λ (W/mK)	ρ (Kg/m ³)	C_p (J/kgK)	R_n (m ² K/W)	U_p (W/m ² K)	e total (m)
Horizontal (forjado)	Plaqueta o baldosa cerámica	0,020	1,000	2.000	800	-	1,96	0,36
	Mortero de cemento o cal 1450<d<1600	0,020	0,800	1.525	1.000	-		
	Arena y grava 1700<d<2200	0,020	2,000	1.450	1.050	-		
	FR entrevigado EPS enrasado canto 30 mm	0,300	1,056	1.450	1.000	-		

Tabla 19. Partición vertical - Tabicones. Capas, propiedades de los materiales, valor U_p y espesor total
Fuente: Biblioteca herramienta HULC

Partición interior	Material de la capa	e (m)	λ (W/mK)	ρ (Kg/m ³)	C_p (J/kgK)	R_n (m ² K/W)	U_p (W/m ² K)	e total (m)
Vertical (tabicón)	Yeso alta dureza 900<d<1200	0,015	0,430	1.050	1.000	-	2,23	0,12
	Tabicón LH doble 60<E<90 mm	0,090	0,432	930	1.000	-		
	Yeso alta dureza 900<d<1200	0,015	0,430	1.050	1.000	-		

Una vez conocido el espesor de la partición horizontal, la altura de suelo a techo de los recintos se ha establecido en 2,74 m (3,10 m - 0,36 m). La altura total del edificio es de 34,206 m sobre rasante, sumatorio de las cotas parciales a salvar de plantas más el espesor del forjado de cubierta.

6.2.4.3. Hueco de fachada y ventana

Los tres edificios presentan huecos modulares no corridos de iguales características geométricas y dimensionales equidistantes entre sí. Difieren en su colocación (vertical o apaisada),

dimensiones, altura de antepecho y dintel, así como porcentaje respecto a la parte opaca. Los edificios Sevilla 1 y 2 mantienen las ventanas originales compuestas por un doble acristalamiento de 6 mm (1,18 x 1,56 m) y doble ventana con monolítico sencillo de 10 mm de espesor (3,65 x 1,60 m), respectivamente. En el edificio situado en la Avda. Cardenal Bueno Monreal las ventanas habían sido sustituidas por un doble acristalamiento de 4 mm (0,95 x 1,60 m).

En la definición del hueco se ha establecido una situación estándar de escuadría 2,00 x 1,60 m, colocada en posición apaisada, separadas 0,50 m entre ellas y situada a 0,85 m de la cota de solería (Fig. 15). Para la representación en sección y alzados se ha utilizado la herramienta de diseño asistido por ordenador AutoCAD³².

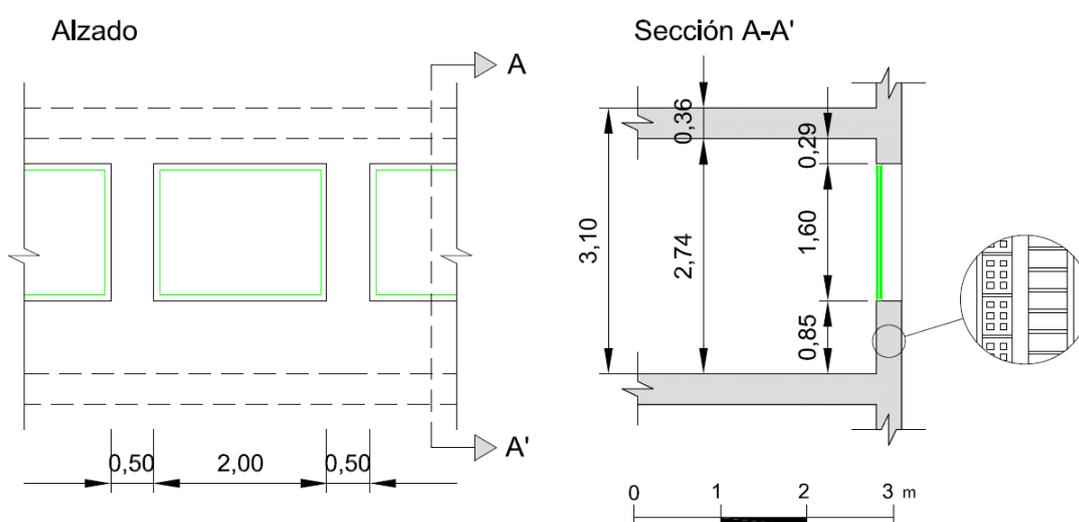


Figura 15. Huecos muro de fachada. Alzado y sección

Las fachadas de 50 m de mayor longitud presentan 20 huecos, mientras que las de 20 m un total de 8. El porcentaje de huecos en todas las orientaciones es del 46,71%, único considerado (Tabla 20).

Tabla 20. Áreas y porcentaje de huecos

Fachada	Área muro de fachada (m ²)	Área huecos (m ²)	Huecos (%)
50 m	50,00 x 2,74 = 137,00	20 x (2,00 x 1,60) = 64,00	46,715
20 m	20,00 x 2,74 = 54,80	8 x (2,00 x 1,60) = 25,60	

En una rehabilitación energética de huecos de fachada no tiene sentido cambiar únicamente la superficie vidriada sino la ventana. Por una parte, por las pésimas prestaciones térmicas del perfil de hoja y/o marco, y por otra por la imposibilidad técnica de incluir un vidrio de mayor calidad y grosor en el poco espesor del perfil existente, haciendo necesario considerar las características

³² Versión: D.309.0.0, AutoCAD 2010 – Español Autodesk, Inc.

técnicas del perfil en su situación reformada. Es decir, prever el tipo de material, medidas y características técnicas del perfil de la ventana previo a la realización de las simulaciones.

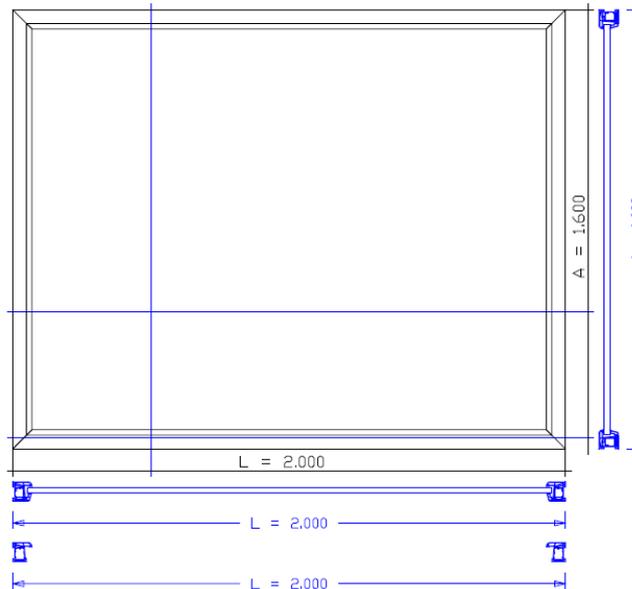


Figura 16. Detalle ventana de PVC. Alzado y acotado
Fuente: **Profine Iberia S.A.U (KÖMMERLING)**.
Fabricante de sistemas de perfiles de PVC. Perfil Eurofutur elegance

Se ha elegido un sistema de hoja fija al no considerarse la ventana una estrategia global de ventilación natural en el sector terciario de oficinas³³. Además, el Reglamento de Instalaciones Térmica³⁴ (RITE) establece que todo aire exterior tiene que introducirse en el edificio debidamente filtrado permitiendo que la ventana tenga una mayor superficie acristalada. Se elige un perfil de PVC de color blanco por sus muy buenas prestaciones aislantes, durabilidad y bajo mantenimiento (Fig. 16).

De la ficha técnica de la casa comercial Sistemas KÖMMERLING³⁵ se ha extraído el valor de transmitancia térmica (U_f), absortividad, (α ³⁶), y anchura del perfil de marco (Tabla 21). De ella se ha establecido la superficie ocupada con respecto al hueco y acristalamiento. Admite espesores de vidrios desde 6 a 39 mm manteniéndose prácticamente constante el valor de la transmitancia térmica.

³³ IDAE (2005). Guía Técnica de Aprovechamiento de la luz Natural en la Iluminación de Edificios. Apartado 4.3.1. La ventana. Elemento principal en la edificación para el aprovechamiento de la luz natural. Pág. 47.

³⁴ CTE (2013). DB-HE 2 Rendimiento de las Instalaciones Térmicas (versión consolidada). Apartado IT 1.1.4.2.4. Filtración del aire exterior mínimo de ventilación. Pág. 48.

³⁵ Profine Iberia S.A.U (KÖMMERLING). Fabricante de sistemas de perfiles de PVC. Perfil Eurofutur elegance.

³⁶ CTE (2015). DA DB-HE 1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente. Ministerio de Fomento. Tabla 11 Absortividad del marco para radiación solar α . Blanco medio Pág. 12.

Tabla 21. Características del perfil de marco de PVC

U_f (W/m ² K)	α (adimensional)	Anchura (m)	Área acristalamiento (m ²)	Área marco (m ²)	FM (%)	Fracción acristalamiento (%)
1,4	0,30	0,07	2,7156	0,4844	15,13	84,86

En la ventana se ha considerado el acristalamiento y configuración más utilizado para el periodo de estudio (1971-1980), compuesto por un monolítico sencillo. Los valores de los parámetros característicos han sido obtenidos de la biblioteca de la herramienta HULC para un grosor de 6 mm referenciado en dicho programa con el código VER_M_6 (Tabla 22).

Tabla 22. Vidrio monolítico sencillo 6 mm. Valores de los parámetros U, FS y TL

Fuente: Biblioteca herramienta HULC (Versión 1.0.193.1049, de fecha 10-mar-2016)

Acristalamiento	U_g (W/m ² K)	FS (-)	TL (%)
Monolítico sencillo	5,7	0,85	91

6.2.4.4. Distribución interior

Los tres edificios de referencia tienen una distribución interior tipo celda³⁷ diferenciándose en la colocación y forma del distribuidor. Se ha considerado la distribución de los edificios Sevilla 1 y 2, consistentes en un pasillo central con el que se accede a los recintos de oficinas localizados en los laterales y esquinas (Fig. 17). En la planta se descartan los espacios que no son exclusivamente de tareas administrativas como aseo, almacén, sala técnica, etc., así como la caja de escalera y ascensor.



Figura 17. Edificios de referencia. Pasillo central a) Sevilla-1 (2,18 m) b) Sevilla-2 (2,40 m).

³⁷ IDAE (2001). Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Oficinas. Distingue cinco modelos de concepto de oficinas según la función que se realice: Colmena, celular, reunión, club y lobby.

En el diseño de la distribución interior de la planta se ha comenzado situando el pasillo central de 2,88 m de ancho libre para posteriormente establecer las dimensiones de los recintos de oficinas. De éstos se diferencian dos tipos. Los que dan a una orientación, denominados “módulo lateral” (4,88 x 8,44 m), y los que dan a dos orientaciones, llamados “módulo de esquina” (4,94 x 9,94 m), medidas interiores. Para su identificación se le han asignado un código formado por tres letras: MPA, MLA y MES correspondiente a las iniciales: módulo pasillo, lateral y esquina, respectivamente, y dos números arábigos (Tabla 23). Un total de 21 recintos habitables acondicionados excepto el distribuidor que es no acondicionado (Fig. 18).

Tabla 23. Planta modelo tipo. Características de los recintos

Código	Módulo	Cantidad	Medidas interiores (m)	Superficie (m ²)	Fachadas al exterior (ud)	Huecos (ud)
MLA02 a 09 y 12 a 19	Lateral	16	4,88 x 8,44	41,19	1	2
MES01, 10, 11 y 20	Esquina	4	4,94 x 9,94	49,10	2	2 + 4
MPA21	Pasillo	1	39,88 x 2,88	114,85	-	-

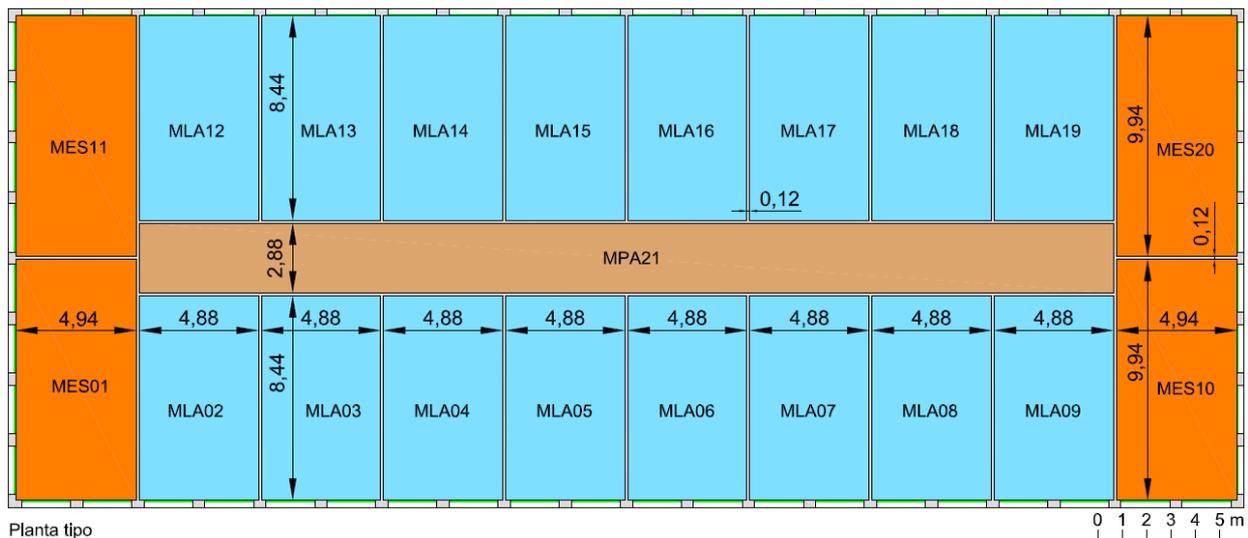


Figura 18. Planta modelo tipo. Distribución de los recintos

La Guía Técnica Aprovechamiento de la Luz Natural en la Iluminación de Edificios establece una relación entre superficie de ventanas y la total interior de los recintos³⁸ (paramentos verticales, techo y suelo). Los módulos laterales presentan un nivel de acristalamiento medio mientras que los de esquinas es elevado (Tabla 24).

³⁸ IDAE (2005). Guía Técnica de Aprovechamiento de la luz Natural en la Iluminación de Edificios. Apartado 4.3.1. La ventana. Elemento principal en la edificación para el aprovechamiento de la luz natural. Pág. 48. Muy bajo acristalamiento (1%), acristalamiento bajo (1-4%), acristalamiento medio (4-10%), elevado acristalamiento (10-25%) y muy alto acristalamiento (>25%).

Tabla 24. Nivel superficie acristalada recintos de oficina

Fuente: **Guía Técnica Aprovechamiento de la Luz Natural en la Iluminación de Edificios (2005)**

Espacios	Superficies (m ²)			Relación ventana/superficie interior (%)	Clasificación
	Paredes	Suelo y techo	Huecos		
MLA02 a 09 y 12 a 19	72,99	82,37	6,40	4,11	Acrislamiento medio 4-10%
MES01, 10, 11 y 20	81,54	98,21	19,20	10,68	Elevado acrislamiento 10-25%

6.2.4.5. Infiltraciones

La herramienta de simulación energética permite definir la hermeticidad al aire (ventilación no controlada) mediante cuatro unidades de medidas diferentes, eligiéndose renov/h a 50 Pa (n^{50}).

El CTE³⁹ establece un valor máximo de permeabilidad de la carpintería según la zona climática donde se encuentra el edificio. Se considera el valor más restrictivo de las tres ciudades, en este caso Barcelona de $\leq 27 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ a 100 Pa, equivalente a una ventana de clase 2⁴⁰. Al ser la unidad de medida de la norma UNE diferente a la del programa de simulación se utiliza una tabla de conversión⁴¹ para establecer su valor equivalente (Tabla 25).

Tabla 25. Estimación renovaciones hora de ventilación e infiltración

Fuente: **Grupo Termotecnia**. ETSI. Universidad de Sevilla.

n^{50}	Volumen/Ainf. = 5 m ³ /m ²			Volumen/Ainf. = 2,5 m ³ /m ²			Volumen/Ainf. = 1,25 m ³ /m ²		
	Avent./Ainf.			Avent./Ainf.			Avent./Ainf.		
Perm_ventana 100 Pa (m ³ /hm ²)	0,05	0,15	0,25	0,05	0,15	0,25	0,05	0,15	0,25
9	2,1	2,0	1,9	4,2	4,0	3,8	8,5	8,1	7,6
27	2,2	2,4	2,5	4,5	4,7	5,0	8,9	9,4	9,9
50	2,4	2,8	3,2	4,8	5,6	6,4	9,5	11,2	12,8

Mediante los valores de: relación del volumen edificio y el área envolvente (Volumen/Ainf.), el área ventana y de la envolvente (Avent./Ainf.) y la permeabilidad de la ventana a 100 Pa en m³/hm², se obtiene unas renovaciones hora $n^{50} = 5,0$ 1/h para los recintos MLA y MES (Tabla 26). Para el pasillo central se ha considerado un porcentaje de dicho valor estableciéndose en 0,05 1/h.

³⁹ CTE (2013). DB-HE 1 Limitación de la demanda energética. Ministerio de Fomento (con comentarios marzo 2016). Tabla 2.3. Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica. Pág. 17.

⁴⁰ AENOR (2000). UNE-EN 12207 Puertas y ventanas. Permeabilidad al aire. Clasificación. Fig. 1. Pág. 8.

⁴¹ Grupo Termotecnia. ETSI. Universidad de Sevilla. Asignatura Eficiencia Energética en Edificios. Lección 4 Parámetros característicos a nivel de edificio. Curso 2014-2015.

Tabla 26. Parámetros de cálculo infiltraciones

Volumen interior (m ³)	Ainf. envolvente (m ²)	Avent. huecos (m ²)	Volumen/Ainf. (m ³ /m ²)	Avent./Ainf. (m ³ /m ²)	Perm_ventana 100 Pa m ³ /hm ² (n ⁵⁰)
30.140,00	6.219,60	1.971,20	4,845	0,316	27

6.2.4.6. Puentes térmicos

Los puentes térmicos producen un aumento del consumo de los equipos de producción de calor por la pérdida de energía que se produce por conducción/convección en los puntos o zonas donde la uniformidad de la envolvente se ve modificada (interrupción o reducción de la capa aislante o del grosor de la envolvente). La incidencia sobre el consumo energético será mayor cuanto mayor sea el nivel de aislamiento térmico (valor de U) de los diferentes elementos que componen el cerramiento⁴². Los puentes térmicos no han sido considerados al estar el edificio modelo basado en edificios existentes que carecen de buenas características constructivas presentando un valor de transmitancia térmica del muro de fachada (U_M) de 1,28 W/m²K.

6.2.4.7. Elementos de sombreamiento y patrón de sombras

Los huecos de los tres edificios de referencia se caracterizan por carecer de voladizos o no tener la carpintería retranqueada hacia el exterior. Tienen en general un entorno urbano exento de edificios colindantes cercanos, habiendo algunos recintos sometidos a sombras propias producidas por la proyección de la caja de escalera y/o ascensor que sobresale del paramento de una de las fachadas.

Para permitir la comparación a igualdad de condiciones, unido a una máxima incidencia de la radiación solar, no se ha considerado ningún factor corrector solar en huecos por elementos dinámicos interiores tales como persianas enrollables o venecianas. Tampoco se ha tenido en cuenta un patrón de sombras arrojadas por edificios colindantes o elementos sobresalientes del paramento de fachada que obstaculicen la incidencia de los rayos solares como es la caja de escalera y/o ascensor.

El único elemento de sombreamiento considerado ha sido el retranqueo⁴³ de la carpintería en el hueco. Éste se ha situado a haces interiores a una distancia de la alineación exterior de 24 cm. El retranqueo se ha extraído del detalle proporcionado por la empresa suministradora de PVC, obtenida deduciendo al espesor del muro (290 mm), la diferencia entre el grosor del perfil de marco (70 mm) e inclusión de la separación de la posición del acristalamiento en ella (20 mm).

⁴² Tenorio, J. A.; Díaz, M. I. (2005, 2 a 4 de agosto). Pérdidas de calor y formación de condensaciones en los puentes térmicos de los edificios. 1^{as} Jornadas de Investigación en Construcción (pp. 1131-1153). Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

⁴³ IDAE (2009). Calificación de Eficiencia Energética de Edificios CALENER-GT. Grandes Edificios Terciarios. Manual de Referencia. Apartado 18.4 Retranqueo. Pág. 149. “Distancia desde la superficie exterior del cerramiento a la superficie exterior del vidrio de la ventana”.

6.2.4.8. Orientación de fachadas

Los edificios de la Avda. Cardenal Bueno Monreal y San Francisco Javier 9 tienen las fachadas de mayor longitud orientadas a los puntos cardinales norte-sur, mientras que el Sevilla 1 es al este y oeste. En el modelo se ha considerado la misma orientación de los dos primeros inmuebles, siendo la fachada norte (50 m) la de referencia. Las dos fachadas más cortas (20 m) son al este y oeste (Fig. 19 y 20) representadas con las iniciales N, S, E y O, respectivamente.

6.2.4.9. Alzados y sección tipo

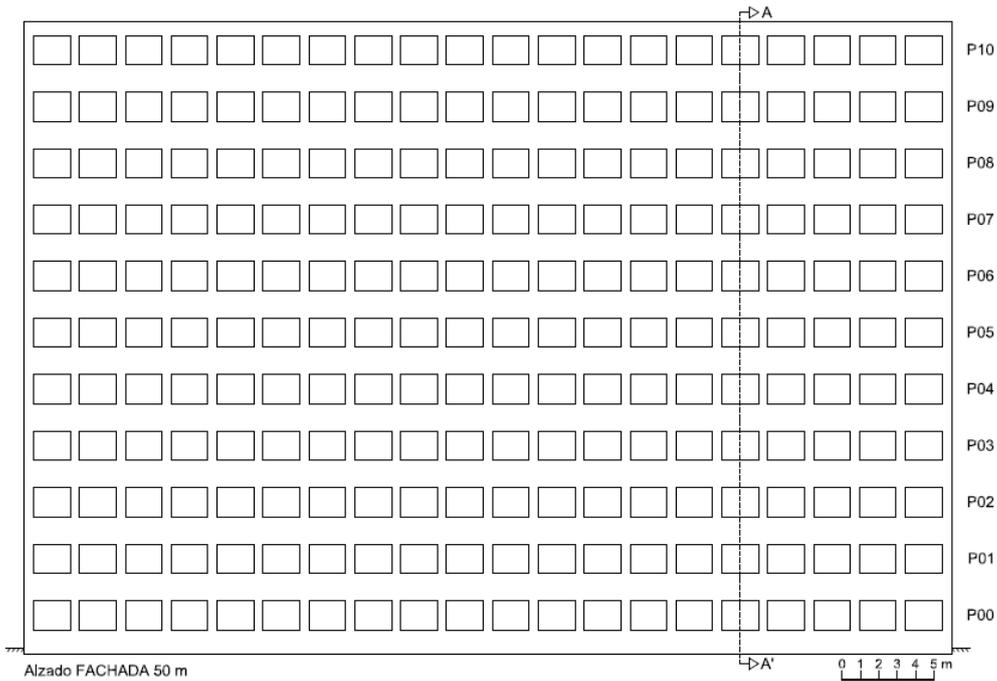


Figura 19. Fachada de 50 m. Alzado

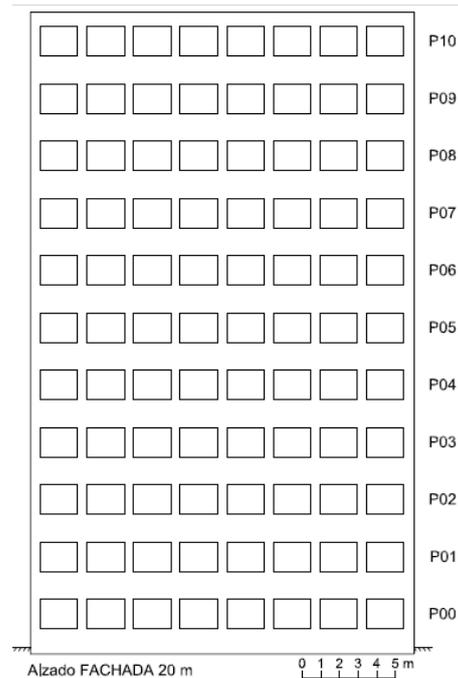


Figura 20. Fachada de 20 m. Alzado

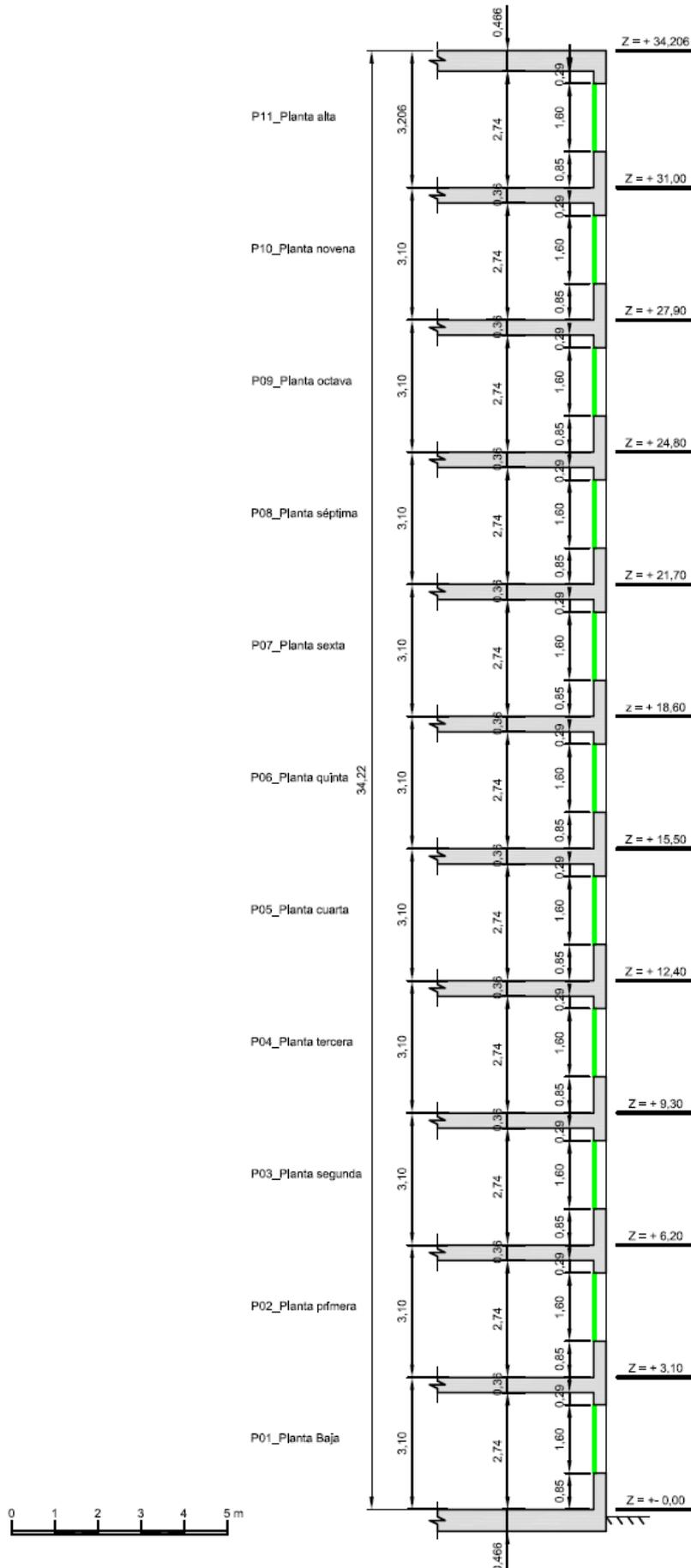


Figura 21. Sección tipo A-A'

6.2.5. Definición del modelo. Características ocupacionales, operacionales, funcionales y equipos

Se expone de forma esquematizada las características ocupacionales, operacionales, funcionales y equipos (elementos activos) que han sido consideradas en la definición del edificio modelo (Fig. 22).

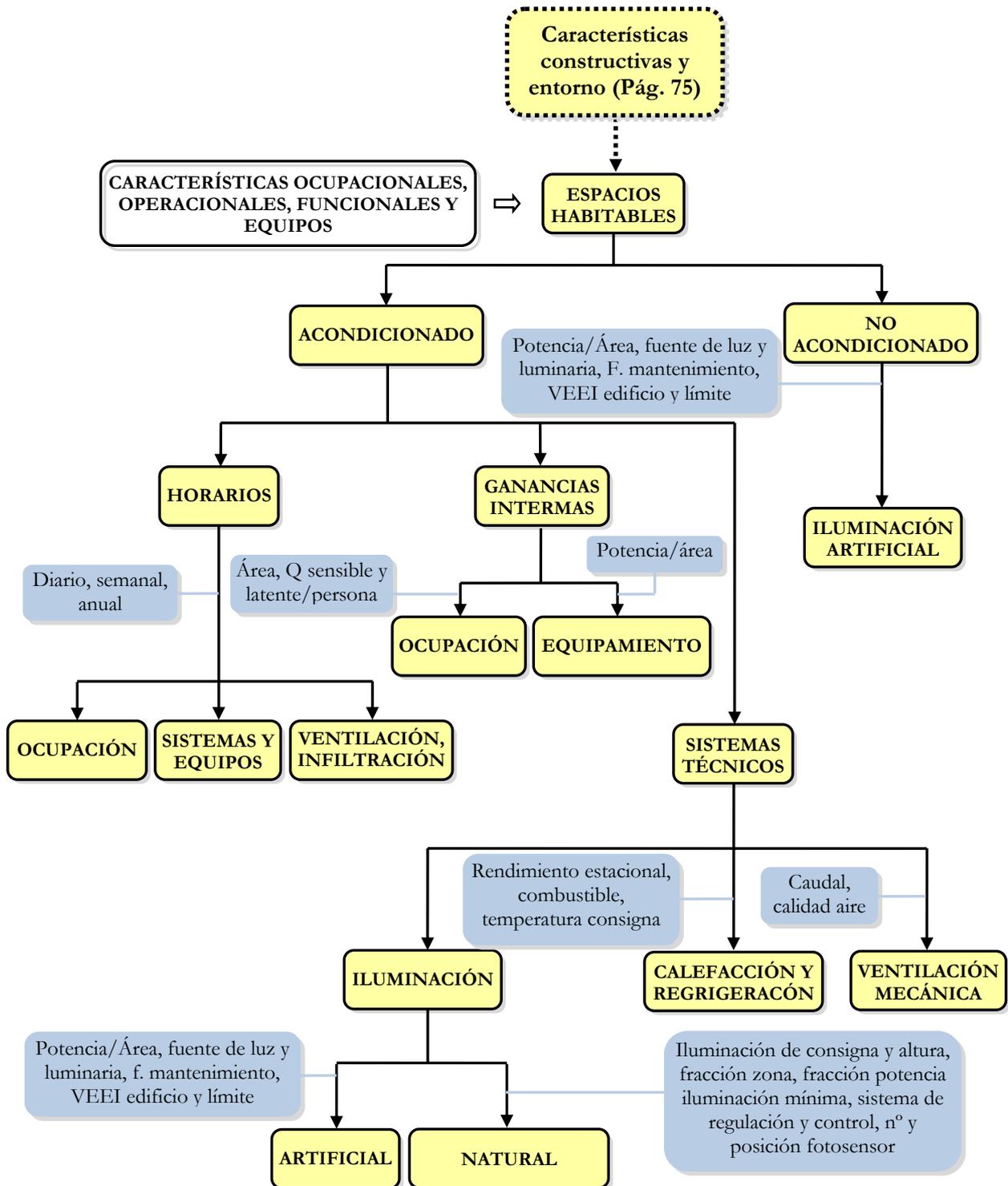


Figura 22. Edificio modelo. Diagrama características ocupacionales, operacionales, funcionales y equipos

6.2.5.1. Sistemas técnicos

Los sistemas técnicos considerados en la investigación son aquellos afectados únicamente por la incidencia de la radiación solar (equipos de producción de calor, frío e iluminación artificial). Quedan descartados el agua caliente sanitaria u otros consumos generales.

6.2.5.1.1. Calefacción y refrigeración (sistemas térmicos)

Según las solicitaciones exteriores, y de manera generalizada, la distribución interior de la planta modelo se podría dividir en seis zonas térmicas. Dos correspondientes al conjunto de recintos módulos laterales, MLA02 a 09 y MLA12 a 19, y cuatro a las esquinas, MES01, 10, 11 y 20.

Se han elegido equipos de producción de calor y frío, de no muy buenas prestaciones, que proporciona la herramienta de simulación por defecto para oficinas, con temperaturas de consigna de 22 y 24°C, respectivamente (Tabla 27).

Tabla 27. Tipologías y rendimientos equipos de producción calor y frío. Vectores energéticos

Fuente: Herramienta simulación DesignBuilder

Sistema	Equipo	Rendimiento estacional	Vector energético
Calefacción	Ventiloconvector 4 tubos	0,85	Gas natural
Refrigeración	Enfriadora por aire	1,80	Electricidad

Al estar los espacios climatizados mediante un sistema de impulsión de aire, éste produce una sobrepresión en el interior de los recintos afectando al comportamiento de las infiltraciones⁴⁴. Se consideran nulas y por tanto sin efecto durante el periodo de funcionamiento⁴⁵ de los equipos.

6.2.5.1.2. Ventilación mecánica. Calidad del aire interior

Por el uso que tiene el edificio terciario, le corresponde un sistema de ventilación mecánica con categoría del aire interior IDA 2, aire de buena calidad. El valor se ha calculado por el método indirecto de caudal de aire exterior por persona según Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (2007) correspondiente a 12,5 dm³/s⁴⁶.

6.2.5.1.3. Iluminación artificial y aprovechamiento de la luz natural

El sistema de alumbrado elegido es de tipo general directo, entendiéndose aquel que no modifica su distribución aun produciéndose cambios en la posición de los puestos de trabajo.

⁴⁴ IDAE (2009). Calificación de Eficiencia Energética de Edificios. CALENER-GT Grandes Edificios Terciarios. Manual Técnico. Apartado 2.4. Características funcionales y ocupacionales. Pág. 20.

⁴⁵ IDAE (2009). Calificación de Eficiencia Energética de Edificios. CALENER-GT Grandes Edificios Terciarios. Manual de Usuario. Apartado 8.1.2. Espacios. Pág. 64.

⁴⁶ CTE (2013). DB-HE 2 Rendimiento de las Instalaciones Térmicas (versión consolidada). IT 1.1.4.2. Exigencia de calidad del aire interior. Pág. 46. Tabla 1.4.2.1.

6.2.5.1.3.1. Iluminación artificial

Hoy día se pueden encontrar en el mercado numerosos programas de cálculo luminotécnico para el diseño de los sistemas de iluminación de interiores y exteriores. Se diferencian, al igual que en las herramientas de simulación energética, según modelización del diseño, interfaz gráfica, número de variables y potencia del motor de cálculo, entre otras. Muchas de ellos han sido creados por las propias empresas suministradoras de fuentes de luz y luminarias (CALCULUX, LUMELUX,...), mientras que otras son en cambio herramientas de evaluación y diseño independientes (Tabla 28). Éstos últimos, permiten incluir una multitud de paquetes de base de datos de productos (catálogos) de diferentes compañías fabricantes. De ellos, destacan el DIALux del Instituto Alemán de Luminotécnica Aplicada, AGi32, de la empresa Lighting Analysts, Inc (LAI), o Relux, de la suiza Relux informatik AG, unas de las más extendidas.

Tabla 28. Herramientas diseño de sistema de iluminación artificial

Fuente: ILUMINET. Revista de iluminación online. Softwares de diseño de sistemas de iluminación. <http://www.iluminet.com/seleccion-de-software-de-diseno-de-iluminacion/> 15/07/17

Nombre software	Procedencia	Precio USD	Aplicaciones	Características
DiaLux	DIAL GmbH Alemania	\$0	Interior, exterior, viabilidades, espacios abiertos, Evaluación energética	Diseño 3D. Catálogos de luminarias, acabados, muebles, entre otros. Archivos CAD. Fotometrías electrónicas.
ReluxPro	Relux Informatik AG. Suiza	\$0	Interior, exterior, viabilidades, espacios abiertos. Luz de día	Diseño 3D. Archivos CAD. Fotometrías electrónicas. Cuenta con venta de módulos complementarios
Visual Lighting	Lithonia Lightning Group	\$150	Interior, exterior, viabilidades, viabilidades, espacios abiertos	Diseño 3D. Archivos CAD. Fotometrías electrónicas, cuenta con una limitada versión gratuita
Luxicon	Cooper Crouse Hinds	\$200	Interior, exterior, viabilidades, espacios abiertos. Luz de día	Archivos CAD. Fotometrías electrónicas IES. Resultados 3D
Agi32	Lighting Analysis, Inc. E.U.	\$895	Interior, exterior, viabilidades, espacios abiertos. Luz de día	Diseño 3D. Catálogos de objetos para diseño. Archivos CAD, fotometrías electrónicas
AutoLUX	Independet Testing Laboratories, Inc. E.U.	\$979	Exterior, viabilidades, espacios abiertos	Diseño 3D, archivos CAD, fotometrías electrónicas
Litestar 4D	OxyTech. Italia	\$2085	Interior, exterior, viabilidades. Espacios abiertos	Diseño 3D. Archivos CAD. Fotometrías electrónicas. Cuenta con una versión gratuita
Inspirer Lighting Design	Integra Inc. Japon	\$4000	Interior, exterior, viabilidades, espacios abiertos. Luz de día	Diseño 3D. Archivos CAD. Fotometrías electrónicas IES.

En el cálculo de los parámetros lumínicos de fuentes de luz interior y distribución de luminarias del módulo lateral (Fig. 23 y 24), de esquina (Fig. 25 y 26) y pasillo central (Fig. 27 y 28) se ha utilizado la herramienta DIALux⁴⁷. Su gratuidad, extensas prestaciones, fácil interfaz de trabajo y versatilidad con numerosos catálogos de fabricantes hace que sea muy utilizada en estudios luminotécnicos.

Se ha considerado una iluminación artificial⁴⁸ muy habitual en oficinas. Consiste en luminarias de techo empotradas no ventiladas con lámparas fluorescentes tubulares lineales de descarga eléctrica en atmósfera de vapor de mercurio a baja presión (tipo TL-D 26 mm de diámetro). Para el pasillo ha sido una Downlight fluorescente compacta.

Altura del local: 3.100 m, Altura de montaje: 2.740 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:109

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	640	348	854	0.544
Suelo	14	568	340	719	0.599
Techo	78	150	107	165	0.714
Paredes (4)	78	271	110	573	/

Plano útil:
 Altura: 0.850 m
 Trama: 64 x 64 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

UGR
 Pared izq 16
 Pared inferior 16
 (CIE, SHR = 0.25.)

Longi- 16
 Tran 19
 al eje de luminaria

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ (Luminaria) [lm]	Φ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	9	PHILIPS TBS160 4xTL-D18W HF C3 (1.000)	3672	5400	69.5
			Total: 33048	Total: 48600	625.5

Valor de eficiencia energética: 15.19 W/m² = 2.37 W/m²/100 lx (Base: 41.19 m²)

Figura 23. Módulo lateral (MLA). Parámetros lumínicos en DIALux

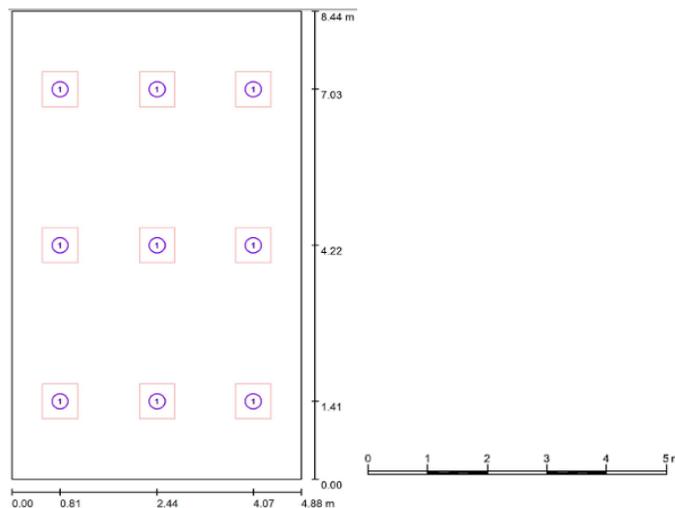


Figura 24. Módulo lateral (MLA). Plano distribución luminarias en DIALux

⁴⁷ Versión 4.12 (4.12.0.1).

⁴⁸ IDAE (2001). Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Oficinas. Apartado 6.2. Tipos de lámparas recomendados. Página 39. “Las lámparas fluorescentes tubulares utilizada en el alumbrado de oficinas son en su mayoría T8 o TLD (26 mm de diámetro) o T5 (16 mm de diámetro)”.

Altura del local: 3.100 m, Altura de montaje: 2.740 m, Factor mantenimiento: 0.80



Valores en Lux, Escala 1:128

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	721	359	1046	0.497
Suelo	14	646	367	833	0.568
Techo	78	166	119	189	0.717
Paredes (4)	78	301	123	860	/

Plano útil:		UGR	Longi-	Tran	al eje de luminaria
Altura:	0.850 m	Pared izq	16	19	
Trama:	128 x 64 Puntos	Pared inferior	16	19	
Zona marginal:	0.000 m	(CIE, SHR = 0.25.)			

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ (Luminaria) [lm]	Φ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	12	PHILIPS TBS160 4xTL-D18W HF C3 (1.000)	3672	5400	69.5
			Total: 44064	Total: 64800	834.0

Valor de eficiencia energética: $16.98 \text{ W/m}^2 = 2.36 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 49.10 m^2)

Figura 25. Módulo de esquina (MES). Parámetros lumínicos

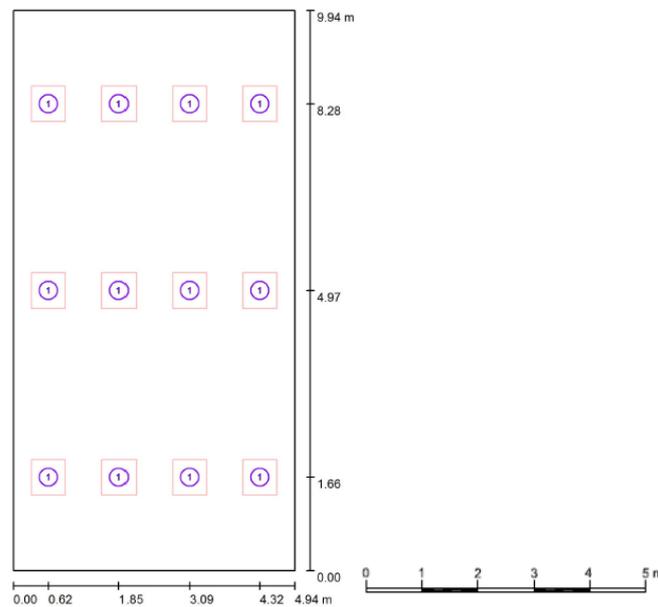


Figura 26. Módulo de esquina (MES). Plano distribución luminarias

Altura del local: 3.100 m, Altura de montaje: 2.740 m, Factor mantenimiento: 0.80



Valores en Lux, Escala 1:286

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	103	65	128	0.631
Suelo	14	103	65	128	0.635
Techo	78	21	17	24	0.790
Paredes (4)	78	38	16	73	/

Plano útil:

Altura: 0.000 m
Trama: 128 x 32 Puntos
Zona marginal: 0.000 m

Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ (Luminaria) [lm]	Φ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	16	PHILIPS FBS120 1xPL-C/2P26W L (1.000)	1008	1800	33.0
			Total: 16128	Total: 28800	528.0

Valor de eficiencia energética: 4.60 W/m² = 4.47 W/m²/100 lx (Base: 114.85 m²)

Figura 27. Módulo pasillo (MPA). Parámetros lumínicos

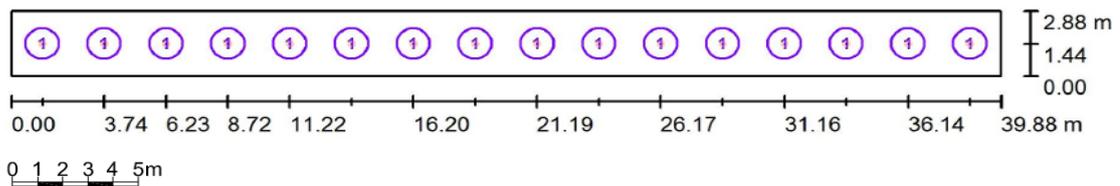


Figura 28. Módulo pasillo (MPA). Plano distribución luminarias

Se adjunta cuadro resumen con tipo de luminaria y fuentes de luz, así como los parámetros: factor de mantenimiento, relación potencia área, valor de eficiencia energética de la instalación y límite para cada tipo de espacio que han sido introducidas en la pestaña de iluminación de la herramienta DesignBuilder (Tabla 29).

Tabla 29. Luminarias, lámparas y parámetros lumínicos por recintos

Espacio	Factor mantenimiento (adimensional)	Potencia/área (W/m ²)	VEEI (W/m ² 100 lux)	VEEI límite CTE (W/m ² 100 lux)
MLA	0,80 ⁴⁹	15,19	2,37	3,00
MES		16,98	2,36	3,00
MPA		4,60	4,47	4,00

6.2.5.1.3.2. Aprovechamiento de la luz natural

Las consideraciones tenidas en cuenta en el aprovechamiento de la luz natural son las siguientes:

⁴⁹ Corresponde a una situación de local muy limpio bajo tiempo de utilización anual.

- Un único fotosensor por módulo de oficina.
- Plano de trabajo a una distancia de 0,85 m del suelo⁵⁰ con un nivel de iluminación de consigna de 500 lux (iluminancia media mantenida E_m).
- Fracción de iluminación general controlada por el sensor de luz del 50% (mitad de la superficie del recinto) con potencia consumida e iluminación mínima de 0,30 y 0,20, respectivamente.
- Sistema de regulación y control automático tipo progresivo/apagado⁵¹ en el que la iluminación artificial y potencia eléctrica consumida disminuyen linealmente a medida que aumenta la incidencia de iluminación natural. Las lámparas se apagan al sobrepasar el nivel de iluminación de consigna.
- Coordenadas relativas de la posición del fotosensor en los módulos laterales y de esquina. La Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación⁵² establece una distancia de 4,00 m desde la ventana. El Manual Técnico CALENER GT⁵³ considera hasta 4,50 m aconsejando un punto situado a dos tercios del cerramiento respecto al hueco. El CTE⁵⁴ establece una distancia que abarque las dos primeras líneas de luminarias situadas a menos de 5 m. En fichas técnicas de sensores de luz consultadas, aconseja una separación menor o igual que la altura de la ventana y a eje de ésta⁵⁵. Otras fuentes indican una distancia entre una y dos veces la altura efectiva de la ventana⁵⁶.

Se ha optado por colocar los sensores de luz a eje de hueco. Para el módulo lateral, a una distancia igual a la altura del dintel (2,45 m). Para el módulo de esquina, en el punto de intersección (1,25 m) de los primeros huecos de cada orientación respecto a la arista exterior de la planta (Fig. 29).

- En el aprovechamiento de la luz natural no se ha considerado ningún factor corrector por pérdida de la radiación lumínica por suciedad del acristalamiento.

⁵⁰ INSHT (2006). Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de los Riesgos Relativos a la Utilización de los Lugares de Trabajo. Anexo IV. Pág. 34.

⁵¹ IDAE (2009). Calificación de Eficiencia Energética de Edificios. CALENER-GT Grandes Edificios Terciarios. Manual Técnico. Apartado 2.5. Iluminación artificial y natural. Pág. 21.

⁵² IDAE (2001). Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Oficinas. Apartado 6.6. luz natural. Pág. 48.

⁵³ IDAE (2009). Calificación de Eficiencia Energética de Edificios. CALENER-GT Grandes Edificios Terciarios. Manual Técnico. Apartado 8.3. Control de la Iluminación artificial en función de la natural. Pág. 98.

⁵⁴ CTE (2013). DB-HE 3 Eficiencia energética en instalaciones de iluminación. Ministerio de Fomento. Apartado 2.3 Sistema de control y regulación. Pág. 42.

⁵⁵ Zumtobel Lighting GmbH. Proveedor de soluciones lumínicas integrales. Sensor de luz LSD.

<https://ecitydoc.com/download/lzd-sensor-de-luz-montaje-en-superficie.pdf>.

⁵⁶ Lutron Electronics Co. Inc. Empresa de control de iluminación y luz natural. Sensor de luz natural. <http://www.lutron.com/TechnicalDocumentLibrary/041279A.SPA.pdf>.

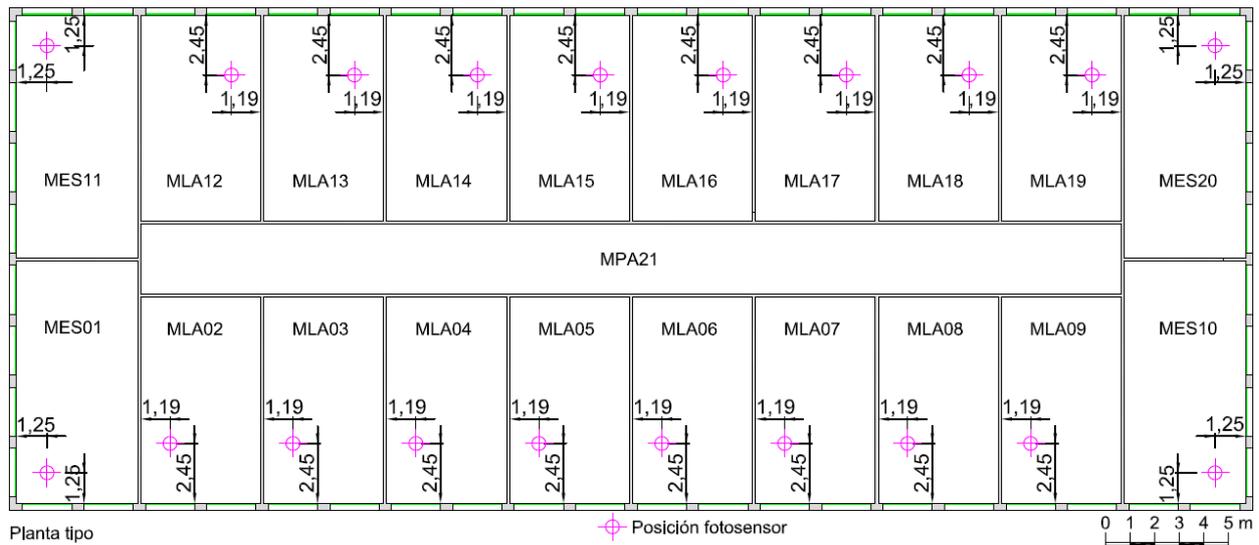


Figura 29. Planta modelo tipo. Posición del fotosensor en oficinas

6.2.5.2. Ganancias internas

Las ganancias internas tenidas en cuenta en los recintos son las siguientes:

- Densidad de ocupación⁵⁷ de 10,00 m²/persona, establecido del sumatorio de: calor sensible⁵⁸ (75 W/persona), latente (55 W/persona) y factor promedio de las condiciones metabólicas (Tabla 30).
- Carga equipos de oficina de 4,50 W/m²⁵⁹ y fracción radiante de 0,63.
- Carga lámparas fluorescentes⁶⁰ radiante, visible y convectiva de 0,37; 0,18 y 0,45 respectivamente.

⁵⁷ CTE (2010). DB-SI 3 Evacuación de ocupantes. Ministerio de Fomento. Tabla 2.1. Densidades de ocupación para uso administrativo.

⁵⁸ IDAE (2009). Calificación de Eficiencia Energética de Edificios CALENER-GT. Grandes Edificios Terciarios. Manual de Referencia. Apartado 14.17 Ocup-Q-Sen, Ocup-Q-Lat para un trabajo de oficina moderado. Pág. 98.

⁵⁹ IDAE (2009). Calificación de Eficiencia Energética de Edificios. Condiciones de Aceptación de Procedimientos Alternativos a LIDER Y CALENER. Anexos. Capítulo III Condiciones operacionales. NO RESIDENCIAL: Intensidad Media – 12h. Pág 27. Igual valor para todas las intensidades medias.

⁶⁰ Ordoñez, A. (2014). Manual de ayuda DesignBuilder en español. Apartado tipo de luminaria y fracciones de calor. Pág. 226.

Tabla 30. Densidad ocupación, tasa por persona y condiciones metabólicas y vestimenta

Fuente: CTE (2010). DB-SI 3, IDAE (2009), CALENER-GT manual de referencia, y manual de ayuda DesignBuilder

Espacio	Densidad ocupación (m ² /persona)	Tasa por persona (W/persona)	Factor metabólico (-)			Vestimenta (Clo)	
			Hombre	Mujer	Promedio	Verano	Invierno
MLA	10,00	130,00	1,00	0,85	0,93	0,50	1,00
MES							

6.2.5.3. Horarios de usos

Los tres edificios de referencia son el centro de trabajo de empresas pertenecientes a diferentes sectores laborales con horarios adaptados a la propia actividad que desarrollan. Se ha establecido un horario de trabajo de 8:00 a 20:00 h. La normativa de ahorro energético CTE DB-HE1⁶¹ establece perfiles normalizados según uso, densidad de las fuentes internas y periodos de utilización. En el no residencial de 12 h no considera actividad alguna entre las 15:00 y 16.00 h, ambas inclusive, intervalo de tiempo en el que los sistemas de climatización e iluminación permanecen generalmente encendidos. Es por ello que el horario de los diferentes componentes del edificio han sido personalizado a 12 h ininterrumpidas, desglosados en el anexo 12.2.

Para la identificación de los horarios se utiliza una codificación formado por la palabra TESIS seguida de un guion bajo y tipo de sistema técnico o funcionamiento. En TESIS_OCUPA se establece el horario de ocupación mediante diferentes ratios en función de la entrada y salida de los trabajadores del puesto de trabajo. En TESIS_ILUMI se define la iluminación artificial y fuentes internas de equipos siendo constante al considerarse una iluminación general directa que permanece encendida independientemente del número de personas. TESIS_FUNCI corresponde a los sistemas de calefacción y refrigeración y TESIS_VENTI a la ventilación, teniendo ambos horarios, el mismo criterio que la iluminación artificial. Por último, la infiltración de código TESIS_INFIL permanece desactivada mientras estén en funcionamiento los sistemas de calefacción o refrigeración. En los horarios no se han tenido en cuenta los días festivos.

Se diferencian horarios para espacios acondicionados (oficinas) y no acondicionado (pasillo central), siendo para el segundo únicamente la iluminación artificial, infiltración y ventilación.

6.2.6. Definición del modelo. Características técnicas del vidrio

Una vez establecido los valores de los diferentes elementos pasivos y activos a tener en cuenta en el comportamiento energético del edificio modelo, se exponen a continuación de forma esquematizada las características técnicas que deberían ser tenidas en cuenta en el acristalamiento, según el CTE DB HR y CTE DB SUA (Fig. 30). Con ello se quiere conocer su incidencia sobre la disponibilidad de los acristalamientos de mercado objeto de consideración en

⁶¹ CTE (2017). DB-HE 1 Limitación de la demanda energética. Ministerio de Fomento. Apéndice C Perfiles de uso. Pág. 30.

la selección. No se han contemplado los aspectos: rotura por choque térmico o cargas por exposición al viento.

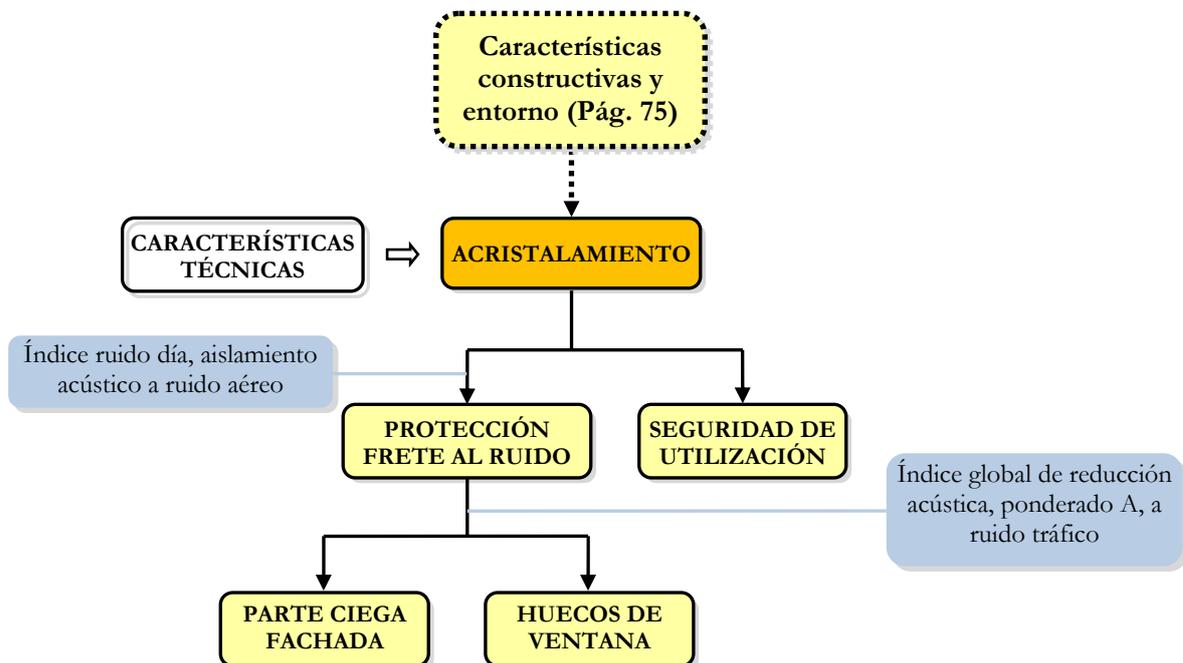


Figura 30. Edificio modelo. Diagrama características técnicas del acristalamiento

6.2.6.1. Protección frente al ruido

Con el fin de limitar las molestias o enfermedades a los usuarios frente al ruido, el CTE DB HR establece las exigencias mínimas en cuanto al nivel de aislamiento acústico a cumplir. En el apartado “II. Ámbito de aplicación” especifica los casos que están exentos, entre los que se encuentran las obras de modificación, reforma o rehabilitación de edificios existentes, salvo actuación integral.

Al centrarse la investigación únicamente en el acristalamiento de la ventana, y al ser un edificio de uso administrativo donde las oficinas se consideran un recinto protegido con fachada en contacto con el aire exterior, se ha tenido en cuenta solamente el aislamiento acústico a ruido aéreo. Se ha aplicado la opción simplificada⁶² basada en un valor mínimo a cumplir de la parte opaca y del hueco, estando las exigencias acústicas vinculadas entre sí. Se han definido tres parámetros:

- Índice global de reducción acústica, ponderado A, para ruido exterior dominante de automóviles ($R_{A,tr}$).
- Diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, en fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior para ruido de automóviles ($D_{2m,nT,Attr}$).

⁶² CTE (2009). DB-HR Protección frente al Ruido. Ministerio de Fomento (con comentarios 2016). Tabla 3.4. Parámetros acústicos de fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior de recintos protegidos. Pág. HR-24.

- Índice de ruido día (L_d).

Para conocer el valor $D_{2m,nT,Atr}$ ⁶³ ha sido necesario obtener previamente el índice de ruido día L_d de los tres edificios, extraídos de los mapas estratégicos de ruido del Ayuntamiento de Sevilla⁶⁴. Por su situación en el planeamiento de la ciudad, los tres edificios quedan fuera de la zona de ruido exterior dominante de aeronaves.

Al basarse el modelo en edificios existentes, la parte ciega del muro de cerramiento está condicionada a las características constructivas y espesores de los materiales que componen la fachada, dando un valor $R_{A,tr}$ ⁶⁵ de 45 dBA (Tabla 31).

Tabla 31. Masas y valor de $R_{A,tr}$ parte ciega de la envolvente térmica
Fuente: URSA Uralita. Hoja de cálculo Excel

Posición	Características elementos constructivos	Espesor (cm)	Densidad (kg/m ³)	Masa (kg/m ²)
Hoja exterior	Mortero de cemento o cal 1600<d<1800	2	1.525	31
	Fábrica de LP 1/2 pie de 40 mm<G<60 mm	11,5	1.140	131
Hoja interior	Fábrica de LH doble de 40 mm<E<60 mm	9	930	84
	Enlucido de yeso 100<d<1300	1,5	1.150	17
Masa total 263 kg/m ² correspondiente a un $R_{A,tr} = 45$ dBA				

Una vez conocido: el nivel límite $D_{2m,nT,Atr}$, el valor $R_{A,tr}$ de la parte ciega y el rango de porcentaje de huecos de la fachada (entre 31 y 60%) se procede a determinar el valor $R_{A,tr}$ propio del hueco.

Debido a que los edificios Sevilla 1 y Cardenal Bueno Monreal 56 están expuestos a índices muy altos de ruido día por encontrarse en zonas muy transitadas a tráfico rodado, el valor de 45 dBA de la parte ciega queda fuera por defecto del rango de la columna “distinto al 100%”. Al no ser una obra de rehabilitación integral como se expuso al principio, ésta no puede ser modificada considerándose en ambos casos el único valor posible.

El valor $R_{A,tr}$ del hueco corresponde al conjunto ventana, que incluye: la característica del perfil de marco, la permeabilidad al aire de acuerdo al dispositivo de apertura y configuración del

⁶³ CTE (2009). DB-HR Protección frente al Ruido. Ministerio de Fomento (con comentarios 2016). Tabla 2.1. Valores de aislamiento acústico a ruido aéreo $D_{2m,nT,Atr}$ en dBA, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día L_d . Pág. HR-4.

⁶⁴ Gerencia de Urbanismo. Ayuntamiento de Sevilla. Mapa estratégico de ruidos.

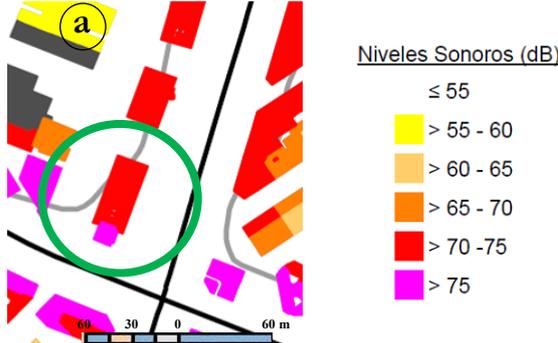
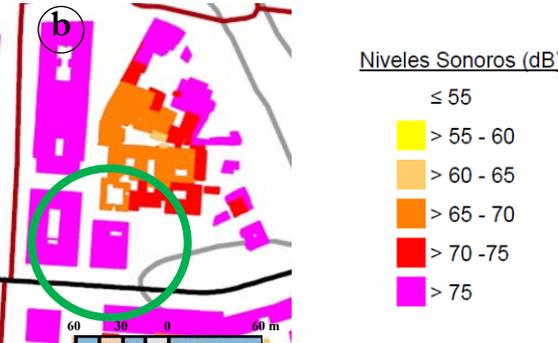
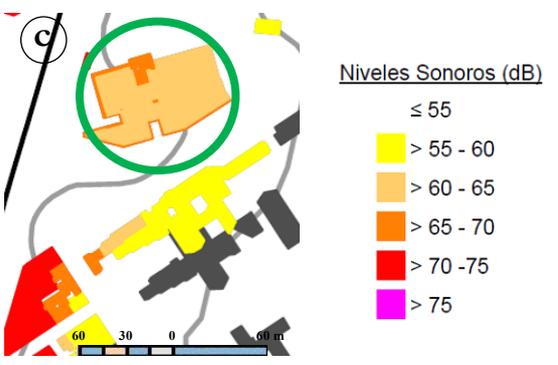
<https://www.sevilla.org/ayuntamiento/competencias-areas/area-de-habitat-urbano-cultura-y-turismo/servicio-de-proteccion-ambiental/mapa-estrategico-de-ruidos/planos-anexo-1>. 22/01/17.

⁶⁵ URSA. Empresa de producción y comercialización de materiales de aislamiento térmico y acústico. Ficha Justificativa CTE DB HR (2009) Protección Frente al Ruido, Opción Simplificada.
<https://www.ursa.es/es-es/descargas/programas-de-calculo/Paginas/calculo-aislamiento-acustico.aspx> 13/02/17.

acristalamiento. En cada edificio se ha obtenido un valor diferente, siendo 42 dBA (Sevilla 1), 47 dBA (Cardenal Bueno Monreal) y 34 y 39 dBA en Sevilla 2, este último según orientación (Tabla 32). Para la selección del acristalamiento de mercado se ha considerado un nivel acústico mínimo $R_{A,tr}$ de 40 dBA, valor común para todas las orientaciones del edificio modelo.

Tabla 32. Índice $R_{A,tr}$. Edificios de referencia: a) Avda. San Francisco Javier, 24. b) Avda. Bueno Monreal, 56. c) Avda. San Francisco Javier, 9

Fuente: **Gerencia de Urbanismo**. Ayuntamiento de Sevilla. Mapa estratégico de ruidos

Exposición de fachadas al tráfico rodado	Aislamiento acústico
<p>Avda. San Francisco Javier, 24. (Sevilla 1)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Índice de ruido día mapa estratégico Ayuntamiento, $L_d > 70 - 75$ dBA - Aislamiento acústico a ruido aéreo según L_d Tabla 2.1 CTE (estancias). $D_{2m,nT,Atr} = 42$ dBA - Aislamiento acústico ventana según $D_{2m,nT,Atr}$ y huecos entre 31 y 60%. <p>Tabla 3.4 CTE DB-HR. $R_{A,tr} = 42$ dBA</p>
<p>Avda. Cardenal Bueno Monreal, 56</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Índice de ruido día mapa estratégico Ayuntamiento, $L_d > 75$ dBA - Aislamiento acústico a ruido aéreo según L_d Tabla 2.1 CTE (estancias). $D_{2m,nT,Atr} = 47$ dBA - Aislamiento acústico ventana según $D_{2m,nT,Atr}$ y huecos entre 31 y 60%. <p>Tabla 3.4 CTE DB-HR $R_{A,tr} = 47$ dBA</p>
<p>Avda. San Francisco Javier, 9. (Sevilla 2)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Índice de ruido día mapa estratégico Ayuntamiento, $L_d > 60 - 65$ dBA $L_d > 65 - 70$ dBA - Aislamiento acústico a ruido aéreo según L_d Tabla 2.1 CTE (estancias). $D_{2m,nT,Atr} = 32$ dBA $D_{2m,nT,Atr} = 37$ dBA - Aislamiento acústico ventana según $D_{2m,nT,Atr}$ y huecos entre 31 y 60%. <p>Tabla 3.4 CTE DB-HR $R_{A,tr} = 34$ y 39 dBA</p>

6.2.6.2. Seguridad de utilización

En la sección 2 del CTE DB-SUA (Febrero 2010), referente a la seguridad frente al riesgo de impacto o de atrapamiento, establece en el apartado “1.3. Impacto con elementos frágiles” el área de riesgo de la superficie acristalada. Para paños fijos corresponde una distancia de 90 cm desde cota de solería. Los huecos del edificio modelo queda exento del cumplimiento de la normativa al estar la parte inferior del acristalamiento a una distancia superior del límite (92 cm del sumatorio de 85 de antepecho + 7 de perfil de marco) (Fig. 31).

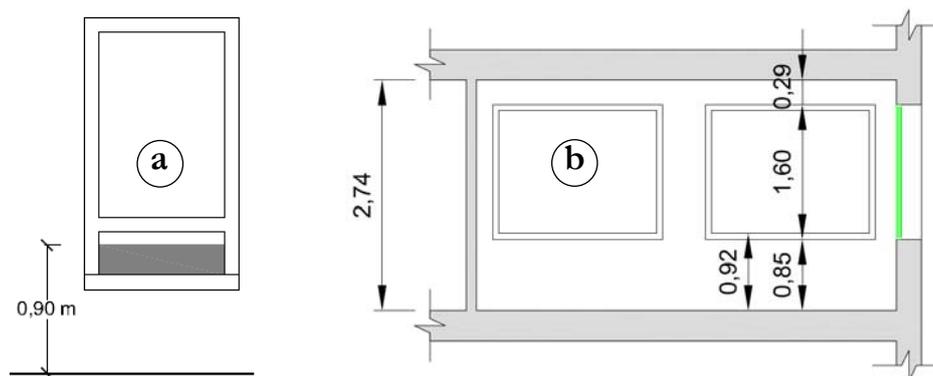


Figura 31. Altura límite inferior acristalamiento: a) Alzado CTE. b) Alzado en sección tipo

7. CASO DE ESTUDIO

7.1. Planteamiento inicial

Una vez elegido la herramienta de simulación energética y definido el modelo de oficinas objeto de la investigación, se realiza previamente un planteamiento de la manera de afrontar el edificio (en conjunto, por plantas o en recintos). Las circunstancias intrínsecas del inmueble y su entorno junto con el requisito basado en conseguir una igualdad de condiciones en todas las orientaciones (tanto de la configuración exterior como de la distribución interior), establecerán los posibles escenarios y procedimientos de comparación de la superficie vidriada. Hecho que conlleva aplicar un nuevo proceso de transformación o adaptación del modelo como se describe a continuación.

El edificio de forma rectangular y medidas interiores 50 x 20 m de 11 plantas tiene idéntica distribución interior, sombras propias y entorno urbano sin edificaciones cercanas, permitiendo realizar una diferenciación entre baja, intermedias y alta. Una circunstancia que permite realizar el estudio del edificio a nivel de planta, denominada “rectangular prototipo (REP)”. La planta es elegida de entre la más representativa y mayor presencia, como son las intermedias, cuya envolvente térmica está compuesta únicamente por muros de fachada. La planta quinta (P05), situada a una altura media de cota sobre rasante +15,50 m, ha sido la elegida al compensarse la radiación solar incidente de las superiores e inferiores considerando las particiones horizontales interiores adiabáticas. En ella, no se han unificado los recintos con idéntico comportamiento térmico (zonas térmicas) ni huecos en uno de igual superficie total equivalente, respetando la distribución de los elementos de separación vertical y huecos inicialmente establecida en el modelo. Con ello se establece la situación inicial de partida (Fig. 32).

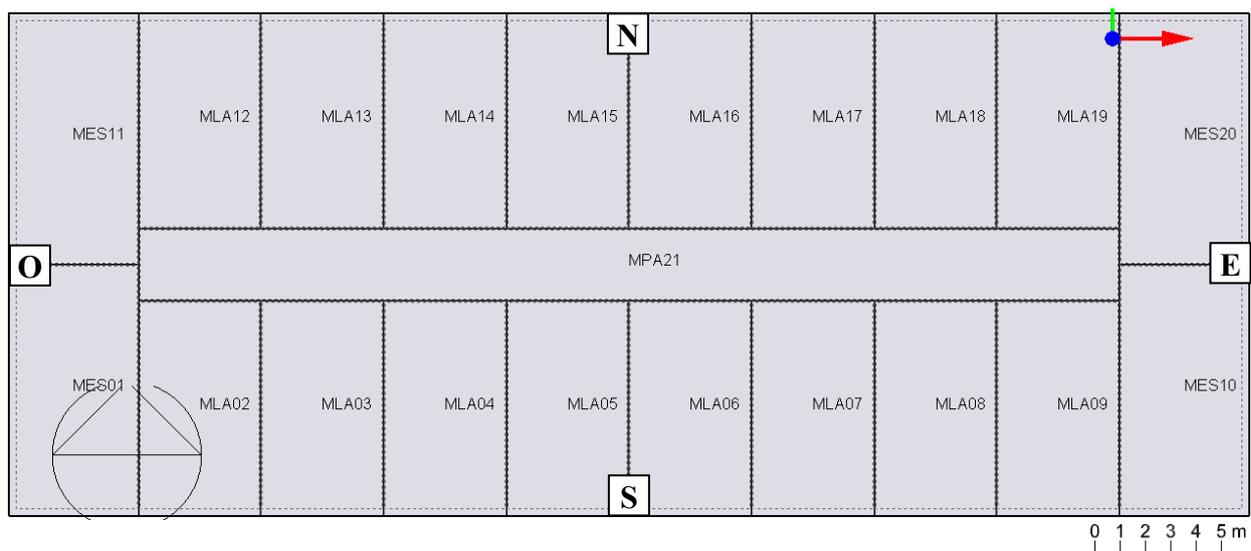


Figura 32. Planta rectangular prototipo (REP) P05 (+15,50 m) de 50 x 20 m en DesignBuilder

El primer inconveniente que se presenta en la comparación del acristalamiento es la forma rectangular de la planta. Ésta produce una desigual incidencia de la radiación solar entre orientaciones norte-sur con la este-oeste. Para conseguir la misma superficie en todas las fachadas se han unificado las longitudes de los cerramientos, respetando la distancia interior de menor longitud, pasando a denominarse “cuadrada prototipo (CUP)” de 20 x 20 m. En la planta se ha considerado una modulación de espacios formada por los cuatro módulos de esquina, MES01, 10, 11 y 20, cuatro laterales, MLA02, 03, 12 y 13, y el pasillo central MPA21, permitiendo ampliar la investigación también a esta morfología cuadrada (Fig. 33).

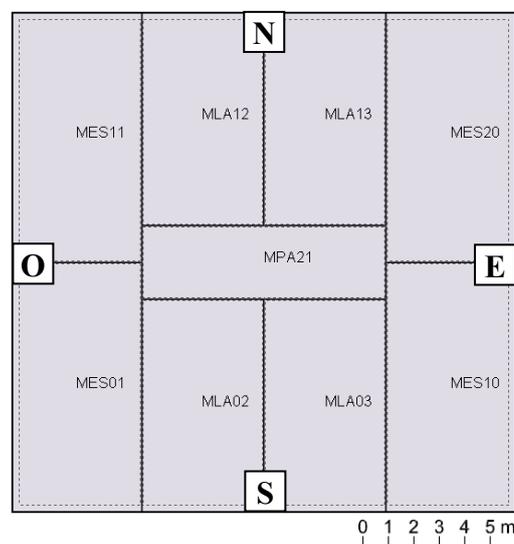


Figura 33. Planta cuadrada prototipo (CUP) P05 (+15,50 m) de 20 x 20 m

Un segundo inconveniente está relacionado con la distribución de las particiones interiores, que al ser igualmente asimétrica entre orientaciones contiguas, solo es posible comparar fachadas opuestas entre sí. Esto implica establecer una primera configuración formada por dos nuevas situaciones denominadas “cuadrada prototipo (CUP) norte-sur (NS) y este-oeste (EO)” (Fig. 34). El proceso de comparación consistiría en cotejar los resultados de las orientaciones norte y sur de la primera situación con el este y oeste de la segunda, y viceversa.

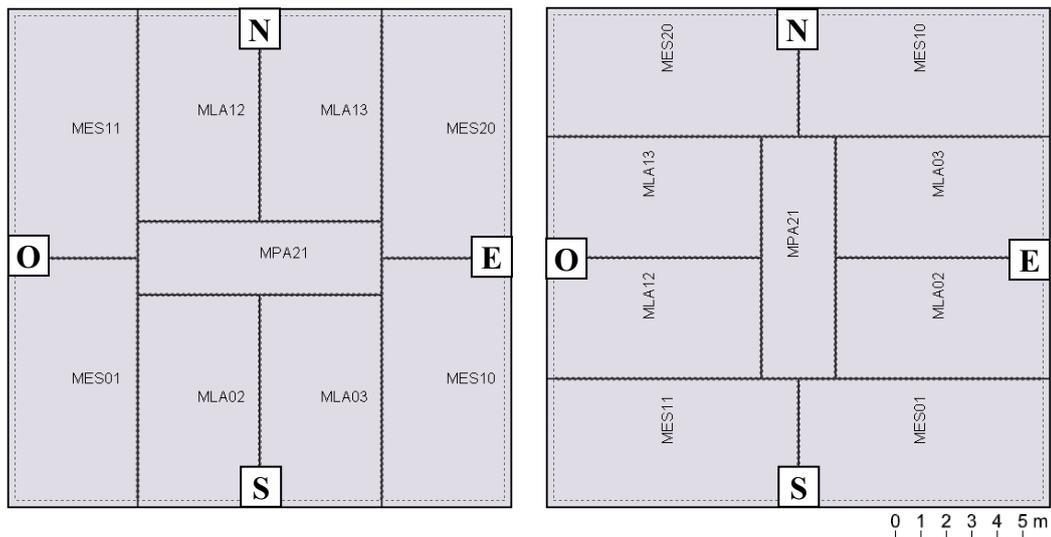


Figura 34. Primera configuración. Planta cuadrada prototipo (CUP) situación norte-sur (NS) y este-oeste (EO)

Para conocer la idoneidad de este primer procedimiento se realiza un grupo de dos simulaciones en zona climática de Sevilla y periodo anual. Se considera el valor de transmitancia térmica y factor solar del acristalamiento monolítico sencillo en todas las orientaciones. De los resultados obtenidos, este planteamiento es descartado al obtenerse un valor absoluto de emisiones de dióxido de carbono diferente en ambas situaciones, circunstancia que imposibilita la comparación de la superficie acristalada al tener distinta base de referencia. Por otro lado, habría que resaltar también que esta configuración no permite el estudio de los recintos de manera independiente al considerarse todos los que dan a una misma orientación, con comportamiento térmico diferente, simultáneamente.

Para eliminar ambos inconvenientes se ha planteado una segunda configuración basada en un diseño que mantenga la estructura de planta cuadrada. Para ello, se ha prescindido de la influencia de la distribución interior con la redistribución de las particiones interiores, modificando el número y forma de los recintos. Un escenario ficticio compuesto por espacios de igual superficie útil y número de huecos a una orientación permitiendo una rápida comparación entre fachadas. Esto es debido, a diferencia de la primera configuración, a que en una situación de planta simétrica en todas las orientaciones las emisiones y consumo energético, para igualdad de acristalamiento, es la misma aun siendo girada a los distintos puntos cardinales.

En esta nueva distribución interior, denomina “cuadrada simplificada (CUS)”, se ha respetado el ancho del pasillo central pasando de rectangular a cuadrada (Fig. 35). Se unen las esquinas de la planta con sus opuestas hasta la intersección con el pasillo. El número de espacios es en este caso de cinco. En esta configuración de planta cuadrada se ha considerado una modulación de recintos de oficinas formada por cuatro módulos, codificados como CUS01, 02, 03 y 04, y pasillo central CUS21.

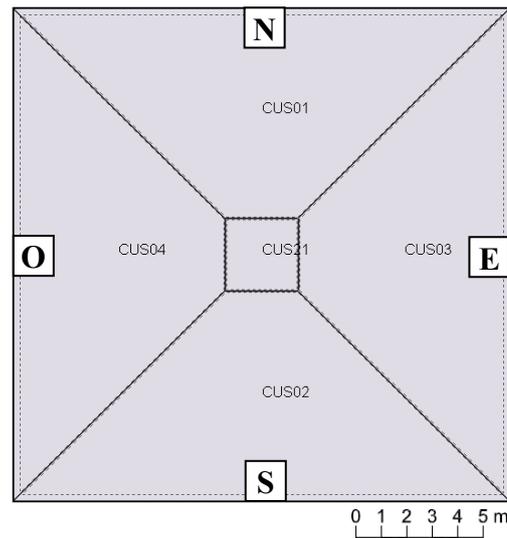


Figura 35. Segunda configuración. Planta cuadrada simplificada (CUS)

Esta redistribución de los espacios interiores tienen el inconveniente de considerar recintos que difieren de la planta rectangular prototipo inicial. En éste, los recintos situados en las esquinas reciben la radiación solar en dos orientaciones y diferente número de huecos. Situación que no es contemplada en la configuración simplificada.

Para poder realizar el estudio entre orientaciones, respetando la forma y número de huecos de los recintos de la planta rectangular inicial, habría nuevamente que volver a replantear la situación de partida pasando de planta a nivel de módulo. Es decir, considerar los recintos de manera independiente denominados en el apartado “6.2.4.4. Distribución interior” como lateral (MLA) y de esquina (MES), siendo las particiones verticales igualmente adiabáticas.

Esta tercera configuración a nivel de módulo implica obtener, a diferencia de la planta cuadrada simplificada, un valor del indicador de emisiones totales diferentes para cada orientación al ser girados de manera independiente a los cuatro puntos cardinales. Circunstancia que obligada a modificar el criterio inicial de comparación de los resultados: de valor absoluto a porcentaje de kgCO_2 , para el periodo anual, o kWh, en los sistemas técnicos. Procedimiento que es aplicado a la planta cuadrada simplificada consiguiéndose idéntico resultado mediante ambos métodos (valor absoluto y porcentaje). Además, en la configuración simplificada (CUS) y módulo lateral (MLA), caracterizadas ambas por tener una única orientación por recinto, coinciden en la mayoría de los casos la secuencia de fachadas en la que se consigue mayor reducción de emisiones, completamente diferente anteriormente con el indicador de emisiones totales.

El estudio y comparación de la superficie acristalada del módulo lateral con dos huecos, las simulaciones se ha realizado directamente por orientación al estar claramente diferenciado los muros de cerramiento a los puntos cardinales (Fig. 36). Las orientaciones son norte (N), sur (S), este (E) y oeste (O). En cambio, en los módulos de esquina, de diferente longitud y superficie

vidriada a dos orientaciones simultáneamente, se han agrupado los módulos con iguales condiciones (Fig. 37). Circunstancia que lleva a plantear dos escenarios, denominados “A y B”, extraídos de las situaciones norte-sur y este-oeste. Cada uno surge del patrón formado por el giro de la planta dando como resultado la combinación de orientaciones noroeste (NO), noreste (NE), sureste (SE) y suroeste (SO). En cada situación A y B se han comparado las fachadas con igual número de huecos: las de dos por un lado y las de cuatro por otro.

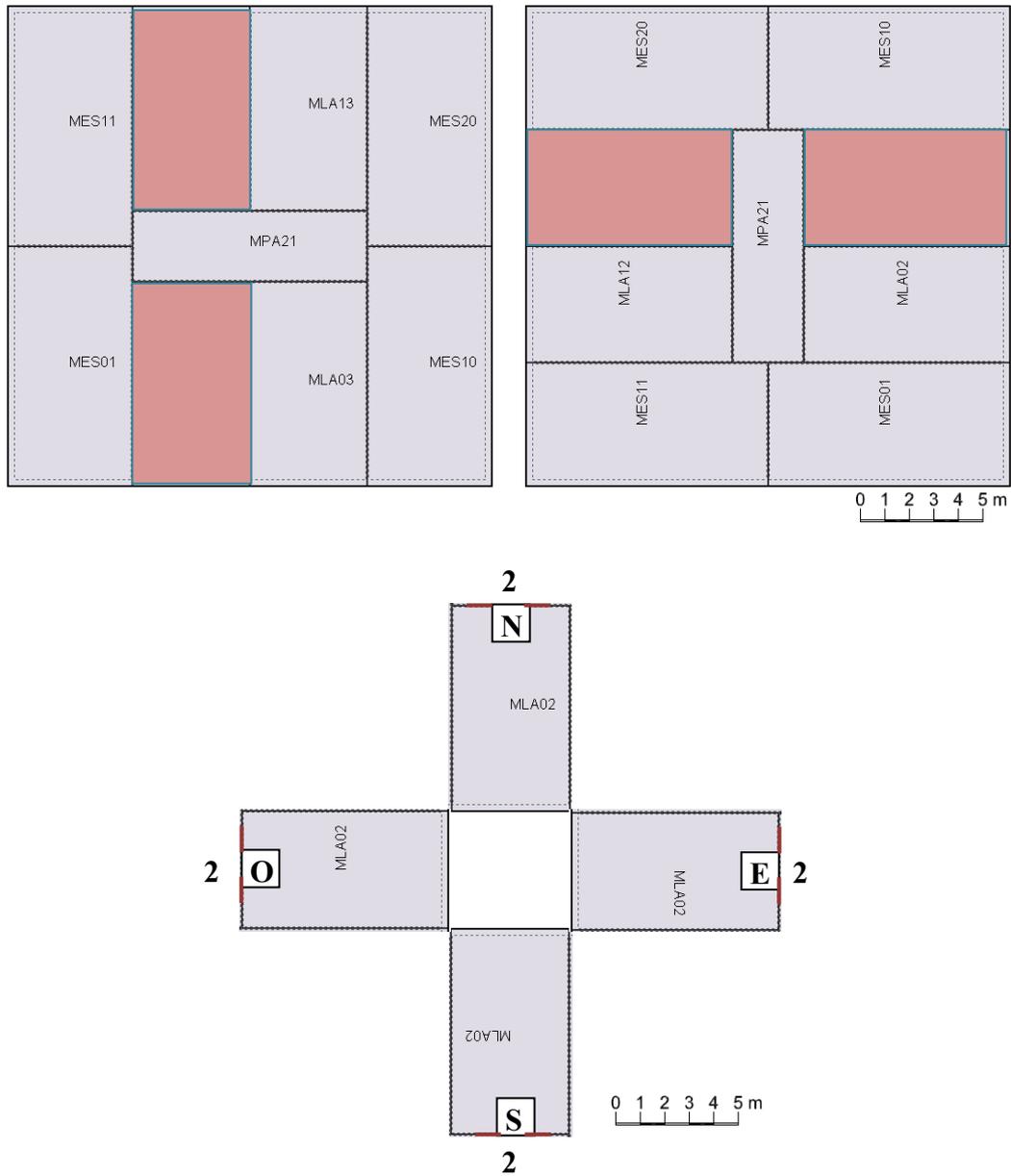


Figura 36. Tercera configuración. Módulo lateral (MLA). Orientación a puntos cardinales

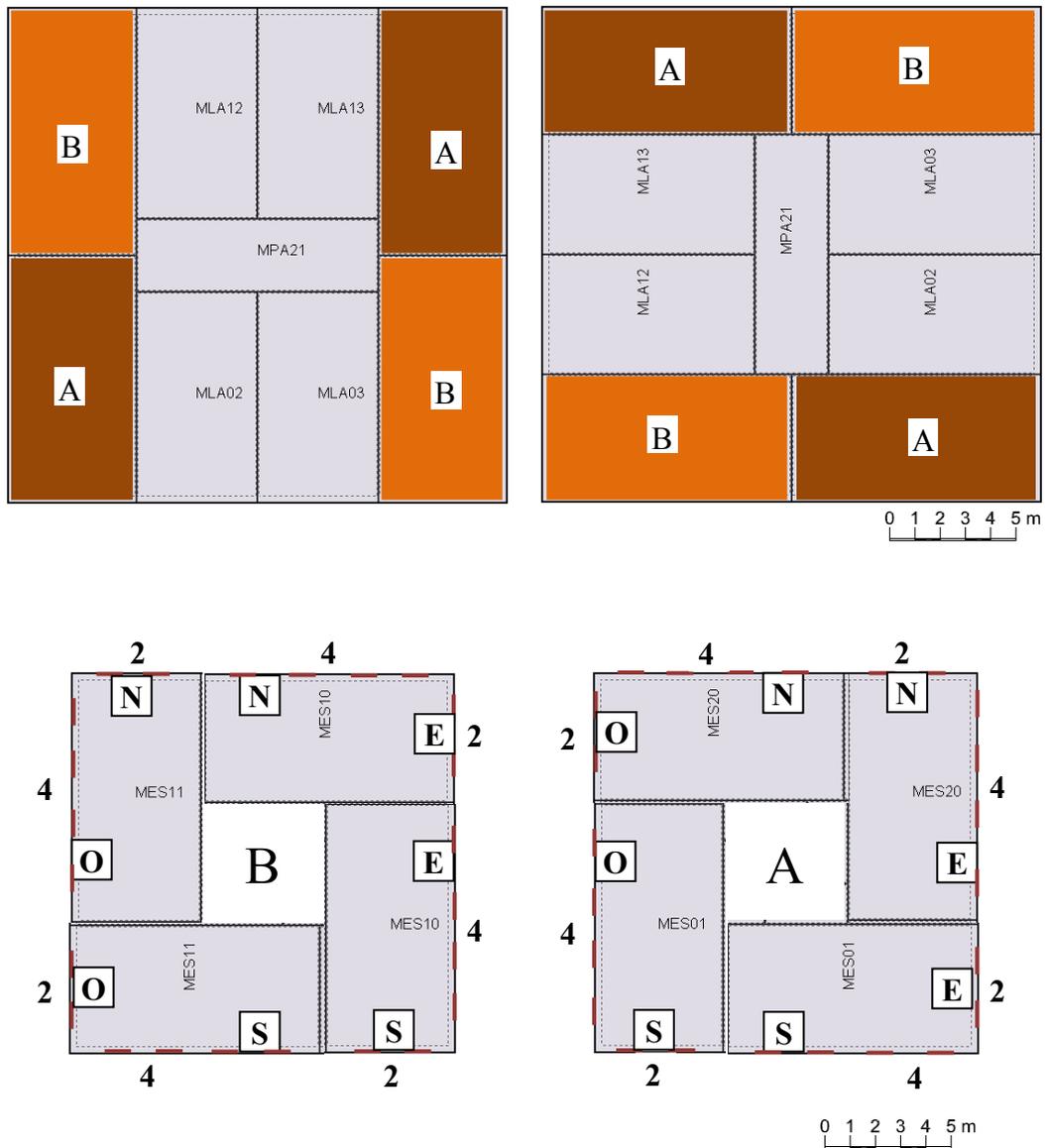


Figura 37. Tercera configuración. Módulo de esquina (MES) situación “A y B”. Orientación a puntos cardinales

A modo de resumen habría que comentar que: en la situación simplificada, se analiza los cuatro espacios de la planta (4 orientaciones). En la situación real, un único módulo lateral (4 orientaciones) que se extrapola al resto al ser iguales, mientras que en los de esquina B y A, cuatro módulos (8 orientaciones) cada uno.

En la segunda configuración de planta cuadrada simplificada, la posición del fotosensor con respecto al paramento interior del muro de fachada (2,45 m) y fracción de iluminación artificial controlada por dicho mecanismo (50%) es igual a la considerada en el módulo lateral. Difiere únicamente la distancia (8,75 m) existente desde la intersección a haces interiores de los muros de cerramiento de la envolvente (Fig. 38).

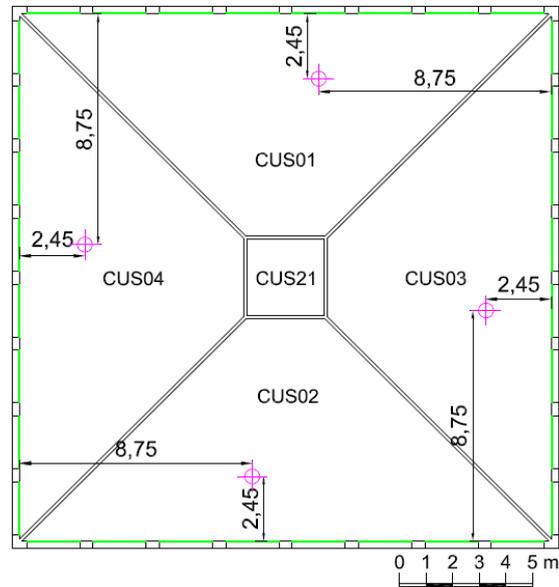


Figura 38. Planta cuadrada simplificada (CUS).
Posición del fotosensor

Para conocer el efecto de la iluminación natural se ha considerado primero los parámetros característicos transmitancia térmica y factor solar (denominado binomio), para posteriormente incluir la transmisión luminosa con la incorporación del sensor de luz (trinomio).

Al centrarse la investigación exclusivamente al comportamiento del acristalamiento se han mantenido constante todos los elementos que conforman la envolvente térmica y particiones interiores, así como la de las características ocupacionales, operacionales, funcionales y equipos. Consideración que es tenida en cuenta tanto en las plantas modelos prototipos (REP y CUP) como en las configuraciones de recintos formadas por la planta cuadrada simplificada (CUS), y módulos (MLA y MES) planteadas (Fig. 39 y 40). Solamente han permanecido como variables los valores de transmitancia térmica, factor solar y transmisión luminosa del acristalamiento, siendo el monolítico sencillo el tomado de referencia en las comparaciones.

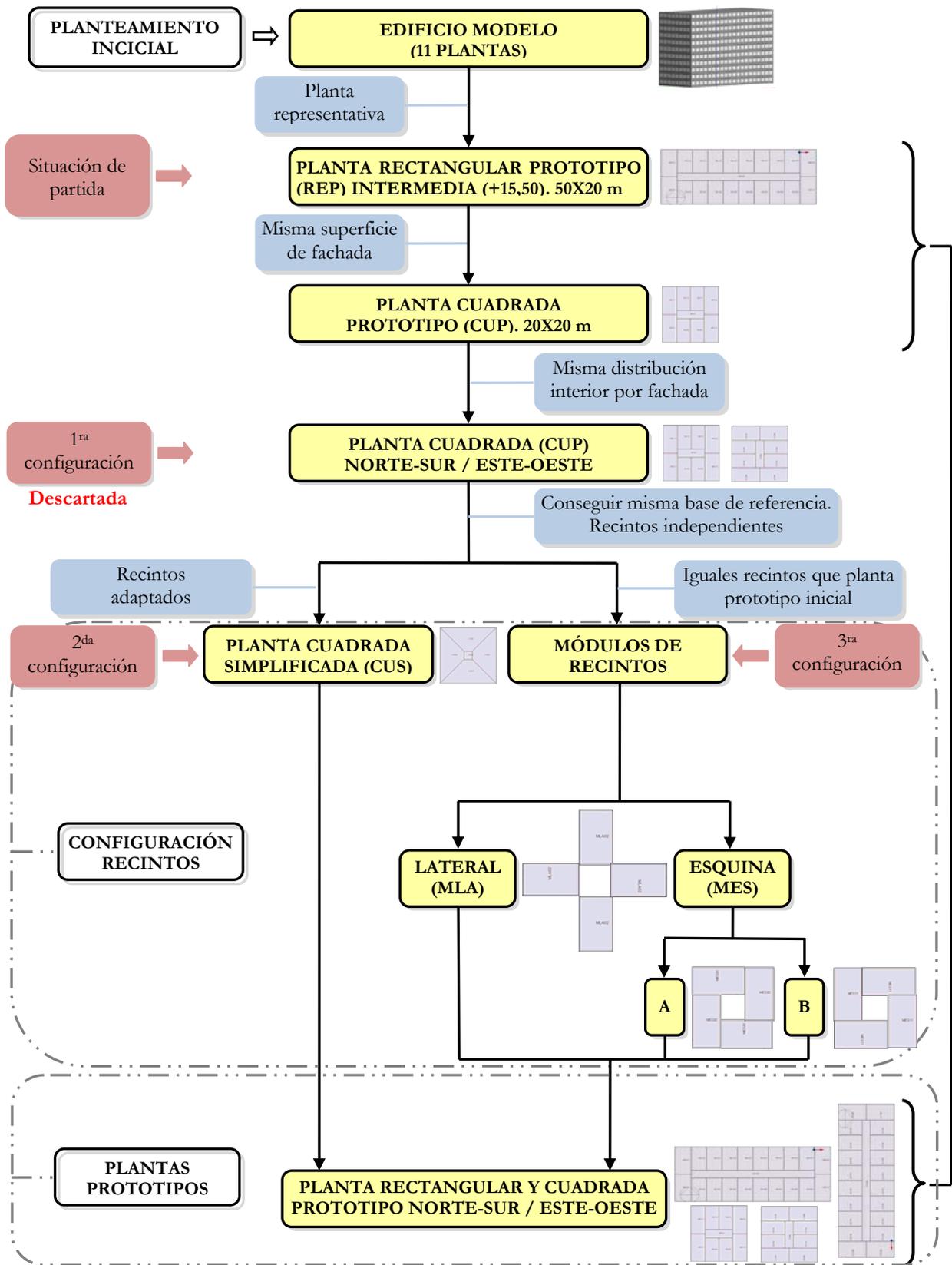


Figura 39. Edificio modelo. Diagrama transformación en recintos y plantas prototipos

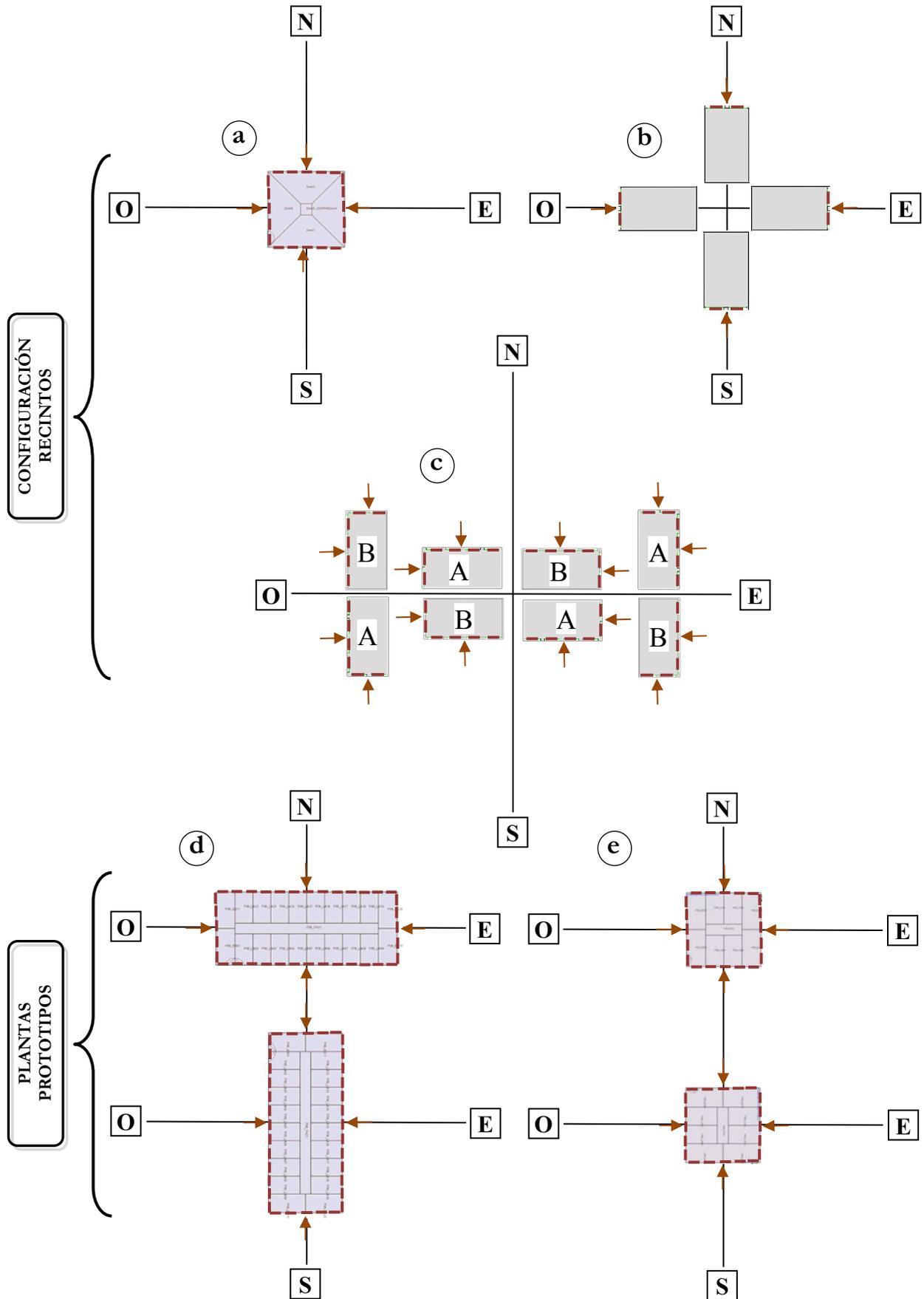
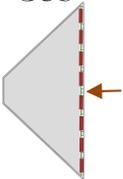
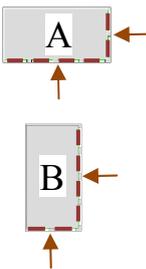


Figura 40. Configuraciones de recintos (a) CUS, b) MLA y c) MES A y B, y plantas prototipos d) REP y e) CUP

Se refleja a modo de resumen las características de los recintos y huecos de la planta cuadrada simplificada (CUS), y módulos (MLA y MES) (Tabla 33).

Tabla 33. Planta simplificada y por módulos. Características de los recintos

Geometría espacio	Huecos (Ud)	Superficie total			Volumen (m ³)	Vidrio/superficie opaca (%)	Vidrio/volumen (%)
		Hueco (m ²)	Vidrio (m ²)	Opaca hor. y vert. (m ²)			
 CUS	8	25,60	21,72	294,49	263,407	7,375	8,245
 MLA	2	6,40	5,43	148,96	112,852	3,645	4,811
 MES	2 y 4	$6,40 + 12,80 = 19,20$	$5,43 + 10,86 = 16,29$	160,54	134,543	10,14	12,107

En los anexos se encuentran las tablas de resultados para las zonas climáticas, configuraciones de recintos, tipologías de acristalamientos y orientaciones. Se refleja el indicador ambiental (kgCO₂), para el periodo anual, el energético (kWh), de los consumos de calefacción, refrigeración e iluminación artificial, y la energía primaria y final que ofrece la herramienta de simulación DesignBuilder. Todos ellos como consecuencia de la interacción de las solicitaciones exteriores, a través de los parámetros característicos, sobre el comportamiento energético del edificio (Fig. 41).

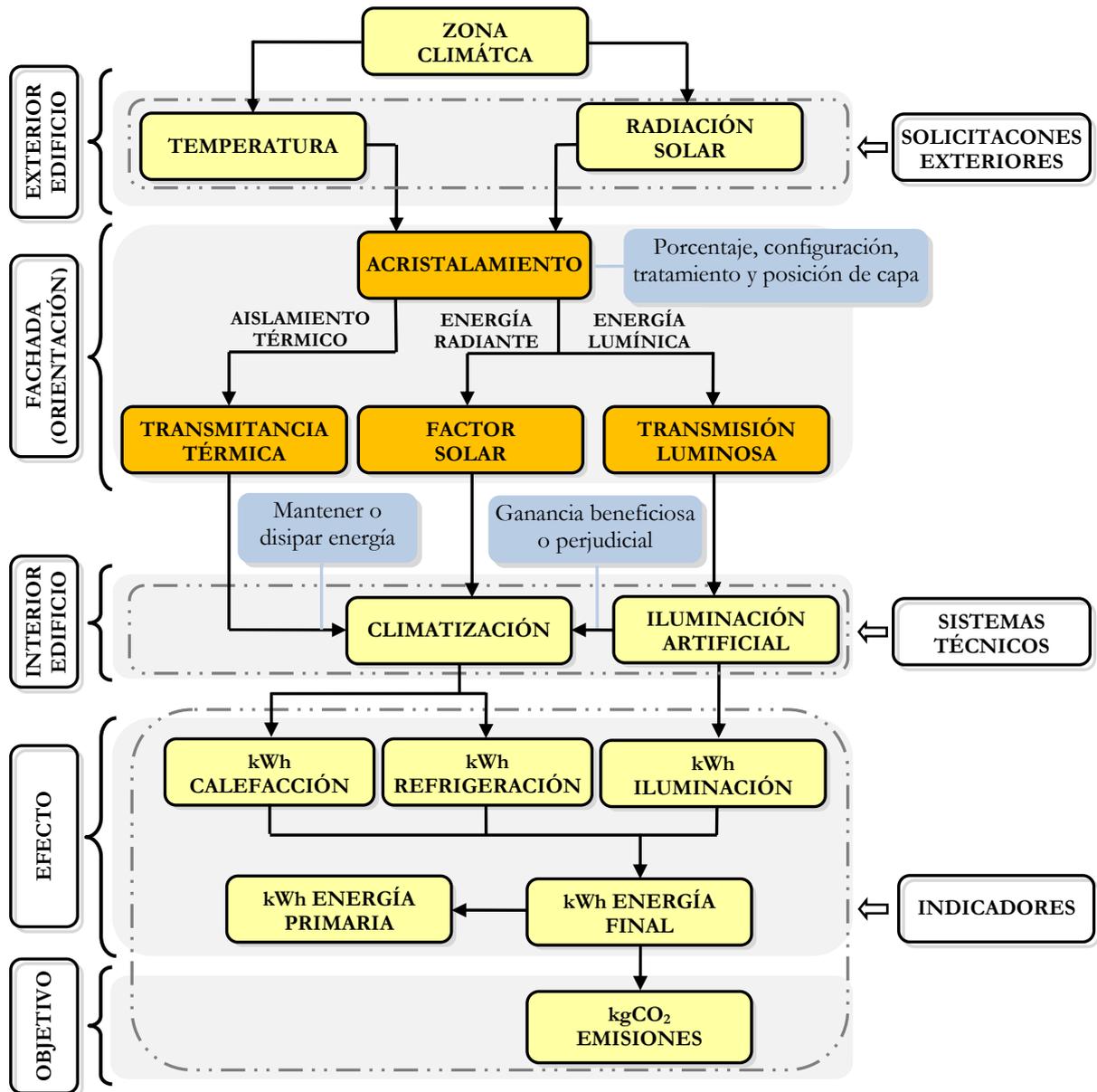


Figura 41. Diagrama interacción solicitudes exteriores, acristalamiento y sistemas técnicos. Indicadores

Una vez definidos los diferentes escenarios, variables y criterio de comparación se identifican los grupos de simulaciones realizadas con los acristalamientos denominados de experimentación (RE_MS, RE_DC y RE_BE). En las configuraciones de recintos cuadrada simplificada (CUS) y por módulos (MLA/MES) se realiza el primer grupo de simulaciones con los acristalamientos según prestación. Un segundo grupo, en el que se tienen en cuenta la combinación de los parámetros característicos por orientación, y un tercero en el que se valida la obtención de un incremento de eficiencia energética en las plantas prototipos (CUP y REP) con los acristalamientos ideales. Posteriormente, con los acristalamientos denominados de mercado y a nivel de módulos, se realiza el cuarto grupo de simulaciones en el que se establece la disposición de los parámetros para la selección del acristalamiento, para en el quinto y último grupo, validar nuevamente la obtención de un incremento de eficiencia energética en las plantas prototipos.

7.2. Selección del acristalamiento según prestación

En este primer grupo de simulaciones se refleja la selección del acristalamiento general basado en la prestación que más la define (Ej. sin tratamiento y baja emisividad), o mediante simulaciones considerando el mismo en todas las orientaciones para elegir aquel con el que se obtiene mayor reducción de emisiones.

Para mostrar este método se utilizan tres acristalamientos. Una configuración simple (monolítico sencillo) definida en el diseño del edificio modelo, y dos dobles de mejores prestaciones comúnmente utilizadas. Un básico, conocido como Unidad de Vidrio Aislante (UVA) y otro con tratamiento de capa de baja emisividad en la cara dos, también denominado Aislamiento Térmico Reforzado (ATR). Los valores de los parámetros característicos, resaltados en negrita, han sido extraídos de fichas técnicas de una casa comercial⁶⁶ (Tabla 34). Los tres acristalamientos son clasificados como “Vidrios Reales”.

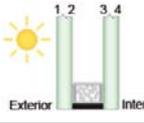
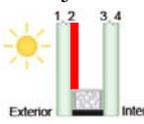
Tabla 34. Acristalamientos UVA y ATR. Valores de los parámetros U, FS y TL
Fuente: **Saint-Gobain Building Glass**. Empresa producción de vidrios (2014)

Características		Doble claro (UVA)	Bajo emisivo (ATR)
Composición (mm)		6(12)6	6(12)6
Vidrio exterior		PLANILUX	PLANISTAR
Vidrio interior		PLANILUX	PLANILUX
Espesor (mm)		24	24
Peso (Kg/m ²)		30	30
Posición capa (cara)		-	2
Factores luminosos	TL (%)	79	69
	RL ext (%)	14	12
	RL int (%)	14	13
Tuv (%)		38	10
Factores energéticos	TE (%)	64	37
	RE ext (%)	12	29
	AE1 (%)	15	31
	AE2 (%)	10	3
Factor solar g (adimensional)		0,72	0,41
Shading coefficient (adimensional)		0,83	0,48
Coefficiente U – aire (W/m²K)		2,8	1,6

⁶⁶ **Saint-Gobain Building Glass**. Empresa producción de vidrios. Ficha técnica acristalamiento SGG CLIMALIT. http://www.macopa.com/sites/default/files/adjuntos-productos/2_sgg_climalit_espanol_-_doble_acristalamiento.pdf. Ficha técnica acristalamiento SGG CLIMALIT PLUS. https://es.saint-gobain-building-glass.com/sites/saint-gobain-building-glass.com/files/2018-01/41_1399977820_1.pdf.

Para posibilitar y facilitar la identificación de estos tres acristalamientos, identificados en la investigación como de experimentación, son representados siguiendo un patrón, compuesto por un color y código. Codificación formado por dos letras “RE”, de real existentes en el mercado, un guion bajo y otras dos letras que especifican la configuración y tratamiento de capa. Estas son las iniciales “MS” para Monolítico Sencillo, “DC” de Doble Claro y “BE” para Bajo Emisivo (Tabla 35). A cada uno de ellos (RE_MS, RE_DC y RE_BE) se le ha incluido un detalle representativo extraído de la información técnica de Guardian SunGuard⁶⁷. La codificación se mantiene igual independientemente del número de parámetros considerados, utilizándose los términos binomio (U, FS) y trinomio (U, FS y TL) para diferenciar cuando se está refiriendo solamente a la transmitancia y factor solar, o a los anteriores más la transmisión luminosa, respectivamente. Criterio aplicado también al resto de grupo de simulaciones.

Tabla 35. Acristalamientos de experimentación reales. Valores parámetros U, FS y TL

Acristalamiento	Código	U (W/m ² K)	FS (adimensional)	TL (%)
Monolítico Sencillo 	RE_MS	5,7	0,85	91
Doble Claro 	RE_DC	2,8	0,72	79
Doble Bajo Emisivo 	RE_BE	1,6	0,41	69

En este primer grupo de simulaciones se realiza además una evaluación de los acristalamientos estableciendo cuál de los tres tiene mayor influencia en el periodo estival, invernal, iluminación artificial y anual, por configuración de recintos (CUS, MLA/MES) y orientación (N, S, E y O). La determinación de la influencia ha sido extraída de tablas de resultados resúmenes donde se han reflejado de izquierda a derecha la secuencia de orientaciones en la que se consigue mayor reducción de energía (kWh), para periodos de calefacción y refrigeración, o emisiones (kgCO₂), en el anual. La iluminación artificial ha sido referenciada a un menor incremento de energía (kWh) al ser el acristalamiento de referencia el más eficiente.

⁶⁷ Guardian SunGuard. Empresa de vidrios. Información Técnica.

<http://www.sunguardglass.es/ToolsandResources/TechnicalLibrary/TechnicalInformation/index.htm>. 12/06/18.

En las tablas de resultados se ha incluido también el porcentaje de ahorro que se consigue, resaltando en rojo aquellas orientaciones donde no se obtiene una mejora respecto al acristalamiento de referencia. A cada orientación se le ha asignado una tonalidad de color gris según punto cardinal norte, sur, este y oeste facilitando la diferenciación. Igualmente, a cada sistema o periodo de consumo se le ha designado un icono representativo extraído de la NTE, colocado en la esquina superior derecha de la tabla (Tabla 36).

Tabla 36. Identificación orientaciones fachadas (tonalidades de grises) y periodos (iconos)

Tonalidad de grises según orientación fachadas				Periodo consumo	Icono	Indicador
Norte	Sur	Este	Oeste			
				Calefacción		kWh
				Refrigeración		kWh
				Iluminación artificial		kWh
				Anual		kgCO ₂

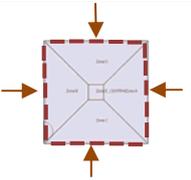
Se refleja también el efecto del aprovechamiento de la luz natural sobre los sistemas térmicos e iluminación artificial por orientación. El proceso consiste en considerar primero la transmitancia térmica y factor solar (binomio) para posteriormente incluir el parámetro transmisión luminosa, para misma tipología de acristalamiento. El efecto del aprovechamiento de la luz natural se realiza en la planta cuadrada simplificada y módulo lateral.

En las tablas de simulaciones de los apartados 7.2.1, 7.2.2 y 7.2.3 siguientes se representa el proceso llevado a cabo en la comparación de la superficie vidriada con la segunda (CUS) y tercera configuración (MLA/MES). Se comienza con el acristalamiento monolítico en todas las fachadas (código 00) para posteriormente ser sustituido por los de mejores prestaciones por orientación según el orden establecido (código 01- norte, 02 - sur, 03 - este y 04 - oeste).

7.2.1. Planta cuadrada simplificada (CUS)

Se refleja el criterio llevado a cabo en las simulaciones con el binomio y trinomio en la planta cuadrada simplificada (Tabla 37). Comprende un total de 54 (9 por zona climática).

Tabla 37. Planta cuadrada simplificada (CUS). Simulaciones.

Z.C.	2ª Configuración	Vidrios reales (RE)								
Ciudad	CUS	RE_MS	RE_DC				RE_BE			
		00	01	02	03	04	01	02	03	04
Barcelona Sevilla Málaga		Todas las orientaciones	N	S	E	O	N	S	E	O

7.2.2. Módulo lateral (MLA)

Se describe el criterio llevado a cabo en las simulaciones con el binomio y trinomio en el módulo lateral (Tabla 38). Comprende un total de 72 (12 por zona climática).

Tabla 38. Módulo lateral (MLA). Simulaciones

Z.C.	3ª Configuración	Vidrios reales (RE)								
Ciudad	MLA	RE_MS	RE_DC				RE_BE			
		00	01	02	03	04	01	02	03	04
Barcelona Sevilla Málaga		N	N	-	-	-	N	-	-	-
		S	-	S	-	-	-	S	-	-
		E	-	-	E	-	-	-	E	-
		O	-	-	-	O	-	-	-	O

7.2.3. Módulo de esquina (MES)

Se expone el criterio llevado a cabo en las simulaciones con el binomio y trinomio en los módulos de esquina (Tablas 39 y 40). Comprende un total de 120 entre ambas situaciones A y B (20 por zona climática).

Tabla 39. Módulo de esquina (MES) B. Simulaciones

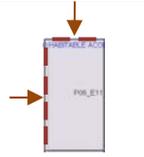
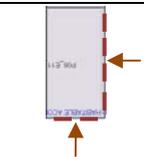
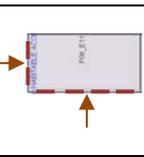
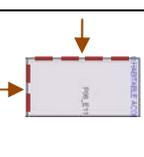
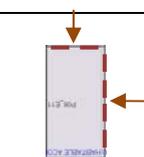
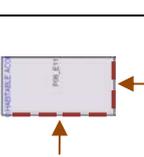
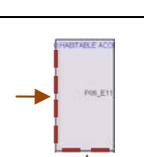
Z.C.	Configuración (3ª)	Vidrios reales (RE)								
Ciudad	MES (B)	RE_MS	RE_DC				RE_BE			
		00	01	02	03	04	01	02	03	04
Barcelona Sevilla Málaga		NO	N	-	-	O	N	-	-	O
		NE	N	-	E	-	N	-	E	-
		SE	-	S	E	-	-	S	E	-
		SO	-	S	-	O	-	S	-	O

Tabla 40. Módulo de esquina (MES) A. Simulaciones

Z.C.	Configuración (3ª)	Vidrios reales (RE)								
Ciudad	MES (A)	RE_MS	RE_DC				RE_BE			
		00	01	02	03	04	01	02	03	04
Barcelona Sevilla Málaga		NO	N	-	-	O	N	-	-	O
		NE	N	-	E	-	N	-	E	-
		SE	-	S	E	-	-	S	E	-
		SO	-	S	-	O	-	S	-	O

7.3. Selección de la combinación de los parámetros característicos por orientación

En este segundo grupo de simulaciones se establece la combinación de valores de los parámetros característicos que mejor se adapten a cada orientación, que posibilite un incremento de eficiencia energética (reducción de emisiones de dióxido de carbono), respecto al método general del apartado “7.2. Selección del acristalamiento según prestación”.

Para ello, se han tenido en cuenta los resultados de los tres acristalamientos reales anteriores (RE_MS, RE_DC y RE_BE) a los que se le han añadido otras simulaciones adicionales correspondientes a unidades de acristalamientos auxiliares ficticias. Estas unidades ficticias son creadas de la combinación de los valores de transmitancia térmica, factor solar y transmisión luminosa de los dos acristalamientos de mejores prestaciones (RE_DC y BE). Se descartan los valores del acristalamiento monolítico sencillo por tener un nivel de aislamiento y radiación lumínica fuera del abanico de configuraciones de acristalamientos dobles y triples de mercado. La influencia de la configuración, tratamiento y posición de la capa de los acristalamientos con cámara reducen considerablemente el nivel de transmitancia, factor solar y transmisión luminosa.

Los acristalamientos ficticios se han identificado siguiendo el mismo patrón que los reales, diferenciándose en el color, blanco, y codificación. Ésta, está formado por dos letras “FI”, de ficticio no existentes en el mercado, al que le sigue un guion bajo con dos letras y dos números que identifican el tipo de mejores prestaciones y combinación de parámetros, respectivamente. Éstos son los FI_DC 02, 06 y 08 para los que no tienen tratamiento y FI_BE 02, 06 y 08 para los de baja emisividad.

Se aplica una sistemática que permita, a su vez, la visualización del comportamiento del acristalamiento en los consumos de calefacción, refrigeración e iluminación, con el indicador energético (kWh), y comportamiento térmico de los recintos, mediante el indicador ambiental (kgCO₂). Para ello, a cada valor alto y bajo de los tres parámetros característicos se le ha asociado una flecha de dirección ascendente y descendente, respectivamente (Tabla 41). Para los sistemas térmicos indica hacia dónde tienden los parámetros con el fin de reducir el consumo de calefacción (color rojo) y refrigeración (color azul). En el lumínico se ha utilizado el color amarillo para flechas ascendentes y descendentes. En el periodo anual, muestra la necesidad de los recintos de retener (dirección U hacia abajo) o disipar (dirección U hacia arriba) el calor del interior. También la necesidad de disminuir (dirección FS hacia abajo) o aumentar (dirección FS hacia arriba) la ganancia solar, según carga térmica total imperante, una vez realizadas las simulaciones. Carga térmica que está condicionada por el efecto de la radiación solar entrante, ganancias internas, nivel de aislamiento de la parte opaca (superficie no vidriada de la envolvente) y la semitransparente del hueco.

Se reflejan las posibles combinaciones de direcciones que se pueden dar entre la transmitancia térmica y factor solar, el efecto en la pérdida y ganancia energética, así como el efecto del aprovechamiento de la luz natural en el cambio de dirección de los parámetros.

El comportamiento de los parámetros en la reducción del consumo de los equipos térmicos y lumínicos, y de las emisiones en el periodo anual, así como el comportamiento de los recintos de la planta del edificio modelo, se obtiene con el valor alto o bajo del acristalamiento con el que se consigue mayor reducción de energía o emisiones de dióxido de carbono, respectivamente. Esta dirección de los parámetros es utilizada, posteriormente en el periodo anual, para establecer el orden con los que considerar la transmitancia, el factor solar y la transmisión luminosa para elegir el acristalamiento de mercado.

Tabla 41. Acristalamientos de experimentación ficticios. Valores de los parámetros: U, FS y TL y simbología

Tipo acristalamiento	Código	Transmitancia térmica		Factor solar		Transmisión luminosa	
		U (W/m ² K)	Simbología	FS (Adimensional)	Simbología	TL (%)	Simbología
Doble Claro ficticio	FI_DC02	2,8	↑	0,72	↑	69	↓
	FI_DC06	2,8		0,41	↓	79	↑
	FI_DC08	2,8		0,41		69	↓
Bajo Emisivo ficticio	FI_BE02	1,6	↓	0,41	↓	79	↑
	FI_BE06	1,6		0,72		79	
	FI_BE08	1,6		0,72	↑	69	↓

El proceso que se ha llevado a cabo en la realización de las simulaciones ha sido el mismo de los vidrios reales, con la diferencia de que el número de acristalamiento por orientación varía con el aprovechamiento de la iluminación natural. Dos (FI_DC06 y FI_BE06) y seis (FI_DC02, 06, 08 y FI_BE02, 06, 08) según binomio y trinomio, respectivamente. Ello ha generado un número adicional de 24 simulaciones para la planta cuadrada simplificada, 72 para el módulo lateral; y 48 y 144 para cada módulo de esquina A y B.

7.3.1. Acristalamiento ideal por orientación

Una vez realizado el segundo grupo de simulaciones con los acristalamientos de experimentación, reales y ficticios (binomio y trinomio), se reflejan los más eficientes por orientación para el periodo anual. Se diferencian por zonas climáticas (C2, B4 y A3) y configuración de recintos (simplificada y por módulos). Se resaltan los espacios que disipan calor a través del acristalamiento (fondo azul claro), el efecto del aprovechamiento de la luz natural sobre la reducción de las emisiones de dióxido de carbono, así como la variedad de acristalamientos que se pueden dar en misma o distintas fachadas.

7.4. Validación con el acristalamiento de experimentación

En este tercer grupo de simulaciones se valida conseguir un incremento de eficiencia energética (kgCO₂) con el acristalamiento de experimentación más eficiente de cada orientación, reflejado de ahora y en adelante para el trinomio. Los acristalamientos han sido aplicados en las plantas cuadrada y rectangular prototipo (situaciones N-S y E-O). En tablas se han reflejado las emisiones (kgCO₂), así como la energía final (kWh) y porcentaje de reducción, destacando la

zona climática donde es mayor. En otra tabla se muestra la diferencia de emisiones entre plantas simplificada y por módulos.

A diferencia del primer y segundo grupo de simulaciones anteriores, el proceso llevado a cabo en la comparación de la superficie vidriada ha sido sustituyendo primero el acristalamiento monolítico sencillo (código 00) por el que se obtuvo mejor resultado en el apartado “7.2. Selección del acristalamiento según prestación”. Posteriormente son nuevamente sustituidos por los más eficientes de cada orientación de ambas configuraciones de recintos, obtenidos en el apartado “7.3. Selección combinación de los parámetros característicos por orientación” (Tabla 42). Comprende un total de 48 simulaciones (16 por zona climática).

Tabla 42. Planta rectangular y cuadrada prototipo (REP y CUP). Simulaciones

Z.C.	Configuración y situación		Vidrios reales e ideales			
Ciudad	Planta prototipo		RE_MS	RE_BE	Ideales con CUS	Ideales con MLA y MES
			00	00	00	00
Barcelona Sevilla Málaga	Cuadrado prototipo	NS	Todas las orientaciones	Todas las orientaciones	Ideal en cada orientación.	Ideal en cada orientación por recinto
		EO				
	Rectangular prototipo	NS				
		EO				

7.5. Acristalamientos de mercado

Una vez validado conseguir una mayor reducción de emisiones de dióxido de carbono con la combinación de parámetros que mejor se adaptan por orientación, se propone idéntico objetivo con los acristalamientos de mercado.

Para ello, se estable primero el conjunto de acristalamientos objeto de consideración de los que se obtenga información sobre la configuración (sustrato, grosor, tipo de gas y espesor de cámara), tratamiento y posición de capa. También los valores de transmitancia térmica, factor solar, transmisión luminosa (U, FS y TL) y nivel acústico (R_w) así como precio (€/m²), incluyendo tipologías propias de muros cortinas o fachadas completamente vidriadas. Los acristalamientos han sido acotados a sustratos de tonalidades incoloras o de aspecto neutro que aseguren una homogeneidad en la misma y entre diferentes fachadas.

Para ello, se ha apoyado por un lado en el banco de datos multifabricantes ACAE PRESTO⁶⁸ del cual se ha obtenido la configuración, valor acústico y precio, para posteriormente determinar los valores de los tres parámetros característicos con la herramienta de cálculo de prestaciones térmicas y espectrofotométricas CALUMEN⁶⁹. Todas las configuraciones que aparecen en el banco corresponden a acristalamientos dobles con cámara rellena de aire deshidratado, ampliándose a otros gases nobles como el argón 90% y kriptón 95%, este último menos frecuente.

Los acristalamientos se han clasificado por grupos siguiendo el criterio del banco de datos basado en la configuración y posición del tratamiento de la capa. Éstos son: los básicos, baja emisividad, control solar y combinación de este último con el bajo emisivo a los que se le han asignado igualmente un color y código para su identificación. Los dos primeros corresponden a los ya definidos anteriormente en el apartado “7.2. Selección del acristalamiento según prestación” como doble claro (RE_DC) y baja emisividad (RE_BE), a los que se le han añadido dos números arábigos continuando el orden numérico correspondiente (01, 02, 03, etc.). Las otras dos tipologías nuevas han sido codificadas como “RE_CS” y “RE_BC”, respectivamente. Se considera un total de 148 acristalamientos (46 sin tratamiento, 34 bajo emisivos, 4 control solar y 34 bajo emisivo-control solar).

Con la herramienta CALUMEN se realiza un estudio del efecto de la configuración, tratamiento y posición de capa sobre los valores de los tres parámetros característicos, estableciendo qué condiciona y en qué medida determina cada uno de ellos. Se parte del acristalamiento simple sencillo de 3 mm de espesor, el de menor grosor, con $U = 5,8$ W/m²K, FS = 0,89 y TL = 91 %. Valores que van ir disminuyendo a medida que se van utilizando configuraciones más complejas,

⁶⁸ ACAE PRESTO, Base de datos multifabricante. <http://www.acae.es/#>. 29/04/17.

⁶⁹ Saint-Gobain Building Glass. Empresa producción de vidrios. Herramienta de cálculo espectro-fotométricas y térmicas de los acristalamientos Calumen II. <http://es.saint-gobain-glass.com/commfunction/3159/1578/herramientas-calumen>. (Versión 1.3.6.) 17/12/16.

y/o inclusión y posición de tratamiento de capa, en la búsqueda de acristalamientos más eficientes térmicamente.

7.6. Disposición de los parámetros característicos en la selección del acristalamiento de mercado

En este cuarto grupo de simulaciones se analizan tres procedimientos de selección del acristalamiento de mercado para conocer la disposición (orden) de los tres parámetros. La selección está compuesta por: la dirección, que fue establecida en el apartado “7.3. Selección combinación de los parámetros característicos por orientación”, que es común para los tres procedimientos, y el orden (disposición), representado con los números 1, 2 y 3, a definir en este apartado. Al conjunto dirección y orden de los parámetros se le denomina secuencia. Las simulaciones se han acotado a los recintos que mantienen la distribución real de la planta representativa del edificio, módulo lateral (MLA) y de esquina (MES).

La idoneidad de cada procedimiento consiste, para el recinto y orientación de estudio, en la selección del acristalamiento de mercado identificando primero los acristalamientos que tienen el parámetro de mayor incidencia (número) asociado a su tendencia (flecha). De entre los restantes, acotar a aquellos que contienen el segundo parámetro de mayor incidencia unido igualmente a su tendencia, para finalmente elegir el que cumpla la tendencia del último parámetro. Un criterio que difiere ligeramente en el tercer procedimiento “orden binomio y transmisión luminosa” por ser la transmitancia térmica y factor solar elegidos conjuntamente. Una circunstancia que ha llevado a caracterizar la dirección de los parámetros de los acristalamientos de mercado objeto de consideración.

Se propone el procedimiento (Fig. 42) con el que se consiga una reducción de emisiones en el mayor número de orientaciones respecto al mejor acristalamiento obtenido en el apartado “7.2. Selección del acristalamiento según prestación”, validado finalmente en las plantas prototipos.

Se comienza con el procedimiento denominado “orden de incidencia”. En éste, el criterio para establecer la disposición de los parámetros se establece con los tres primeros acristalamientos con los que se consigue mayor reducción de emisiones de CO₂. El parámetro que mantiene la misma dirección en los tres acristalamientos se considerará el primero (1). El parámetro que mantiene la misma dirección solo en los dos primeros acristalamientos es el segundo (2), siendo tercero (3) el parámetro que no cumple las dos reglas anteriores. Tiene una disposición en “forma triangular” al no presentar siempre una misma correlación o jerarquía, pudiéndose darse cualquiera de las tres.

Para establecer el segundo procedimiento se realiza un análisis del efecto del aprovechamiento de la luz natural sobre el consumo de calefacción y refrigeración, cambio de dirección de los parámetros transmitancia térmica y factor solar, y reducción/aumento de las emisiones de dióxido de carbono de los resultados de las simulaciones de los apartados “7.2. Selección del acristalamiento según prestación” y “7.3 Selección combinación de los parámetros característicos por orientación”.

En este segundo procedimiento llamado “orden secuencial”, la disposición se basa en la influencia e inter-vinculación entre los tres parámetros. Una disposición “en forma lineal” al presentar siempre una misma correlación. Consiste en elegir primero el parámetro transmisión luminosa (1), seguido del factor solar (2), para terminar con la transmitancia térmica (3).

Para plantear el tercer procedimiento se analiza los resultados obtenidos con el “orden de incidencia y secuencial”. El primer procedimiento, en el efecto de valores de transmisión luminosa alto y bajo, mientras que el segundo en el nexa con la transmitancia y factor solar. Se propone el denominado “binomio y transmisión luminosa”, basado primero en la interrelación recíproca de los parámetros transmitancia y factor solar, y posterior transmisión luminosa. Una disposición “en T” por dar prioridad al conjunto transmitancia/factor solar (binomio) (1), sin jerarquía entre ellos, para finalizar con la transmisión luminosa (2) mayor.

Esta disposición de parámetros del procedimiento “binomio y transmisión luminosa”, a diferencia de los otros dos, se realiza considerando la dirección del binomio simultáneamente. Es por ello que se definen la de los cuatro grupos de mercado objetos de consideración, referenciados a los valores de los acristalamientos de mejores prestaciones reales iniciales: doble claro (RE_DC - $U= 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$; FS= 0,72; TL= 79%) y de baja emisividad (RE_BE - $U= 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$; FS= 0,41; TL= 69%).

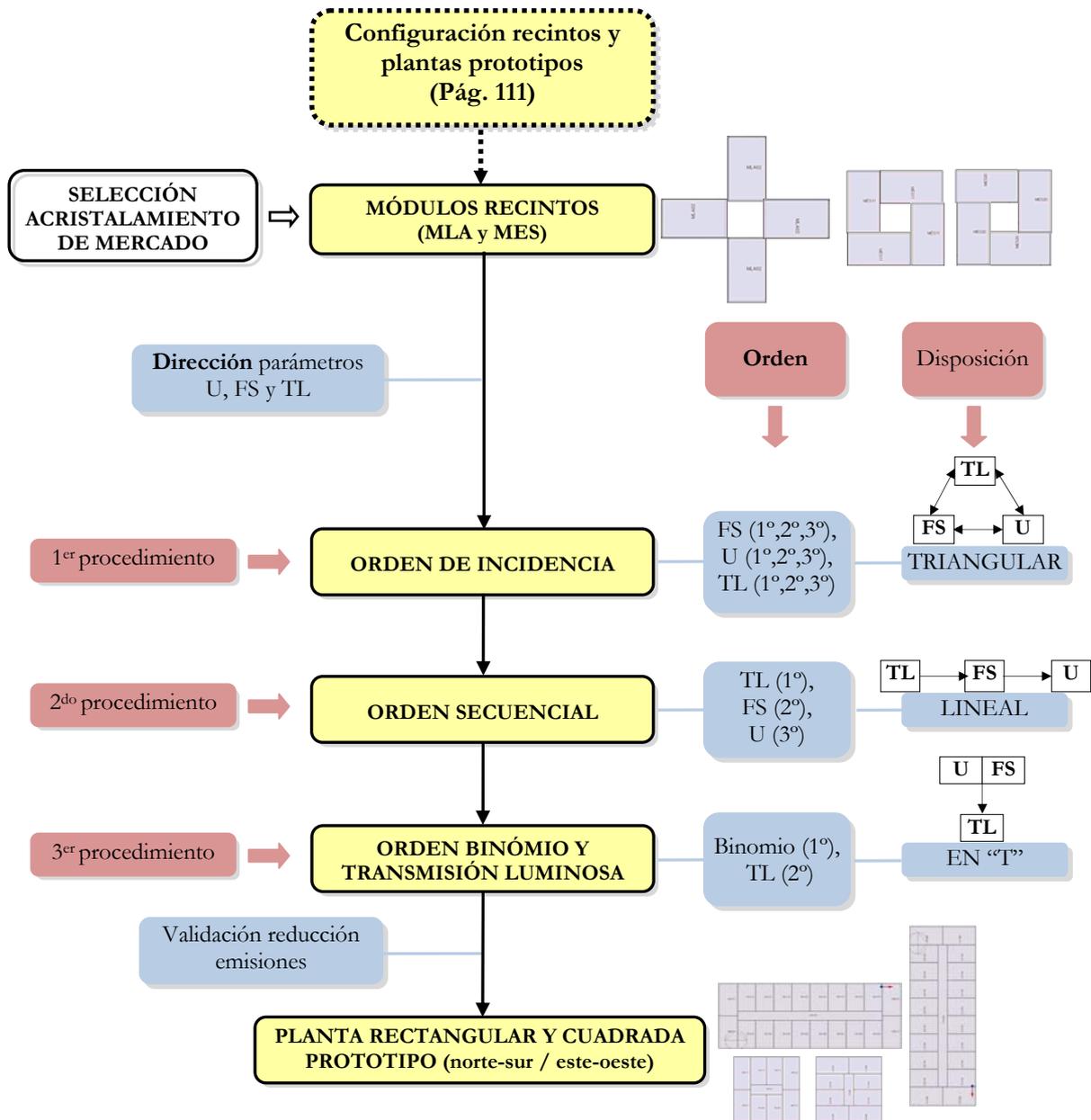


Figura 42. Diagrama procedimientos selección del acristalamientos de mercado

7.7. Validación con el acristalamiento de mercado

En este quinto grupo de simulaciones se valida conseguir un incremento de eficiencia energética (kgCO₂) con los acristalamientos de mercado seleccionados con el procedimiento “binomio y transmisión luminosa”. Procedimiento que compone una de las fases de la propuesta de la metodología. Los acristalamientos son aplicados en las plantas cuadrada y rectangular prototipo (situaciones N-S y E-O), reflejando en tablas, las emisiones (kgCO₂), energía final (kWh) y porcentaje de reducción.

7.8. Influencia de la protección frente al ruido

Una vez conseguido un incremento de eficiencia energética con los acristalamientos de mercado, se analiza la influencia de la característica “protección frente al ruido aéreo por tráfico rodado” en el cumplimiento de los acristalamientos objetos de consideración. Para ello, se coteja el valor medio $R_{A,tr}$ de 40 dBA, establecido en el edificio modelo, con el de los cuatro grupos de acristalamiento de mercado, reflejando la cantidad real sobre los que realmente se podría elegir.

7.9. Propuesta de metodología en la selección del acristalamiento

Una vez analizado la configuración de recintos, la dirección y orden de los parámetros característicos, así como la influencia de la característica “protección frente al ruido aéreo por tráfico rodado”, se describen los pasos a seguir en la propuesta de metodología para la selección del acristalamiento.

A continuación, se refleja de forma esquemática, todo el proceso descrito desde la situación inicial de la planta del edificio modelo y configuración de espacios hasta la propuesta de metodología para la selección del acristalamiento (Fig. 43).

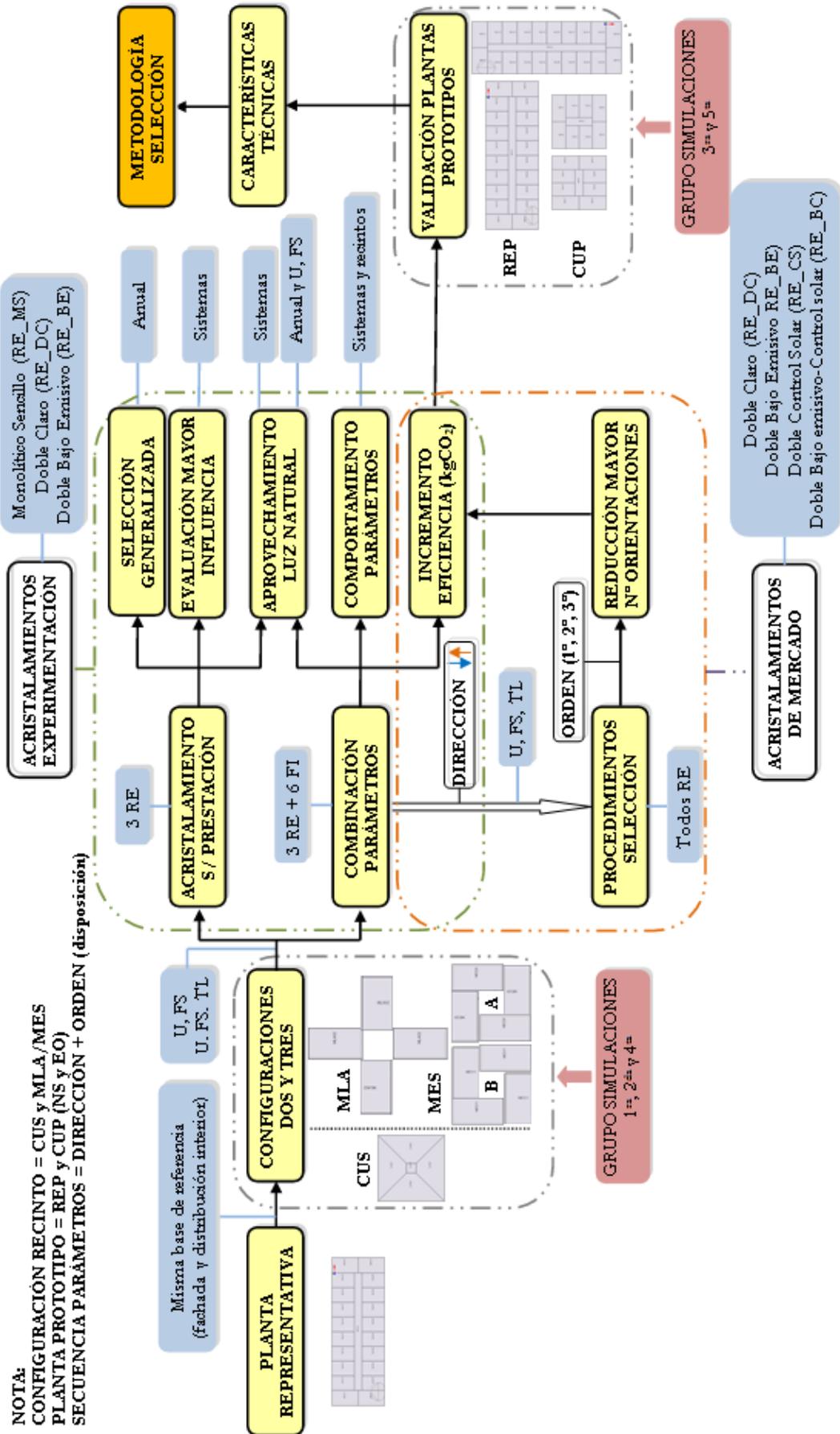


Figura 43. Diagrama proceso de selección de acristalamientos de experimentación y de mercado en configuración simplificada y módulo, y validación en plantas prototipos

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Planteamiento inicial

Se muestra el resultado de las dos simulaciones realizadas con la primera configuración. Corresponden a la planta cuadrada prototipo (CUP), alineación norte-sur y este-oeste, en Sevilla para un periodo anual, con los valores de transmitancia térmica y factor solar del acristalamiento monolítico sencillo en todas las orientaciones (Tabla 43). Se obtiene una cantidad de emisiones distinta en ambas situaciones (22.482,11 y 22.652,21 kgCO₂) descartándose esta configuración al impedir la comparación entre fachadas. Tienen una base de referencia diferente de 170,10 kgCO₂ debido a la distribución de los recintos por orientación.

Tabla 43. Primera configuración. Emisiones CO₂ con monolítico sencillo (binomio) en Sevilla.

Situación planta cuadrada prototipo		Emisiones (kgCO ₂)
	norte-sur	22.482,11
	este-oeste	22.652,21

8.2. Selección del acristalamiento según prestación

Se muestran los resultados del primer grupo de simulaciones realizadas con los acristalamientos según prestación (binomio y trinomio) en la segunda y tercera configuración de recintos (Tablas 44 a 65). En anexo 12.3 se encuentran las tablas con los resultados de las simulaciones. Como era de esperar, para un periodo anual (kgCO₂) sin y con aprovechamiento de la luz natural, se obtiene una mayor reducción de emisiones con el bajo emisivo, acristalamiento a elegir en la sustitución del monolítico sencillo en todas las orientaciones. Resultado atribuido en principio a tener menor valor de transmitancia térmica (U).

Huang et al. (2014), obtienen una mayor reducción con misma tipología de acristalamiento frente a otro sin tratamiento en edificio de oficina de forma cuadrada y clima con predominio de refrigeración (latitudes entre 1° 18' y 29° 45' N). Manz y Menti (2012), consiguen ganancia energética con un triple bajo emisivo con gas kriptón en cámaras ($U = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K} - FS = 0,47$) en las ocho ciudades europeas consideradas (latitudes entre 40° 45' y 59° 35' N).

Si se comparan los dos acristalamientos de mejores prestaciones respecto a los sistemas de producción de calor y frío, con el doble claro (RE_DC), caracterizado por tener un valor de transmitancia térmica mayor ($2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$), se obtiene menor consumo de calefacción. En cambio, en refrigeración se consigue con el bajo emisivo (RE_BE). El acristalamiento más aislante

térmicamente ($1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$) se comporta peor en invierno resultado que contradice con el concepto que se tiene de esta tipología, pues su baja transmitancia es asociada a un mayor efecto en el periodo invernal.

Si al análisis de los acristalamientos anteriores le incluimos el monolítico sencillo (RE_MS), se aprecia como éste, conocido por su muy mala capacidad aislante ($5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$), es el más eficiente en calefacción en algunas orientaciones al sur (Ej. configuración CUS en Sevilla), siendo además mejor que el bajo emisivo en otras orientaciones de fachadas (E, O). Para un periodo de refrigeración sucede igual en casos muy concretos de diferencias muy pequeñas [Ej. MES (B) norte (2) en Málaga].

En cuanto a la iluminación artificial controlada por la natural, el acristalamiento monolítico sencillo es siempre el más eficiente al tener el valor de transmisión luminosa más elevado (consideración de distintos valores de transmisión luminosa), aunque la diferencia entre ellos es muy pequeña, menos del 1%. En cambio, en el aprovechamiento de la luz natural y para un mismo tipo de acristalamiento (paso de binomio a incluir la transmisión luminosa) se reduce la iluminación artificial entorno al 43% en la planta simplificada y 40% en módulo lateral (Fig. 47 y 52). Se aprecia también el efecto de la reducción de la carga térmica durante el tiempo que disminuyen las lámparas de intensidad y permanecen apagadas, incrementando el consumo de calefacción y reduciendo la refrigeración (Fig. 46 y 51).

Bodart y De Herde (2002) afirman poder conseguirse ahorros entre el 50 y 80 % en módulos de oficinas a una orientación con un WWR del 90 % y TL del 61 % sin considerar elementos de sombra interiores ni exteriores en Uccle, Bélgica (latitud $50^{\circ} 47' \text{ N}$).

8.2.1. Planta cuadrada simplificada (CUS)

Tabla 44. Planta cuadrada simplificada. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo calefacción (kWh)

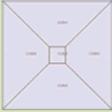
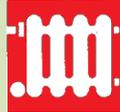
Ciudad	Parámetro	Orden vidrio mayor reducción			Orden orientación mayor reducción CUS - Periodo calefacción						
			kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	
Barcelona	U/FS	1 RE_DC	N 21.842	2,33	O 21.992	1,66	E 22.033	1,47	S 22.286	0,34	
		2 RE_BE	N 21.968	1,76	O 22.470	-0,47	E 22.541	-0,79	S 23.500	-5,08	
	U/FS/TL	1 RE_DC	N 24.262	2,13	O 24.427	1,47	E 24.470	1,29	S 24.737	0,22	
		2 RE_BE	N 24.407	1,55	O 24.965	-0,70	E 25.042	-1,01	S 26.061	-5,12	
Sevilla	U/FS	1 RE_DC	N 11.960	2,55	O 12.108	1,34	E 12.129	1,17	S 12.300	-0,22	
		2 RE_BE	N 12.078	1,58	O 12.534	-2,13	E 12.584	-2,54	S 13.259	-8,03	
	U/FS/TL	1 RE_DC	N 13.648	2,26	O 13.808	1,11	E 13.832	0,94	S 14.021	-0,41	
		2 RE_BE	N 13.784	1,29	O 14.291	-2,33	E 14.345	-2,72	S 15.111	-8,21	
Málaga	U/FS	1 RE_DC	N 9.932	4,02	O 10.073	2,66	E 10.111	2,29	S 10.293	0,53	
		2 RE_BE	N 10.027	3,10	O 10.485	-1,32	E 10.566	-2,10	S 11.100	-7,26	
	U/FS/TL	1 RE_DC	N 11.579	3,59	O 11.732	2,32	E 11.781	1,91	S 11.974	0,30	
		2 RE_BE	N 11.703	2,56	O 12.218	-1,72	E 12.329	-2,64	S 12.917	-7,53	



Figura 44. Planta cuadrada simplificada. Acristalamientos según prestación. Periodo de calefacción (kWh)

Tabla 45. Planta cuadrada simplificada. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo refrigeración (kWh)

Ciudad	Parámetro	Orden vidrio mayor reducción			Orden orientación mayor reducción CUS - Periodo refrigeración						
			kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	
Barcelona	U/FS	2	RE_DC	S 7.909	2,66	E 7.914	2,59	O 7.938	2,30	N 8.063	0,76
		1	RE_BE	E 7.246	10,82	S 7.309	10,05	O 7.313	10,00	N 7.771	4,36
	U/FS/TL	2	RE_DC	S 6.600	3,21	E 6.605	3,15	O 6.627	2,81	N 6.748	1,04
		1	RE_BE	E 5.969	12,47	O 6.032	11,54	S 6.035	11,49	N 6.472	5,10
Sevilla	U/FS	2	RE_DC	S 14.502	3,08	E 14.540	2,82	O 14.574	2,60	N 14.795	1,12
		1	RE_BE	E 13.506	9,74	S 13.521	9,64	O 13.604	9,08	N 14.374	3,94
	U/FS/TL	2	RE_DC	S 12.770	3,45	E 12.803	3,21	O 12.836	2,96	N 13.050	1,34
		1	RE_BE	E 11.809	10,72	S 11.853	10,39	O 11.903	10,01	N 12.646	4,40
Málaga	U/FS	2	RE_DC	S 11.177	2,69	E 11.241	2,14	O 11.243	2,12	N 11.438	0,43
		1	RE_BE	O 10.256	10,71	E 10.264	10,64	S 10.282	10,49	N 11.102	3,35
	U/FS/TL	2	RE_DC	S 9.529	3,08	E 9.578	2,58	O 9.582	2,54	N 9.771	0,63
		1	RE_BE	E 8.652	12,01	O 8.652	12,00	S 8.728	11,23	N 9.447	3,91



Figura 45. Planta cuadrada simplificada. Acristalamientos según prestación. Periodo de refrigeración (kWh)

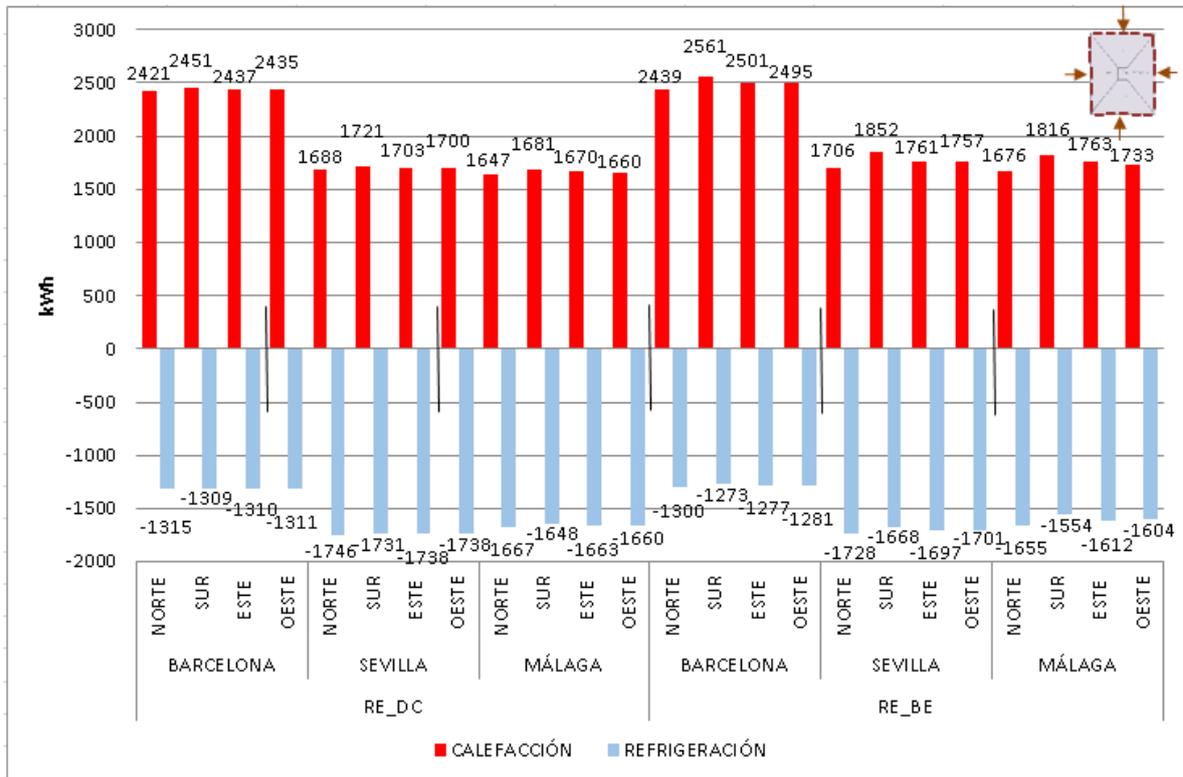


Figura 46. Planta cuadrada simplificada. Incremento del consumo de calefacción y reducción de la refrigeración en el aprovechamiento de la luz natural

Tabla 46. Planta cuadrada simplificada. Secuencia orientaciones y porcentaje menor incremento con acristalamientos según prestación. Periodo iluminación artificial (kWh)

Ciudad	Orden vidrio mayor reducción	Orden orientación menor incremento CUS - Periodo iluminación											
		kWh		%		kWh		%					
Barcelona	2 RE_DC	S	8.268	-0,17	O	8.273	-0,22	E	8.275	-0,24	N	8.277	-0,27
	3 RE_BE	S	8.285	-0,36	O	8.294	-0,48	E	8.300	-0,55	N	8.306	-0,62
Sevilla	2 RE_DC	S	8.067	-0,14	E	8.071	-0,19	N	8.073	-0,22	O	8.075	-0,24
	3 RE_BE	S	8.081	-0,31	E	8.090	-0,42	O	8.096	-0,49	N	8.096	-0,50
Málaga	2 RE_DC	E	8.099	-0,15	S	8.101	-0,17	N	8.112	-0,31	O	8.114	-0,33
	3 RE_BE	E	8.114	-0,33	S	8.121	-0,42	N	8.145	-0,71	O	8.150	-0,78

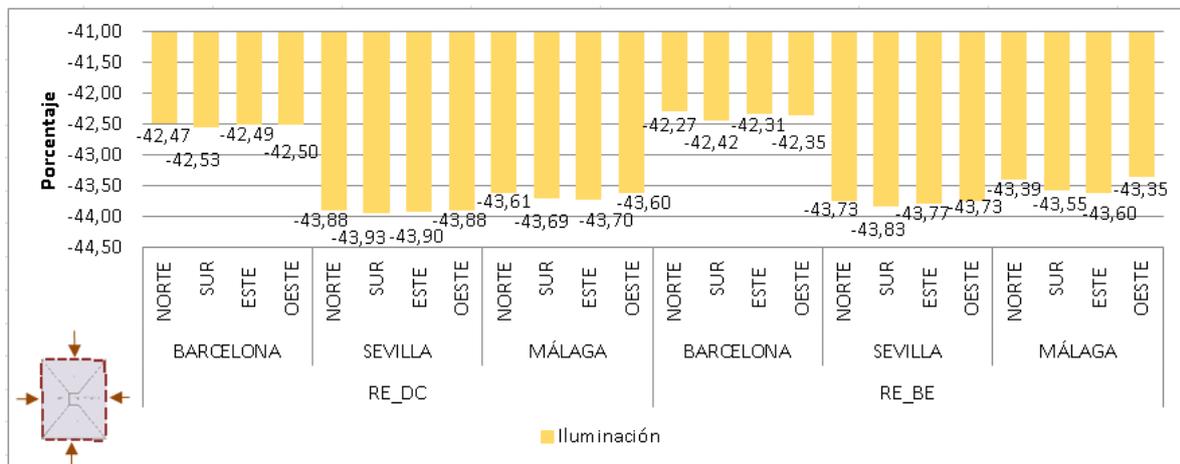


Figura 47. Planta cuadrada simplificada. Reducción de la iluminación artificial por aprovechamiento de la natural con acristalamientos según prestación

Tabla 47. Planta cuadrada simplificada. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo anual (kgCO₂)

Ciudad	Parámetro	Orden vidrio mayor reducción	Orden orientación mayor reducción CUS - Periodo anual							
			E		O		S		N	
			kgCO ₂	%	kgCO ₂	%	kgCO ₂	%	kgCO ₂	%
Barcelona	U/FS	2 RE_DC	20.932	0,89	20.939	0,86	20.976	0,69	20.986	0,64
		1 RE_BE	20.622	2,36	20.649	2,23	20.833	1,36	20.840	1,33
	U/FS/TL	2 RE_DC	16.891	1,04	16.896	1,01	16.935	0,78	16.941	0,75
		1 RE_BE	16.628	2,58	16.649	2,46	16.818	1,47	16.851	1,28
Sevilla	U/FS	2 RE_DC	23.090	1,21	23.098	1,17	23.106	1,14	23.212	0,68
		1 RE_BE	22.548	3,52	22.598	3,31	22.684	2,94	22.979	1,68
	U/FS/TL	2 RE_DC	18.528	1,45	18.542	1,38	18.546	1,35	18.645	0,83
		1 RE_BE	18.034	4,08	18.084	3,81	18.199	3,20	18.440	1,92
Málaga	U/FS	2 RE_DC	20.706	0,95	20.707	0,94	20.712	0,92	20.797	0,51
		1 RE_BE	20.185	3,44	20.205	3,35	20.316	2,81	20.612	1,40
	U/FS/TL	2 RE_DC	16.207	1,15	16.209	1,14	16.215	1,11	16.294	0,63
		1 RE_BE	15.757	3,90	15.758	3,89	15.918	2,92	16.140	1,56



Figura 48. Planta cuadrada simplificada. Acristalamientos según prestación. Periodo anual (kgCO₂)

8.2.2. Módulo lateral (MLA)

Tabla 48. Módulo lateral. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo calefacción (kWh)

Ciudad	Parámetro	Orden vidrio mayor reducción			Orden orientación mayor reducción MLA - Periodo calefacción						
			kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	
Barcelona	U/FS	1 RE_DC	N 3.084	4,54	O 2.760	3,23	E 2.732	2,88	S 2.108	-0,54	
		2 RE_BE	N 3.137	2,91	O 2.931	-2,76	E 2.914	-3,59	S 2.518	-20,09	
	U/FS/TL	1 RE_DC	N 3.371	4,47	O 3.046	3,02	E 3.013	2,65	S 2.395	-0,69	
		2 RE_BE	N 3.411	3,34	O 3.224	-2,63	E 3.199	-3,35	S 2.826	-18,81	
Sevilla	U/FS	1 RE_DC	N 1.978	4,05	O 1.660	1,77	E 1.634	1,56	S 1.026	-4,09	
		2 RE_BE	N 2.032	1,44	O 1.822	-7,80	E 1.802	-8,55	S 1.381	-40,11	
	U/FS/TL	1 RE_DC	N 2.209	4,00	O 1.875	1,55	E 1.846	1,37	S 1.214	-4,30	
		2 RE_BE	N 2.252	2,11	O 2.047	-7,48	E 2.025	-8,17	S 1.608	-38,12	
Málaga	U/FS	1 RE_DC	N 1.684	6,55	O 1.333	4,48	E 1.293	3,98	S 826	-1,43	
		2 RE_BE	N 1.739	3,52	O 1.509	-8,16	E 1.481	-9,97	S 1.143	-40,37	
	U/FS/TL	1 RE_DC	N 1.925	6,32	O 1.537	4,02	E 1.517	3,22	S 1.008	-2,14	
		2 RE_BE	N 1.975	3,90	O 1.733	-8,16	E 1.735	-10,70	S 1.377	-39,54	

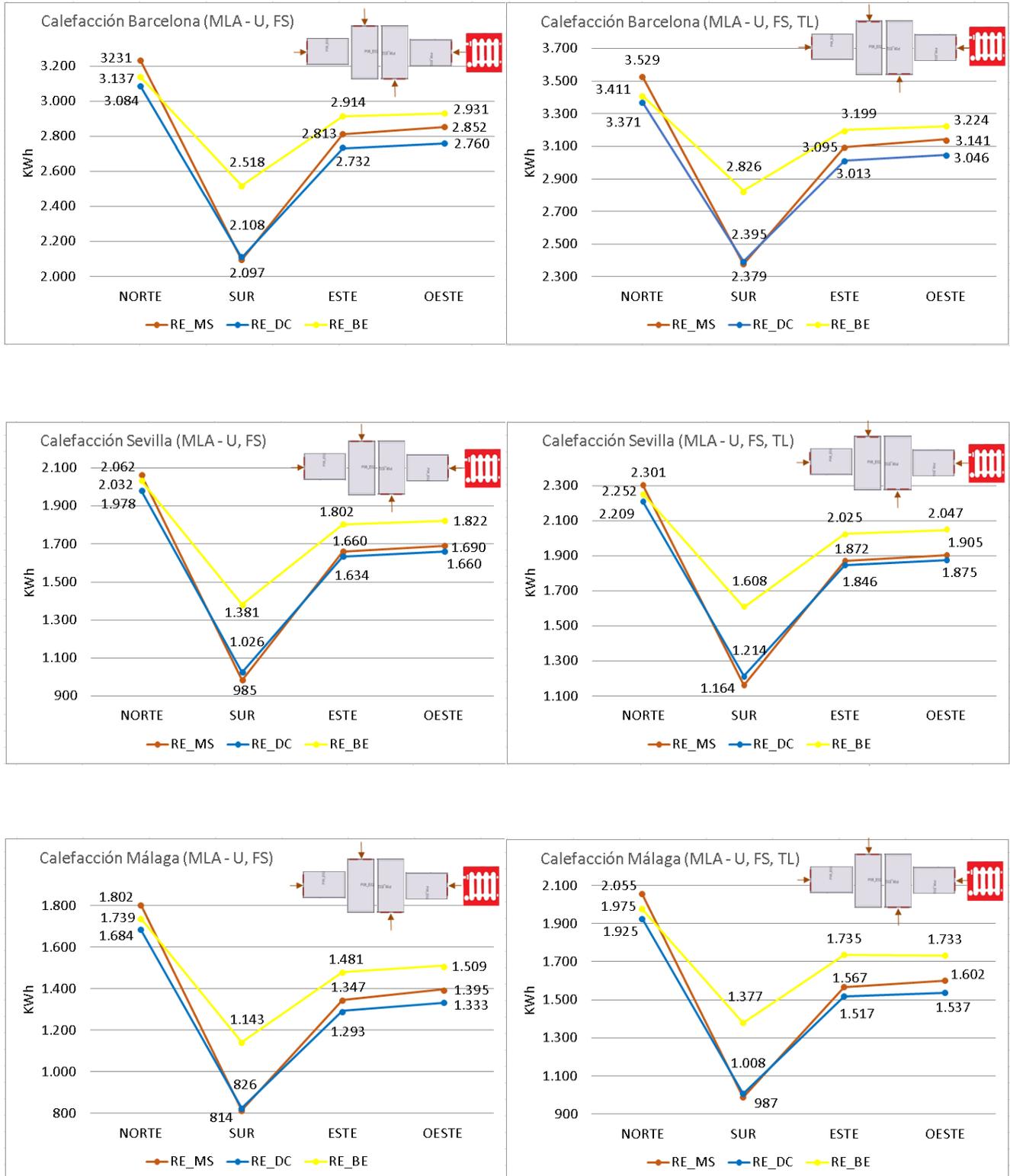
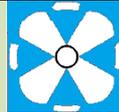


Figura 49. Módulo lateral. Acristalamientos según prestación. Periodo de calefacción (kWh)

Tabla 49. Módulo lateral. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo refrigeración (kWh)

Ciudad	Parámetro	Orden vidrio mayor reducción		Orden orientación mayor reducción MLA -Periodo refrigeración											
															
				kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%				
Barcelona	U/FS	2	RE_DC	S	608	10,18	E	688	9,22	O	662	8,76	N	453	5,47
		1	RE_BE	S	453	33,08	E	508	32,97	O	492	32,15	N	377	21,33
	U/FS/TL	2	RE_DC	S	474	12,31	E	554	10,94	O	525	10,65	N	333	7,28
		1	RE_BE	S	333	38,48	E	387	37,81	O	369	37,17	N	266	26,05
Sevilla	U/FS	2	RE_DC	S	1.158	10,44	E	1.274	9,36	O	1.235	9,02	N	898	6,06
		1	RE_BE	S	917	29,10	E	1.001	28,79	O	975	28,15	N	788	17,52
	U/FS/TL	2	RE_DC	S	977	11,65	E	1.096	10,44	O	1.063	10,11	N	749	7,09
		1	RE_BE	S	757	31,48	E	843	31,12	O	822	30,47	N	650	19,38
Málaga	U/FS	2	RE_DC	S	832	10,09	E	998	8,12	O	1.002	8,06	N	627	4,47
		1	RE_BE	S	624	32,60	O	742	31,88	E	741	31,78	N	536	18,31
	U/FS/TL	2	RE_DC	S	662	11,49	E	831	9,57	O	849	8,77	N	491	5,22
		1	RE_BE	E	588	35,99	S	482	35,58	O	608	34,65	N	413	20,37

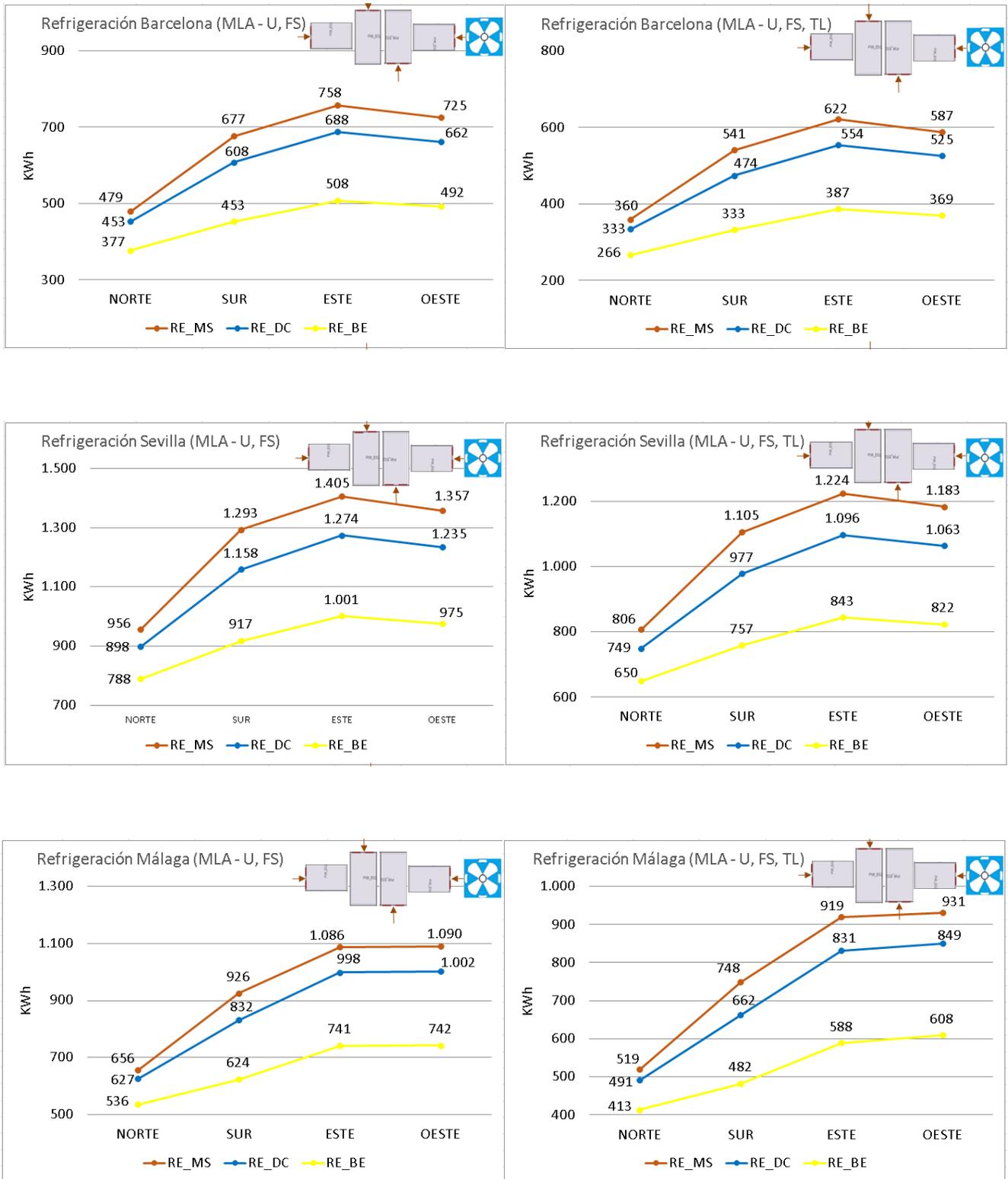


Figura 50. Módulo lateral. Acristalamientos según prestación. Periodo de refrigeración (kWh)

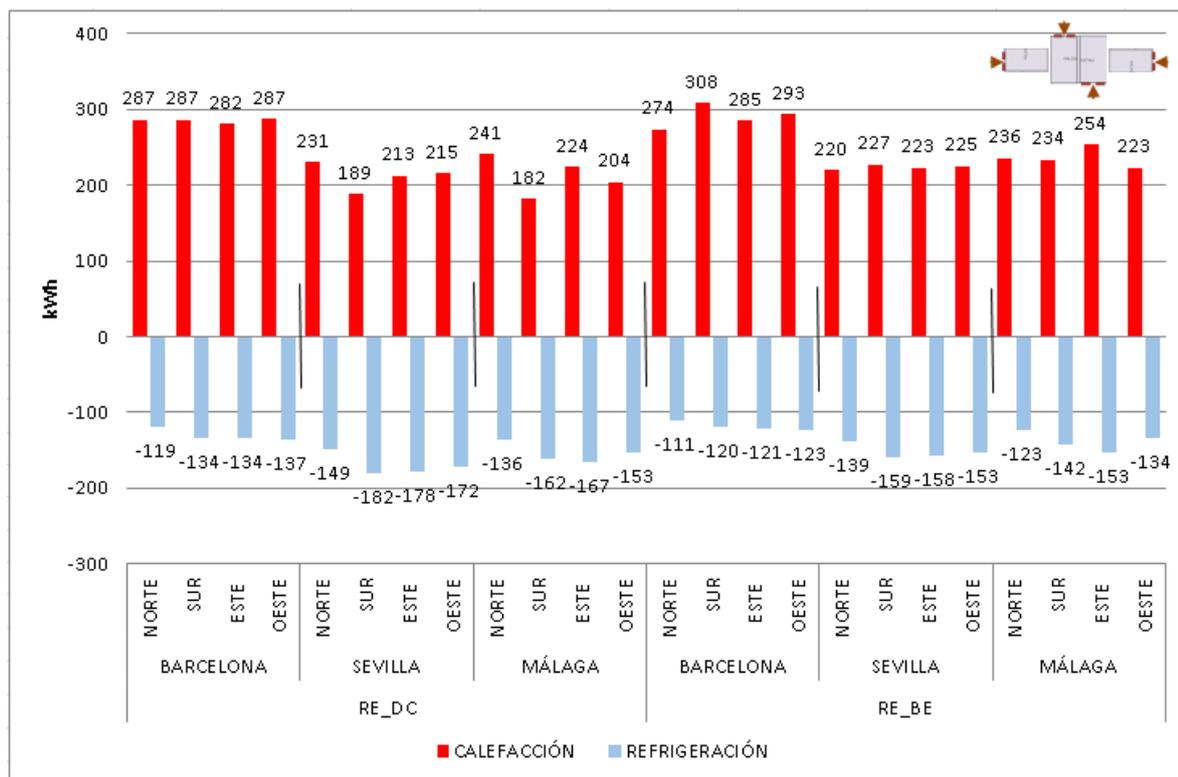


Figura 51. Módulo lateral. Incremento del consumo de calefacción y reducción de la refrigeración en el aprovechamiento de la luz natural

Tabla 50. Módulo lateral. Secuencia orientaciones y porcentaje menor incremento con acristalamientos según prestación. Periodo iluminación artificial (kWh)

Ciudad	Orden vidrio mayor reducción		Orden orientación menor incremento							
			kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%
Barcelona	2	RE_DC	S 893	-1,09	O 904	-1,53	E 917	-1,66	N 926	-2,20
		RE_BE	S 904	-2,32	O 922	-3,55	E 938	-4,04	N 957	-5,58
Sevilla	2	RE_DC	S 869	-0,98	O 885	-1,37	E 883	-1,52	N 897	-1,98
		RE_BE	S 879	-2,19	O 903	-3,50	E 903	-3,78	N 928	-5,47
Málaga	2	RE_DC	E 872	-1,02	S 878	-1,36	O 924	-2,85	N 930	-3,08
		RE_BE	E 883	-2,30	S 893	-3,07	O 952	-5,97	N 970	-7,54

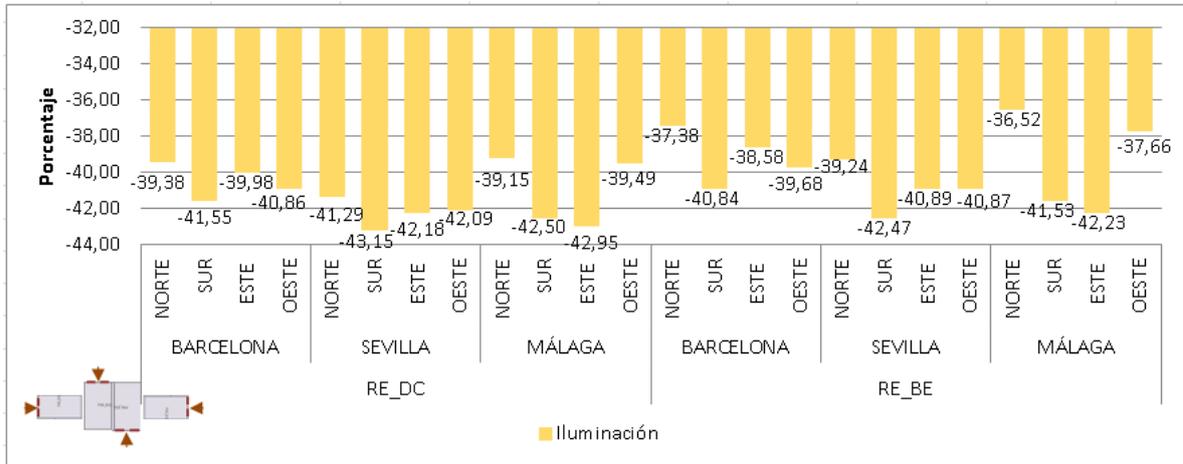


Figura 52. Módulo lateral. Reducción de la iluminación artificial por aprovechamiento de la natural con acristalamientos según prestación

Tabla 51. Módulo lateral. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo anual (kgCO₂)

Ciudad	Parámetro	Orden vidrio mayor reducción		Orden orientación mayor reducción MLA - Periodo anual							
				kgCO ₂	%	kgCO ₂	%	kgCO ₂	%	kgCO ₂	%
Barcelona	U/FS	2	RE_DC	E 2.207	2,54	O 2.197	2,47	N 2.131	1,99	S 2.042	1,90
		1	RE_BE	E 2.132	5,84	O 2.126	5,61	N 2.095	3,65	S 2.025	2,72
	U/FS/TL	2	RE_DC	O 1.789	2,57	E 1.809	2,56	S 1.630	1,88	N 1.748	1,87
		1	RE_BE	E 1.755	5,43	O 1.739	5,31	N 1.733	2,70	S 1.631	1,79
Sevilla	U/FS	2	RE_DC	E 2.356	3,46	S 2.172	3,31	O 2.338	3,30	N 2.193	2,26
		1	RE_BE	E 2.223	8,95	O 2.211	8,55	S 2.093	6,85	N 2.137	4,77
	U/FS/TL	2	RE_DC	E 1.898	3,76	O 1.884	3,62	S 1.698	3,60	N 1.764	2,30
		1	RE_BE	E 1.790	9,23	O 1.782	8,85	S 1.645	6,59	N 1.731	4,13
Málaga	U/FS	2	RE_DC	O 2.135	2,95	E 2.125	2,90	S 1.937	2,73	N 1.974	1,98
		1	RE_BE	O 2.011	8,59	E 2.005	8,40	S 1.871	6,08	N 1.929	4,20
	U/FS/TL	2	RE_DC	E 1.668	3,32	S 1.475	2,70	O 1.715	2,61	N 1.574	1,49
		1	RE_BE	E 1.569	9,09	O 1.623	7,86	S 1.444	4,75	N 1.560	2,36

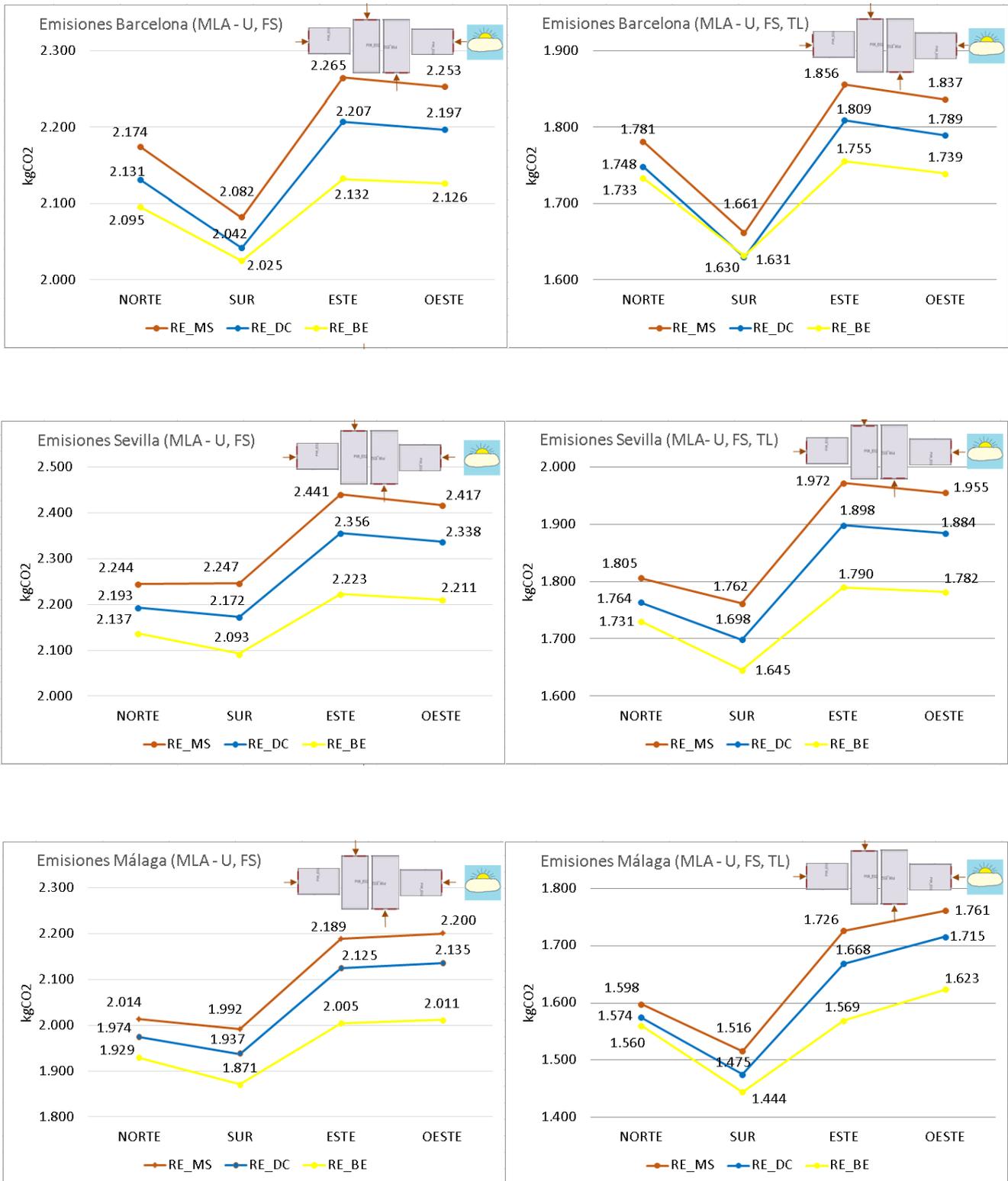


Figura 53. Módulo lateral. Acristalamientos según prestación. Periodo anual (kgCO₂)

8.2.3. Módulo de esquina (MES) A y B

Tabla 52. Módulo de esquina B. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo calefacción kWh (1/2)

Ciudad	Hueco	Parámetro	Orden vidrio mayor reducción	MES (A)		Orden orientación mayor reducción MES (B) - Periodo calefacción (1/2)						
				kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	
Barcelona	2	U/FS	1	RE_DC	O 2.239	4,95	N 3.646	3,54	E 3.952	1,63	S 2.830	0,24
			2	RE_BE	N 3.652	3,39	O 2.287	2,92	E 4.088	-1,74	S 3.106	-9,46
		U/FS/TL	1	RE_DC	O 2.523	4,38	N 3.986	3,27	E 4.313	1,38	S 3.134	0,07
			2	RE_BE	N 3.998	2,99	O 2.584	2,05	E 4.462	-2,00	S 3.430	-9,36
	4	U/FS	1	RE_DC	E 2.638	7,01	N 3.752	6,60	O 3.606	4,59	S 2.301	2,34
			2	RE_BE	N 3.794	5,55	E 2.808	1,03	O 3.851	-1,87	S 2.842	-20,6
		U/FS/TL	1	RE_DC	E 2.944	6,14	N 4.112	5,97	O 3.955	4,03	S 2.596	1,58
			2	RE_BE	N 4.169	4,68	E 3.144	-0,23	O 4.228	-2,58	S 3.186	-20,7
Sevilla	2	U/FS	1	RE_DC	O 924	5,85	N 2.100	3,85	E 2.394	0,88	S 1.349	-1,54
			2	RE_BE	N 2.108	3,49	O 953	2,92	E 2.523	-4,47	S 1.586	-19,3
		U/FS/TL	1	RE_DC	O 1.080	5,27	N 2.355	3,49	E 2.670	0,64	S 1.552	-1,73
			2	RE_BE	N 2.367	2,98	O 1.118	1,98	E 2.815	-4,76	S 1.812	-18,7
	4	U/FS	1	RE_DC	E 1.224	7,86	N 2.253	6,71	O 2.113	3,25	S 974	0,79
			2	RE_BE	N 2.294	5,00	E 1.359	-2,34	O 2.344	-7,31	S 1.373	-39,8
		U/FS/TL	1	RE_DC	E 1.422	6,78	N 2.526	6,00	O 2.376	2,64	S 1.143	-0,21
			2	RE_BE	N 2.579	4,02	E 1.582	-3,68	O 2.634	-7,93	S 1.600	-40,2

Tabla 53. Módulo de esquina B. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo calefacción kWh (2/2 continuación)

Ciudad	Hueco	Parámetro	Orden vidrio mayor reducción	kWh		%		Orden orientación mayor reducción MES (B) - Periodo calefacción (2/2)			
				kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%
Málaga	2	U/FS	1 RE_DC	O 806	8,35	N 1.775	5,65	E 2.049	1,97	S 1.103	0,07
			2 RE_BE	N 1.777	5,58	O 834	5,11	E 2.200	-5,28	S 1.298	-17,5
		U/FS/TL	1 RE_DC	O 954	7,50	N 2.025	5,14	E 2.338	1,48	S 1.285	-0,38
			2 RE_BE	N 2.031	4,89	O 992	3,80	E 2.513	-5,91	S 1.509	-17,8
	4	U/FS	1 RE_DC	E 967	12,3 8	N 1.879	10,0 7	O 1.758	6,59	S 837	4,73
			2 RE_BE	N 2.090	8,60	E 1.094	0,90	O 1.997	-6,10	S 1.166	-32,6
		U/FS/TL	1 RE_DC	E 1.143	10,7 0	N 2.158	9,04	O 2.016	5,57	S 996	3,39
			2 RE_BE	N 2.206	7,02	E 1.302	-1,67	O 2.297	-7,55	S 1.384	-34,1

Tabla 54. Módulo de esquina B. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo refrigeración kWh (1/2)

Ciudad	Hueco	Parámetro	Orden vidrio mayor reducción			Orden orientación mayor reducción MES (B) - Periodo refrigeración (1/2)						
				kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	
Barcelona	2	U/FS	2	RE_DC	E 979	4,87	S 1.436	2,74	O 1.346	2,63	N 1.220	0,03
			1	RE_BE	E 838	18,52	O 1.204	12,88	S 1.307	11,50	N 1.162	4,71
		U/FS/TL	2	RE_DC	E 821	5,81	O 1.164	3,19	S 1.259	3,19	N 1.051	0,32
			1	RE_BE	E 686	21,18	O 1.028	14,48	S 1.134	12,79	N 995	5,60
	4	U/FS	2	RE_DC	O 1.134	7,05	S 1.289	6,73	E 1.387	6,08	N 1.012	1,69
			1	RE_BE	O 848	30,49	E 1.069	27,63	S 1.007	27,12	N 886	13,88
		U/FS/TL	1	RE_DC	O 965	8,41	S 1.108	7,87	E 1.207	7,19	N 850	2,47
			2	RE_BE	O 690	34,48	E 899	30,84	S 839	30,17	N 728	16,43
Sevilla	2	U/FS	2	RE_DC	E 1.815	5,20	S 2.595	3,36	O 2.509	3,02	N 2.217	0,81
			1	RE_BE	E 1.598	16,52	O 2.278	11,98	S 2.385	11,20	N 2.135	4,48
		U/FS/TL	2	RE_DC	E 1.611	5,78	S 2.356	3,69	O 2.254	3,50	N 2.000	1,07
			1	RE_BE	E 1.405	17,84	O 2.029	13,15	S 2.153	11,98	N 1.919	5,08
	4	U/FS	2	RE_DC	O 2.054	8,09	S 2.379	8,05	E 2.499	6,94	N 1.854	3,17
			1	RE_BE	O 1.609	27,99	S 1.903	26,45	E 1.994	25,76	N 1.669	12,83
		U/FS/TL	2	RE_DC	O 1.838	9,08	S 2.128	8,87	E 2.255	7,81	N 1.643	3,90
			1	RE_BE	O 1.410	30,265	S 1.677	28,20	E 1.763	27,93	N 1.464	14,38

Tabla 55. Módulo de esquina B. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo refrigeración kWh (2/2 continuación)

Ciudad	Hueco	Parámetro	Orden vidrio mayor reducción			Orden orientación mayor reducción MES (B) - Periodo refrigeración (2/2)						
				kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	
Málaga	2	U/FS	2	RE_DC	E 1.314	4,52	S 2.021	2,49	O 1.987	1,98	N 1.784	-0,97
			1	RE_BE	E 1.118	18,70	O 1.746	13,86	S 1.839	11,26	N 1.777	-0,61
		U/FS/TL	2	RE_DC	E 1.131	5,26	S 1.786	2,80	O 1.729	2,57	N 1.577	-0,78
			1	RE_BE	E 944	20,96	O 1.495	15,75	S 1.619	11,86	N 1.517	3,08
	4	U/FS	2	RE_DC	S 1.897	6,44	O 1.654	6,35	E 1.977	4,59	N 1.373	0,22
			1	RE_BE	O 1.215	31,21	S 1.455	28,23	E 1.488	28,17	N 1.230	10,59
		U/FS/TL	2	RE_DC	S 1.643	7,44	O 1.449	7,39	E 1.733	5,65	N 1.184	0,85
			1	RE_BE	O 1.030	34,16	E 1.265	31,12	S 1.236	30,34	N 1.044	12,51

Tabla 56. Módulo de esquina B. Secuencia orientaciones y porcentaje menor incremento con acristalamientos según prestación. Periodo iluminación artificial (kWh)

Ciudad	Hueco	Orden vidrio mayor reducción	kWh		%		Orden orientación menor incremento MES (B) - Periodo iluminación			
			kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%
Barcelona	2	2 RE_DC	N 1.003	-0,08	O 1.002	-0,09	E 1.005	-0,11	S 1.004	-0,13
		3 RE_BE	O 1.003	-0,17	N 1.004	-0,19	E 1.006	-0,22	S 1.005	-0,26
	4	2 RE_DC	S 1.002	-0,10	E 1.003	-0,11	O 1.003	-0,12	N 1.005	-0,13
		3 RE_BE	S 1.003	-0,18	E 1.005	-0,23	N 1.006	-0,26	O 1.005	-0,27
Sevilla	2	2 RE_DC	S 982	-0,076	O 982	-0,077	E 983	-0,09	N 984	-0,10
		3 RE_BE	O 983	-0,150	S 983	-0,154	N 983	-0,18	E 985	-0,22
	4	2 RE_DC	E 982	-0,07	N 983	-0,10	O 984	-0,11	S 983	-0,12
		3 RE_BE	E 983	-0,14	O 985	0,212	N 985	-0,216	S 984	-0,22
Málaga	2	2 RE_DC	O 988	-0,06	S 986	-0,06	E 988	-0,09	N 991	-0,11
		3 RE_BE	O 988	-0,10	S 987	-0,14	E 989	-0,17	N 992	-0,23
	4	2 RE_DC	E 986	-0,06	N 988	-0,07	S 988	-0,09	O 991	-0,11
		3 RE_BE	E 987	-0,14	N 989	-0,17	S 989	-0,18	O 993	-0,25

Tabla 57. Módulo de esquina B. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo anual kgCO₂ (1/2)

Ciudad	Hueco	Parámetro	Orden vidrio mayor reducción	Orden orientación mayor reducción		MES (B) - Periodo anual (1/2)						
				kgCO ₂	%	kgCO ₂	%	kgCO ₂	%		kgCO ₂	%
Barcelona	2	U/FS	2	RE_DC	O 2.760	1,56	E 2.858	1,47	S 2.925	0,87	N 2.947	0,85
			1	RE_BE	O 2.683	4,31	E 2.799	3,52	N 2.914	1,98	S 2.899	1,78
		U/FS/TL	2	RE_DC	O 2.206	1,97	E 2.335	1,74	N 2.412	1,10	S 2.379	1,03
			1	RE_BE	O 2.136	5,09	E 2.283	3,95	N 2.381	2,36	S 2.360	1,83
	4	U/FS	2	RE_DC	E 2.859	3,10	O 2.888	2,85	S 2.737	2,38	N 2.841	2,06
			1	RE_BE	E 2.698	8,56	O 2.760	7,14	S 2.668	4,85	N 2.773	4,42
		U/FS/TL	2	RE_DC	E 2.311	3,83	O 2.355	3,45	S 2.186	2,87	N 2.315	2,57
			1	RE_BE	E 2.163	10,00	O 2.240	8,14	N 2.253	5,20	S 2.134	5,15
Sevilla	2	U/FS	2	RE_DC	E 3.073	2,05	O 3.218	1,77	S 3.350	1,49	N 3.262	0,85
			1	RE_BE	O 3.083	5,90	E 2.966	5,46	S 3.267	3,94	N 3.213	2,28
		U/FS/TL	2	RE_DC	E 2.493	2,45	O 2.584	2,28	S 2.734	1,77	N 2.670	1,05
			1	RE_BE	O 2.455	7,16	E 2.396	6,24	S 2.660	4,41	N 2.624	2,77
	4	U/FS	2	RE_DC	E 3.268	3,90	S 3.149	3,89	O 3.165	3,74	N 3.070	2,14
			1	RE_BE	E 2.987	12,16	O 2.939	10,62	S 2.935	10,42	N 2.966	5,46
		U/FS/TL	2	RE_DC	E 2.648	4,84	S 2.520	4,70	O 2.576	4,54	N 2.486	2,74
			1	RE_BE	E 2.380	14,46	O 2.366	12,35	S 2.333	11,78	N 2.388	6,57

Tabla 58. Módulo de esquina B. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo anual kgCO₂. (2/2 continuación)

Ciudad	Hueco	Parámetro	Orden vidrio mayor reducción			Orden orientación mayor reducción MES (B) - Periodo anual (2/2)						
				kgCO ₂	%	kgCO ₂	%	kgCO ₂	%	kgCO ₂	%	
Málaga	2	U/FS	2	RE_DC	E 2.704	1,65	O 2.880	1,30	S 2.956	1,05	N 2.938	0,32
			1	RE_BE	O 2.739	6,13	E 2.615	4,92	S 2.882	3,51	N 2.901	1,57
		U/FS/TL	2	RE_DC	E 2.143	2,01	O 2.245	1,82	S 2.341	1,25	N 2.357	0,52
			1	RE_BE	O 2.111	7,70	E 2.062	5,68	S 2.282	3,72	N 2.322	2,00
	4	U/FS	2	RE_DC	O 2.856	3,09	S 2.831	2,98	E 2.904	2,79	N 2.709	1,50
			1	RE_BE	E 2.631	11,91	O 2.635	10,60	S 2.625	10,04	N 2.628	4,44
		U/FS/TL	2	RE_DC	O 2.277	3,87	S 2.201	3,76	E 2.283	3,72	N 2.141	2,10
			1	RE_BE	E 2.029	14,41	O 2.077	12,34	S 2.028	11,33	N 2.065	5,54

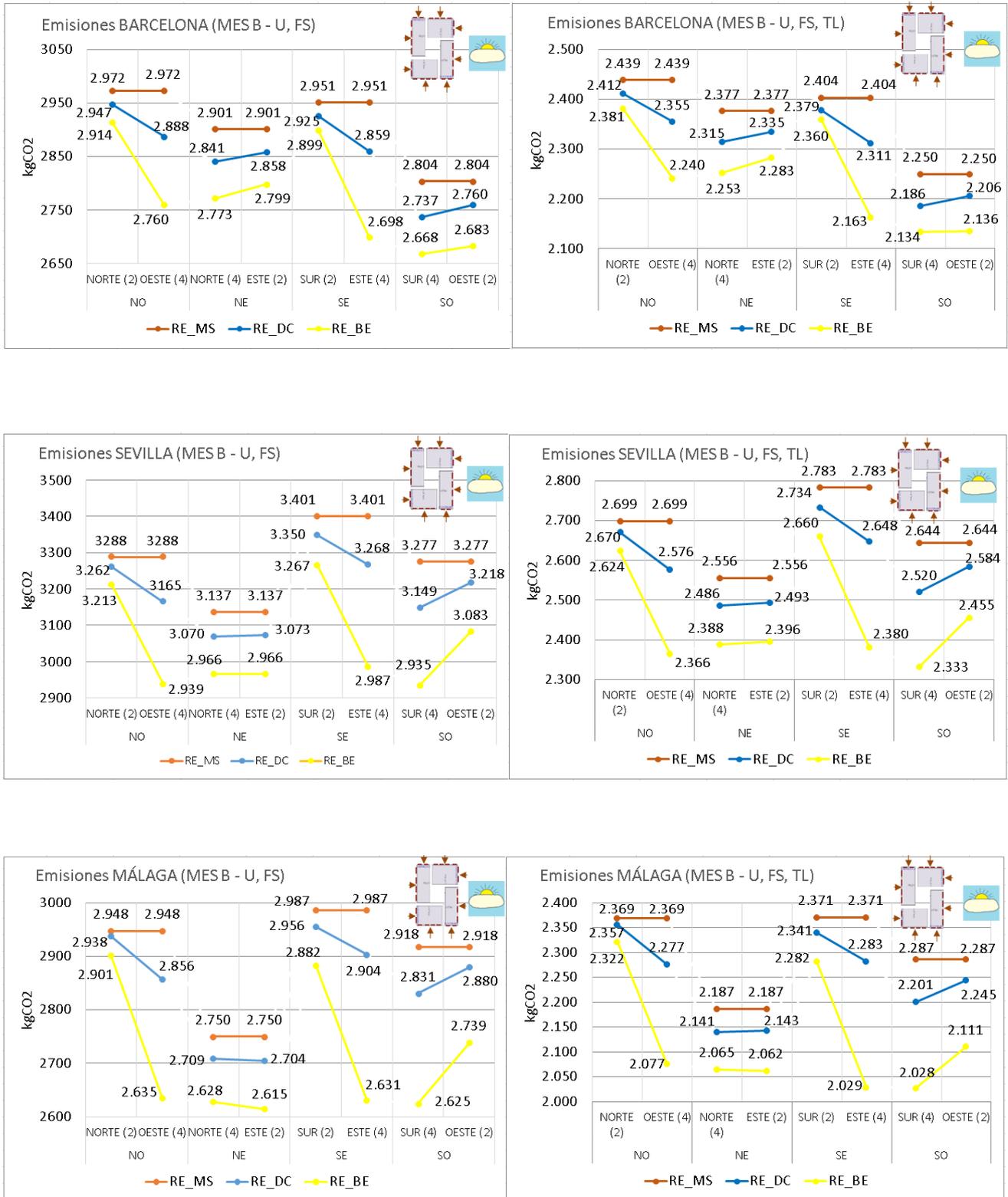


Figura 54. Módulo de esquina B. Acristalamientos según prestación. Periodo anual (kgCO₂)

Tabla 59. Módulo de esquina A. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo calefacción kWh (1/2)

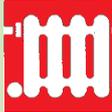
Ciudad	Hueco	Parámetro	Orden vidrio mayor reducción	kWh		%		kWh		%		
				kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	
Barcelona	2	U/FS	1 RE_DC	E 2.215	4,54	N 3.575	3,61	O 3.980	1,88	S 2.899	0,23	
			2 RE_BE	N 3.579	3,48	E 2.272	2,11	O 4.106	-1,23	S 3.179	-9,39	
		U/FS/TL	1 RE_DC	E 2.497	4,08	N 3.911	3,30	O 4.343	1,64	S 3.209	0,05	
			2 RE_BE	N 3.921	3,05	E 2.566	1,41	O 4.482	-1,50	S 3.508	-9,25	
	4	U/FS	1 RE_DC	O 2.686	7,55	N 3.791	6,54	E 3.555	4,13	S 2.266	2,36	
			2 RE_BE	N 3.834	5,46	O 2.841	2,24	E 3.815	-2,87	S 2.803	-20,7	
		U/FS/TL	1 RE_DC	O 2.996	6,68	N 4.153	5,94	E 3.900	3,56	S 2.558	1,70	
			2 RE_BE	N 4.212	4,62	O 3.182	0,90	E 4.190	-3,59	S 3.142	-20,7	
Sevilla	2	U/FS	1 RE_DC	E 899	5,42	N 2.040	3,92	O 2.423	1,07	S 1.406	-1,41	
			2 RE_BE	N 2.047	3,57	E 937	1,37	O 2.545	-3,88	S 1.647	-18,7	
		U/FS/TL	1 RE_DC	E 1.052	4,86	N 2.291	3,49	O 2.703	0,83	S 1.615	-1,64	
			2 RE_BE	N 2.302	3,00	E 1.100	0,53	O 2.839	-4,14	S 1.879	-18,3	
	4	U/FS	1 RE_DC	O 1.272	8,25	N 2.286	6,69	E 2.062	2,86	S 943	0,72	
			2 RE_BE	N 2.329	4,90	O 1.392	-0,42	E 2.306	-8,64	S 1.340	-40,9	
		U/FS/TL	1 RE_DC	O 1.474	7,22	N 2.562	5,98	E 2.321	2,22	S 1.108	-0,23	
			2 RE_BE	N 2.618	3,95	O 1.619	-1,95	E 2.590	-9,12	S 1.563	-41,3	

Tabla 60. Módulo de esquina A. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo calefacción kWh (2/2 continuación)

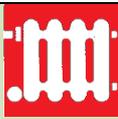
Ciudad	Hueco	Parámetro	Orden vidrio mayor reducción	kWh		%		kWh		%		kWh		%		
Málaga	2	U/FS	1	RE_DC	E 768	7,85	N 1.672	5,75	O 2.100	2,24	S 1.196	0,22				
			2	RE_BE	N 1.673	5,70	E 809	3,00	O 2.235	-4,02	S 1.398	-16,6				
		U/FS/TL	1	RE_DC	E 911	6,96	N 1.915	5,25	O 2.389	1,84	S 1.390	-0,29				
			2	RE_BE	N 1.921	4,98	E 963	1,63	O 2.544	-4,52	S 1.620	-16,9				
	4	U/FS	1	RE_DC	O 1.041	13,13	N 1.935	9,92	E 1.670	5,89	S 794	4,83				
			2	RE_BE	N 1.967	8,41	O 1.148	4,20	E 1.934	-9,00	S 1.114	-33,5				
		U/FS/TL	1	RE_DC	O 1.228	11,37	N 2.216	8,94	E 1.923	4,87	S 945	3,45				
			2	RE_BE	N 2.264	6,98	O 1.363	1,59	E 2.233	-10,48	S 1.325	-35,3				

Tabla 61. Módulo de esquina A. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo refrigeración kWh (1/2)

Ciudad	Hueco	Parámetro	Orden vidrio mayor reducción	Orden orientación mayor reducción MES (A) - Periodo refrigeración (1/2)											
				kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%				
Barcelona	2	U/FS	2 RE_DC	O	953	4,46	E	1.372	2,98	S	1.372	2,88	N	1.284	0,01
			1 RE_BE	O	822	17,55	E	1.221	13,66	S	1.242	12,09	N	1.228	4,43
		U/FS/TL	2 RE_DC	O	795	5,39	E	1.190	3,57	S	1.194	3,39	N	1.115	0,25
			1 RE_BE	O	671	20,18	E	1.044	15,36	S	1.070	13,45	N	1.059	5,24
	4	U/FS	2 RE_DC	E	1.187	7,63	S	1.321	6,55	O	1.335	5,52	N	981	1,70
			1 RE_BE	E	879	31,55	O	1.037	26,62	S	1.038	26,54	N	855	14,32
		U/FS/TL	2 RE_DC	E	1.017	8,99	S	1.139	7,66	O	1.154	6,60	N	819	2,63
			1 RE_BE	E	721	35,45	O	868	29,77	S	870	29,47	N	697	17,11
Sevilla	2	U/FS	2 RE_DC	O	1.776	4,92	S	2.488	3,53	E	2.552	3,25	N	2.320	0,72
			1 RE_BE	O	1.572	15,83	E	2.308	12,51	S	2.280	11,60	N	2.237	4,28
		U/FS/TL	2 RE_DC	O	1.576	5,51	S	2.253	3,86	E	2.295	3,74	N	2.096	0,97
			1 RE_BE	O	1.381	17,21	E	2.057	13,72	S	2.054	12,34	N	2.013	4,88
	4	U/FS	2 RE_DC	E	2.139	8,48	S	2.430	7,87	O	2.410	6,55	N	1.806	3,30
			1 RE_BE	E	1.662	28,89	S	1.951	26,03	O	1.936	24,93	N	1.624	13,05
		U/FS/TL	2 RE_DC	E	1.916	9,46	S	2.176	8,72	O	2.170	7,42	N	1.601	4,03
			1 RE_BE	E	1.457	31,12	S	1.721	27,78	O	1.709	27,07	N	1.424	14,63

Tabla 62. Módulo de esquina A. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo refrigeración kWh (2/2 continuación)

Ciudad	Hueco	Parámetro	Orden vidrio mayor reducción	kWh		%		kWh		%		Orden orientación mayor reducción MES (A) - Periodo refrigeración (2/2)	
				O	S	E	N	O	S	E	N		
Málaga	2	U/FS	2	RE_DC	O 1.308	4,49	S 2.027	2,42	E 1.982	1,94	N 1.787	-0,79	
			1	RE_BE	O 1.115	18,60	E 1.744	13,72	S 1.845	11,18	N 1.724	2,72	
		U/FS/TL	2	RE_DC	O 1.127	5,21	S 1.797	2,72	E 1.721	2,51	N 1.583	-0,60	
			1	RE_BE	O 941	20,85	E 1.491	15,53	S 1.626	11,98	N 1.521	3,31	
	4	U/FS	2	RE_DC	S 1.888	6,57	E 1.658	6,47	O 1.985	4,47	N 1.369	0,03	
			1	RE_BE	E 1.220	31,14	S 1.448	28,36	O 1.493	28,15	N 1.228	10,34	
		U/FS/TL	2	RE_DC	S 1.632	7,56	E 1.456	7,48	O 1.745	5,54	N 1.180	0,70	
			1	RE_BE	E 1.034	34,26	O 1.270	31,21	S 1.229	30,39	N 1.042	12,28	

Tabla 63. Módulo de esquina A. Secuencia orientaciones y porcentaje menor incremento con acristalamientos según prestación. Periodo iluminación artificial (kWh)

Ciudad	Hueco	Orden vidrio mayor reducción			Orden orientación menor incremento MES (A) - Periodo iluminación					
			kWh	%	kWh	%	kWh	%		kWh
Barcelona	2	RE_DC	S 1.002	-0,09	E 1.003	-0,113	O 1.003	-0,113	N 1.005	-0,12
		RE_BE	S 1.003	-0,17	E 1.004	-0,21	N 1.006	-0,23	O 1.005	-0,24
	4	RE_DC	O 1.002	-0,09	N 1.003	-0,11	E 1.005	-0,13	S 1.004	-0,15
		RE_BE	O 1.003	-0,18	N 1.004	-0,21	E 1.006	-0,24	S 1.005	-0,30
Sevilla	2	RE_DC	E 982	-0,07	N 983	-0,091	O 984	-0,098	S 983	-0,10
		RE_BE	E 983	-0,14	N 984	-0,18	O 985	-0,19	S 984	-0,21
	4	RE_DC	O 983	-0,090	S 982	-0,092	E 983	-0,10	N 984	-0,11
		RE_BE	O 983	-0,17	S 983	-0,17	N 985	-0,19	E 985	-0,23
Málaga	2	RE_DC	E 986	-0,04	N 988	-0,07	S 988	-0,08	O 991	-0,09
		RE_BE	E 987	-0,11	N 988	-0,15	S 989	-0,16	O 992	-0,20
	4	RE_DC	S 986	-0,062	O 988	-0,063	E 988	-0,10	N 991	-0,12
		RE_BE	O 989	-0,13	S 987	-0,15	E 989	-0,19	N 992	-0,25

Tabla 64. Módulo de esquina A. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo anual kgCO₂ (1/2)

Ciudad	Hueco	Parámetro	Orden vidrio mayor reducción	Orden orientación mayor reducción		MES (A) - Periodo anual (1/2)					
				kgCO ₂	%	kgCO ₂	%	kgCO ₂	%		kgCO ₂
Barcelona	2	U/FS	2 RE_DC	E 2.771	1,61	O 2.848	1,43	S 2.900	0,88	N 2.973	0,84
			1 RE_BE	E 2.690	4,48	O 2.793	3,35	N 2.940	1,96	S 2.873	1,78
		U/FS/TL	2 RE_DC	E 2.217	2,02	O 2.325	1,71	N 2.438	1,05	S 2.353	1,05
			1 RE_BE	E 2.143	5,32	O 2.276	3,76	N 2.407	2,32	S 2.334	1,85
	4	U/FS	2 RE_DC	O 2.837	3,02	E 2.910	2,94	S 2.750	2,36	N 2.830	2,07
			1 RE_BE	O 2.685	8,21	E 2.773	7,53	S 2.679	4,86	N 2.761	4,44
		U/FS/TL	2 RE_DC	O 2.289	3,74	E 2.377	3,53	S 2.199	2,86	N 2.303	2,62
			1 RE_BE	O 2.151	9,56	E 2.253	8,58	N 2.241	5,25	S 2.146	5,19
Sevilla	2	U/FS	2 RE_DC	O 3.055	1,98	E 3.239	1,87	S 3.296	1,53	N 3.313	0,77
			1 RE_BE	E 3.098	6,13	O 2.954	5,18	S 3.215	3,96	N 3.264	2,24
		U/FS/TL	2 RE_DC	E 2.603	2,38	O 2.479	2,34	S 2.684	1,80	N 2.716	1,00
			1 RE_BE	E 2.468	7,44	O 2.386	5,97	S 2.614	4,37	N 2.668	2,72
	4	U/FS	2 RE_DC	E 3.207	3,94	S 3.174	3,85	O 3.223	3,70	N 3.047	2,18
			1 RE_BE	O 2.959	11,61	E 2.964	11,23	S 2.958	10,39	N 2.945	5,46
		U/FS/TL	2 RE_DC	E 2.612	4,76	S 2.542	4,68	O 2.607	4,62	N 2.467	2,78
			1 RE_BE	O 2.355	13,82	E 2.386	13,02	S 2.352	11,80	N 2.371	6,58

Tabla 65. Módulo de esquina A. Secuencia orientaciones y porcentaje mayor reducción con acristalamientos según prestación. Periodo anual kgCO₂ (2/2 continuación)

Ciudad	Hueco	Parámetro	Orden vidrio mayor reducción			Orden orientación mayor reducción MES (A) - Periodo anual (2/2)						
				kgCO ₂	%	kgCO ₂	%	kgCO ₂	%	kgCO ₂	%	
Málaga	2	U/FS	2 RE_DC	O 2.711	1,68	E 2.869	1,24	S 2.977	1,03	N 2.920	0,36	
			1 RE_BE	E 2.733	5,94	O 2.619	5,01	S 2.905	3,44	N 2.883	1,64	
		U/FS/TL	2 RE_DC	O 2.151	2,07	E 2.231	1,73	S 2.368	1,12	N 2.337	0,58	
			1 RE_BE	E 2.102	7,42	O 2.069	5,84	S 2.309	3,71	N 2.301	2,10	
	4	U/FS	2 RE_DC	E 2.842	3,04	S 2.817	3,03	O 2.922	2,85	N 2.717	1,46	
			1 RE_BE	O 2.644	12,10	E 2.626	10,39	S 2.610	10,15	N 2.637	4,34	
		U/FS/TL	2 RE_DC	S 2.184	3,82	O 2.306	3,80	E 2.262	3,79	N 2.151	2,05	
			1 RE_BE	O 2.045	14,71	E 2.065	12,16	S 2.011	11,42	N 2.078	5,41	

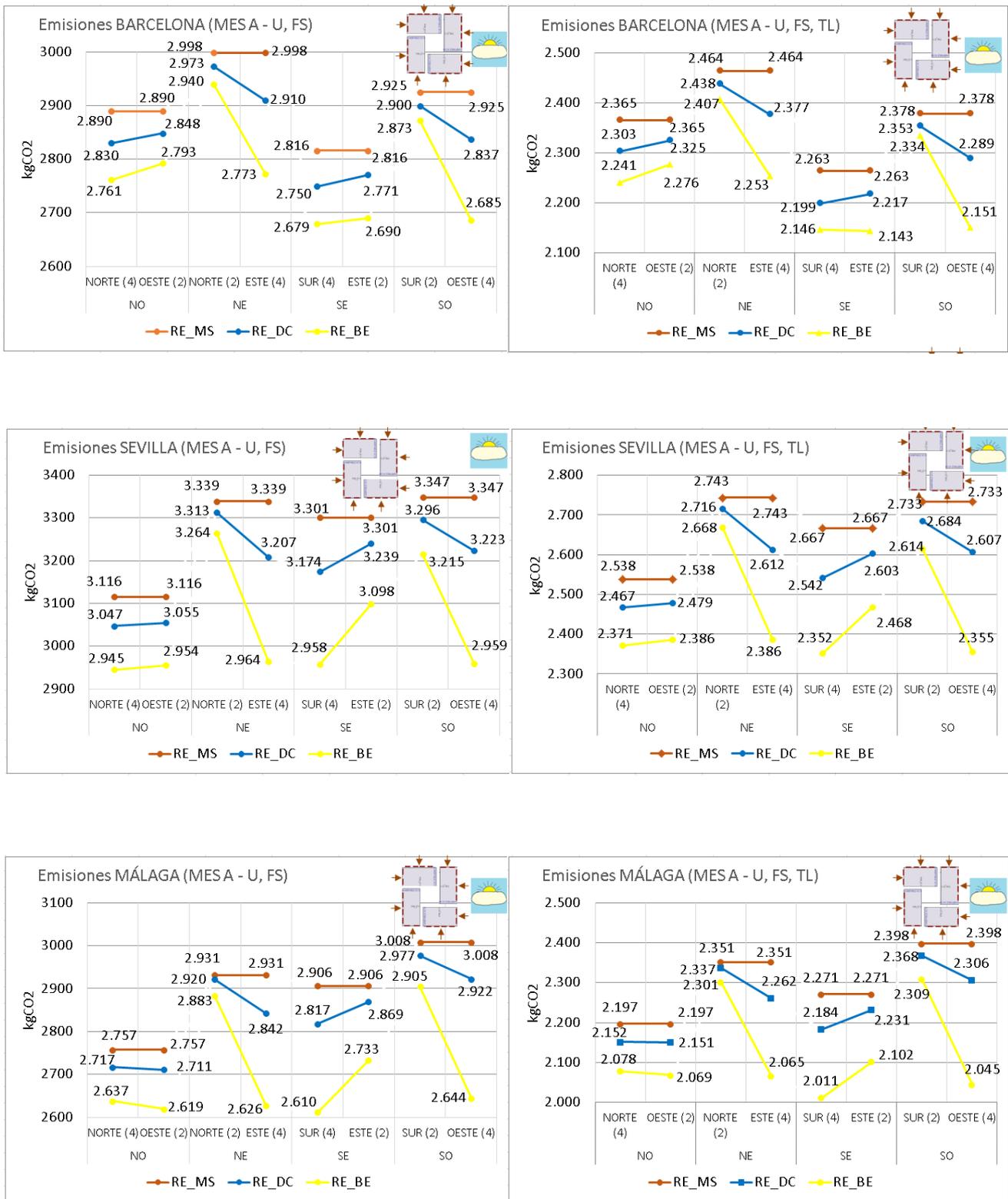


Figura 55. Módulo de esquina A. Acristalamientos según prestación. Periodo anual (kgCO₂)

8.3. Selección de la combinación de los parámetros característicos por orientación

Se muestran los resultados del segundo grupo de simulaciones realizadas con la combinación de los parámetros característicos de los dos acristalamientos de mejores prestaciones doble claro y bajo emisivo por orientación (binomio y trinomio) con la segunda y tercera configuración. En anexo 12.4 se encuentran las tablas con los resultados de las simulaciones.

8.3.1. Sistemas técnicos

Si se compara el conjunto de acristalamientos de experimentación, formado por los de mejores prestaciones reales (RE_DC y BE) y ficticios (FI_DC02, 06, 08 y BE02, 06, 08), respecto a los sistemas de producción de calor y frío, el ficticio de baja emisividad FI_BE08 (1,6 W/m²K, 0,72 y 69 %) es el que se comporta mejor en calefacción en todas las orientaciones y zonas climáticas al obtenerse un menor consumo (kWh). Se caracteriza por tener la transmitancia térmica baja, factor solar alto y transmisión luminosa baja. En refrigeración, corresponde al acristalamiento también ficticio sin tratamiento de capa FI_DC06 (2,8 W/m²K, 0,41 y 79 %) caracterizado por tener una transmitancia térmica alta, factor solar bajo y transmisión luminosa alta. Valores opuestos al acristalamiento FI_BE08 en calefacción.

Si se coteja igualmente todos los acristalamientos reales y ficticios en el sistema de iluminación artificial, se consigue una mayor reducción del consumo con el acristalamiento real sin tratamiento de capa RE_DC (2,8 W/m²K, 0,72 y 79 %) y ficticio de baja emisividad FI_BE06 (1,6 W/m²K, 0,72 y 79 %). Ambos acristalamientos caracterizados por tener el valor de la transmisión luminosa y del factor solar mayor. Se reflejan las gráficas de los tres sistemas técnicos para la segunda configuración correspondiente a la planta cuadrada simplificada (Fig. 56 y 57).

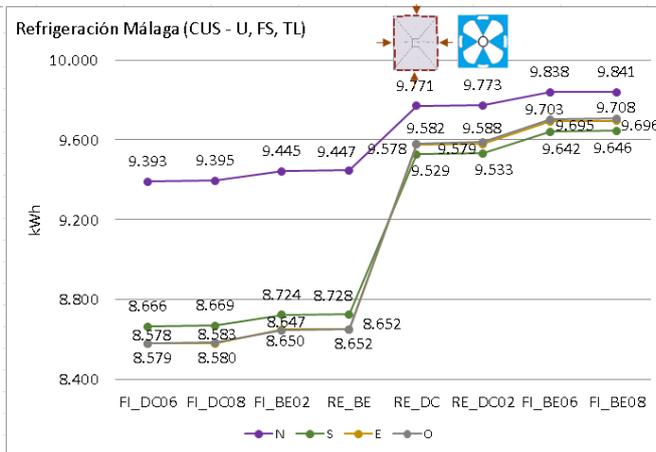
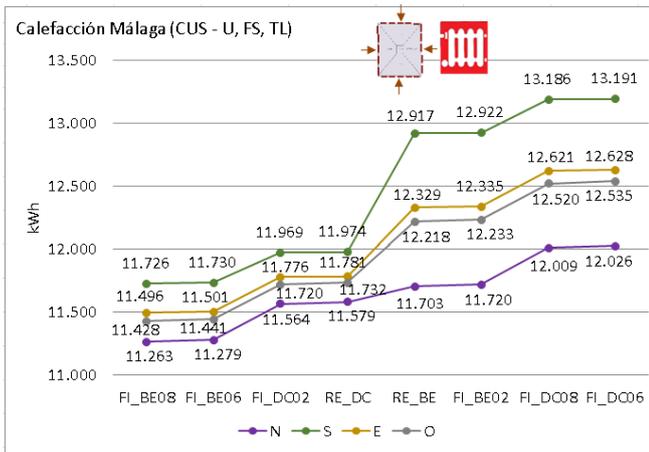
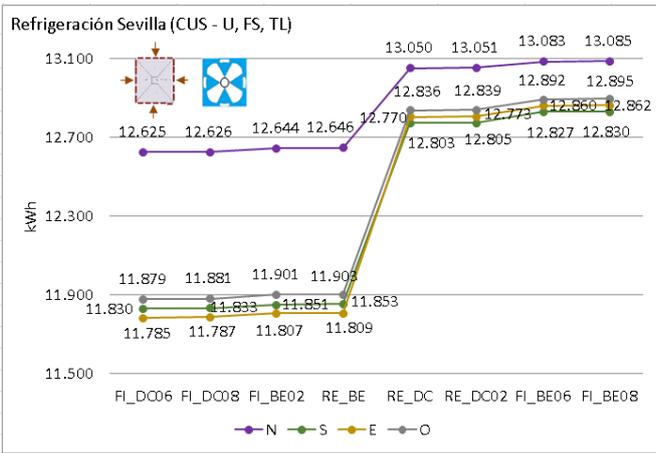
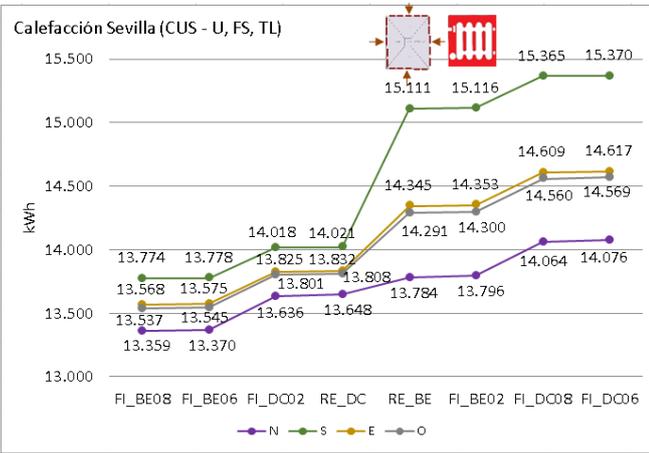
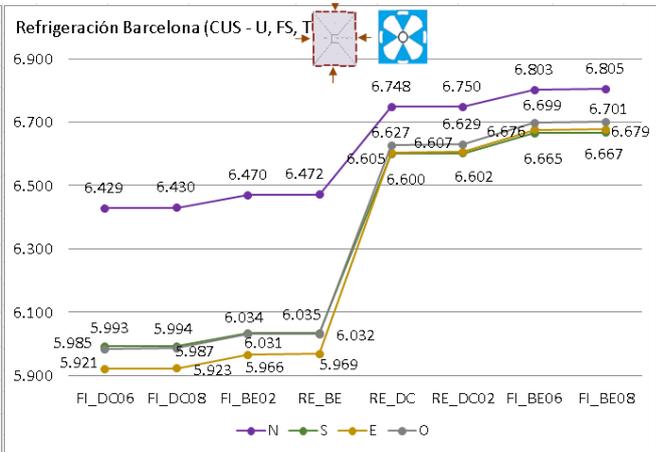
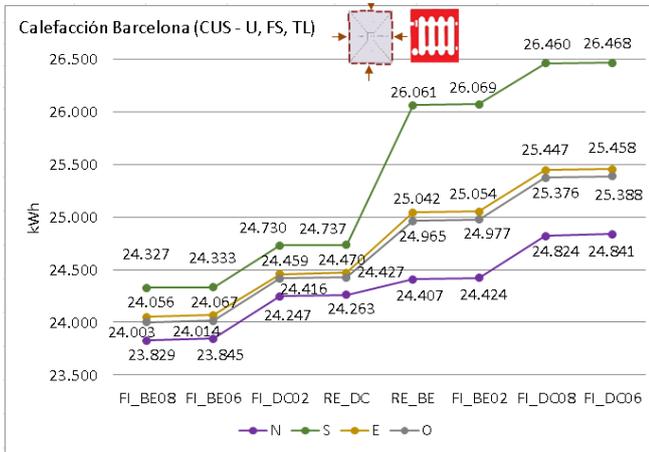


Figura 56. Planta cuadrada simplificada. Combinación de los parámetros por orientación. Periodo de calefacción y refrigeración (kWh)

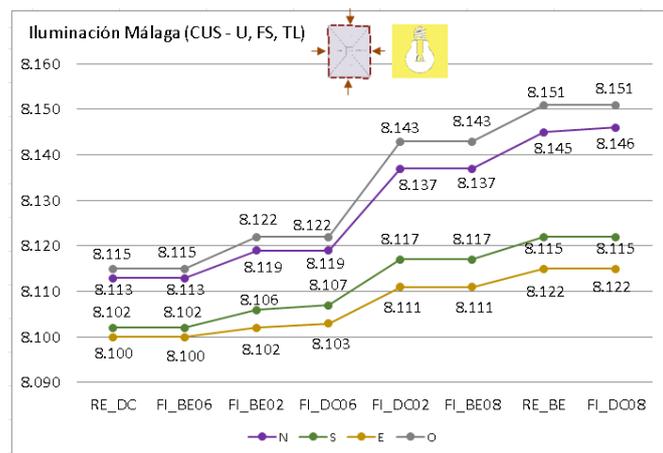
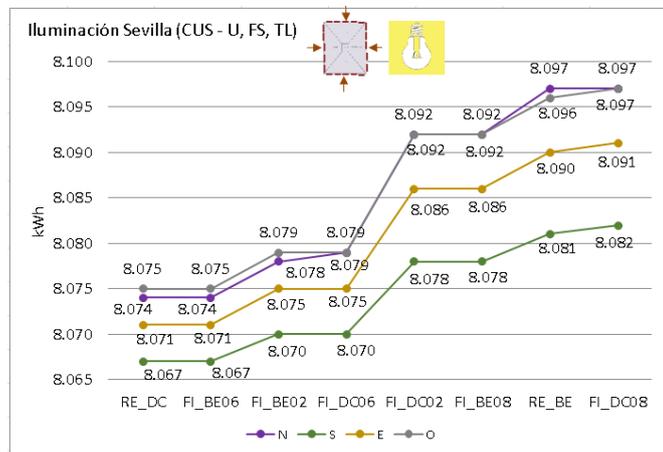
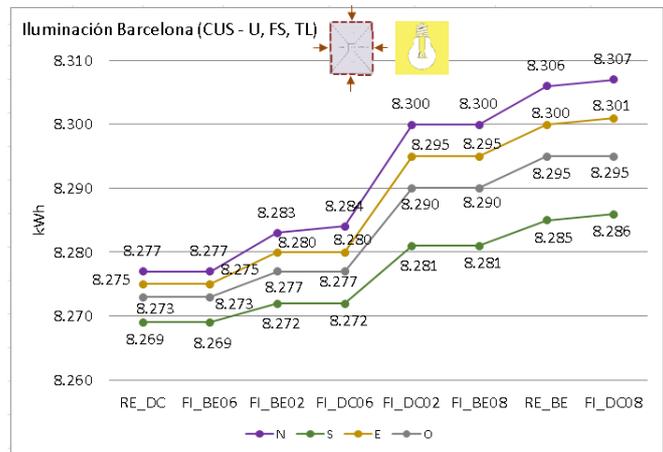


Figura 57. Planta cuadrada simplificada. Combinación de los parámetros por orientación. Periodo de iluminación (kWh)

Para el rango de parámetros de vidrios dobles sin tratamiento y baja emisividad, y sus correspondientes ficticios, en calefacción, se consigue un menor consumo energético con el vidrio que tiene una transmitancia térmica baja y factor solar alto. En refrigeración, con el vidrio que tiene una transmitancia térmica alta y factor solar bajo. Con el fin de comprobar si la reducción del consumo energético se mantiene igualmente para valores de transmitancia térmica y factor solar más amplios, se realiza un último grupo de simulaciones compuesta por la combinación de valores de transmitancia térmica de: 0, 1, 2, 3 y 4 W/m²K con valores del factor solar de: 0,0; 0,2; 0,5; 0,8 y 1, formando nuevas combinaciones de acristalamientos. Cada combinación es considerada y sustituida en todas las orientaciones a la vez.

En las gráficas de las tres ciudades se puede apreciar, que el consumo energético es menor cuanto más baja es la transmitancia térmica y mayor es el factor solar en calefacción, y mayor es la transmitancia y menor es el factor solar en refrigeración. Únicamente no se obtiene un menor consumo en un caso aislado en refrigeración en Sevilla para valor de transmitancia térmica de 2 W/m²K y factor solar 0 (Figura 58).

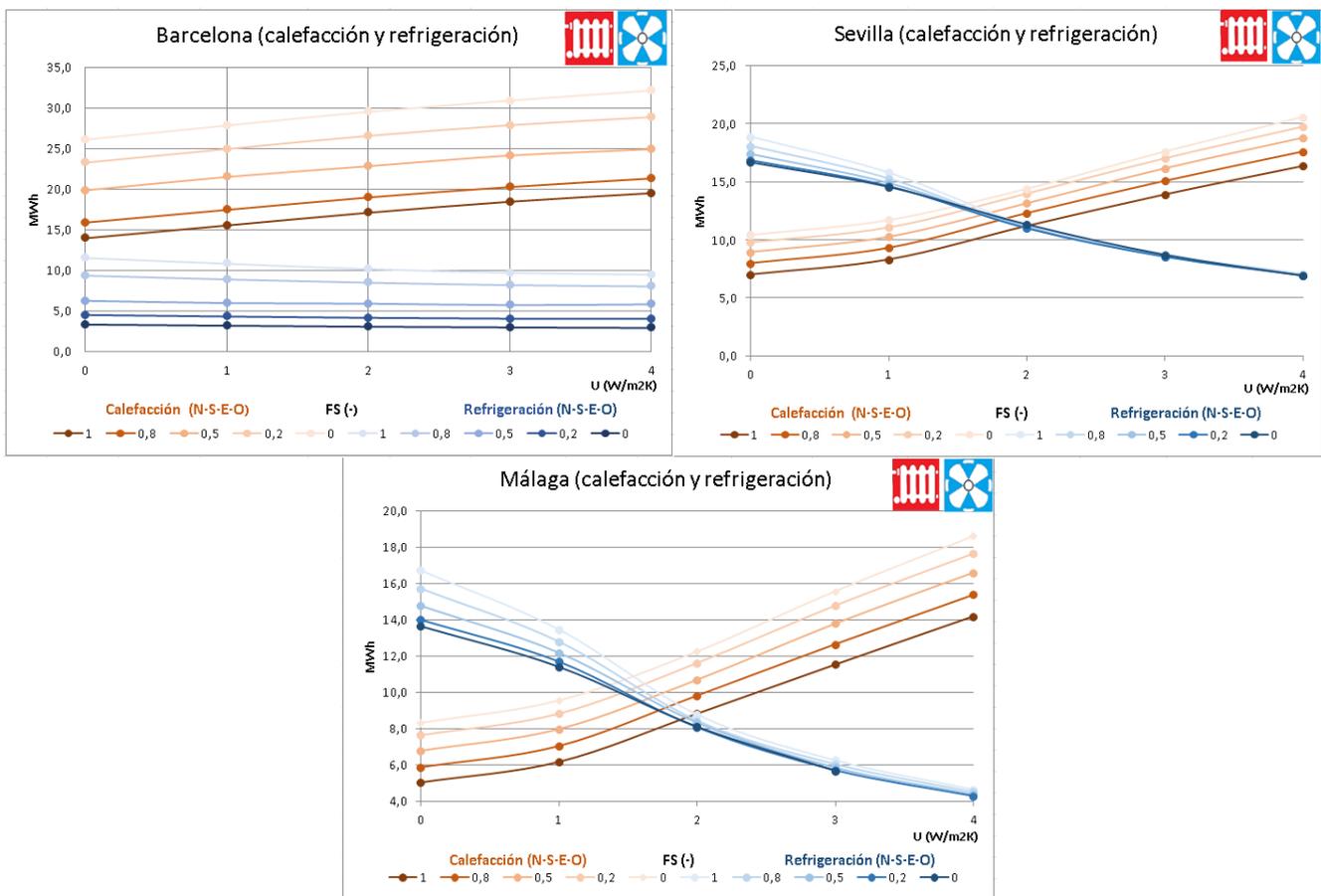


Figura 58. Planta cuadrada simplificada. Consumo de calefacción y refrigeración con la combinación de parámetros U (0, 1, 2, 3 y 4 W/m²K) y FS (0,0; 0,2; 0,5; 0,8 y 1) en Barcelona, Sevilla y Málaga

Se podría decir por tanto, que la calefacción se identifica con una transmitancia baja y factor solar alto, siendo a la inversa en refrigeración. La iluminación artificial está asociada con una transmisión luminosa y factor solar alto (Tabla 66).

En el periodo de calefacción, coincide con la conclusión expuesta por Gasparella et al. (2011) al afirmar que, la ventana con transmitancia térmica baja acompañada de factor solar alto, es beneficioso en edificio residencial en el centro y sur de Europa. En periodo estival, coincide con Tsikaloudaki et al. (2012), al afirmar que el valor de transmitancia térmica de la ventana no debería ser inferior a 2,00 W/m²K en edificios de oficinas en clima mediterráneo, pues valores más bajos dificulta la disipación del calor. En la investigación realizada por Grynning et al. (2013), en el que compara diferentes métodos de calificación de ventanas en oficinas en Oslo, Noruega, se aprecia igual tendencia de los parámetros con el método de cálculo de la demanda de calefacción y refrigeración.

Tabla 66. Planta cuadrada simplificada (CUS), módulo lateral (MLA) y de esquina (MES). Dirección parámetros (binomio y trinomio). Periodo calefacción, refrigeración e iluminación artificial

		Configuración CUS, MLA y MES Dirección de los parámetros en los sistemas de:								
Ciudad	Parámetros	 Calefacción			 Refrigeración			 Iluminación		
		U	FS	TL	U	FS	TL	U	FS	TL
Barcelona Sevilla Málaga	Binomio	↓	↑	-	↑	↓	-	-	-	-
	Trinomio	↓	↑	↓	↑	↓	↑	-	↑	↑

8.3.2. Periodo anual

Se refleja la dirección (ascendente/descendente) y orden (1, 2 y 3) de la transmitancia térmica, factor solar y transmisión luminosa en las orientaciones de los recintos de la planta cuadrada simplificada (Tabla 67) y por módulos (Tabla 68 a 70).

A diferencia de los sistemas técnicos, en el periodo anual no se puede asociar a los parámetros característicos una misma dirección en todas las orientaciones. En este caso se consideran los consumos de calefacción, refrigeración e iluminación artificial, simultáneamente. Se aprecia en la mayoría de las orientaciones de las tres capitales de provincia una transmitancia térmica y factor solar bajos lo que explica por qué el acristalamiento bajo emisor del apartado “7.2. Selección del acristalamiento según prestación” haya sido el mejor.

Tabla 67. Planta simplificada (CUS). Dirección y orden de los parámetros (binomio y trinomio). Periodo anual

Ciudad	Configuración CUS - Periodo Anual																								
	Norte						Sur							Este						Oeste					
	U		FS		TL		U		FS		TL			U		FS		TL		U		FS		TL	
Barcelona	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	
	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	
Sevilla	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	
	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	
Málaga	↓	2	↓	1	-	-	↑	2	↓	1	-	-	↑	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	
	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	3	↓	1	↑	2	

Tabla 68. Módulo lateral (MLA). Dirección y orden de los parámetros (binomio y trinomio). Periodo anual

Ciudad	Configuración MLA - Periodo Anual																								
	Norte						Sur							Este						Oeste					
	U		FS		TL		U		FS		TL			U		FS		TL		U		FS		TL	
Barcelona	↓	2	↓	1	-	-	↓	1	↓	2	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	
	↓	1	↓	3	↑	2	↓	1	↑	2	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	
Sevilla	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	
	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	
Málaga	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	
	↓	3	↓	1	↑	2	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	3	↓	1	↑	2	

Tabla 69. Módulo de esquina (MES) B. Dirección y orden de los parámetros (binomio y trinomio). Periodo anual

Ciudad	MES11		Configuración MES (B) - Periodo Anual												MES12									
	Dirección y orden de los parámetros																							
	NO						NE																	
	Norte (2)			Oeste (4)			Norte (4)			Este (2)														
U	FS	TL	U	FS	TL	U	FS	TL	U	FS	TL	U	FS	TL										
Barcelona	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-
	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3
Sevilla	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-
	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3
Málaga	↑	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-
	↑	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3
Ciudad	SO						SE																	
	Sur (4)			Oeste (2)			Sur (2)			Este (4)														
	U	FS	TL	U	FS	TL	U	FS	TL	U	FS	TL												
Barcelona	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-
	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3
Sevilla	↓	2	↓	1	-	-	↑	2	↓	1	-	-	↑	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-
	↓	2	↓	1	↑	3	↑	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3
Málaga	↑	2	↓	1	-	-	↑	2	↓	1	-	-	↑	2	↓	1	-	-	↑	2	↓	1	-	-
	↑	2	↓	1	↑	3	↑	2	↓	1	↑	3	↑	2	↓	1	↑	3	↑	2	↓	1	↑	3

Tabla 70. Módulo de esquina A. Dirección y orden de los parámetros (binomio y trinomio). Periodo anual

Ciudad	Configuración MES (A) - Periodo Anual																							
	NO							NE																
	Norte (4)			Oeste (2)				Norte (2)			Este (4)													
	U	FS	TL	U	FS	TL	U	FS	TL	U	FS	TL												
Barcelona	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-
	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3
Sevilla	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↑	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-
	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3
Málaga	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↑	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-
	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↑	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3
Ciudad	SO						SE																	
	Sur (2)			Oeste (4)			Sur (4)			Este (2)														
	U	FS	TL	U	FS	TL	U	FS	TL	U	FS	TL												
Barcelona	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-
	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3
Sevilla	↑	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↓	2	↓	1	-	-	↑	2	↓	1	-	-
	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↓	2	↓	1	↑	3	↑	2	↓	1	↑	3
Málaga	↑	2	↓	1	-	-	↑	2	↓	1	-	-	↑	2	↓	1	-	-	↑	2	↓	1	-	-
	↑	2	↓	1	↑	3	↑	2	↓	1	↑	3	↑	2	↓	1	↑	3	↑	2	↓	1	↑	3

Se aprecia también cómo un valor bajo de transmitancia térmica implica un mayor consumo energético en climas con invierno suave y verano acusado (Málaga y Sevilla). En algunas orientaciones de módulos de esquina [Ej. MES (B) SO oeste (2) en Sevilla] se obtiene menor emisiones de dióxido de carbono con un valor alto (flecha ascendente en azul). Esto ocurre especialmente en varias de las orientaciones de módulos de esquina que están caracterizados por una mayor superficie vidriada a dos orientaciones.

Se puede contemplar el efecto del aprovechamiento de la luz natural, para el tipo de lámpara (fluorescente tubular) y luminaria seleccionada, y situación del fotosensor, sobre el cambio de dirección de la transmitancia térmica y factor solar de algunas orientaciones. En las zonas climáticas más al sur (Málaga y Sevilla) la transmitancia térmica pasa de disipar (flecha ascendente en azul) a mantener el calor (flecha descendente en rojo) [Ej. MES (B) SE sur (2) en Sevilla], mientras que en la zona más al norte (Barcelona) es sobre el factor solar incrementando la ganancia solar (flecha ascendente en rojo) [MLA sur] (Fig. 58).

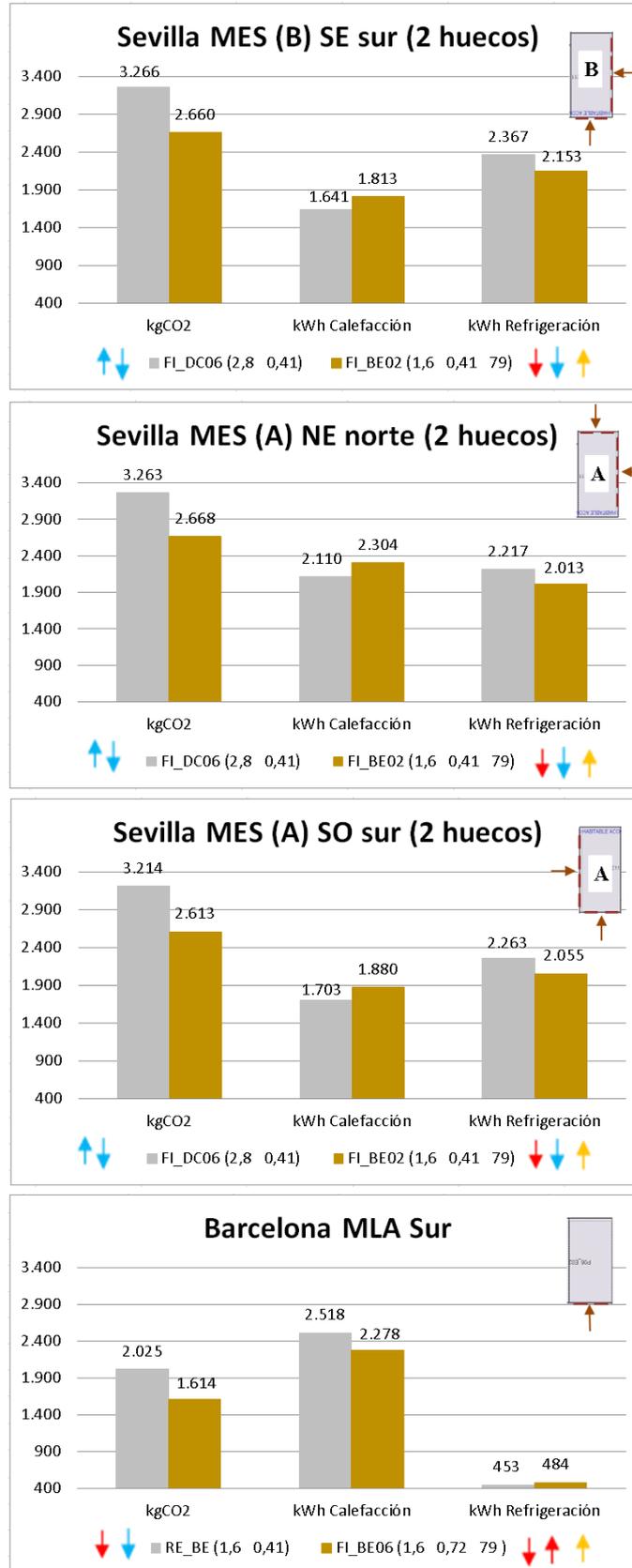


Figura 59. Cambio de dirección parámetros U y FS por efecto de la variación de la carga térmica de iluminación

Una vez reflejado el comportamiento de los parámetros, se indican los cuatro grupos de combinaciones posibles que se pueden dar en la dirección de los parámetros transmitancia y factor solar. Una primera combinación con ambos parámetros altos, una segunda con uno alto y otro bajo, otra tercera con uno bajo y otro alto, siendo en la cuarta ambos bajos. Se muestra el número total de cada combinación con el trinomio y por configuraciones de recintos: planta simplificada y por módulos (Tabla 71). La primera combinación no se muestra en ninguna orientación siendo la cuarta la más repetitiva.

Tabla 71. Dirección parámetros U y FS. Combinaciones

Combinación		Descripción	Total trinomio	Simplificada	Módulo	
U	FS				Lateral	Esquina
↑	↑	Ambos altos	0	0	0	0
↑	↓	Alto y bajo	12	0	0	12
↓	↑	Bajo y alto	1	0	1	0
↓	↓	Ambos bajos	59	12	11	36

En la gran mayoría de las orientaciones se ha obtenido, con los acristalamientos de experimentación, una transmitancia y factor solar bajos (59 en el trinomio), lo que explica por qué el bajo emisivo ha sido el mejor con el procedimiento general. Este hecho tiene que ver no solo por su bajo nivel de transmitancia térmica, como era deducido en un principio por su buen nivel de aislamiento, sino también por su bajo valor del factor solar.

Este resultado coincide con Ihara et al. (2015) en el estudio de oficinas de diferentes compacidades en Tokio, Japón, al afirmar que la medida más efectiva en la reducción de la demanda energética anual pasaría por reducir primero el factor solar de la ventana seguido de la transmitancia térmica. Valores típicos de los acristalamientos dobles y triples bajo emisivos como resaltan Gasparella et al. (2011) en su investigación sobre dicha tipología (U = 1,4 W/m²K - FS = 0,61; U = 1,1 W/m²K - FS = 0,61; U = 0,6 W/m²K - FS = 0,40 y U = 0,7 W/m²K - FS = 0,59).

La combinación de direcciones de los parámetros transmitancia y factor solar da información sobre el comportamiento térmico de los recintos. La segunda, con transmitancia alta y factor solar bajo, se interpreta como disipar el calor interior y reducir la ganancia solar, consiguiendo que la carga interna sea más baja. Kim et al. (2014) confirman que esta composición es la que conlleva un menor consumo energético en módulo de oficina en Seúl. Esta combinación se da precisamente en varias orientaciones de módulos de esquina en Sevilla y Málaga, caracterizadas por tener mayor entrada de radiación solar.

8.3.3. Acristalamiento ideal por orientación

Se muestran los acristalamientos más eficiente por orientación, con binomio (Tabla 72) y trinomio (Tabla 73), para el rango de parámetros de los acristalamientos de mejores prestaciones reales. Se aprecia las orientaciones que disipan calor (fondo azul claro), con acristalamientos con alta transmitancia térmica (**2,8** W/m²K), en las zonas climáticas con severidades de invierno más suaves (A y B) y verano más severas (3 y 4). Éstas son en mayor número a menor letra (A) correspondiente a la ciudad de Málaga. En fondo naranja se destaca la orientación sur del módulo lateral en Barcelona con acristalamiento con factor solar alto (**0,72**).

Tabla 72. Planta cuadrada simplificada (CUS), módulo lateral (MLA) y de esquina (MES). Acristalamiento ideal por orientación (Binomio)

Ciudad	Configuración recintos			Tipologías acristalamientos (binomio)			
				Norte	Sur	Este	Oeste
Barcelona (C2)	CUS			RE_BE			
	MLA			RE_BE			
	MES	B	NO	RE_BE	-	-	RE_BE
			NE	RE_BE	-	RE_BE	-
			SO	-	RE_BE	-	RE_BE
			SE	-	RE_BE	RE_BE	-
		A	NO	RE_BE	-	-	RE_BE
			NE	RE_BE	-	RE_BE	-
			SO	-	RE_BE	-	RE_BE
			SE	-	RE_BE	RE_BE	-
Sevilla (B4)	CUS			RE_BE			
	MLA			RE_BE			
	MES	B	NO	RE_BE	-	-	RE_BE
			NE	RE_BE	-	RE_BE	-
			SO	-	RE_BE	-	FI_DC06
			SE	-	FI_DC06	RE_BE	-
		A	NO	RE_BE	-	-	RE_BE
			NE	FI_DC06	-	RE_BE	-
			SO	-	FI_DC06	-	RE_BE
			SE	-	RE_BE	FI_DC06	-
Málaga (A3)	CUS			RE_BE	FI_DC06	FI_DC06	RE_BE
	MLA			RE_BE			
	MES	B	NO	FI_DC06	-	-	RE_BE
			NE	RE_BE	-	RE_BE	-
			SO	-	FI_DC06	-	FI_DC06
			SE	-	FI_DC06	FI_DC06	-
		A	NO	RE_BE	-	-	RE_BE
			NE	FI_DC06	-	RE_BE	-
			SO	-	FI_DC06	-	FI_DC06
			SE	-	FI_DC06	FI_DC06	-

Acristalamiento y valores de los parámetros:

RE_BE = U (1,6 W/m²K), FS (0,41)

FI_DC06 = U (2,8 W/m²K), FS (0,41)

Tabla 73. Planta cuadrada simplificada (CUS), módulo lateral (MLA) y de esquina (MES). Acristalamiento ideal por orientación (trinomio)

Ciudad	Configuración recintos			Tipologías acristalamientos (trinomio)			
				Norte	Sur	Este	Oeste
Barcelona (C2)	CUS			FI_BE02			
	MLA			FI_BE02	FI_BE06	FI_BE02	
	MES	B	NO	FI_BE02	-	-	FI_BE02
			NE	FI_BE02	-	FI_BE02	-
			SO	-	FI_BE02	-	FI_BE02
			SE	-	FI_BE02	FI_BE02	-
	A	NO	FI_BE02	-	-	FI_BE02	
		NE	FI_BE02	-	FI_BE02	-	
		SO	-	FI_BE02	-	FI_BE02	
		SE	-	FI_BE02	FI_BE02	-	
Sevilla (B4)	CUS			FI_BE02			
	MLA			FI_BE02			
	MES	B	NO	FI_BE02	-	-	FI_BE02
			NE	FI_BE02	-	FI_BE02	-
			SO	-	FI_BE02	-	FI_DC06
			SE	-	FI_BE02	FI_BE02	-
	A	NO	FI_BE02	-	-	FI_BE02	
		NE	FI_BE02	-	FI_BE02	-	
		SO	-	FI_BE02	-	FI_BE02	
		SE	-	FI_BE02	FI_DC06	-	
Málaga (A3)	CUS			FI_BE02			
	MLA			FI_BE02			
	MES	B	NO	FI_DC06	-	-	FI_BE02
			NE	FI_BE02	-	FI_BE02	-
			SO	-	FI_DC06	-	FI_DC06
			SE	-	FI_DC06	FI_DC06	-
	A	NO	FI_BE02	-	-	FI_BE02	
		NE	FI_DC06	-	FI_BE02	-	
		SO	-	FI_DC06	-	FI_DC06	
		SE	-	FI_DC06	FI_DC06	-	

Acristalamiento y valores de los parámetros:

FI_BE02 = U (1,6 W/m²K), FS (0,41), TL (79 %)

FI_BE06 = U (1,6 W/m²K), FS (**0,72**), TL (79 %)

FI_DC06 = U (**2,8** W/m²K), FS (0,41), TL (79 %)

Habría que comentar también, que con la segunda configuración de planta cuadrada simplificada se consigue igual acristalamiento por orientación a diferencia de por módulos que puede dar diferentes tipologías. Se representa a modo de ejemplo la planta rectangular prototipo situación norte-sur en Málaga y trinomio, con dos tipos de acristalamiento en las cuatro fachada (FI_BE02 y **FI_DC06**) (Fig. 59). Se podría decir, que a mayor número de recintos con diferentes cargas térmicas mayor diversidad de acristalamiento por orientación se podría dar.

Para evitar grandes contrastes en la uniformidad de la parte vítrea en una misma o entre fachadas del edificio, la selección del acristalamiento de mercado se ha acotado a aquellos incoloros y neutros. Con ello se garantiza una misma o similar tonalidad en todas las orientaciones a la vez que no distorsiona la luz natural entrante o visión al exterior, como sí lo harían los acristalamientos coloreados o tintados.

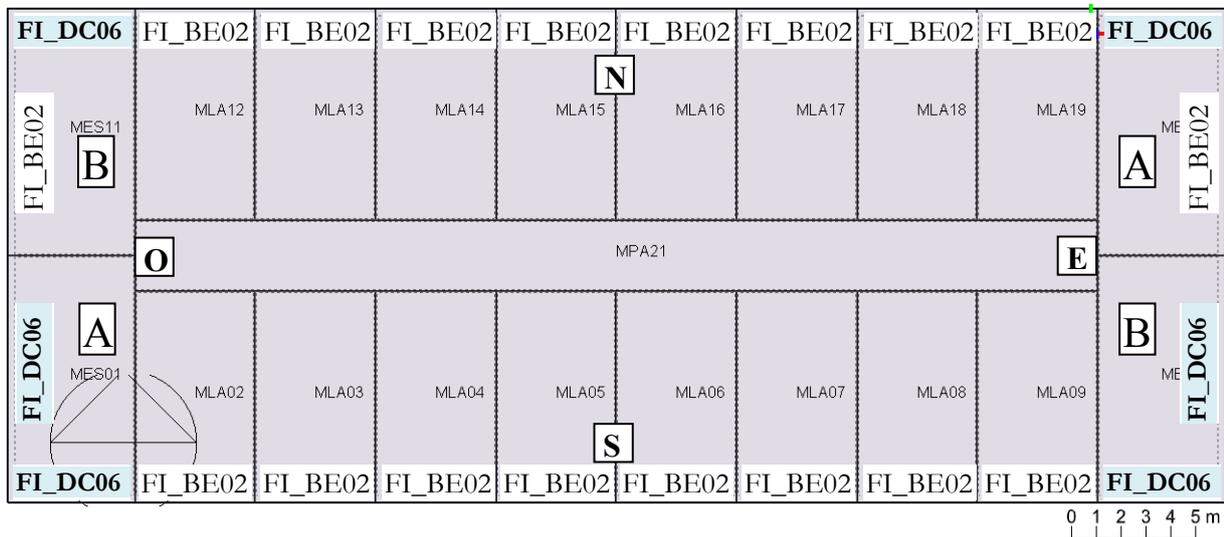


Figura 60. Planta rectangular prototipo (REP) en Málaga N-S. Acristalamiento ideal por orientación (trinomio)

Se refleja a nivel de recinto, el efecto del aprovechamiento de la luz natural sobre el indicador kgCO₂ con los acristalamientos ideales obtenidos en el apartado “8.3. Selección combinación de los parámetros característicos por orientación” con la configuración: planta cuadrada simplificada y módulo lateral (Fig. 60).

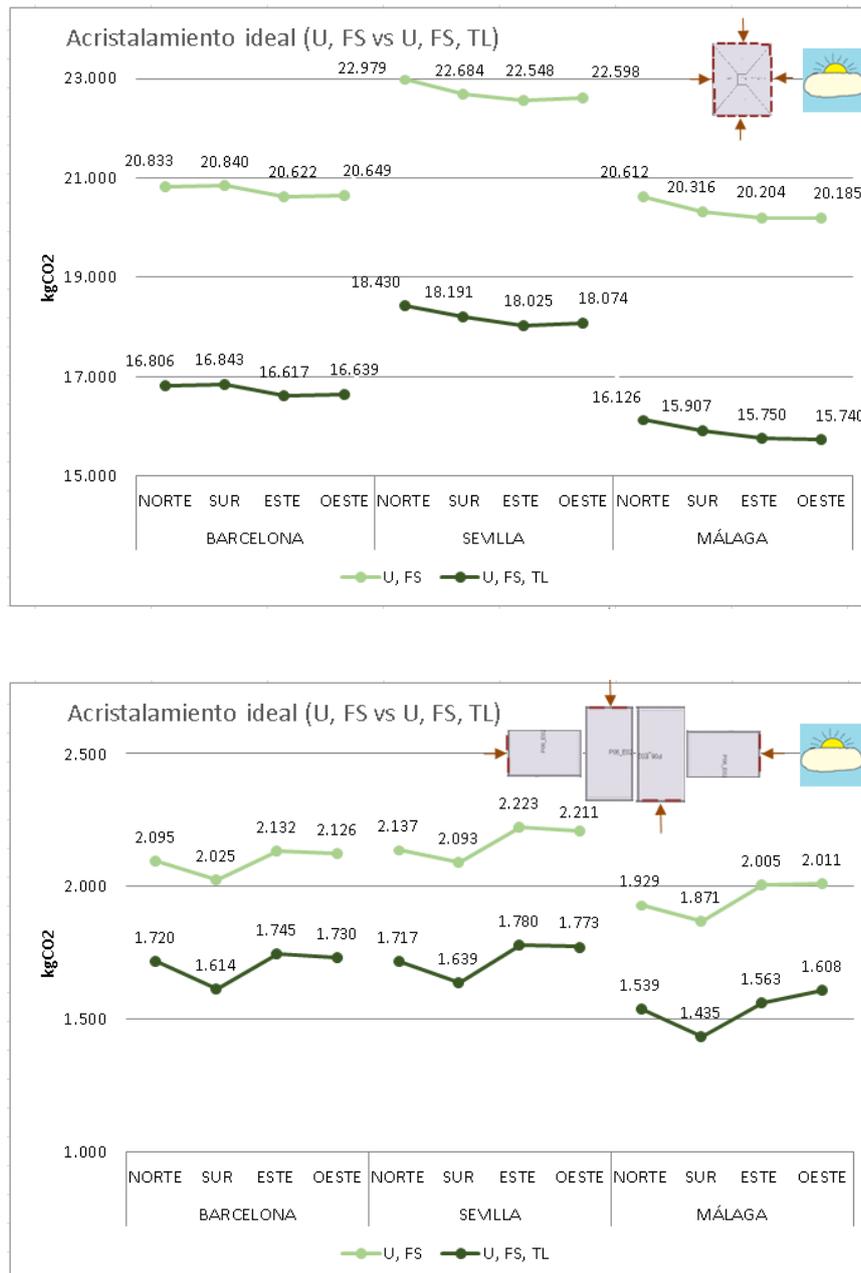


Figura 61. Planta cuadrada simplificada y módulo lateral. Reducción kgCO₂ en el aprovechamiento de la luz natural

Igualmente, se refleja el efecto del aprovechamiento de la luz natural sobre el indicador kgCO₂ con los acristalamientos ideales para cada orientación con la configuración módulo de esquina B y A (Fig. 61).

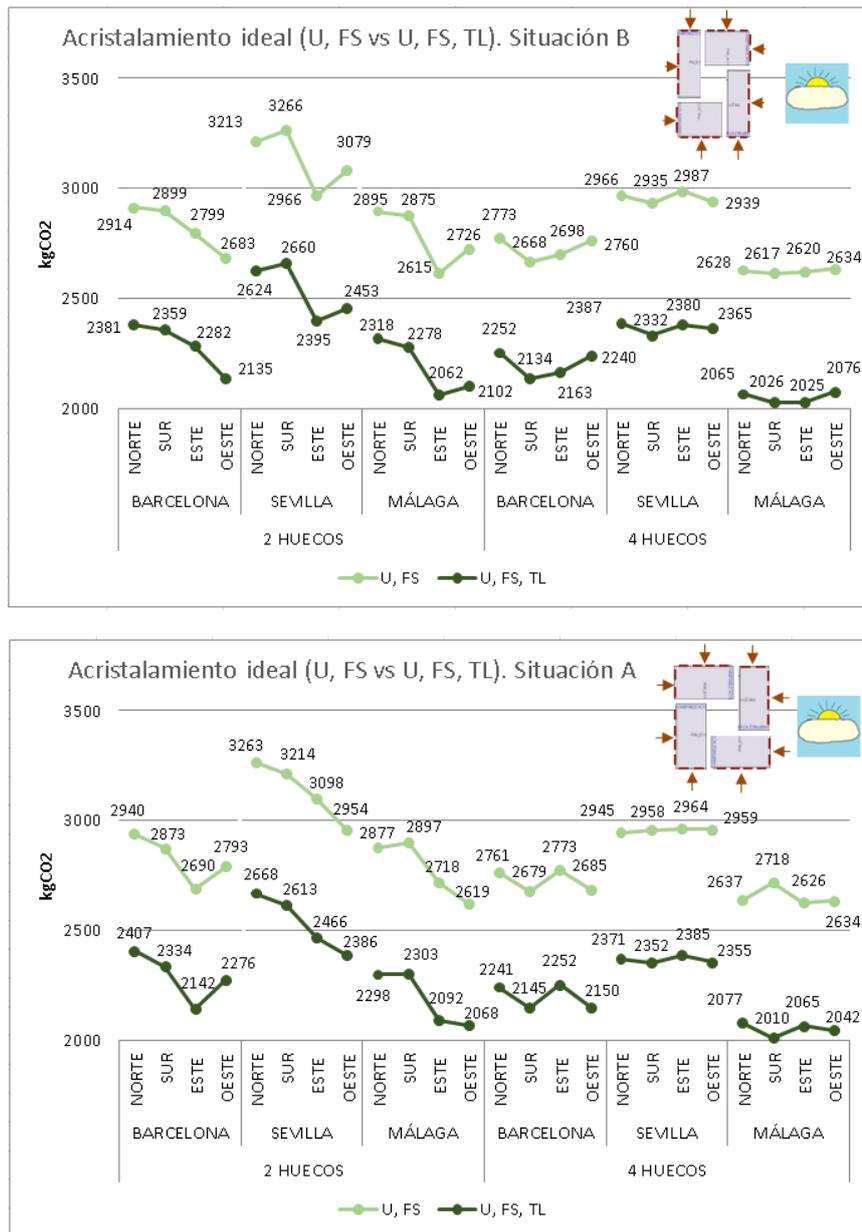


Figura 62. Módulo de esquina B y A. Reducción kgCO₂ en el aprovechamiento de la luz natural

A continuación, se muestra el porcentaje de reducción de emisiones de dióxido de carbono (Tabla 74). En la capital de provincia situada a menor latitud (Málaga 36° 67' N) mayor es la reducción de emisiones, aunque la diferencia respecto a las otras dos ciudades es pequeña. Tampoco hay una orientación claramente predominante al ser las diferencias igualmente muy pequeñas.

Tabla 74. Planta cuadrada simplificada (CUS), módulo lateral (MLA) y de esquina (MES). Porcentaje reducción kgCO₂ en el aprovechamiento de la luz natural

Ciudad	Configuración recintos			% reducción kgCO ₂ por orientación			
				Norte	Sur	Este	Oeste
Barcelona (41° 28' N)	CUS			19,33	19,18	19,42	19,42
	MLA			17,90	20,31	18,16	18,61
	MES	B	2	18,28	18,61	18,46	20,41
			4	18,76	20,00	19,85	18,85
		A	2	18,13	18,77	20,36	18,52
			4	18,86	19,93	18,76	19,92
Sevilla (37° 42' N)	CUS			19,80	19,81	20,06	20,02
	MLA			19,64	21,66	19,89	19,82
	MES	B	2	18,35	18,56	19,23	20,31
			4	19,51	20,54	20,32	19,53
		A	2	18,24	18,70	20,40	19,24
			4	19,51	20,49	19,52	20,39
Málaga (36° 67' N)	CUS			21,76	21,70	22,05	22,02
	MLA			20,22	23,27	22,02	20,07
	MES	B	2	19,94	20,76	21,13	22,89
			4	21,41	22,57	22,69	21,18
		A	2	20,13	20,50	23,04	21,03
			4	21,22	26,05	21,39	22,47

8.4. Validación con el acristalamiento de experimentación

Se muestran los resultados del tercer grupo de simulaciones realizadas con los acristalamientos de experimentación: monolítico sencillo, bajo emisivo e ideales por orientación (trinomio) en la planta cuadrada y rectangular prototipo, situaciones N-S y E-O (Tabla 75 y 76 y Fig. 62 a 65). En anexo 12.5 se encuentran las tablas con los resultados de las simulaciones.

En las tres zonas climáticas se consigue mayor reducción de emisiones respecto al acristalamiento bajo emisivo (RE_BE), el elegido en el apartado “7.02 selección del acristalamiento según prestación”, obteniéndose un incremento de eficiencia energética.

Se emite menor cantidad de emisiones de dióxido de carbono en la situación N-S, siendo en Málaga y ambas plantas prototipos la menor seguida de Barcelona y Sevilla. En cambio, la reducción de las emisiones es mayor en Sevilla seguido esta vez de Málaga y Barcelona.

8.4.1. Planta cuadrada prototipo (CUP)

Tabla 75. Planta cuadrada prototipo (CUP). Emisiones dióxido de carbono, energía final y % de reducción. Acristalamiento ideal experimentación (trinomio)

		Cuadrado prototipo N-S				Cuadrado prototipo E-O			
		Emis. (kgCO ₂)	Ener. final (kWh)	% reducción		Emis. (kgCO ₂)	Ener. final (kWh)	% reducción	
kgCO ₂	kWh			kgCO ₂	kWh				
Barcelona	RE_MS	16.425	45.027	-	-	16.505	45.306	-	-
	RE_BE	15.103	41.287	8,049	8,306	15.127	41.378	8,349	8,670
	Ideal CUS	15.052	41.233	8,359	8,426	15.076	41.318	8,658	8,802
	Ideal MLA y MES	15.047	40.903	8,390	9,159				
Sevilla	RE_MS	18.165	47.260	-	-	18.326	47.818	-	-
	RE_BE	15.787	40.541	13,091	14,217	15.827	40.700	13,636	14,886
	Ideal CUS	15.733	40.481	13,388	14,344	15.776	40.636	13,915	15,019
	Ideal MLA y MES					15.795	40.736	13,811	14,810
Málaga	RE_MS	15.828	39.744	-	-	16.008	40.354	-	-
	RE_BE	13.949	34.316	11,871	13,657	13.950	34.417	12,856	14,712
	Ideal CUS	13.878	34.212	12,320	13,919	13.897	34.340	13,187	14,903
	Ideal MLA y MES	13.916	34.514	12,080	13,159	13.923	34.548	13,025	14,388

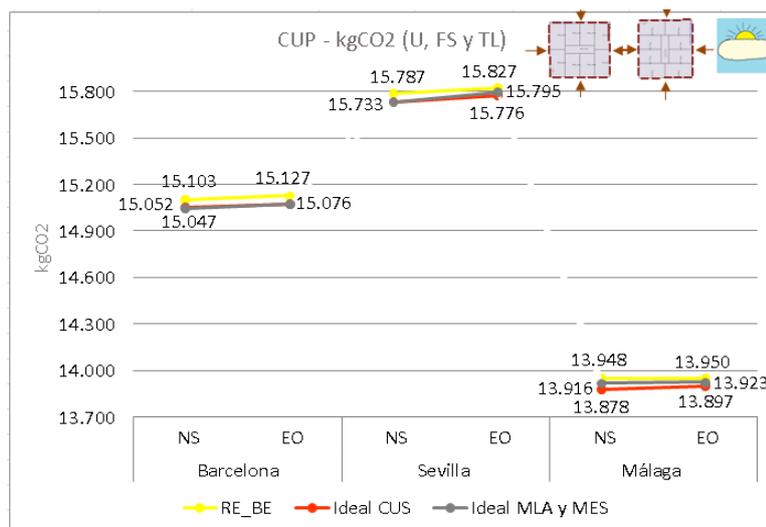


Figura 63. Planta cuadrada prototipo. Emisiones dióxido de carbono acristalamientos RE_BE e ideal CUS y MLA/MES

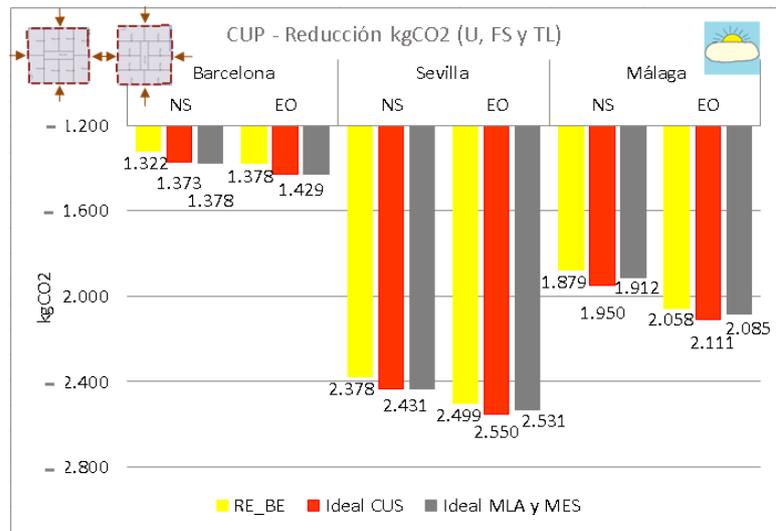


Figura 64. Planta cuadrada prototipo. Reducción emisiones dióxido de carbono acristalamientos RE_BE e ideal CUS y MLA/MES

8.4.2. Planta rectangular prototipo (REP)

Tabla 76. Planta rectangular prototipo (REP). Emisiones dióxido de carbono, energía final y % de reducción. Acristalamiento ideal experimentación (trinomio)

		Rectangular prototipo N-S				Rectangular prototipo E-O			
Ciudad	Vidrios (trinomio)	Emis. (kgCO ₂)	Ener. final (kWh)	% reducción		Emis. (kgCO ₂)	Ener. final (kWh)	% reducción	
				kgCO ₂	kWh			kgCO ₂	kWh
Barcelona	RE_MS	37.592	103.050	-	-	39.147	108.255	-	-
	RE_BE	35.866	98.436	4,593	4,478	36.651	101.097	6,376	6,612
	Ideal CUS	35.722	98.295	4,976	4,615	36.502	100.918	6,757	6,777
	Ideal MLA y MES	35.645	96.826	5,181	6,040				
Sevilla	RE_MS	40.084	103.529	-	-	42.372	110.931	-	-
	RE_BE	36.651	94.135	8,565	9,074	37.845	98.068	10,684	11,596
	Ideal CUS	36.506	93.974	8,926	9,229	37.701	97.888	11,024	11,758
	Ideal MLA y MES					37.722	97.991	10,974	11,665
Málaga	RE_MS	34.987	86.897	-	-	37.388	94.375	-	-
	RE_BE	32.528	79.919	7,030	8,030	33.655	83.661	9,985	11,353
	Ideal CUS	32.293	79.567	7,701	8,435	33.484	83.404	10,442	11,625
	Ideal MLA y MES	32.338	79.879	7,573	8,076	33.515	83.622	10,359	11,394

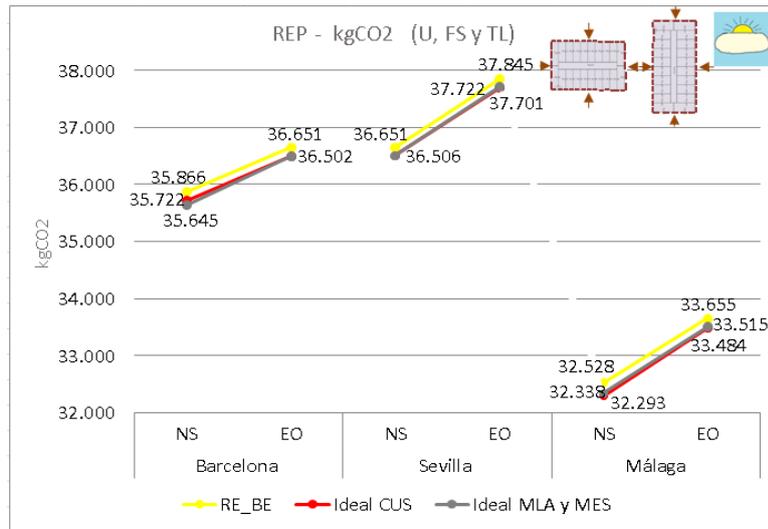


Figura 65. Planta rectangular prototipo. Emisiones dióxido de carbono acristalamientos RE_BE e ideal CUS y MLA/MES

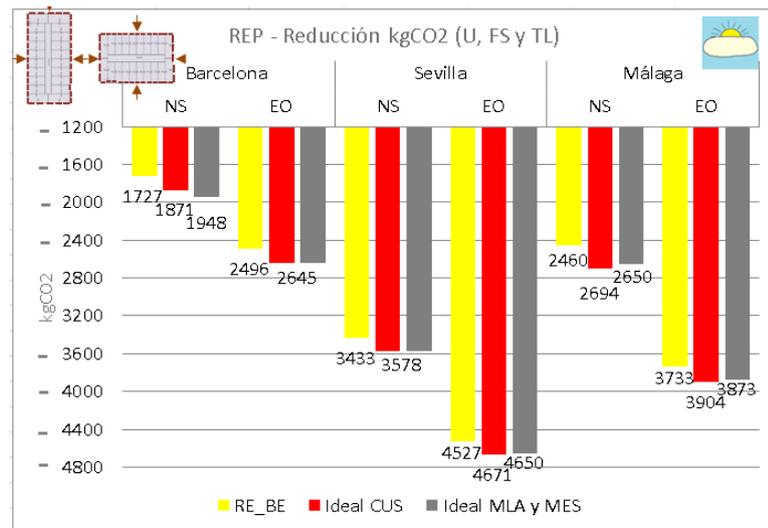


Figura 66. Planta rectangular prototipo. Reducción emisiones dióxido de carbono acristalamientos RE_BE e ideal CUS y MLA/MES

8.4.3. Diferencia de emisiones entre configuraciones de recintos

Si comparamos los resultados de las configuraciones de recintos CUS y MLA/MES, de las plantas cuadrada y rectangular prototipos, en algunos casos se consigue mayor reducción de emisiones con la simplificada (Barcelona) en otros por módulos (Sevilla y Málaga), siendo igual en algunas situaciones de Barcelona y Sevilla al coincidir las tipologías del acristalamientos ideal (Tabla 77).

Tabla 77. Plantas prototipos cuadrada (CUP) y rectangular (REP). Diferencia reducción de emisiones según configuración de recinto

Ciudad	Configuración recintos	Cuadrado prototipo (CUP)				Rectangular prototipo (REP)			
		N-S		E-O		N-S		E-O	
		kgCO ₂	Diferencia (kgCO ₂)	kgCO ₂	Diferencia (kgCO ₂)	kgCO ₂	Diferencia (kgCO ₂)	kgCO ₂	Diferencia (kgCO ₂)
Barcelona	CUS	1.373	- 5 CUS	1.429	=	1.871	- 77 CUS	2.645	=
	MLA y MES	1.378		1.429		1.948		2.645	
Sevilla	CUS	2.431	=	2.550	- 19 MLA/MES	3.578	=	4.671	- 21 MLA/MES
	MLA y MES	2.431		2.531		3.578		4.650	
Málaga	CUS	1.950	- 38 MLA/MES	2.111	- 26 MLA/MES	2.694	- 44 MLA/MES	3.904	- 31 MLA/MES
	MLA y MES	1.912		2.085		2.650		3.873	

8.5. Acristalamientos de mercado

En el anexo 12.6 se relacionan las tablas con la configuración, valores de los parámetros transmitancia, factor solar y transmisión luminosa de los acristalamientos dobles de tonalidades incoloras o aspecto neutro de mercado utilizados en la determinación de la disposición de los parámetros.

Del estudio de los acristalamientos y en líneas generales se podría decir que, para un mismo tipo de gas, diferentes espesores de cámaras apenas influyen en el valor de FS y TL reduciendo el valor de U hasta grosores de 15-16 mm. Grandes diferencias en el grueso de los sustratos reduce los valores de los tres parámetros. Para igual configuración, la posición de un mismo tratamiento de capa varía el valor de FS siendo menor cuanto más al exterior, permaneciendo constante TL y U. A menor valor de emisividad más bajo es U. Un vidrio es más selectivo cuanto mayor es la diferencia entre TL con respecto al FS.

En la característica, “índice global de reducción acústica para ruido exterior dominante de automóviles ($R_{A, tr}$)”, los acristalamientos con espesores de sustratos asimétricos (distintos espesores del vidrio entre cara exterior e interior. Ej. 6/12/8) o laminar con butiral (PVB) acústico (representado con una “a” minúscula. Ej. 6/12/88.1a) aumentan la protección frente al ruido. En mayor medida con un butiral acústico.

8.6. Selección del acristalamiento

Se muestran los resultados del cuarto grupo de simulaciones realizadas con los acristalamientos de mercado y tercera configuración por módulos. En anexo 12.7 se encuentran las tablas con los resultados de las simulaciones.

8.6.1. Procedimiento “orden de incidencia”

Comenzando con el módulo lateral, se refleja para la orientación norte en Sevilla las emisiones de dióxido de carbono de:

- Los tres acristalamientos reales de experimentación RE_MS, RE_DC y RE_BE.
- El ficticio FI_BE02, resultado de la combinación de parámetros con el que se obtuvo mayor reducción de emisiones en el apartado 8.03.
- El de mercado bajo emisor-control solar RE_BC21 (6/12/4 de U - 1,0 W/m²K, FS - 0,22 y TL 41%) con gas Kriptón 95% en cámara. Acristalamiento elegido según la secuencia de los parámetros (dirección y orden): FS (bajo_1°), U (bajo_2°) y TL (alto_3°).

A pesar de tener el acristalamiento RE_BC21 la transmitancia térmica y el factor solar más bajo de los cinco no se consigue mayor reducción de emisiones, siendo incluso peor que el monolítico sencillo.

No tiene sentido que un acristalamiento con elevado nivel de aislamiento (1,0 W/m²K) en la fachada norte, orientación más restrictiva del valor de transmitancia térmica como se aprecia en las tablas de limitación de la demanda del CTE⁷⁰, se comporte peor que otro de 5,7 W/m²K. Además, el factor solar tiene un valor muy bajo, situación favorable en dicha orientación al reducir la entrada de la radiación solar en los meses incidentes en verano, como se aprecia en las cartas solares estereográficas⁷¹.

Se realiza un análisis del efecto del parámetro transmisión luminosa sobre las emisiones. Por un lado, intercambiando el valor 41 % del acristalamiento RE_BC21 por el 91% del monolítico sencillo, pasando a denominarse RE_BC21 modificado. Se consigue la mayor reducción de 115,94 kgCO₂ (Fig. 66). Por otro lado, se analiza el binomio transmitancia y factor solar prescindiendo del sensor de luz. Se consigue también la mayor reducción, en este caso de 131,55 kgCO₂ (Fig. 67). Esto quiere decir que la transmisión luminosa no debería de ser considerada al mismo nivel que la transmitancia y factor solar descartándose este primer procedimiento.

⁷⁰ CTE (2017). DB-HE 1 Limitación de la demanda energética. Ministerio de Fomento. Apartado D.2 Parámetros característicos de la envolvente. En las tablas de parámetros límite, el valor de transmitancia térmica en el norte es la más restrictiva.

⁷¹ Página web <https://www.sunearthtools.com/> 21/06/17

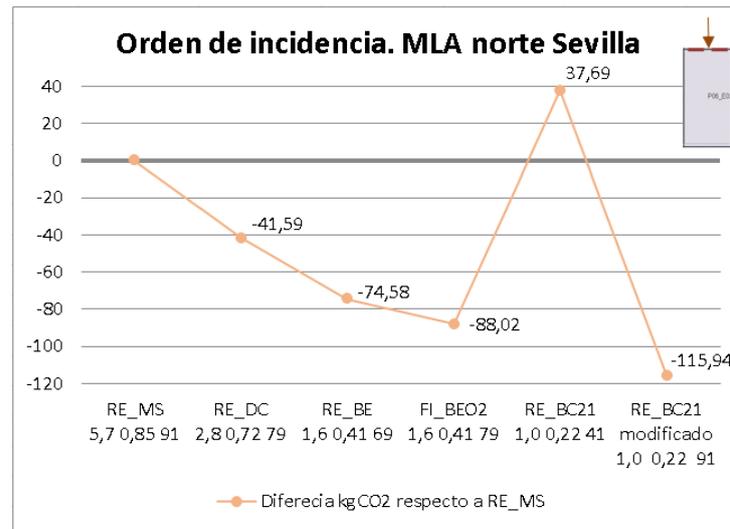


Figura 67. Orden de incidencia. Reducción emisiones en módulo lateral orientación norte en Sevilla. Trinomio

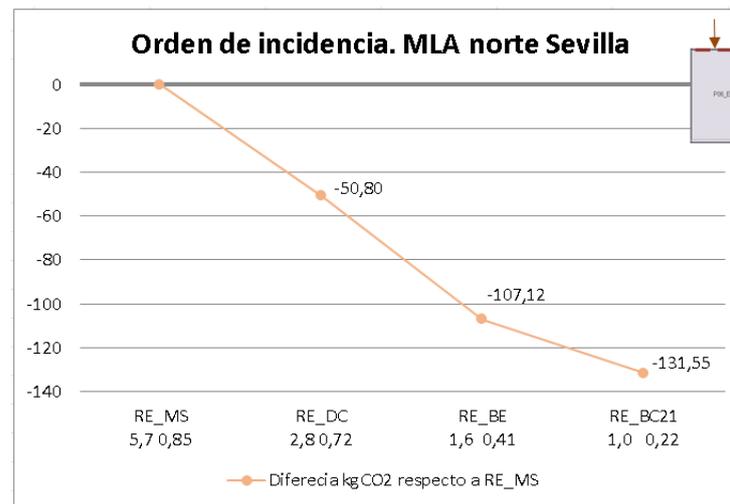


Figura 68. Orden de incidencia. Reducción emisiones en módulo lateral orientación norte en Sevilla. Binomio

8.6.2. Procedimiento “orden secuencial”

De los resultados obtenidos en los apartados “8.02. Selección del acristalamiento según prestación” y “8.03. Selección combinación de los parámetros característicos por orientación” se realiza un análisis de los tres parámetros.

En las simulaciones se ha visto la influencia del aprovechamiento de la luz natural en el comportamiento energético del edificio (sentido del exterior al interior). Por un lado, en el consumo eléctrico de iluminación (menor cantidad de emisiones). Por otro, el efecto sobre los sistemas térmicos (el que aumenta y disminuye), siendo por último, en el cambio de dirección de los parámetros U y FS según zona climática y orientación. Un valor de transmisión luminosa alto

implica un menor tiempo de funcionamiento de la luz artificial traduciéndose en menor consumo energético y ganancia interna, lo que provoca de manera indirecta una disminución del consumo de refrigeración y aumento de la calefacción. Con un valor bajo se produce lo contrario.

En cambio, la transmitancia térmica y factor solar condicionan directamente el consumo de los sistemas térmicos. Con el factor solar se consigue siempre ganancia energética que puede ser beneficiosa o perjudicial según época del año (sentido del exterior al interior), mientras que la transmitancia térmica se interpreta como reducir la pérdida o disipar el calor con un valor bajo o alto respectivamente (sentido del interior al exterior). Además, ambas están influenciadas por la carga interna siendo en principio la transmitancia en mayor grado por estar condicionada también por el factor solar.

Este procedimiento se basa por tanto en el orden secuencial (jerarquía) de los tres parámetros e inter-vinculación entre ellos. Primero la transmisión luminosa por su doble efecto favorable con un valor alto. De forma directa sobre la reducción del consumo de iluminación e indirecta sobre la refrigeración. A ello habría que añadir además, la influencia en el cambio de dirección de la transmitancia y factor solar no estando condicionado por ellos. Segundo, el factor solar al influir en la carga interna total del recinto, estar condicionado por el parámetro transmisión luminosa e influir en el cambio de dirección de la transmitancia térmica. En último lugar, el parámetro aislante.

Se refleja para la orientación sur en Sevilla las emisiones de dióxido de carbono de:

- Los tres acristalamientos reales de experimentación RE_MS, RE_DC y RE_BE.
- El ficticio FI_BE02, resultado de la combinación de parámetros con el que se obtuvo mayor reducción de emisiones en el apartado 8.03.
- El de mercado bajo emisivo-control solar RE_BE02 (4/12/4 de U - 1,0 W/m²K, FS - 0,62 y TL 82 %) con gas Kriptón 95% en cámara. Acristalamiento elegido según la secuencia de los parámetros (dirección y orden): TL (alto_1°), FS (bajo_2°) y U (bajo_3°).

A pesar de tener el acristalamiento seleccionado RE_BE02 un valor de transmisión luminosa incluso mayor que el bajo emisivo real y ficticio, no se obtiene una mayor reducción de emisiones, siendo de 110,20 kgCO₂ (Fig. 68). El hecho de considerar la transmisión luminosa en primer lugar de valor alto no implica una mayor reducción si no va acompañado con los valores adecuados de transmitancia y factor solar.

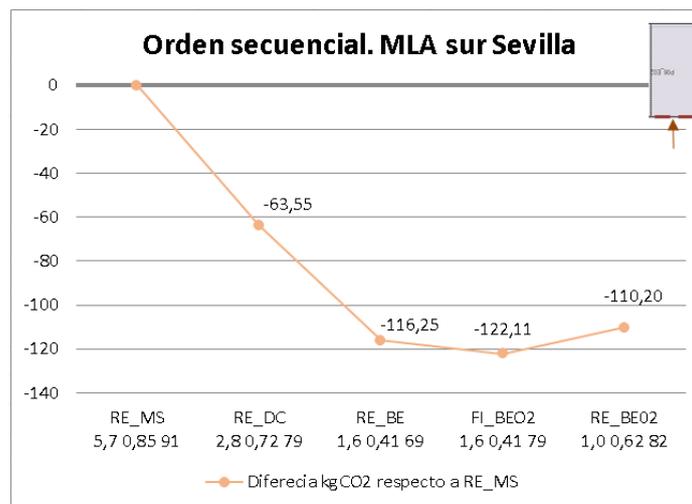


Figura 69. Orden secuencial. Reducción emisiones en módulo lateral orientación sur en Sevilla

8.6.3. Procedimiento “orden binomio y transmisión luminosa”

En el “orden de incidencia” se ha visto, con los acristalamientos RE_BC21 y RE_BC21 modificado, que valores altos de transmisión luminosa produce un gran efecto en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono mientras que en el “orden secuencial” los valores de U y FS están condicionados entre sí debiendo mantener un equilibrio entre ellos.

El orden de este tercer procedimiento se basa primero en el binomio U y FS, sin establecer una jerarquía entre ambos, para posteriormente elegir el acristalamiento con la transmisión luminosa mayor. Debido a la ausencia de jerarquía en el binomio se considera la dirección de los dos parámetros simultáneamente, para lo que se definen la de los cuatro grupos de acristalamiento de mercado objetos de consideración. Éstos, están referenciados a los valores de los acristalamientos de mejores prestaciones iniciales doble claro (RE_DC - U= 2,8 W/m²K FS= 0,72 TL= 79 %) y baja emisividad (RE_BE - U= 1,6 W/m²K FS= 0,41 TL= 69 %).

Si se analizan los cuatro grupos de acristalamientos de mercado. Los dobles claro tienen una transmisión luminosa y binomio elevado. Los bajos emisivos mantienen igualmente el parámetro lumínico elevado siendo la transmitancia térmica baja y factor solar no tan alto como el anterior. Los de control solar no permiten tanta entrada de luz natural siendo los más bajos, con un factor radiante de valor medio y alta transmitancia. Por último, los bajo emisivo-control solar tienen una variedad de transmisión luminosa algo altas y bajas con baja transmitancia y factor solar.

En las configuraciones de recintos simplificada y por módulos del apartado “8.3. Selección combinación parámetros característicos por orientación” se obtuvieron tres combinaciones de la dirección de los parámetros U y FS, siendo la segunda, tercera y cuarta. Cotejando estas tres combinaciones con la de los acristalamientos de mercado, la segunda (transmitancia alta y factor solar bajo) se identificaría con el acristalamiento control solar pero con el inconveniente de tener

una transmisión luminosa baja. La tercera (transmitancia baja y factor solar alto) se asemejaría al bajo emisor que tiene una transmitancia y factor solar bajo y algo alto, respectivamente. La cuarta (transmitancia y factor solar bajos) coincidiría con el bajo emisor-control solar (Fig. 69).

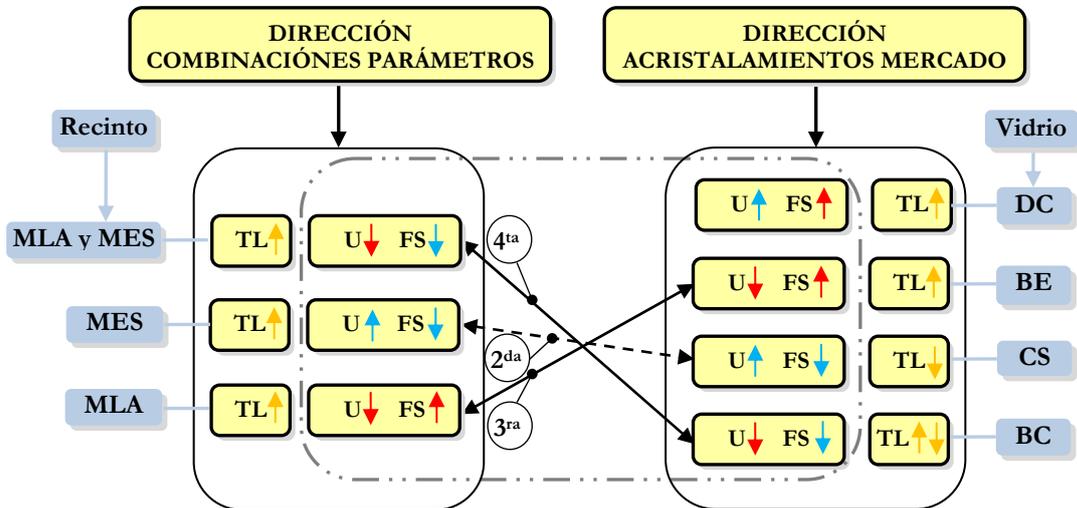


Figura 70. Acristalamientos de experimentación y de mercado. Semejanza dirección parámetros (binomio y trinomio)

Se reflejan las emisiones de dióxido de carbono de:

- El acristalamientos real de experimentación RE_BE con el que se obtuvo mayor reducción de emisiones en el apartado 8.02.
- El de mercado bajo emisor-control solar RE_BC01 (6/10/4 de U - 0,9 W/m²K, FS - 0,38 y TL 72 %) con gas Kriptón 95% en cámara en el módulo lateral. Acristalamiento elegido según la secuencia de los parámetros (dirección y orden): U y FS (ambas bajas_1º) y TL (alto_2º).
- El de mercado bajo emisor RE_BE01 (4/10/4 de U - 1,0 W/m²K, FS - 0,62 y TL 82 %) con gas kriptón 95 % en cámara en el caso de la orientación sur en Barcelona. Acristalamiento elegido según la secuencia de los parámetros (dirección y orden): U y FS (baja y alta_1º) y TL (alto_2º).

Se obtiene una mayor reducción de emisiones en todas las orientaciones y zonas climáticas con los acristalamientos de mercado seleccionados, no obtenida con los otros dos procedimientos anteriores (Fig. 70).

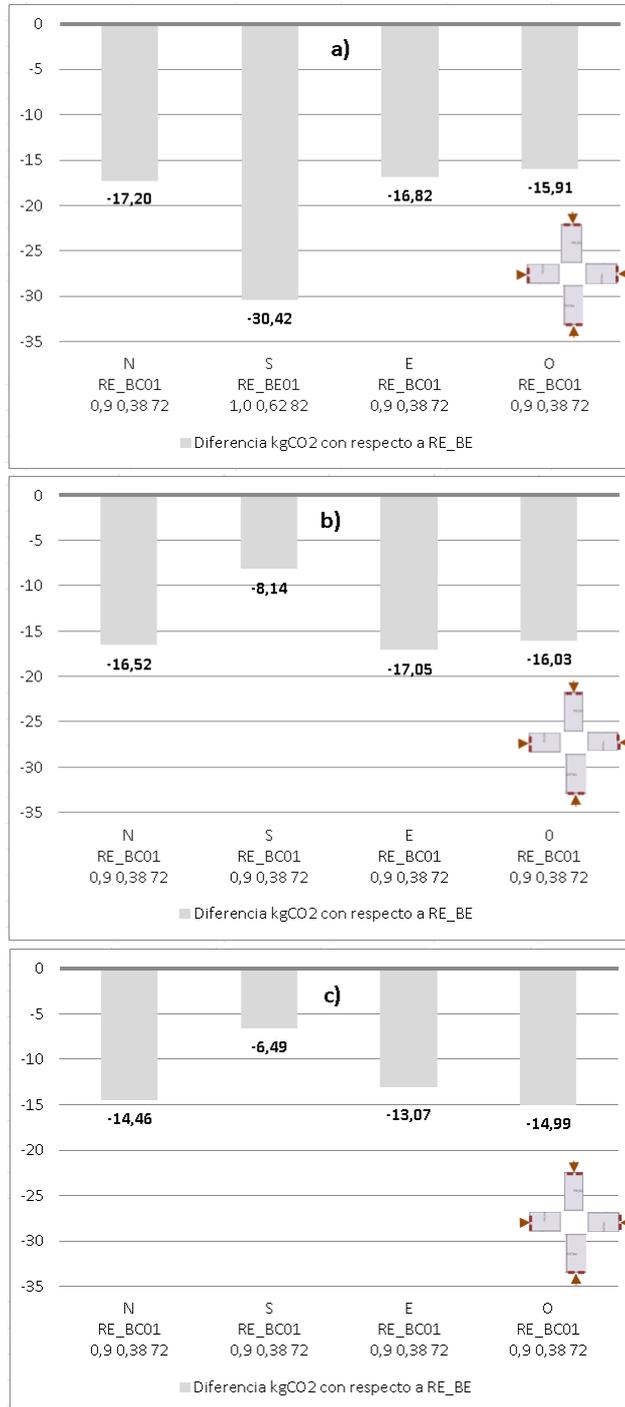


Figura 71. Orden binomio y transmisión luminosa. Reducción emisiones en módulo lateral: a) Barcelona, b) Sevilla y C) Málaga

En cuanto a los módulos de esquina A y B se reflejan las emisiones de dióxido de carbono de:

- El acristalamiento real de experimentación RE_BE con el que se obtuvo mayor reducción de emisiones en el apartado 8.02.
- El de mercado bajo emisivo-control solar RE_BC01 (6/10/4 de U - 0,9 W/m²K, FS - 0,38 y TL72 %) con gas kriptón 95% en cámara. Acristalamiento elegido según la secuencia de los parámetros (orden y dirección): U y FS (ambas bajas_ 1°) y TL (alto_2°).

Las orientaciones que se identifican con el acristalamiento control solar (transmitancia alta y factor solar bajo) se respeta el bajo emisivo real de experimentación, al no cumplir la transmisión luminosa con la dirección de un valor alto. Se comprueba que se consigue mayores emisiones con dicha tipología.

Se obtiene una mayor reducción de emisiones en todas las orientaciones y zonas climáticas con los acristalamientos de mercado seleccionados, excepto en tres orientaciones en Sevilla con diferencias muy pequeñas (Fig. 71 y 72).

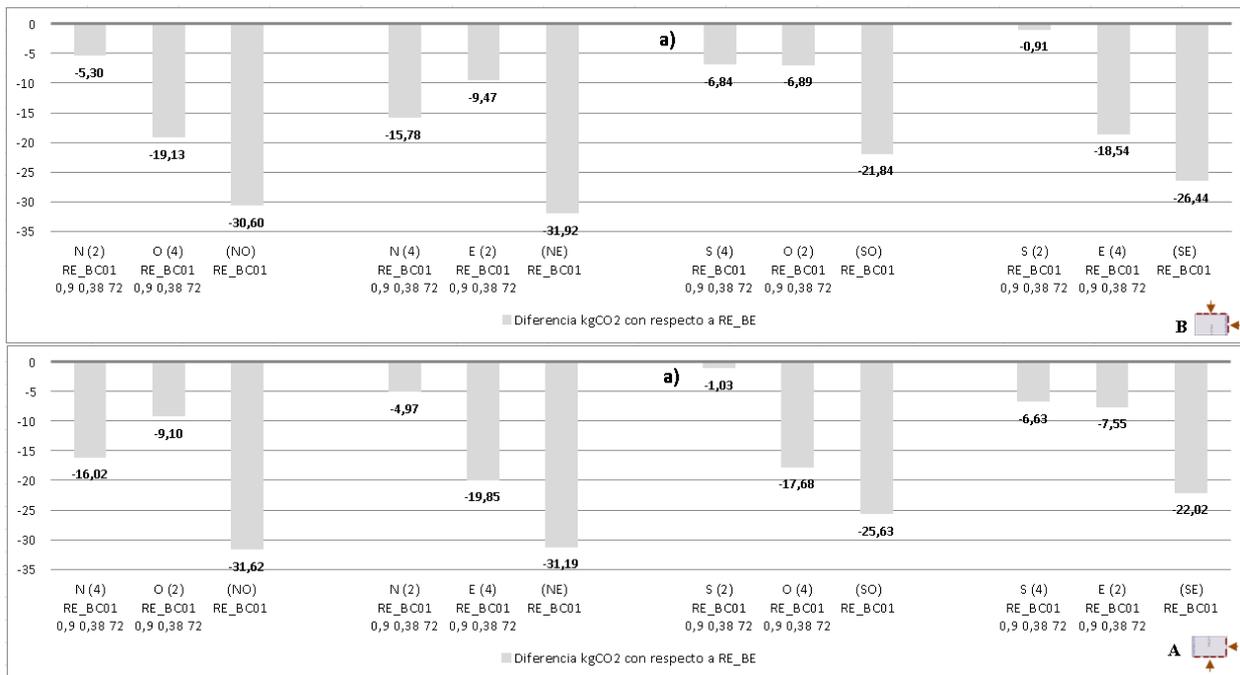


Figura 72. Orden binomio y transmisión luminosa. Reducción emisiones en módulo de esquina situación A y B en Barcelona

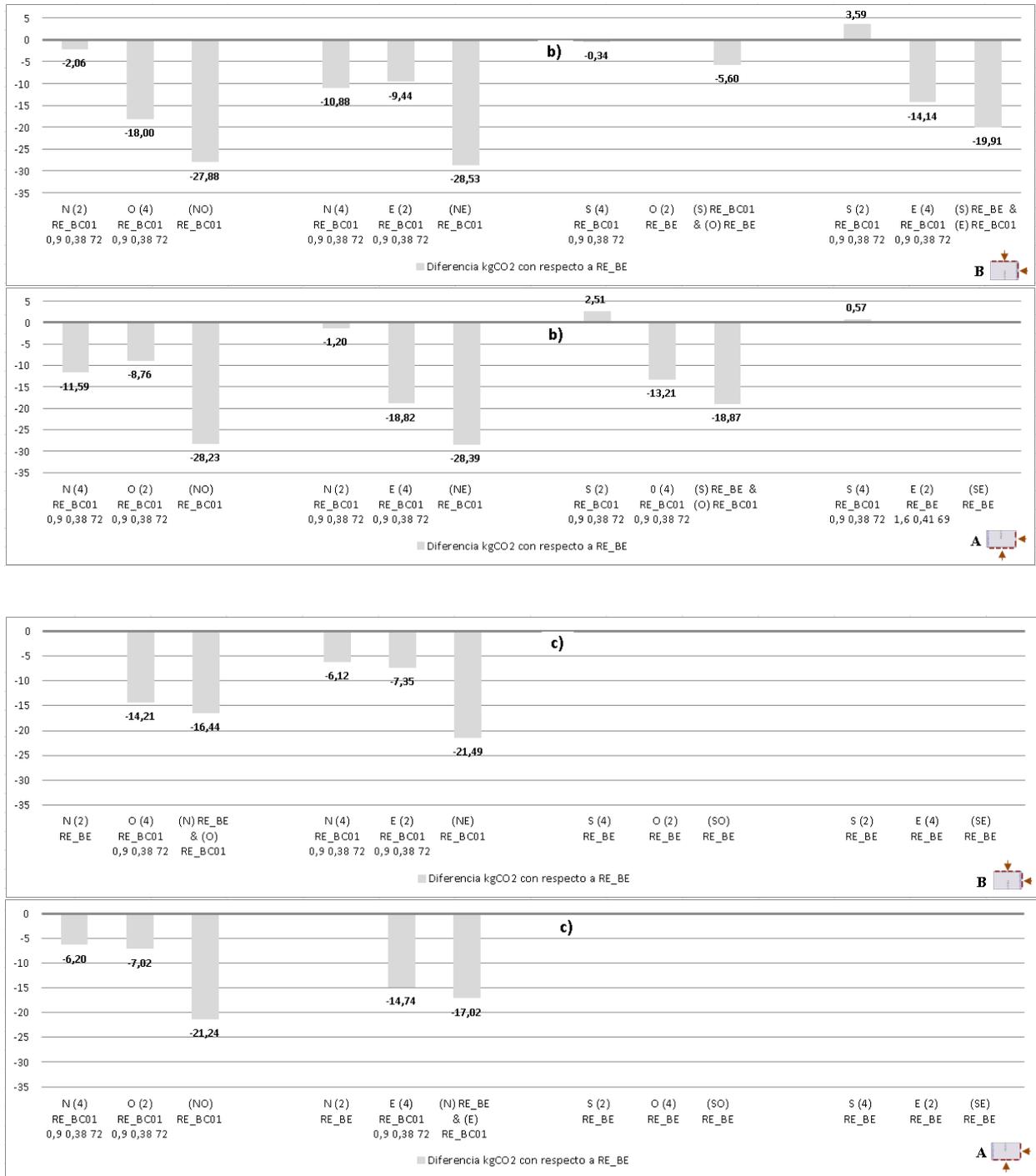


Figura 73. Orden binomio y transmisión luminosa. Reducción emisiones en módulo de esquina situación A y B en: b) Sevilla y c) Málaga

8.7. Validación con el acristalamiento de mercado

Se muestran los resultados del quinto grupo de simulaciones realizadas con los acristalamientos de experimentación: monolítico sencillo y bajo emisivo, y el de mercado seleccionado con la secuencia del procedimiento “orden binomio y transmisión luminosa” en la planta cuadrada y rectangular prototipo, situaciones N-S y E-O (Tabla 78 y 79). En anexo 12.8 se encuentran las tablas con los resultados de las simulaciones. En las tres zonas climáticas se consigue mayor reducción de emisiones respecto al acristalamiento bajo emisivo (RE_BE), obteniéndose un incremento de eficiencia energética.

8.7.1. Planta cuadrada prototipo (CUP)

Tabla 78. Planta cuadrada prototipo (CUP). Emisiones dióxido de carbono, energía final y % de reducción. Acristalamiento de mercado (trinomio)

		Cuadrado prototipo N-S				Cuadrado prototipo E-O			
		Emis. (kgCO ₂)	Ener. final (kWh)	% reducción		Emis. (kgCO ₂)	Ener. final (kWh)	% reducción	
kgCO ₂	kWh			kgCO ₂	kWh				
Barcelona	RE_MS	16.425	45.027	-	-	16.505	45.306	-	-
	RE_BE	15.103	41.287	8,049	8,306	15.127	41.378	8,349	8,670
	Mercado MLA y MES	14.903	40.218	9,266	10,680	14.951	40.572	9,415	10,448
Sevilla	RE_MS	18.165	47.260	-	-	18.326	47.818	-	-
	RE_BE	15.787	40.541	13,091	14,217	15.827	40.700	13,636	14,886
	Mercado MLA y MES	15.645	39.962	13,872	15,442	15.701	40.193	14,323	15,945
Málaga	RE_MS	15.828	39.744	-	-	16.008	40.354	-	-
	RE_BE	13.949	34.316	11,871	13,657	13.950	34.417	12,856	14,712
	Mercado MLA y MES	13.876	34.026	12,332	14,387	13.852	34.011	13,468	15,718

8.7.2. Planta rectangular prototipo (REP)

Tabla 79. Planta rectangular prototipo (CUP). Emisiones dióxido de carbono, energía final y % de reducción. Acristalamiento de mercado (trinomio)

Ciudad	Vidrios (trinomio)	Rectangular prototipo N-S				Rectangular prototipo E-O			
		Emis. (kgCO ₂)	Ener. final (kWh)	% reducción		Emis. (kgCO ₂)	Ener. final (kWh)	% reducción	
				kgCO ₂	kWh			kgCO ₂	kWh
Barcelona	RE_MS	37.592	103.050	-	-	39.147	108.255	-	-
	RE_BE	35.866	98.436	4,593	4,478	36.651	101.097	6,376	6,612
	Mercado MLA y MES	35.549	97.064	5,434	5,808	36.296	99.592	7,282	8,002
Sevilla	RE_MS	40.084	103.529	-	-	42.372	110.931	-	-
	RE_BE	36.651	94.135	8,565	9,074	37.845	98.068	10,684	11,596
	Mercado MLA y MES	36.373	93.081	9,258	10,091	37.536	96.914	11,413	12,635
Málaga	RE_MS	34.987	86.897	-	-	37.388	94.375	-	-
	RE_BE	32.528	79.919	7,030	8,030	33.655	83.661	9,985	11,353
	Mercado MLA y MES	32.344	79.213	7,554	8,842	33.399	82.685	10,669	12,386

8.8. Influencia de la protección frente al ruido

En la definición del acristalamiento del edificio modelo respecto a la “protección frente al ruido aéreo por tráfico rodado” se estableció un valor $R_{A,tr}$ de 40 dBA. Nivel límite que es superior al de los acristalamientos de mercado RE_BE01 (27 dBA) y RE_BC01 (30 dBA) seleccionados. El cumplimiento de normativa o restricciones propias de diseño suponen una limitación del abanico de acristalamientos sobre los que elegir (Tabla 80). Primera medida a tener en cuenta en la propuesta de la metodología.

Tabla 80. Acristalamientos de mercado. Valor RA_{tr} mayor o igual a 40 dBA

Acristalamientos de mercado (Limitación DB HR)							
Código	Configuración (mm)	Gas cámara	U (W/m ² K)	FS (adimensional)	Tl (%)	R _w (C;C _{tr}) (dB)	Precio (€/m ²)
RE_DC42	12/12/44.1a	Aire	2,8	0,72	79	44(0;-4)	162,92
		Argón 90%	2,6	0,72	79		
		Kriptón 95%	2,5	0,75	79		
RE_DC43	55.1/20/44.1a	Aire	2,8	0,70	79	46(-2;-6)	182,41
		Argón 90%	2,5	0,70	79		
		Kriptón 95%	2,5	0,70	79		
RE_DC45	66.2/20/44.2a	Aire	2,6	0,67	78	49(-2;-6)	232,83
		Argón 90%	2,5	0,67	78		
		Kriptón 95%	2,5	0,67	78		
RE_DC46	44.2/24/66.2a	Aire	2,6	0,69	78	50(-2;-7)	237,31
		Argón 90%	2,5	0,69	78		
		Kriptón 95%	2,5	0,69	78		
RE_BE32	55.1/20/44.1a	Aire	1,4	0,57	79	46(-2;-6)	205,55
		Argón 90%	1,1	0,56	79		
		Kriptón 95%	1,0	0,56	79		
RE_BE33	44.1/20/55.1a	Aire	1,4	0,57	79	46(-2;-6)	211,95
		Argón 90%	1,1	0,57	79		
		Kriptón 95%	1,0	0,57	79		
RE_BC64	44.1/20/55.1a	Aire	1,3	0,36	69	46(-2;-6)	237,03
		Argón 90%	1,1	0,36	69		
		Kriptón 95%	1,0	0,36	69		

8.9. Metodología en la selección del acristalamiento

Una vez analizado configuraciones de recintos a partir del diseño de una planta modelo rectangular, la dirección y orden de los parámetros del acristalamiento así como la influencia de las características “protección frente al ruido aéreo por tráfico rodado”, se propone los pasos a seguir en la propuesta de metodología de selección del acristalamiento en huecos de fachada por orientación a nivel de recinto.

- 1) Conocer si el acristalamiento está supeditado a limitaciones técnicas por normativa (protección frente al ruido, seguridad de uso, etc.), y/o de diseño, para determinar el número de acristalamiento objeto de consideración sobre los que realmente se pueden elegir.
- 2) Escoger la configuración sobre la cual realizar la selección del acristalamiento (simplificada o por módulos).
- 3) Elegir dos acristalamientos de diferentes prestaciones del punto nº 1 (Ej. con y sin tratamiento de capa) para crear auxiliares ficticios mediante la combinación de los valores de los parámetros característicos.

- 4) Convertir los valores altos y bajos en flechas ascendentes y descendentes para mediante simulaciones establecer la dirección de los parámetros en cada orientación de los recintos.
- 5) Determinar la dirección de los grupos de acristalamientos de mercado objeto de consideración del punto n° 1, referenciados a los valores de los dos acristalamiento reales del punto n° 3.
- 6) Elegir el acristalamiento de mercado mediante la secuencia compuesta por: la dirección de los parámetros del punto n° 4 y el procedimiento “orden binomio y transmisión luminosa”, de entre los grupos objeto de consideración del punto n° 1.
- 7) En el caso de no conseguirse una reducción de emisiones en la orientación y recinto de estudio, elegir el acristalamiento real con el que se obtuvo menos emisiones en el punto n° 4.
- 8) Una vez seleccionado los acristalamientos aplicarlos al recinto y orientación correspondiente del edificio objeto.

9. CONCLUSIONES

La investigación se ha centrado en proponer una metodología no exhaustiva que facilite la selección del acristalamiento de mercado en edificios de oficinas de planta rectangular y cuadrada con una distribución interior compuesta por: pasillo central y módulos laterales y de esquina. Para ello, se ha escogido y diseñado un edificio modelo por su elevada superficie vidriada, consumo energético y potencial aprovechamiento de la luz natural. Por simplificación, se ha acotado a nivel de planta y más representativa como es la intermedia.

Con el fin de conocer además el comportamiento teórico del acristalamiento (según prestación, que viene condicionada por la configuración y tratamiento de capa, y parámetros característicos, transmitancia térmica, factor solar y transmisión luminosa) en el consumo de calefacción, refrigeración e iluminación, y emisiones de dióxido de carbono anual, se ha basado en una comparación a igualdad de condiciones considerando la opción de máxima incidencia de la radiación solar. En esta fase, tres acristalamientos de experimentación han sido utilizados: el monolítico sencillo, el doble claro y el bajo emisivo.

La condición de una igualdad de condiciones y máxima radiación ha hecho distinguir y considerar diferentes escenarios con origen en el modelo. Unos escenarios relacionados con la distribución de los recintos (configuración simplificada y por módulos), y otros escenarios, con la forma de la planta del edificio modelo en la validación de un incremento de eficiencia energética (planta rectangular y cuadrada prototipo).

A continuación, se exponen las conclusiones siguiendo el mismo orden establecido en el capítulo “3. Objetivos”.

9.1. Conclusiones sobre el objetivo general

En la obtención de una propuesta de metodología, no exhaustiva, que facilite la selección del acristalamiento por orientación se han analizado tres procedimientos de acuerdo a la disposición (orden) de los parámetros. Se ha propuesto aquel con el que se consigue una reducción de emisiones en el mayor número de orientaciones respecto al mejor acristalamiento obtenido con el método general (bajo emisivo), validado posteriormente en las plantas prototipos.

El procedimiento “orden de incidencia” considera los tres parámetros del acristalamiento al mismo nivel pudiéndose obtener resultados incluso peores que con el monolítico sencillo. El procedimiento “orden secuencial”, caracterizado por dar prioridad al aprovechamiento de la luz natural, no implica obtener una mayor reducción de emisiones si no va acompañado a los valores adecuados de transmitancia y factor solar. El procedimiento “binomio y transmisión luminosa”, se basa en elegir primero el conjunto transmitancia y factor solar, para posteriormente seleccionar la transmisión luminosa de mayor valor. Este procedimiento es con el que se consigue una reducción de emisiones en el mayor número de orientaciones.

Tiene el inconveniente de no diferenciar el efecto de considerar diferentes valores de: transmitancia térmica, factor solar y transmisión luminosa, respecto a los utilizados en establecer las direcciones de los tres parámetros. Pequeñas modificaciones de los valores produce una variación de la carga interna. Esta situación lleva en algunos casos a obtener resultados peores que con el acristalamiento bajo emisivo, aunque en la investigación han sido de diferencias muy pequeñas.

Una vez analizo configuraciones de recintos, la dirección y orden de los parámetros del acristalamiento así como la influencia de las características “protección frente al ruido aéreo por tráfico rodado” se ha definido la metodología propuesta, descrita en el apartado “8.9. Metodología en la selección del acristalamiento”. Consta de una serie de fases caracterizada por excluir desde el principio los acristalamientos de mercado que no cumplen la normativa o criterios propios de diseño. Con dos acristalamientos de prestaciones completamente diferentes se establece la dirección de los parámetros. Mediante eliminación, siguiendo el orden binomio y transmisión luminosa, se elige el acristalamiento de mercado. Tiene en cuenta las características intrínsecas del recinto, de forma simplificada o por módulos, siendo por módulos la que considera la distribución real del edificio.

9.2. Conclusiones sobre los objetivos específicos

01) Escenarios que permitan el estudio y selección del acristalamiento.

La comparación de fachadas a igualdad de condiciones ha obligado a considerar un planteamiento a nivel de recinto. Dos configuraciones han sido utilizadas extraídas de la transformación de la planta modelo.

Por un lado se ha considerado la configuración simplificada, escenario ficticio que mantiene la estructura de planta de forma cuadrada donde cada espacio de oficina está orientado a uno de los cuatro puntos cardinales. Situación que agiliza las simulaciones y asegura una uniformidad de la superficie acristalada por fachada.

Por otro lado, se ha considerado una configuración por módulos que, a diferencia de la simplificada, mantiene la distribución interior real de la planta modelo inicial de manera aislada. Se trata de una situación más laboriosa al incrementar el número de simulaciones por tener recintos a una sola orientación, los situados en el lateral, y a dos orientaciones, los situados en esquina. Circunstancia que implica que se pueden dar diferentes tipos de acristalamientos incluso en una misma orientación. A mayores recintos con cargas térmicas diferentes mayor acristalamientos distintos se podrían obtener. Para mantener una misma o similar tonalidad de la superficie acristalada en todas las orientaciones del edificio se recomienda considerar acristalamientos incoloros o neutros.

Si se comparan ambas configuraciones, Barcelona es la capital de provincia en la que se obtiene menor diferencia de emisiones de dióxido de carbono con la simplificada en la orientación N-S

(5 kgCO₂). En Sevilla y Málaga ha sido por módulos en alineación E-O (19 y 26 kgCO₂ respectivamente). Existen orientaciones donde la reducción de emisiones es la misma con ambas configuraciones como sucede en la alineación E-O en Barcelona y N-S en Sevilla. En este último caso, por coincidir los acristalamientos en todas las orientaciones.

02) Procedimiento de selección general, y procedimiento combinación teórica de los parámetros por orientación en periodo anual.

Se han expuesto dos procedimientos de selección del acristalamiento en el periodo anual. Por un lado el general, comúnmente utilizado donde mediante un estudio previo con simulaciones, considerándose iguales en todas las orientaciones, se elige aquel con el que se obtiene una mayor reducción de emisiones. Como era de esperar, sin y con aprovechamiento de la luz natural, el doble bajo emisivo ($U = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K} - FS = 0,41$) es la mejor opción en la sustitución del monolítico sencillo frente al doble claro ($U = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K} - FS = 0,72$). Latitudes entre $36^\circ 67'$ y $41^\circ 28'$ N. Causa que se le atribuye en principio a la prestación que más la define como es su baja emisividad confiriéndole una transmitancia térmica baja.

Por otro lado, el procedimiento compuesto por la combinación teórica de los parámetros que mejor se adapta a cada orientación. En él ha sido necesario el uso de acristalamientos auxiliares ficticios, extraídos de la mezcla de valores de los acristalamientos doble claro y bajo emisivo. En este caso, se consigue una mayor reducción de emisiones de dióxido de carbono, y por tanto, un incremento de eficiencia energética respecto al obtenido mediante el método general.

El procedimiento combinación teórica de los parámetros tiene el inconveniente de que se obtienen acristalamientos que no pueden ser utilizados al no existir en el mercado (los ficticios). Tampoco pueden ser fabricados para los valores definidos de transmitancia, factor solar y transmisión luminosa, al estar los parámetros condicionados a las características que son propias de la configuración, inclusión y posición de tratamiento de capa. Es por ello que, los acristalamientos ficticios, tienen que ser adaptados a la disponibilidad que ofrecen las diferentes casas proveedoras de acristalamientos mediante un procedimiento alternativo y sistemática diferente. Un procedimiento basado en: la dirección (ascendente o descendente) y orden (1º, 2º, 3º) de los parámetros. En ella, se apoya la propuesta de la metodología de selección del acristalamiento de mercado.

03) Comportamiento teórico del acristalamiento según prestación sobre los consumos de calefacción, refrigeración e iluminación artificial.

Si comparamos el acristalamiento doble claro y bajo emisivo respecto a los sistemas de producción de calor y frío, se ha visto cómo aquel más aislante térmicamente (bajo emisivo) se comporta peor en calefacción siendo en algunas orientaciones (S, E, O) incluso hasta peor que el monolítico sencillo. Un resultado que contradice el concepto que se tiene de esta tipología, pues al tener menor valor de transmitancia térmica se asocia a una mayor reducción de kWh en el periodo invernal. En una configuración módulo lateral con orientación sur en Sevilla y Málaga, llega a obtenerse un empeoramiento del consumo del 40%. En refrigeración, el bajo emisivo es

en cambio el mejor, pudiendo conseguirse, para el mismo recinto, mejoras mayores del 30% en diferentes orientaciones. El bajo emisivo ($U = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$) se comporta peor en invierno y mejor en verano, siendo al contrario con el doble sin tratamiento de capa caracterizado por tener un valor de transmitancia térmica mayor ($U = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$).

En el sistema de iluminación artificial (referido a diferentes valores de transmisión luminosa) se consigue mayor reducción de kWh con el monolítico sencillo, caracterizado por tener la transmisión luminosa más alta ($TL = 91 \%$). Sin embargo, la diferencia con respecto a los otros dos acristalamientos de experimentación doble claro y bajo emisivo es muy pequeña, menos del 1%.

04) Sistemática de transformación de valores de los parámetros del acristalamiento en flechas que visualice el comportamiento teórico de los parámetros y de los recintos de la planta.

La sistemática basada en la conversión de valores alto y bajo de los tres parámetros en flechas (dirección ascendente y descendente) ha permitido entender el comportamiento de éstos en los diferentes sistemas técnicos. Indican hacia dónde tienden los parámetros con el fin de reducir el consumo de calefacción, refrigeración e iluminación artificial.

Para un periodo anual, muestra en cambio el comportamiento térmico de los recintos y funcionamiento de la envolvente, distinguiendo las orientaciones que disipan o mantienen el calor del interior (valor de U alto o bajo), o incrementan o limitan la ganancia solar (valor de FS alto o bajo).

En las simulaciones se ha visto que una transmitancia baja o muy baja no tiene por qué estar asociada a un mayor ahorro energético o eficiencia, propiciado en la investigación por una situación de máxima incidencia de la radiación solar. Hecho que es apreciable especialmente en los módulos de esquina de las zonas climáticas situadas más al sur (Málaga y Sevilla), caracterizadas por tener severidades de invierno más suave «A y B» y de verano más acusadas «3 y 4».

Si se analiza únicamente los parámetros que componen el binomio (transmitancia y factor solar) se pueden distinguir cuatro grupos de combinaciones en la dirección de los parámetros. Una primera combinación con ambos parámetros altos, una segunda, con uno alto y otro bajo, otra tercera, con uno bajo y otro alto, siendo en la cuarta ambos bajos. Dichas combinaciones, excepto la primera (ambos altos), se han dado en los diferentes recintos que conforman la planta del edificio.

La combinación de direcciones de los parámetros transmitancia y factor solar da información sobre el comportamiento térmico de los recintos a través del acristalamiento. La primera combinación, con ambos altos, se interpreta como disipar el calor del interior junto con permitir mayor ganancia solar. La segunda, con transmitancia alta y factor solar bajo, como disipar el calor y reducir la ganancia (la que más favorece mantener la carga interna más baja). Una combinación que se da precisamente en ciertas orientaciones de los módulos de esquina en zonas

climáticas de Sevilla y Málaga, de mayor incidencia de la radiación solar. La tercera combinación, implica reducir la pérdida de calor unido a un incremento de ganancia solar (la que más favorece mantener la carga interna más alta). Finalmente, la cuarta combinación se interpreta como reducir también la pérdida de calor pero disminuyendo la ganancia solar.

En la gran mayoría de los espacios se ha obtenido, con los acristalamientos de experimentación, una transmitancia y factor solar bajos (59 en el trinomio), lo que explica por qué el bajo emisivo ha sido el mejor con el procedimiento general. Este hecho tiene que ver no sólo por su bajo nivel de transmitancia térmica, como era deducido en un principio por su buen nivel de aislamiento, sino también, por su bajo valor del factor solar disminuyendo la entrada de la radiación solar.

05) Comportamiento teórico de los tres parámetros sobre el consumo de calefacción, refrigeración e iluminación.

La consideración de una igualdad de condiciones en fachadas y distribución interior en todas las orientaciones ha posibilitado conocer también el comportamiento teórico de los tres parámetros del acristalamiento. De este modo se ha podido determinar hacia donde tienden los parámetros con el fin de reducir los consumos de calefacción, refrigeración e iluminación artificial.

Un menor consumo de calefacción va asociado a una transmitancia térmica baja y un factor solar alto (que coincide precisamente con la tercera combinación). En refrigeración, corresponde con una transmitancia térmica alta y un factor solar bajo (que coincide con la segunda combinación). Estas combinaciones de tendencias permiten: que en el periodo de calefacción, se experimente una menor pérdida energética y una mayor ganancia de energía radiante, mientras que en refrigeración, se produce un mayor aumento de la disipación del calor (eliminación de energía térmica del interior de forma pasiva) y una menor entrada de radiación solar. A mayor diferencia entre valores de transmitancia térmica y factor solar, mayor será el efecto sobre la reducción o aumento del consumo de calefacción o refrigeración, respectivamente. En iluminación artificial, la reducción del consumo será mayor cuanto más alto sea el valor de transmisión luminosa y factor solar.

Habría que comentar también, que la dirección de los tres parámetros en los sistemas técnicos se cumple en todas las orientaciones y configuraciones de recintos, a diferencia del periodo anual que puede ser distinta al contemplar los sistemas de calefacción, refrigeración e iluminación, simultáneamente.

06) Efecto de la iluminación natural sobre el consumo de calefacción, refrigeración e iluminación, emisiones de dióxido de carbono y parámetros transmitancia y factor solar.

El efecto del aprovechamiento de la iluminación natural, referido a considerar primero los parámetros transmitancia térmica y factor solar para posteriormente incluir la transmisión luminosa con la incorporación de un sensor de luz para misma tipología de acristalamiento, ha supuesto una reducción del consumo de iluminación en los recintos entorno al 40% con pequeñas diferencias entre orientaciones. Con respecto a las emisiones de dióxido de carbono ha

sido alrededor del 20% en la planta modelo. La reducción es mayor en latitudes más bajas (Málaga), aunque la diferencia con las otras dos capitales de provincia (Barcelona y Sevilla) es muy pequeña. No hay una orientación claramente predominante.

La reducción de la carga térmica, durante la disminución en intensidad y tiempo que permanecen las lámparas apagadas, incrementa el consumo de calefacción y disminuye la refrigeración. Esto tiene un efecto sobre la dirección de la transmitancia térmica en algunas orientaciones de las dos capitales de provincia más al sur (Málaga y Sevilla). En ellas ha pasado de disipar calor (valor alto) del interior de los recintos, a través de la superficie acristalada, a mantenerlo (valor bajo). En cambio, en Barcelona (orientación sur módulo lateral) ha supuesto un cambio de dirección del factor solar permitiendo una mayor entrada de la radiación solar.

07) Otras consideraciones adicionales.

La rentabilidad en la sustitución del acristalamiento, no considerada en la investigación, pasaría por considerar las circunstancias reales que se pueden dar en un edificio, como pueden ser: las sombras propias exteriores o arrojadas por edificios colindantes, los elementos interiores que eviten el deslumbramiento o entrada de una elevada radiación solar, así como las características técnicas y de diseño a cumplir.

Comentar por último, que en la investigación se ha conseguido dar respuesta a todos los objetivos planteados, especialmente en el conocimiento del comportamiento teórico del acristalamiento y de sus parámetros característicos. Primera actuación a realizar si se quiere implantar mejoras más eficientes en el ahorro energético y reducción del impacto ambiental.

10. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En la selección del acristalamiento se propone las siguientes líneas de investigación, que incluya las circunstancias reales interiores y exteriores de huecos de fachadas en el consumo energético de edificios de oficinas:

Dado que la geometría y características del recinto influyen en los valores de los parámetros característicos, la primera línea de investigación estaría relacionada con caracterizar módulos de oficinas estándar clasificadas según geometría, huecos de fachadas, orientaciones, características constructivas, condiciones ocupacionales, operacionales, funcionales y equipos, así como del entorno urbano.

A continuación, establecer las zonas de posible deslumbramiento por incidencia de la radiación solar sobre los usuarios con el fin de establecer la distribución ideal de los puestos de trabajo en el máximo aprovechamiento de la energía radiante y lumínica.

Posteriormente, conocer el comportamiento del usuario frente al uso de los elementos de sombras interiores, para determinar la situación ideal por orientación (factor de corrección solar). Incluyendo situaciones producidas por edificios próximos.

Continuando con lo anterior, determinar mediante ensayos la pérdida de radiación térmica y lumínica producida por la suciedad del sustrato vítreo, sin y con tratamiento autolimpiable, para establecer el factor corrector por pérdida de ganancia térmica y lumínica.

Igualmente, encaminado con la caracterización de los recintos estándar, establecer la posición ideal del sensor de luz y fracción del área de influencia según tipologías de lámparas más utilizadas por orientación. Hacer hincapié en las nuevas tecnologías (lámparas tipo LED) e influencia de la carga térmica producida sobre los equipos de calor y frío.

Por último, una vez establecidas las situaciones propias de los recintos, huecos, entono e interacción con el acristalamiento, diseñar una herramienta de selección del acristalamiento basada primero en el confort térmico de las personas (parámetro transmitancia y factor solar), incluyendo el efecto de la energía desprendida por las lámparas y luminarias. En una segunda fase posterior y sin detrimento de lo anterior, considerar la reducción de las emisiones por consumo de la iluminación artificial.

11. FUENTES DE INFORMACIÓN

Acae Presto, Base de datos multifabricante. <http://www.acae.es/#>. 29/04/17.

AENOR (2000). UNE-EN 12207 Puertas y ventanas. Permeabilidad al aire. Clasificación. AEN/CTN 85 Cerramientos de huecos en edificación y sus accesorios.

AENOR (2011). UNE-EN 410 Vidrio para la Edificación. Determinación de las características luminosas y solares acristalamientos. AEN/CTN 85 Cerramientos de huecos en edificación y sus accesorios.

AENOR (2011). UNE-EN 673 Vidrio en la construcción. Determinación del coeficiente de transmisión térmica (valor U). AEN/CTN 85 Cerramientos de huecos en edificación y sus accesorios.

AENOR (2012). UNE-EN 1096-1 Vidrio para la Edificación. Vidrio de capa. Parte 1: Definiciones y clasificación. AEN/CTN 85 Cerramientos de huecos en edificación y sus accesorios.

AGC Your Glass. Empresa de producción, transformación y distribución de vidrios. Documento. <https://es.scribd.com/document/142218195/Todo-Sobre-El-Vidrio>. 03/01/2016.

Arranz, B. (2013) Optimización de la composición del hueco de fachada en materia de eficiencia energética. Propuesta de indicador como herramienta para el análisis integral del elemento acristalado (Tesis doctoral). Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.

Asadi, S.; Amiri, S. S.; Mottahedi, M. (2014). On the development of multi-linear regression analysis to assess energy consumption in the early stages of building design. *Energy and Buildings*, 85(2014): 246-255, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.096>.

ASEFAVE (2014). Guía Técnica de Ventanas para la Certificación Energética de Edificios. <https://www.technal.com/globalassets/upload/archivos-spain/imagenes-spain/profesional/actualidad/guia-tecnica.pdf>.

Ávila-Delgado, J.; Robador, M. D.; Barrera, J. A.; Marrero M. (2016). The influence of glazing over the parameters and energy rating according to the building orientation and the façade openings percentages. *Anales de Edificación*, 2(1): 34-37, doi: 10.20868/ade.2016.3196.

Ben-David, T.; Rackes, A.; Waring, M. S. (2018). Simplified daily models for estimating energy consumption impacts of changing office building ventilation rates. *Energy and Buildings*, 127(2018): 250-255, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.11.002>.

Best Directory. Building Energy Software Tool Directory. <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/> 18/11/16.

Bodart, M.; De Herde A. (2002). Global energy savings in offices buildings by the use of daylight. *Energy and Buildings*, 34 (2002) 421-429

Boletín VT (2010). Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. Materiales cromóactivos. https://icono.fecyt.es/sites/default/files/filepublicaciones/bvt_mat_n4.pdf.

CAT COACM. Centro de asesoramiento Técnico. Colegio Oficial de Arquitectos de Castilla-La Mancha. Normas Tecnológicas de la Edificación. <http://www.cat-coacm.es/es/normativa-n-te.zhtm>. 12/11/15.

Consejería de Economía e Innovación Tecnológica (2006). Guía Técnica de Iluminación Eficiente. Sector Residencial y Terciario. Dirección General de Industria, Energía y Minas. Comunidad de Madrid. <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-tecnica-de-iluminacion-eficiente-sector-residencial-y-terciario-fenercom.pdf>.

CTE (2015). DA DB-HE 1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente. Ministerio de Fomento.

CTE (2009). DB-HR Protección frente al Ruido. Ministerio de Fomento.

CTE (2010). DB-SI 3 Evacuación de ocupantes. Ministerio de Fomento.

CTE (2010). DB- SUA 3 Seguridad frente al riesgo de impacto o de atrapamiento. Ministerio de Fomento.

CTE (2013). DB-HE 2 Rendimiento de las Instalaciones Térmicas (versión consolidada). Ministerio de Fomento.

CTE (2017). DB-HE 3 Eficiencia energética en instalaciones de iluminación. Ministerio de Fomento.

CTE (2017). DB-HE 1 Limitación de la demanda energética. Ministerio de Fomento.

DesignBuilder Software. Herramienta de simulación energética.

<https://www.designbuilder.co.uk/download/software/release-software/> 14/01/16.

DIAL. Deutsches Institut für Angewandte Lichttechnik. Herramienta de simulación lumínica.

<https://www.dial.de/es/software/dialux/download/> 14/05/16.

DIALUX (2009). Estándar de software para el cálculo de iluminación. Manual de usuario (v 4.7). <http://albalede.es/data/documents/Manual-Dialux-4.7.pdf>.

Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo (2014). Observatorio de Vivienda y Suelo. Boletín Especial Censo 2011 Parque edificatorio. <https://apps.fomento.gob.es/CVP/handlers/pdfhandler.ashx?idpub=BAW021>.

Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo (2010). Directiva 2010/31/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición). Diario Oficial de la Unión Europea, nº L 153. Unión Europea.

Dominguez, S.; Sendra, J. J.; León, A. L., Esquivias, P. M. (2012). Towards energy demand reduction in social housing buildings: Envelope system optimization strategies. *Energies*, 5(2012): 2263-2287, doi: 10.3390/en5072263.

Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (2003). Sector Edificación.

https://previa.uclm.es/profesorado/vtoledano/_private/Eficiencia%20Energ%C3%A9tica%20en%20Espa%C3%B1a.pdf.

Franzetti, C.; Fraise, G.; Achard, G. (2004). Influence of the coupling between daylight and artificial lighting on the thermal loads in office buildings. *Energy and Buildings*, 36(2004): 117-126, doi:10.1016/j.enbuild.2003.10.005.

Gasparella, A.; Pernigotto, G.; Cappelletti, F.; Romagnoni, P.; Baggio, P. (2011). Analysis and modelling of window and glazing systems energy performance for a well-insulated residential building. *Energy and Buildings*, 43(2011): 1030-1037, doi:10.1016/j.enbuild.2010.12.032.

Gerencia de Urbanismo. Ayuntamiento de Sevilla. Planos de Ordenación Pormenorizada. <http://gie.urbanismosevilla.org/wsurb01/opc/default.aspx>. 06/07/15.

Gerencia de Urbanismo. Ayuntamiento de Sevilla. Mapa estratégico de ruidos. <https://www.sevilla.org/ayuntamiento/competencias-areas/area-de-habitat-urbano-cultura-y-turismo/servicio-de-proteccion-ambiental/mapa-estrategico-de-ruidos/planos-anexo-1>. 22/01/17.

Giménez, M. C. (2011) Alternativas para la mejora de la eficiencia energética de los acristalamientos: los vidrios dinámicos (Tesis doctoral). Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.

Goia, F. (2016). Search for the optimal window-to-wall ratio in office buildings in different European climates and the implications on total energy saving potential. *Solar Energy*, 132(2016): 467–492, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.03.031>

Grupo Termotecnia. ETSI. Universidad de Sevilla. Asignatura Eficiencia Energética en Edificios. Lección 4 Parámetros característicos a nivel de edificio. Curso 2014-2015.

Grynning, S.; Gustavsen, A.; Time, B.; Jelle, B. (2013). Windows in the buildings of tomorrow: Energy losers or energy gainers? *Energy and Buildings*, 61(2013): 185-192, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.029>

Guardian SunGard. Empresa de vidrios. Información Técnica. <http://www.sungardglass.es/ToolsandResources/TechnicalLibrary/TechnicalInformation/index.htm>. 12/06/18.

Hee, W.J.; Alghoul, M.A.; Bakhtyar, B.; Elayeb, O.; Shameri, M.A.; Alrubaih. M.S.; Sopian K. (2016). The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42(2015): 323-343, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.020031>

Huang, Y.; Niu, J.; Chung, T. (2014). Comprehensive analysis on thermal and daylighting performance of glazing and shading designs on office building envelope in cooling-dominant climates. *Applied Energy*, 134(2014): 215-228, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.100>.

Hunger, T. (2016). Ciencias. Divulgador científico. <http://www.asocem.org.pe/archivo/files/330406028-La-Humanidad-Ante-El-Temido-Hito-de-Las-400-Ppm-de-CO2.pdf>.

IAPH. Base de datos de Arquitectura Contemporánea de Andalucía. Edificio de oficinas Arquinde. <http://www.iaph.es/arquitectura-contemporanea-andalucia/resumen.do?id=252826>. 22/04/17.

IAPH. Base de datos de Arquitectura Contemporánea de Andalucía. Edificio de oficinas Sevilla 1. <http://www.iaph.es/arquitectura-contemporanea-andalucia/resumen.do?id=252467>. 22/04/17.

IDAE (2001). Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Oficinas. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5573_GT_iluminacion_oficinas_01_dacd0f81.pdf.

IDAE (2005). Guía Técnica de Aprovechamiento de la luz Natural en la Iluminación de Edificios. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10055_GT_aprovechamiento_luz_natural_05_ff12ae5a.pdf.

IDAE (2008). Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envoltura Térmica de los Edificios. Soluciones de Aislamiento con Vidrios y Cerramientos. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_GUIA_TECNICA_Vidrios_y_cerramiento_v05_2dfc482b.pdf.

IDAE (2009). Calificación de Eficiencia Energética de Edificios. Condiciones de Aceptación de Procedimientos Alternativos a LIDER Y CALENER. http://www.mincotur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/OtrosDocumentos/Calificaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica.%20Viviendas/Guia-8_Condiciones_Alternativos.pdf.

IDAE (2009). Calificación de Eficiencia Energética de Edificios CALENER-GT. Grandes Edificios Terciarios. Manual de Referencia. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_CALENER_04_GT_Manual_Referencia_A2009_A_55d36db6.pdf.

IDAE (2009). Calificación de Eficiencia Energética de Edificios. CALENER-GT Grandes Edificios Terciarios. Manual Técnico. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_CALENER_03_GT_Manual_Tecnico_A2009_A_f23fc148.pdf.

IDAE (2009). Calificación de Eficiencia Energética de Edificios. CALENER-GT Grandes Edificios Terciarios. Manual de Usuario. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_CALENER_01_GT_Manual_Usuario_A2009_A_3f7f57eb.pdf.

IDAE (2012). Manual de Usuario. Calificación Energética de Edificios Existentes CE3. <http://www6.mityc.es/aplicaciones/calener/CE3/Manual%20de%20usuario%20CE3.pdf>. 11/03/15.

IDAE (2012). Manual de Usuario de Calificación Energética de Edificios Existentes CE³X. http://www6.mityc.es/aplicaciones/CE3X/Manual_usuario%20CE3X_05.pdf.

IDAE. Herramienta Unificada para la Verificación del Documento Básico HE del CTE y la Certificación Energética de Edificios v 1.0. Manual de Usuario. http://www.scalofrios.es/CEE/lid-cal/Herramienta_unificada/ManualDeUsuario.pdf.

IGN. Centro Nacional de Información Geográfica. El clima de España. http://www.ign.es/espmap/clima_bach.htm. 03/11/16.

- Ihara, T.; Gustavsen, A.; Petter Jelle B. (2015). Effect of facade components on energy efficiency in office buildings. *Applied Energy*, 158 (2015): 422-432, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.074>
- Ihm, P.; Park, L.; Krarti, M.; Seo, D. (2012). Impact of window selection on the energy performance of residential buildings in South Korea. *Energy Policy*, 44(2012): 1-9, doi:10.1016/j.enpol.2011.08.046.
- Iluminet. Revista de iluminación online. Softwares de diseño de sistemas de iluminación. <http://www.iluminet.com/seleccion-de-software-de-diseno-de-iluminacion/> 15/07/17.
- INSHT (2006). Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de los Riesgos Relativos a la Utilización de los Lugares de Trabajo. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Ficheros/pantallas.pdf>.
- Jia, J.; Lee, W.L. (2018). The rising energy efficiency of office buildings in Hong Kong. *Energy and Buildings*, 166 (2018): 296-304, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.062>.
- Lee, C.; Won, J. (2017). Analysis of combinations of glazing properties to improve economic efficiency of buildings. *Journal of Cleaner Production*, 166 (2017) 181-88, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.024429>
- Lee, J.W.; Jung, H.J.; Park, J.Y.; Lee, J.B.; Yoon, Y. (2013). Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements. *Renewable Energy*, 50 (2013) 522-531, <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.029016>
- Lu, S.; Zheng, S.; Kong, X. (2016). The performance and analysis of office building energy consumption in the west of Inner Mongolia Autonomous Region, China. *Energy and Buildings*, 127(2016): 499-511, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.008>.
- Lutrón Electronics Co. Inc. Empresa de control de iluminación y luz natural. Sensor de luz natural <http://www.lutron.com/TechnicalDocumentLibrary/041279A.SPA.pdf>.
- Ma, P.; Wang, L-S.; Guo, N. (2015). Maximum window-to-wall ratio of a thermally autonomous building as a function of envelope U-value and ambient temperature amplitude. *Applied Energy*, 146 (2015): 84-91, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.103020031>
- Manz, H.; Menti, U. (2012). Energy performance of glazing in European climates. *Renewable Energy*, 37(2012): 226-232, doi:10.1016/j.renene.2011.06.016.
- Mendez Echenagucia, T.; Capozzoli, A.; Cascone, Y.; Sassone M. (2015). The early design stage of a building envelope: Multi-objective search through heating, cooling and lighting energy performance analysis. *Applied Energy*, 154 (2015) 577-591, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.090>
- Ministerio de la Vivienda (1972). Decreto 3565/72 por el que se establecen las normas tecnológicas de la edificación NTE. Boletín Oficial del Estado, nº 13. España.
- Ministerio de la Vivienda (2006). Real Decreto 314/2006 por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Boletín Oficial del Estado, nº 74. España.
- Nabizadeh Rafsanjani, H.; Ryan Ahnb, C.; Eskridge, K. M. (2018). Understanding the recurring patterns of occupants' energy-use behaviors at entry and departure events in office

buildings. *Building and Environment*, 136(2018): 77-87, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.037>.

Nielsen, T. R.; Duer, K.; Svendsen, S. (2000). Energy performance of glazing and windows. *Solar Energy*, 69(2000): 137-143.

Ordoñez, A. (2014). Manual de ayuda DesignBuilder en español. http://files.designbuilder.cl/200000040-92fe693f9f/ManualDB-Espa%C3%B1ol_2014-12-03.pdf.

Persson, M.-L.; Roos, A.; Wall, M. (2006). Influence of window size on the energy balance of low energy houses. *Energy and Buildings*, 38(2006): 181-188, doi:10.1016/j.enbuild.2005.05.006.

Pino, A.; Bustamante, W.; Escobara, R.; Encinas Pino, F. (2012). Thermal and lighting behavior of office buildings in Santiago of Chile. *Energy and Buildings*, 47 (2012) 441-449, doi:10.1016/j.enbuild.2011.12.016

Poirazis, H.; Blomsterberg, A.; Wall M. (2008). Energy simulations for glazed office buildings. *Energy and Buildings*, 40(2008). 1161-1170, doi: 10.1016/j.enbuild.2007.10.011.

Profine Iberia S.A.U (Kömmerling). Fabricante de sistemas de perfiles de PVC. Perfil Eurofutur elegance <https://www.onventanas.com/wp-content/uploads/descargas/ficha-tecnica-Stylelo.pdf>.

Robador, M.D. (1993). El vidrio. Vázquez, A. I. (Ed.), *Apuntes de Materiales de Construcción* (p. 307). Sevilla: Oc. España.

Rubio-bellido, C.; Pérez-Fargallo, A.; Pulido-Arcas, J. A. (2016). Optimization of annual energy demand in office buildings under the influence of climate change in Chile. *Energy*, 114(2016). 569-585, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.021>.

Saint-Gobain Building Glass. Empresa producción de vidrios. Herramienta de cálculo espectrofotométricas y térmicas de los acristalamientos Calumen II. <http://es.saint-gobain-glass.com/commfunction/3159/1578/herramientas-calumen>. 11/11/15.

Saint-Gobain Building Glass. Empresa producción de vidrios. Ficha técnica acristalamiento SGG CLIMALIT. http://www.macopa.com/sites/default/files/adjuntos-productos/2_sgg_climalit_espanol_-_doble_acristalamiento.pdf.

Saint-Gobain Building Glass. Empresa producción de vidrios. Ficha técnica acristalamiento SGG CLIMALIT PLUS. https://es.saint-gobain-building-glass.com/sites/saint-gobain-building-glass.com/files/2018-01/41_1399977820_1.pdf.

SEC. Servicios electrónicos de la Dirección General del Catastro. <https://www.sedecatastro.gob.es/>. 04/02/15.

Secretaría de Estado de Energía. Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. <http://www.minetad.gob.es/ENERGIA/DESARROLLO/EFICIENCIAENERGETICA/CERTIFICACIONENERGETICA/DOCUMENTOSRECONOCIDOS/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx>. 27/04/15.

Shibuya, T.; Croxford, B. (2016). The effect of climate change on office building energy consumption in Japan. *Energy and Buildings*, 117(2016): 149-159, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.023>.

Sunearthtools. Herramientas de energía solar. <https://www.sunearthtools.com/> 21/06/17

Tenorio, J. A.; Díaz, M. I. (2005, 2 a 4 de agosto). Pérdidas de calor y formación de condensaciones en los puentes térmicos de los edificios. 1^{as} Jornadas de Investigación en Construcción (pp. 1131-1153). Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Tian, C.; Chen, T.; Yang, H.; Chung, T. (2010). Generalized window energy rating system for typical office buildings. *Solar Energy*, 84(2010): 1232–1243, doi: 10.1016/j.solener.2010.03.030.

Tsikaloudaki, K.; Laskos, K.; Theodosiou, TH.; Bikas, D. (2012). Assessing cooling energy performance of windows for office buildings in the Mediterranean zone. *Energy and Buildings*, 49(2012): 192-199, doi:10.1016/j.enbuild.2012.02.004.

Urbikain, MK.; Sala, J.M. (2009). Analysis of different models to estimate energy savings related to windows in residential buildings. *Energy and Buildings*, 41(2009): 687-695, doi:10.1016/j.enbuild.2009.01.007.

URSA. Empresa de producción y comercialización de materiales de aislamiento térmico y acústico. Ficha Justificativa CTE DB HR (2009) Protección Frente al Ruido, Opción Simplificada. <https://www.ursa.es/es-es/descargas/programas-de-calculo/Paginas/calculo-aislamiento-acustico.aspx>. 13/02/17.

Wang, L.; Liu, X.; Brown H. (2017). Prediction of the impacts of climate change on energy consumption for a medium-size office building with two climate models. *Energy and Buildings*, 157(2017): 218-226, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.007>.

Yoo, S.; Jeong, H.; Ahn, B.-L.; Han, H.; Seo, D.; Lee, J.; Jang, C.-Y. (2013). Thermal transmittance of window systems and effects on building heating energy use and energy efficiency ratings in South Korea. *Energy and Buildings*, 67 (2013): 236-244, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.005>.

Zumtobel Lighting GmbH. Proveedor de soluciones lumínicas integrales. Sensor de luz LSD. https://ecitydoc.com/download/lzd-sensor-de-luz-montaje-en-superficie_pdf.

12. ANEXOS

12.1. Edificios de oficinas

En CD adjunto se incluye tablas con el resto de oficinas visitadas de otros periodos considerados el Boletín Especial Censo 2011 Parque Edificatorio del Observatorio de Vivienda y Suelo.

12.2. Horarios de usos

Se relacionan los horarios de: ocupación (TESIS_OCUPA), iluminación artificial y fuentes internas de equipos (TESISI_ILUMI), calefacción y refrigeración (TESIS_FUNCI), ventilación (TESIS_VENTI) e infiltración (TESIS_INFIL). Se ha utilizado la misma codificación que utiliza la herramienta de simulación CALENER GT. Se desglosan en diarios (HD), semanales (HS) y anual (HA) diferenciándose en horarios normal (NOR) correspondiente a los meses de enero a junio y de septiembre a diciembre inclusive; y vacaciones (VAC) con julio y agosto. También en día laborable (LAB) y fin de semana (FS).

12.2.1. Ocupación

Tabla 81. TESIS_OCUPA. Horario diario ocupación

TESIS_OCUPA (Horario Diario - HD)			
Hora	HD_OCUPA_LAB_NOR	HD_OCUPA_LAB_VAC	HD_OCUPA_FS
08:00 a 09:00	0,50	0,25	
09:00 a 10:00	1,00	0,50	
10:00 a 11:00	1,00	0,50	
11:00 a 12:00	1,00	0,50	
12:00 a 13:00	1,00	0,50	
13:00 a 14:00	1,00	0,50	
14:00 a 15:00	0,50	0,25	0,00
15:00 a 16:00	0,50	0,25	
16:00 a 17:00	1,00	0,50	
17:00 a 18:00	1,00	0,50	
18:00 a 19:00	0,50	0,25	
19:00 a 20:00	0,50	0,25	
Resto	0,00		

Tabla 82. TESIS_OCUPA. Horario semanal ocupación

TESIS_OCUPA (Horario Semanal - HS)		
Semana	HS_OCUPA_LAB_NOR	HS_OCUPA_LAB_VAC
Lunes	HD_OCUPA_LAB_NOR	HD_OCUPA_LAB_VAC
Martes	HD_OCUPA_LAB_NOR	HD_OCUPA_LAB_VAC
Miércoles	HD_OCUPA_LAB_NOR	HD_OCUPA_LAB_VAC
Jueves	HD_OCUPA_LAB_NOR	HD_OCUPA_LAB_VAC
Viernes	HD_OCUPA_LAB_NOR	HD_OCUPA_LAB_VAC
Sábado	HD_OCUPA_FS	HD_OCUPA_FS
Domingo	HD_OCUPA_FS	HD_OCUPA_FS

Tabla 83. TESIS_OCUPA. Horario anual ocupación

TESIS_OCUPA (Horario Anual - HA)	
Mes	HA_OCUPA_ANUAL
Enero - junio	HS_OCUPA_LAB_NOR
Julio-agosto	HS_OCUPA_LAB_VAC
Septiembre-Diciembre	HS_OCUPA_LAB_NOR

12.2.2. Iluminación artificial, fuentes internas, calefacción, refrigeración y ventilación

Los sistemas de iluminación artificial y fuentes internas, calefacción, refrigeración y ventilación tienen el mismo ratio de funcionamiento. Se refleja el horario para el primer sistema, siendo el resto la sustitución de las iniciales ILUMI por el del sistema FUNCION y VENTI.

Tabla 84. TESIS_ILUMI. Horario diario iluminación y fuentes internas

TESIS_ILUMI (Horario Diario - HD)			
Diario	HD_ILUMI_LAB_NOR	HD_ILUMI_LAB_VAC	HD_ILUMI_FS
08:00 a 20:00	1,00	1,00	0,00
Resto	0,00		

Tabla 85. TESIS_ILUMI. Horario semanal iluminación y fuentes internas

TESIS_ILUMI (Horario Semanal - HS)		
Semanal	HS_ILUMI_LAB_NOR	HS_ILU_LAB_VAC
Lunes	HD_ILUMI_LAB_NOR	HD_ILUMI_LAB_VAC
Martes	HD_ILUMI_LAB_NOR	HD_ILUMI_LAB_VAC
Miércoles	HD_ILUMI_LAB_NOR	HD_ILUMI_LAB_VAC
Jueves	HD_ILUMI_LAB_NOR	HD_ILUMI_LAB_VAC
Viernes	HD_ILUMI_LAB_NOR	HD_ILUMI_LAB_VAC
Sábado	HD_ILUMI_FS	HD_ILUMI_FS
Domingo	HD_ILUMI_FS	HD_ILUMI_FS

Tabla 86. TESIS_ILUMI. Horario anual iluminación y fuentes internas

TESIS_ILUMI (Horario Anual - HA)	
Anual	HA_ILUMI_ANUAL
Enero - junio	HS_ILUMI_LAB_NOR
Julio-agosto	HS_ILUMI_LAB_VAC
Septiembre-Diciembre	HS_ILUMI_LAB_NOR

12.2.3. Infiltración

Tabla 87. TESIS_INFIL. Horario diario infiltración

TESIS_INFIL (Horario Diario - HD)			
Diario	HD_INFIL_LAB_NOR	HD_INFIL_LAB_VAC	HD_INFIL_FS
08:00 a 20:00	0,00	0,00	1,00
Resto	1,00		

Tabla 88. TESIS_INFIL Horario semanal infiltración

TESIS_INFIL (Horario Semanal - HS)		
Semanal	HS_INFIL_LAB_NOR	HS_ILU_INFIL_VAC
Lunes	HD_INFIL_LAB_NOR	HD_INFIL_LAB_VAC
Martes	HD_INFIL_LAB_NOR	HD_INFIL_LAB_VAC
Miércoles	HD_INFIL_LAB_NOR	HD_INFIL_LAB_VAC
Jueves	HD_INFIL_LAB_NOR	HD_INFIL_LAB_VAC
Viernes	HD_INFIL_LAB_NOR	HD_INFIL_LAB_VAC
Sábado	HD_INFIL_FS	HD_INFIL_FS
Domingo	HD_INFIL_FS	HD_INFIL_FS

Tabla 89. TESIS_INFIL. Horario anual infiltración

TESIS_INFIL (Horario Anual - HA)	
Anual	HA_INFIL_ANUAL
Enero - junio	HS_INFIL_LAB_NOR
Julio-agosto	HS_INFIL_LAB_VAC
Septiembre-Diciembre	HS_INFIL_LAB_NOR

12.3. Selección del acristalamiento según prestación

En CD adjunto se incluyen las tablas con los resultados del primer grupo de simulaciones. En cada una de ellas se ha reflejado los indicadores emisiones de dióxido de carbono (kgCO₂) y energéticos (kWh), este último respecto al consumo de calefacción, refrigeración e iluminación artificial, así como energía primaria y final obtenidas para las distintas tipologías de vidrios en cada zona climática, configuración de recinto y orientación.

Las tablas incluidas corresponden a:

- Planta cuadrada simplificada (CUS) _ Binomio
- Planta cuadrada simplificada (CUS) _ Trinomio
- Módulo lateral (MLA) _ Binomio
- Módulo lateral (MLA) _ Trinomio
- Módulo de esquina (MES) A y B _ Binomio
- Módulo de esquina (MES) A y B _ Trinomio

12.4. Selección combinación de los parámetros característicos por orientación

En CD adjunto se incluyen las tablas con los resultados del segundo grupo de simulaciones. En cada una de ellas se refleja los mismos indicadores y situaciones.

Las tablas incluidas corresponden a:

- Planta cuadrada simplificada (CUS) _ Binomio
- Planta cuadrada simplificada (CUS) _ Trinomio
- Módulo lateral (MLA) _ Binomio
- Módulo lateral (MLA) _ Trinomio
- Módulo de esquina (MES) A y B _ Binomio
- Módulo de esquina (MES) A y B _ Trinomio

12.5. Validación con el acristalamiento de experimentación

En CD adjunto se incluyen las tablas con los resultados del tercer grupo de simulaciones. En cada una de ellas se refleja los mismos indicadores para las diferentes tipologías de acristalamientos seleccionadas en cada zona climática y plantas prototipos, situación NS y EO.

Las tablas incluidas corresponden a:

- Planta cuadrada prototipo (CUP) situación NS y EO _ Trinomio
- Planta rectangular prototipo (REP) situación NS y EO _ Trinomio

12.6. Acristalamientos de mercado

Tabla 90. Acristalamientos dobles sin tratamiento RE_DC (básicos) 1/4

Acristalamientos básicos RE_DC (1/4)							
Código	Configuración (mm)	Gas en cámara	U (W/m ² K)	FS (adimensional)	Tl (%)	R _w (C;C _{tr}) (dB)	Precio (€/m ²)
RE_DC01	4/10/4	Aire	2,9	0,80	83	30(-1;-3)	35,90
		Argón 90%	2,8	0,80	83		
		Kriptón 95%	2,6	0,80	83		
RE_DC02	4/12/4	Aire	2,8	0,80	83	30(0;-3)	36,43
		Argón 90%	2,7	0,80	83		
		Kriptón 95%	2,6	0,80	83		
RE_DC03	4/16/4	Aire	2,7	0,80	83	30(0;-3)	37,74
		Argón 90%	2,6	0,80	83		
		Kriptón 95%	2,6	0,80	82		
RE_DC04	4/10/5	Aire	2,9	0,79	82	32(0;-3)	40,17
		Argón 90%	2,8	0,80	82		
		Kriptón 95%	2,6	0,80	82		
RE_DC05	4/12/5	Aire	2,8	0,79	82	32(0;-3)	40,69
		Argón 90%	2,7	0,80	82		
		Kriptón 95%	2,6	0,80	82		
RE_DC06	4/16/5	Aire	2,7	0,80	82	34(-1;-4)	41,73
		Argón 90%	2,6	0,80	82		
		Kriptón 95%	2,6	0,80	82		
RE_DC07	4/10/6	Aire	2,9	0,79	82	33(-1;-4)	42,59
		Argón 90%	2,8	0,79	82		
		Kriptón 95%	2,6	0,79	82		
RE_DC08	4/12/6	Aire	2,8	0,79	82	33(-1;-3)	43,12
		Argón 90%	2,7	0,79	82		
		Kriptón 95%	2,6	0,79	82		
RE_DC09	4/16/6	Aire	2,7	0,79	82	34(-1;-5)	44,15
		Argón 90%	2,6	0,79	82		
		Kriptón 95%	2,6	0,79	82		
RE_DC10	4/10/8	Aire	2,9	0,79	81	33(0;-3)	52,23
		Argón 90%	2,7	0,79	81		
		Kriptón 95%	2,5	0,79	81		
RE_DC11	4/12/8	Aire	2,8	0,79	81	34(-2;-4)	52,75
		Argón 90%	2,7	0,79	81		
		Kriptón 95%	2,5	0,79	81		
RE_DC12	4/16/8	Aire	2,7	0,79	81	35(-1;-4)	53,79
		Argón 90%	2,6	0,79	81		
		Kriptón 95%	2,6	0,79	81		
RE_DC13	4/10/10	Aire	2,9	0,78	81	33(0;-2)	62,36
		Argón 90%	2,7	0,78	81		
		Kriptón 95%	2,5	0,78	81		
RE_DC14	4/12/10	Aire	2,8	0,78	81	33(0;-3)	62,77
		Argón 90%	2,7	0,78	81		
		Kriptón 95%	2,5	0,78	81		

Tabla 91. Acristalamientos dobles sin tratamiento RE_DC (básicos) 2/4 (continuación)

Acristalamientos básicos RE_DC (2/4)							
Código	Configuración (mm)	Gas en cámara	U (W/m ² K)	FS (adimensional)	Tl (%)	R _w (C;C _{tr}) (dB)	Precio (€/m ²)
RE_DC15	4/16/10	Aire	2,7	0,78	81	35(0;-4)	64,09
		Argón 90%	2,6	0,78	81		
		Kriptón 95%	2,5	0,78	81		
RE_DC16	6/10/6	Aire	2,9	0,78	81	30(0;-2)	50,02
		Argón 90%	2,7	0,78	81		
		Kriptón 95%	2,5	0,78	81		
RE_DC17	6/12/6	Aire	2,8	0,78	81	33(-1;-3)	50,41
		Argón 90%	2,7	0,78	81		
		Kriptón 95%	2,5	0,78	81		
RE_DC18	6/16/6	Aire	2,7	0,78	81	33(-1;-5)	50,96
		Argón 90%	2,6	0,78	81		
		Kriptón 95%	2,6	0,78	81		
RE_DC19	6/10/8	Aire	2,9	0,77	81	34(-1;-3)	59,52
		Argón 90%	2,7	0,77	81		
		Kriptón 95%	2,5	0,77	81		
RE_DC20	6/12/8	Aire	2,8	0,77	81	34(-1;-3)	60,69
		Argón 90%	2,7	0,77	81		
		Kriptón 95%	2,5	0,77	81		
RE_DC21	6/16/8	Aire	2,7	0,77	81	34(-1;-3)	62,51
		Argón 90%	2,6	0,77	81		
		Kriptón 95%	2,5	0,77	81		
RE_DC22	6/10/10	Aire	2,9	0,78	81	34(0;-3)	72,54
		Argón 90%	2,7	0,78	81		
		Kriptón 95%	2,5	0,78	81		
RE_DC23	6/12/10	Aire	2,8	0,77	80	36(-1;-3)	74,61
		Argón 90%	2,6	0,77	80		
		Kriptón 95%	2,5	0,77	80		
RE_DC24	6/16/10	Aire	2,7	0,77	80	36(-2;-5)	78,03
		Argón 90%	2,6	0,77	80		
		Kriptón 95%	2,5	0,77	80		
RE_DC25	8/10/8	Aire	2,9	0,76	80	34(-1;-3)	68,84
		Argón 90%	2,7	0,76	80		
		Kriptón 95%	2,5	0,76	80		
RE_DC26	8/12/8	Aire	2,8	0,76	80	34(-1;-3)	69,37
		Argón 90%	2,6	0,76	80		
		Kriptón 95%	2,5	0,76	80		
RE_DC27	8/16/8	Aire	2,7	0,76	80	34(-1;-3)	70,93
		Argón 90%	2,6	0,76	80		
		Kriptón 95%	2,5	0,76	80		
RE_DC28	8/10/10	Aire	2,9	0,75	80	34(-1;-3)	82,89
		Argón 90%	2,7	0,75	80		
		Kriptón 95%	2,5	0,75	80		

Tabla 92. Acristalamientos dobles sin tratamiento RE_DC (básicos) 3/4 (continuación)

Acristalamientos básicos RE_DC (3/4)							
Código	Configuración (mm)	Gas en cámara	U (W/m ² K)	FS (adimensional)	Tl (%)	R _w (C;C _{tr}) (dB)	Precio (€/m ²)
RE_DC29	8/12/10	Aire	2,8	0,75	80	36(-2;-4)	83,35
		Argón 90%	2,6	0,75	80		
		Kriptón 95%	2,5	0,75	80		
RE_DC30	8/16/10	Aire	2,7	0,75	80	35(-1;-3)	84,25
		Argón 90%	2,6	0,75	80		
		Kriptón 95%	2,5	0,75	80		
RE_DC31	10/10/10	Aire	2,9	0,74	79	31(-1;-2)	91,74
		Argón 90%	2,7	0,74	79		
		Kriptón 95%	2,5	0,74	79		
RE_DC32	10/12/10	Aire	2,8	0,74	79	32(-1;-2)	92,26
		Argón 90%	2,6	0,74	79		
		Kriptón 95%	2,5	0,74	79		
RE_DC33	10/16/10	Aire	2,7	0,74	79	32(-1;-2)	92,92
		Argón 90%	2,5	0,74	79		
		Kriptón 95%	2,5	0,74	79		
RE_DC34	4/12/33.1a	Aire	2,8	0,78	82	34(-1;-4)	100,76
		Argón 90%	2,7	0,78	82		
		Kriptón 95%	2,5	0,78	82		
RE_DC35	6/12/33.1a	Aire	2,8	0,76	81	37(-1;-5)	111,04
		Argón 90%	2,7	0,76	81		
		Kriptón 95%	2,5	0,76	81		
RE_DC36	8/12/33.1a	Aire	2,8	0,75	81	38(-1;-5)	122,65
		Argón 90%	2,6	0,75	81		
		Kriptón 95%	2,5	0,75	81		
RE_DC37	6/16/33.1a	Aire	2,7	0,76	81	40(-2;-6)	113,69
		Argón 90%	2,6	0,76	81		
		Kriptón 95%	2,5	0,76	81		
RE_DC38	6/12/44.1a	Aire	2,8	0,76	81	38(-1;-4)	119,03
		Argón 90%	2,6	0,76	81		
		Kriptón 95%	2,5	0,76	81		
RE_DC39	6/16/44.1a	Aire	2,7	0,76	81	40(-2;-6)	122,70
		Argón 90%	2,6	0,76	81		
		Kriptón 95%	2,5	0,76	81		
RE_DC40	8/12/44.1a	Aire	2,8	0,74	80	40(-1;-5)	139,44
		Argón 90%	2,6	0,74	80		
		Kriptón 95%	2,5	0,75	80		
RE_DC41	8/16/44.1a	Aire	2,7	0,74	80	42(-2;-5)	142,18
		Argón 90%	2,6	0,75	80		
		Kriptón 95%	2,5	0,75	80		
RE_DC42	12/12/44.1a	Aire	2,8	0,72	79	44(0;-4)	162,92
		Argón 90%	2,6	0,72	79		
		Kriptón 95%	2,5	0,75	79		

Tabla 93. Acristalamientos dobles sin tratamiento RE_DC (básicos) 4/4 (continuación)

Acristalamientos básicos RE_DC (4/4)							
Código	Configuración (mm)	Gas en cámara	U (W/m ² K)	FS (adimensional)	Tl (%)	R _w (C;C _{tr}) (dB)	Precio (€/m ²)
RE_DC43	55.1/20/44.1	Aire	2,8	0,70	79	46(-2;-6)	182,41
		Argón 90%	2,5	0,70	79		
		Kriptón 95%	2,5	0,70	79		
RE_DC44	55.1/16/44.1a	Aire	2,7	0,70	79	45(-2;-7)	180,51
		Argón 90%	2,5	0,70	79		
		Kriptón 95%	2,5	0,70	79		
RE_DC45	66.2/20/44.2a	Aire	2,6	0,67	78	49(-2;-6)	232,83
		Argón 90%	2,5	0,67	78		
		Kriptón 95%	2,5	0,67	78		
RE_DC46	44.2/24/66.2a	Aire	2,6	0,69	78	50(-2;-7)	237,31
		Argón 90%	2,5	0,69	78		
		Kriptón 95%	2,5	0,69	78		

Tabla 94. Acristalamientos dobles con tratamiento bajo emisor RE_BE 1/3

Acristalamientos bajo emisor RE_BE (1/3)							
Código	Configuración (mm)	Gas cámara	U (W/m ² K)	FS (adimensional)	Tl (%)	R _w (C;C _{tr}) (dB)	Precio (€)
RE_BE01	4/10/4	Aire	1,8	0,62	82	30(-1;-3)	54,21
		Argón 90%	1,4	0,62	82		
		Kriptón 95%	1,0	0,62	82		
RE_BE02	4/12/4	Aire	1,6	0,62	82	30(0;-3)	54,72
		Argón 90%	1,3	0,62	82		
		Kriptón 95%	1,0	0,62	82		
RE_BE03	4/16/4	Aire	1,4	0,62	82	30(0;-3)	55,76
		Argón 90%	1,1	0,62	82		
		Kriptón 95%	1,0	0,62	82		
RE_BE04	6/10/4	Aire	1,8	0,61	81	33(-1;-3)	74,22
		Argón 90%	1,4	0,61	81		
		Kriptón 95%	1,0	0,61	81		
RE_BE05	6/12/4	Aire	1,6	0,61	81	33(-1;-4)	74,75
		Argón 90%	1,3	0,61	81		
		Kriptón 95%	1,0	0,61	81		
RE_BE06	6/16/4	Aire	1,4	0,61	81	34(-1;-5)	75,78
		Argón 90%	1,1	0,61	81		
		Kriptón 95%	1,0	0,61	81		
RE_BE07	6/10/6	Aire	1,8	0,61	81	32(0;-2)	83,21
		Argón 90%	1,4	0,61	81		
		Kriptón 95%	1,0	0,61	81		
RE_BE08	6/12/6	Aire	1,6	0,61	81	33(-1;-3)	83,73
		Argón 90%	1,3	0,61	81		
		Kriptón 95%	1,0	0,61	81		
RE_BE09	6/16/6	Aire	1,4	0,61	81	33(-1;-4)	84,76
		Argón 90%	1,1	0,61	81		
		Kriptón 95%	1,0	0,61	81		

Tabla 95. Acristalamientos dobles con tratamiento bajo emisivo RE BE 2/3 (continuación)

Acristalamientos bajo emisivo RE BE (2/3)							
Código	Configuración (mm)	Gas en cámara	U (W/m ² K)	FS (adimensional)	Tl (%)	R _w (C;C _{tr}) (dB)	Precio (€/m ²)
RE_BE10	4/10/4	Aire	1,8	0,65	82	30(-1;-3)	54,21
		Argón 90%	1,4	0,65	82		
		Kriptón 95%	1,0	0,65	82		
RE_BE11	4/12/4	Aire	1,6	0,65	82	30(-1;-4)	54,72
		Argón 90%	1,3	0,65	82		
		Kriptón 95%	1,0	0,65	82		
RE_BE12	4/16/4	Aire	1,4	0,65	82	30(-1;-3)	55,76
		Argón 90%	1,1	0,65	82		
		Kriptón 95%	1,0	0,65	82		
RE_BE13	6/10/4	Aire	1,8	0,64	81	33(-1;-3)	74,22
		Argón 90%	1,4	0,64	81		
		Kriptón 95%	1,0	0,64	81		
RE_BE14	6/12/4	Aire	1,6	0,64	81	33(-1;-4)	74,75
		Argón 90%	1,3	0,64	81		
		Kriptón 95%	1,0	0,64	81		
RE_BE15	6/16/4	Aire	1,4	0,64	81	34(-1;-5)	75,78
		Argón 90%	1,1	0,64	81		
		Kriptón 95%	1,0	0,64	81		
RE_BE16	6/10/6	Aire	1,8	0,64	81	32(0;-2)	83,21
		Argón 90%	1,0	0,64	81		
		Kriptón 95%	1,4	0,64	81		
RE_BE17	6/12/6	Aire	1,6	0,64	81	33(-1;-3)	83,73
		Argón 90%	1,3	0,64	81		
		Kriptón 95%	1,0	0,64	81		
RE_BE18	6/16/6	Aire	1,4	0,64	81	33(-1;-4)	84,76
		Argón 90%	1,1	0,64	81		
		Kriptón 95%	1,0	0,64	81		
RE_BE19	4/12/33.1	Aire	1,6	0,62	81	34(-1;-4)	130,69
		Argón 90%	1,3	0,62	81		
		Kriptón 95%	1,0	0,62	81		
RE_BE20	6/12/33.1a	Aire	1,6	0,61	81	37(-1;-5)	141,67
		Argón 90%	1,3	0,61	81		
		Kriptón 95%	1,0	0,61	81		
RE_BE21	8/12/33.1a	Aire	1,6	0,60	80	38(-1;-5)	164,46
		Argón 90%	1,3	0,60	80		
		Kriptón 95%	1,0	0,60	80		
RE_BE22	6/16/33.1a	Aire	1,4	0,61	81	40(-2;-6)	142,71
		Argón 90%	1,1	0,61	81		
		Kriptón 95%	1,0	0,61	81		
RE_BE23	6/12/44.1a	Aire	1,6	0,60	80	38(-1;-4)	146,90
		Argón 90%	1,3	0,61	80		
		Kriptón 95%	1,0	0,61	80		

Tabla 96. Acristalamientos dobles con tratamiento bajo emisor RE_BE 3/3 (continuación)

Acristalamientos bajo emisor RE_BE (3/3)							
Código	Configuración (mm)	Gas en cámara	U (W/m ² K)	FS (adimensional)	Tl (%)	R _w (C;C _{tr}) (dB)	Precio (€/m ²)
RE_BE24	10/12/33.1a	Aire	1,6	0,59	80	39(0;-4)	183,11
		Argón 90%	1,3	0,59	80		
		Kriptón 95%	1,0	0,59	80		
RE_BE25	6/16/44.1a	Aire	1,3	0,61	80	40(-2;-6)	147,94
		Argón 90%	1,1	0,61	80		
		Kriptón 95%	1,0	0,61	80		
RE_BE26	8/12/44.1a	Aire	1,6	0,59	80	40(-1;-5)	169,70
		Argón 90%	1,3	0,60	80		
		Kriptón 95%	1,0	0,60	80		
RE_BE27	8/16/44.1a	Aire	1,3	0,60	80	42(-2;-5)	170,73
		Argón 90%	1,1	0,60	80		
		Kriptón 95%	1,0	0,60	80		
RE_BE28	10/16/33.1a	Aire	1,3	0,59	80	41(-1;-5)	184,15
		Argón 90%	1,1	0,59	80		
		Kriptón 95%	1,0	0,59	80		
RE_BE29	10/12/44.1a	Aire	1,6	0,59	79	43(-2;-6)	188,35
		Argón 90%	1,3	0,59	79		
		Kriptón 95%	1,0	0,59	79		
RE_BE30	10/16/44.1a	Aire	1,3	0,59	79	43(-1;-5)	189,39
		Argón 90%	1,1	0,59	79		
		Kriptón 95%	1,0	0,59	79		
RE_BE31	12/12/44.1a	Aire	1,6	0,58	79	44(-1;-5)	213,22
		Argón 90%	1,3	0,58	79		
		Kriptón 95%	1,0	0,58	79		
RE_BE32	55.1/20/44.1a	Aire	1,4	0,57	79	46(-2;-6)	205,55
		Argón 90%	1,1	0,56	79		
		Kriptón 95%	1,0	0,56	79		
RE_BE33	44.1/20/55.1a	Aire	1,4	0,57	79	46(-2;-6)	211,95
		Argón 90%	1,1	0,57	79		
		Kriptón 95%	1,0	0,57	79		
RE_BE34	55.1/16/44.1a	Aire	1,3	0,57	79	44(-1;-6)	205,55
		Argón 90%	1,1	0,56	79		
		Kriptón 95%	1,0	0,56	79		

Tabla 97. Acristalamientos dobles con tratamiento control solar RE CS 1/1

Acristalamientos control solar RE CS (1/1)							
Código	Configuración (mm)	Gas en cámara	U (W/m ² K)	FS (adimensional)	Tl (%)	R _w (C;C _{tr}) (dB)	Precio (€/m ²)
RE_CS01	6/12/6	Aire	2,8	0,52	42	31(-1;-4)	88,31
		Argón 90%	2,7	0,52	42		
		Kriptón 95%	2,5	0,52	42		
RE_CS02	6/12/4	Aire	2,8	0,53	43	34(-1;-5)	79,32
		Argón 90%	2,7	0,53	43		
		Kriptón 95%	2,6	0,53	43		
RE_CS03	6/12/44.1a	Aire	2,8	0,51	42	38(-1;-4)	128,89
		Argón 90%	2,6	0,51	42		
		Kriptón 95%	2,5	0,51	42		
RE_CS04	8/12/44.1a	Aire	2,8	0,50	42	40(-1;-5)	145,89
		Argón 90%	2,6	0,50	42		
		Kriptón 95%	2,5	0,50	42		

Tabla 98. Acristalamientos dobles con tratamiento bajo emisor y control solar RE BC 1/5

Acristalamientos bajo emisor y control solar RE BC (1/5)							
Código	Configuración (mm)	Gas en cámara	U (W/m ² K)	FS (adimensional)	Tl (%)	R _w (C;C _{tr}) (dB)	Precio (€/m ²)
RE_BC01	6/10/4	Aire	1,8	0,38	72	33(-1;-3)	81,69
		Argón 90%	1,4	0,38	72		
		Kriptón 95%	0,9	0,38	72		
RE_BC02	6/12/4	Aire	1,5	0,38	72	33(-1;-6)	82,20
		Argón 90%	1,2	0,38	72		
		Kriptón 95%	0,9	0,38	72		
RE_BC03	6/16/4	Aire	1,3	0,38	72	34(-1;-5)	83,24
		Argón 90%	1,0	0,38	72		
		Kriptón 95%	1,0	0,38	72		
RE_BC04	6/10/6	Aire	1,7	0,38	71	32(0;-2)	105,44
		Argón 90%	1,4	0,38	71		
		Kriptón 95%	0,9	0,38	71		
RE_BC05	6/12/6	Aire	1,5	0,38	71	33(-1;-3)	105,97
		Argón 90%	1,2	0,38	71		
		Kriptón 95%	0,9	0,38	71		
RE_BC06	6/16/6	Aire	1,3	0,38	71	33(-1;-5)	107,00
		Argón 90%	1,0	0,38	71		
		Kriptón 95%	1,0	0,38	71		
RE_BC07	6/10/4	Aire	1,8	0,43	65	33(-1;-3)	75,47
		Argón 90%	1,4	0,43	65		
		Kriptón 95%	0,9	0,42	65		
RE_BC08	6/12/4	Aire	1,5	0,43	65	32(-1;-3)	75,98
		Argón 90%	1,2	0,42	65		
		Kriptón 95%	0,9	0,42	65		
RE_BC09	6/16/4	Aire	1,3	0,43	65	33(-1;-5)	76,51
		Argón 90%	1,0	0,42	65		
		Kriptón 95%	1,0	0,42	65		

Tabla 99. Acristalamientos dobles con tratamiento bajo emisivo y control solar RE BC 2/5 (continuación)

Acristalamientos bajo emisivo y control solar RE BC (2/5)							
Código	Configuración (mm)	Gas en cámara	U (W/m ² K)	FS (adimensional)	Tl (%)	R _w (C;C _{tr}) (dB)	Precio (€/m ²)
RE_BC10	6/10/6	Aire	1,8	0,43	65	29(-1;-4)	77,02
		Argón 90%	1,4	0,42	65		
		Kriptón 95%	0,9	0,42	65		
RE_BC11	6/12/6	Aire	1,5	0,43	65	30(-2;-5)	77,54
		Argón 90%	1,2	0,42	65		
		Kriptón 95%	0,9	0,42	65		
RE_BC12	6/16/6	Aire	1,3	0,42	65	33(-1;-4)	78,06
		Argón 90%	1,0	0,42	65		
		Kriptón 95%	1,0	0,42	65		
RE_BC13	6/12/4	Aire	1,8	0,30	38	34(-1;-5)	126,22
		Argón 90%	1,5	0,29	38		
		Kriptón 95%	1,2	0,29	38		
RE_BC14	6/12/6	Aire	1,8	0,30	38	31(-1;-4)	135,21
		Argón 90%	1,5	0,29	38		
		Kriptón 95%	1,2	0,29	38		
RE_BC15	6/12/4	Aire	1,8	0,39	48	34(-1;-5)	126,22
		Argón 90%	1,5	0,38	48		
		Kriptón 95%	1,3	0,38	48		
RE_BC16	6/12/6	Aire	1,8	0,39	48	31(-1;-4)	135,21
		Argón 90%	1,5	0,38	48		
		Kriptón 95%	1,3	0,38	48		
RE_BC17	6/12/4	Aire	1,9	0,48	58	34(-1;-5)	126,22
		Argón 90%	1,6	0,47	58		
		Kriptón 95%	1,4	0,47	58		
RE_BC18	6/12/6	Aire	1,9	0,47	58	31(-1;-4)	135,21
		Argón 90%	1,6	0,47	58		
		Kriptón 95%	1,4	0,47	58		
RE_BC19	6/12/4	Aire	1,5	0,29	61	34(-1;-5)	177,09
		Argón 90%	1,2	0,29	61		
		Kriptón 95%	0,9	0,28	61		
RE_BC20	6/12/6	Aire	1,5	0,29	61	31(-1;-4)	186,07
		Argón 90%	1,2	0,29	61		
		Kriptón 95%	0,9	0,28	61		
RE_BC21	6/12/4	Aire	1,6	0,23	41	34(-1;-5)	143,17
		Argón 90%	1,2	0,22	41		
		Kriptón 95%	1,0	0,22	41		
RE_BC22	6/12/6	Aire	1,6	0,23	41	31(-1;-4)	152,15
		Argón 90%	1,2	0,22	41		
		Kriptón 95%	1,0	0,22	41		
RE_BC23	6/12/4	Aire	1,5	0,29	52	34(-1;-5)	143,17
		Argón 90%	1,2	0,29	52		
		Kriptón 95%	0,9	0,28	53		

Tabla 100. Acristalamientos dobles con tratamiento bajo emisivo y control solar RE BC 3/5 (continuación)

Acristalamientos bajo emisivo y control solar RE BC (3/5)							
Código	Configuración (mm)	Gas en cámara	U (W/m ² K)	FS (adimensional)	Tl (%)	R _w (C;C _{tr}) (dB)	Precio (€/m ²)
RE_BC24	6/12/6	Aire	1,5	0,29	52	31(-1;-4)	152,15
		Argón 90%	1,2	0,29	52		
		Kriptón 95%	0,9	0,28	52		
RE_BC25	6/12/4	Aire	1,5	0,35	61	34(-1;-5)	143,17
		Argón 90%	1,2	0,34	62		
		Kriptón 95%	0,9	0,34	61		
RE_BC26	6/12/6	Aire	1,5	0,34	61	31(-1;-4)	152,15
		Argón 90%	1,2	0,35	61		
		Kriptón 95%	0,9	0,35	61		
RE_BC27	6/12/4	Aire	1,5	0,38	71	34(-1;-5)	143,17
		Argón 90%	1,2	0,38	71		
		Kriptón 95%	0,9	0,38	71		
RE_BC28	6/12/6	Aire	1,5	0,37	70	31(-1;-4)	152,15
		Argón 90%	1,2	0,38	70		
		Kriptón 95%	0,9	0,38	70		
RE_BC29	6/12/4	Aire	1,5	0,29	61	33(-1;-4)	150,42
		Argón 90%	1,2	0,28	61		
		Kriptón 95%	0,9	0,28	61		
RE_BC30	6/12/6	Aire	1,5	0,29	60	30(-2;-5)	156,30
		Argón 90%	1,2	0,28	60		
		Kriptón 95%	0,9	0,28	60		
RE_BC31	6/12/44.1a	Aire	1,8	0,29	37	38(-1;-4)	161,68
		Argón 90%	1,5	0,29	37		
		Kriptón 95%	1,2	0,29	37		
RE_BC32	8/12/44.1a	Aire	1,8	0,29	37	40(-1;-5)	186,50
		Argón 90%	1,5	0,29	37		
		Kriptón 95%	1,2	0,28	37		
RE_BC33	6/12/44.1a	Aire	1,9	0,47	57	38(-1;-4)	161,68
		Argón 90%	1,6	0,47	57		
		Kriptón 95%	1,4	0,46	57		
RE_BC34	8/12/44.1a	Aire	1,8	0,46	56	40(-1;-5)	186,50
		Argón 90%	1,6	0,46	57		
		Kriptón 95%	1,3	0,45	56		
RE_BC35	6/12/44.1a	Aire	1,5	0,29	59	38(-1;-4)	212,54
		Argón 90%	1,2	0,28	59		
		Kriptón 95%	0,9	0,28	60		
RE_BC36	8/12/44.1a	Aire	1,6	0,28	59	40(-1;-5)	242,26
		Argón 90%	1,2	0,28	60		
		Kriptón 95%	0,9	0,28	60		
RE_BC37	6/12/44.1a	Aire	1,6	0,23	40	38(-1;-4)	178,63
		Argón 90%	1,2	0,22	40		
		Kriptón 95%	1,0	0,22	40		

Tabla 101. Acristalamientos dobles con tratamiento bajo emisivo y control solar RE BC 4/5 (continuación)

Acristalamientos bajo emisivo y control solar RE BC (4/5)							
Código	Configuración (mm)	Gas en cámara	U (W/m ² K)	FS (adimensional)	Tl (%)	R _w (C;C _{tr}) (dB)	Precio (€/m ²)
RE_BC38	8/12/44.1a	Aire	1,6	0,22	40	40(-1;-5)	195,00
		Argón 90%	1,2	0,22	40		
		Kriptón 95%	1,0	0,22	40		
RE_BC39	6/12/44.1a	Aire	1,5	0,28	51	38(-1;-4)	178,63
		Argón 90%	1,2	0,28	51		
		Kriptón 95%	0,9	0,28	51		
RE_BC40	8/12/44.1a	Aire	1,5	0,28	51	40(-1;-5)	195,00
		Argón 90%	1,2	0,28	51		
		Kriptón 95%	0,9	0,27	51		
RE_BC41	6/12/44.1a	Aire	1,5	0,34	60	38(-1;-4)	178,63
		Argón 90%	1,2	0,34	60		
		Kriptón 95%	0,9	0,34	60		
RE_BC42	8/12/44.1a	Aire	1,5	0,34	60	40(-1;-5)	195,00
		Argón 90%	1,2	0,34	60		
		Kriptón 95%	0,9	0,33	60		
RE_BC43	6/12/44.1a	Aire	1,5	0,37	69	38(-1;-4)	178,63
		Argón 90%	1,2	0,37	69		
		Kriptón 95%	0,9	0,37	69		
RE_BC44	8/12/44.1a	Aire	1,5	0,37	68	40(-1;-5)	195,00
		Argón 90%	1,2	0,37	68		
		Kriptón 95%	0,9	0,36	68		
RE_BC45	6/12/44.1	Aire	1,5	0,28	59	35(-2;-5)	182,78
		Argón 90%	1,2	0,28	59		
		Kriptón 95%	0,9	0,28	59		
RE_BC46	8/12/44.1	Aire	1,5	0,28	59	33(-1;-5)	199,15
		Argón 90%	1,2	0,28	59		
		Kriptón 95%	0,9	0,28	59		
RE_BC47	4/12/33.1	Aire	1,5	0,43	65	34(-1;-5)	144,00
		Argón 90%	1,2	0,43	65		
		Kriptón 95%	0,9	0,43	65		
RE_BC48	6/12/33.1a	Aire	1,5	0,42	65	38(-3;-7)	155,50
		Argón 90%	1,2	0,42	65		
		Kriptón 95%	0,9	0,42	65		
RE_BC49	6/12/44.1a	Aire	1,5	0,42	64	38(-1;-4)	156,15
		Argón 90%	1,2	0,42	64		
		Kriptón 95%	0,9	0,42	64		
RE_BC50	4/12/33.1	Aire	1,5	0,38	71	34(-1;-4)	149,13
		Argón 90%	1,2	0,38	71		
		Kriptón 95%	0,9	0,38	71		
RE_BC51	6/12/33.1a	Aire	1,5	0,38	71	37(-1;-5)	164,94
		Argón 90%	1,2	0,38	71		
		Kriptón 95%	0,9	0,37	71		

Tabla 102. Acristalamientos dobles con tratamiento bajo emisivo y control solar RE BC 5/5 (continuación)

Acristalamientos bajo emisivo y control solar RE BC (5/5)							
Código	Configuración (mm)	Gas en cámara	U (W/m ² K)	FS (adimensional)	Tl (%)	R _w (C;C _{tr}) (dB)	Precio (€/m ²)
RE_BC52	8/12/33.1a	Aire	1,5	0,38	70	38(-1;-5)	192,65
		Argón 90%	1,2	0,37	70		
		Kriptón 95%	0,9	0,37	70		
RE_BC53	6/12/44.1a	Aire	1,5	0,38	70	38(-1;-4)	170,18
		Argón 90%	1,2	0,38	70		
		Kriptón 95%	0,9	0,37	70		
RE_BC54	10/12/33.1a	Aire	1,5	0,37	70	39(0;-4)	214,10
		Argón 90%	1,2	0,37	70		
		Kriptón 95%	0,9	0,37	70		
RE_BC55	6/16/33.1a	Aire	1,3	0,42	65	38(-2;-6)	158,98
		Argón 90%	1,0	0,42	65		
		Kriptón 95%	1,0	0,42	65		
RE_BC56	6/16/44.1a	Aire	1,3	0,42	64	40(-2;-6)	164,02
		Argón 90%	1,0	0,42	64		
		Kriptón 95%	0,9	0,42	64		
RE_BC57	6/16/33.1a	Aire	1,3	0,38	71	40(-2;-6)	165,97
		Argón 90%	1,0	0,38	71		
		Kriptón 95%	1,0	0,37	71		
RE_BC58	6/16/44.1a	Aire	1,3	0,38	70	40(-2;-6)	171,21
		Argón 90%	1,0	0,37	70		
		Kriptón 95%	0,9	0,37	70		
RE_BC59	8/12/44.1a	Aire	1,5	0,38	70	40(-1;-5)	197,88
		Argón 90%	1,2	0,37	70		
		Kriptón 95%	0,9	0,37	70		
RE_BC60	8/16/44.1a	Aire	1,3	0,37	70	42(-2;-5)	198,91
		Argón 90%	1,0	0,37	70		
		Kriptón 95%	0,9	0,37	70		
RE_BC61	10/16/33.1a	Aire	1,3	0,37	70	41(-1;-5)	215,19
		Argón 90%	1,0	0,37	70		
		Kriptón 95%	0,9	0,37	70		
RE_BC62	10/12/44.1a	Aire	1,5	0,37	70	42(-1;-5)	219,33
		Argón 90%	1,2	0,37	70		
		Kriptón 95%	0,9	0,37	70		
RE_BC63	10/16/44.1a	Aire	1,3	0,37	70	43(-1;-5)	220,37
		Argón 90%	1,0	0,37	70		
		Kriptón 95%	0,9	0,37	70		
RE_BC64	44.1/20/55.1a	Aire	1,3	0,36	69	46(-2;-6)	237,03
		Argón 90%	1,1	0,36	69		
		Kriptón 95%	1,0	0,36	69		

A continuación se detalla el tipo de sustrato exterior e interior, clase y posición del tratamiento de capa (si procede), que componen los grupos de acristalamientos de mejores prestaciones descritos desde la tabla 90 a la 102, ambas inclusive (Tabla 103).

Tabla 103. Acristalamientos dobles objetos de consideración. Tipo de sustrato interior y exterior

Código acristalamiento	Sustrato exterior	Sustrato interior	Tratamiento	Tipo	Cara
RE_DC01 al 46	PLANICLEAR	PLANICLEAR	-	-	-
RE_BE01 al 09 RE_BE19 al 34	PLANICLEAR	PLANICLEAR	BE	PLANITHERM XN	2
RE_BE10 al 18	PLANICLEAR	PLANICLEAR	BE	PLANITHERM XN	3
RE_CS01 al 04	PLANICLEAR	PLANICLEAR	CS	ANTELIO CLEAR	2
RE_BC01 al 06 RE_BC50 al 54 RE_BC57 al 64	PLANICLEAR	PLANICLEAR	BE y CS	PLANISTAR ONE	2
RE_BC07 al 12 RE_BC47 al 49 RE_BC55 al 56	PLANICLEAR	PLANICLEAR	BE y CS	PLANITHERM 4S	2
RE_BC13 al 14 RE_BC31 al 32	PLANICLEAR	PLANICLEAR	BE y CS	COOL-LITE KNT 140	2
RE_BC15 al 16	PLANICLEAR	PLANICLEAR	BE y CS	COOL-LITE KNT 155	2
RE_BC17 al 18 RE_BC33 al 34	PLANICLEAR	PLANICLEAR	BE y CS	COOL-LITE KNT 164	2
RE_BC19 al 20 RE_BC35 al 36	DIAMANT	DIAMANT	BE y CS	COOL-LITE EXTREME 60-28	2
RE_BC21 al 22 RE_BC37 al 38	PLANICLEAR	PLANICLEAR	BE y CS	COOL-LITE SKN 145	2
RE_BC23 al 24 RE_BC39 al 40	PLANICLEAR	PLANICLEAR	BE y CS	COOL-LITE SKN 154	2
RE_BC25 al 26 RE_BC41 al 42	PLANICLEAR	PLANICLEAR	BE y CS	COOL-LITE SKN 165	2
RE_BC27 al 28 RE_BC43 al 44	PLANICLEAR	PLANICLEAR	BE y CS	COOL-LITE SKN 176	2
RE_BC29 al 30 RE_BC45 al 46	PLANICLEAR	PLANICLEAR	BE y CS	COOL-LITE EXTREME 60-28	2

12.7. Selección del acristalamiento

En CD adjunto se incluyen las tablas con los resultados del cuarto grupo de simulaciones. En cada una de ellas se refleja los mismos indicadores que los grupos de simulaciones anteriores.

Las tablas incluidas corresponden a:

- Módulo lateral (MLA) _ Trinomio
- Módulo de esquina (MES) A y B _ Trinomio

12.8. Validación con el acristalamiento de mercado

En CD adjunto se incluyen las tablas con los resultados del quinto grupo de simulaciones. En cada una de ellas se refleja los mismos indicadores para las diferentes tipologías de acristalamientos seleccionados en cada zona climática y plantas prototipos situación NS y EO.

Las tablas incluidas corresponden a:

- Planta cuadrada prototipo (CUP) situación NS y EO _ Trinomio
- Planta rectangular prototipo (REP) situación NS y EO _ Trinomio