

Proyecto Fin de Carrera Ingeniería de la Energía

Análisis de viabilidad económica y reducción del consumo de energía de un edificio terciario al integrar un sistema fotovoltaico y de micro-cogeneración mediante TRNSYS

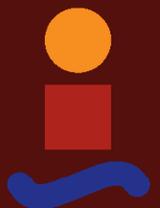
Autor: Francisco Durán Parejo

Tutores: Laura Romero Rodríguez

José Manuel Salmerón Lissén

**Dep. Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2018



Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería de la Energía

**Análisis de viabilidad económica y reducción del
consumo de energía de un edificio terciario al
integrar un sistema fotovoltaico y de micro-
cogeneración mediante TRNSYS**

Autor:

Francisco Durán Parejo

Tutores:

Laura Romero Rodríguez

Investigador (PIF)

José Manuel Salmerón Lissén

Profesor Titular de Universidad

Dep. Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2018

Proyecto Fin de Carrera: Análisis de viabilidad económica y reducción del consumo de energía de un edificio terciario al integrar un sistema fotovoltaico y de micro-cogeneración mediante TRNSYS

Autor: Francisco Durán Parejo

Tutores: Laura Romero Rodríguez
José Manuel Salmerón Lissén

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis profesores

Agradecimientos

En este apartado de agradecimientos me gustaría dar las gracias a todas aquellas personas que me han ayudado y apoyado tanto en la realización de este trabajo como en los estudios a lo largo del grado.

En primer lugar, agradecer a José Manuel Salmerón Lissén la confianza puesta en mí para la confección del trabajo fin de grado bajo su dirección y por la atención puesta durante todo este período de tiempo. Le agradezco la cercanía mostrada y las ganas de ayudar ante cualquier duda planteada.

Por otro lado, me gustaría mostrar mi gratitud a Laura Romero Rodríguez ya que sin su ayuda habría sido imposible la ejecución del trabajo, le agradezco todo el tiempo que me ha dedicado y sus consejos. Laura es la persona que me ha estado orientando y guiando en la ejecución del proyecto. Gracias a ella he aprendido mucho y he desarrollado mis conocimientos.

Por último, dar las gracias a todos los profesores y compañeros del Grado de Ingeniería de la Energía, quienes me han hecho ser mejor estudiante y compañero y, en especial, a mis amigos y familia, quienes me han apoyado de foma incondicional.

Resumen

El presente proyecto estudia el comportamiento que presenta un edificio de oficinas al integrar distintas alternativas, empleando paneles fotovoltaicos y motores de micro-cogeneración y analizando su repercusión sobre el consumo de energía, las emisiones de CO₂ y la viabilidad económica. Esto se lleva a cabo en relación con la necesidad de tecnologías de generación de energía menos contaminantes y más eficientes. El estudio se realiza para tres horarios de funcionamiento del edificio distintos (8 horas, 12 horas y 24 horas) y se lleva a cabo en cinco ciudades de España, cada una de ellas pertenecientes a una zona climática concreta (A3, B4, C2, D3 y E1). Así mismo, se comparan tres tipos de estrategias operativas en cada zona:

- Caso convencional: las demandas se satisfacen mediante energía convencional. Se trata de la configuración ya existente en el edificio de oficinas.
- Caso convencional + fotovoltaica: a la configuración existente se le añade un campo solar fotovoltaico.
- Caso completo: en la instalación se incluyen tanto motores de micro-cogeneración como paneles fotovoltaicos.

Las simulaciones se llevan a cabo en el software TRNSYS16 para cada tipo de instalación y zona climática. Una vez realizadas dichas simulaciones, se analizan los resultados obtenidos y se sacan conclusiones en cuanto a distintos aspectos. Se evaluará también la influencia que tendría sobre el coste de ciclo de vida el hecho de que la situación normativa en España permitiera la venta de los excedentes de electricidad. Además, se comparan los resultados para las estrategias de operación y los tres horarios de funcionamiento del edificio de oficinas.

Por último, se hace un análisis de sensibilidad para observar la influencia que tienen los precios de la energía y los equipos sobre el coste del ciclo de vida.

Índice

Agradecimientos	ixx
Resumen	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xvii
1 Introducción	1
1.1. <i>Antecedentes</i>	1
1.2. <i>Micro-cogeneración</i>	1
2 Metodología. Descripción del estudio	3
2.1. <i>Metodología</i>	3
2.2. <i>Descripción del edificio y zonas climáticas</i>	4
2.3. <i>Demandas energéticas del edificio</i>	9
3 Implementación en TRNSYS	10
3.1. <i>Climatología y demandas</i>	10
3.1.1. Obtención de los datos climáticos	10
3.1.2. Demanda eléctrica del edificio	11
3.1.3. Demandas de calefacción y refrigeración	11
3.2. <i>Dimensionado de la instalación</i>	13
3.2.1. Diseño del campo solar fotovoltaico	13
3.2.2. Diseño de refrigeración: enfriadora	17
3.2.3. Diseño de la caldera de calefacción	21
3.2.4. Diseño de las bombas de circulación	23
3.2.5. Dimensionado del depósito de acumulación	24
3.2.6. Dimensionado de los motores de micro-cogeneración	26
3.3. <i>Diseño de la instalación en TRNSYS</i>	27
3.3.1. Subsistema eléctrico	28
3.3.2. Subsistema térmico	29
3.3.3. Esquemas de la instalación en TRNSYS	30
4 Análisis de resultados	32
4.1. <i>Simulaciones</i>	32
4.1.1. Convencional	32
4.1.2. Convencional + FV	33
4.1.3. Completo	33
4.2. <i>Resultados</i>	33
4.2.1. Coeficientes empleados	34
4.2.2. Análisis de resultados (simulaciones)	35
4.2.3. Comparación de resultados	50
4.2.4. Conclusiones de los resultados	56
4.3. <i>Cálculo del Coste del Ciclo de Vida</i>	57

4.3.1	Cálculo del Coste del Ciclo de Vida	57
4.3.2	Comparación del LCC entre estrategias de operación	60
4.3.3	Comparación del LCC entre zonas climáticas	62
4.3.4	Conclusiones del Coste del Ciclo de Vida	63
4.4.	<i>Consumo de energía primaria, emisiones de CO₂ y Coste del Ciclo de Vida</i>	63
4.5.	<i>Comparación entre horarios de funcionamiento</i>	66
4.5.1	Convencional	68
4.5.2	Convencional + FV	72
4.5.3	Completo	75
4.5.4.	Influencia de la venta de electricidad excedente en el LCC	82
4.5.5.	Conclusiones de la comparación entre horarios de funcionamiento	84
5	Análisis de sensibilidad	85
5.1.	<i>Gráficas de resultados</i>	86
5.1.1	Estrategias de operación	86
5.1.2	Zonas climáticas	89
5.2.	<i>Influencia de los precios de la energía y los equipos</i>	95
5.2.1	Influencia del precio de la energía	99
5.2.2	Influencia del precio de los equipos	102
6	Conclusiones	105
	Referencias	107
	Anexos	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Zonas climáticas de estudio y ciudad de referencia	5
Tabla 2.2: Latitud de cada zona climática de estudio	6
Tabla 2.3: Necesidades energéticas anuales por unidad de área para cada zona climática	9
Tabla 3.1: Inclinación y azimut para el cálculo de la radiación en cada zona climática	11
Tabla 3.2: Número de paneles en serie, máximo y mínimo, para cada zona climática	15
Tabla 3.3: Número de hileras de paneles en paralelo para cada zona climática	15
Tabla 3.4: Solución del campo solar fotovoltaico	15
Tabla 3.5: Ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos para cada zona climática	17
Tabla 3.6: Potencia necesaria para cubrir el 90% de las horas de refrigeración en cada zona climática	18
Tabla 3.7: Modelos de las enfriadoras elegidas para cada zona climática	18
Tabla 3.8: Potencia y EER de las enfriadoras para cada zona climática	20
Tabla 3.9: Potencia necesaria para cubrir el 90% de las horas de calefacción en cada zona climática	21
Tabla 3.10: Modelos de las calderas de condensación elegidas para cada zona climática	22
Tabla 3.11: Potencia de las calderas para cada zona climática	23
Tabla 3.12: Caudales de las bombas para cada zona climática	24
Tabla 3.13: Potencia de las bombas para cada zona climática	24
Tabla 4.1: Factores de energía primaria y emisiones para Gas Natural y Electricidad	34
Tabla 4.2: Resultados anuales de cada zona climática (volumen depósito=1m ³). Caso Convencional	39
Tabla 4.3: Producción fotovoltaica máxima para cada zona climática. Caso Convencional + FV	41
Tabla 4.4: Autosuficiencia fotovoltaica mensual y anual para cada zona climática. Caso Convencional+FV	42
Tabla 4.5: Resultados anuales de cada zona climática (volumen depósito=1m ³). Caso Convencional + FV	44
Tabla 4.6: Resultados anuales de cada zona climática (volumen depósito=1m ³). Caso Completo	50
Tabla 4.7: Porcentajes de reducción de los cálculos de Convencional a Convencional + FV para cada zona	51
Tabla 4.8: Porcentajes de reducción de los resultados de Convencional a Completo para cada zona	52
Tabla 4.9: Porcentajes de reducción de los cálculos de Convencional a Completo para cada zona	53
Tabla 4.10: Porcentajes de reducción de la demanda eléctrica de red respecto a Completo en cada zona	54
Tabla 4.11: Porcentajes de reducción de los resultados de Convencional + FV a Completo para cada zona	55
Tabla 4.12: Porcentajes de reducción de cálculos de Convencional+FV a Completo en cada zona	55
Tabla 4.13: Porcentajes y grados de aumento del consumo final de energía en Completo para cada zona	55
Tabla 4.14: Precios de los equipos de la instalación y las energías	58
Tabla 4.15: Resultados de los costes y LCC (volumen de depósito=1m ³) para cada zona. Caso Convencional	58
Tabla 4.16: Resultados de costes y LCC (volumen de depósito=1m ³) en cada zona. Caso Convencional+FV	59
Tabla 4.17: Resultados de los costes y el LCC (volumen de depósito=1m ³) para cada zona. Caso Completo	60

Tabla 4.18: Porcentajes de aumento del coste de operación de A3 al resto de zonas en cada caso de estudio	61
Tabla 4.19: Porcentajes que varían los costes y LCC entre Convencional+FV y Convencional en cada zona	62
Tabla 4.20: Porcentajes que varían los costes y el LCC entre Completo y Convencional para cada zona	62
Tabla 4.21: Porcentajes que varían los costes y el LCC entre Completo y Convencional+FV para cada zona	62
Tabla 4.22: Porcentajes de aumento del LCC de A3 al resto de zonas para cada caso de estudio	63
Tabla 4.23: Demandas anuales de calefacción, refrigeración y electricidad en cada horario. Zona B4	67
Tabla 4.24: Demandas anuales de calefacción, refrigeración y electricidad en cada horario. Zona E1	67
Tabla 4.25: Resultados anuales de cada horario de funcionamiento. Caso Convencional y la zona A3	69
Tabla 4.26: Resultados de costes y LCC en cada horario de funcionamiento. Caso Convencional y zona A3	70
Tabla 4.27: Resultados anuales de cada horario de funcionamiento. Caso Convencional + FV y zona A3	73
Tabla 4.28: Resultados de costes y LCC en cada horario funcionamiento. Caso Convencional+FV y zona A3	74
Tabla 4.29: Resultados anuales de cada horario de funcionamiento. Caso Completo y zona A3	78
Tabla 4.30: Resultados de los costes y LCC en cada horario de funcionamiento. Caso Completo y zona A3	79
Tabla 4.31: Resultados de costes y LCC en cada horario (venta electricidad). Caso Convencional y zona A3	82
Tabla 4.32: Resultados de coste y LCC en cada horario (venta electricidad). Caso Convencional+FV zona A3	82
Tabla 4.33: Resultados de costes y LCC en cada horario (venta electricidad). Caso Completo y zona A3	83
Tabla 4.34: Porcentajes de reducción de costes y el LCC en cada horario. Caso Convencional y zona A3	83
Tabla 4.35: Porcentajes de reducción de costes y LCC en cada horario. Caso Convencional+FV y zona A3	83
Tabla 4.36: Porcentajes de reducción de costes y el LCC en cada horario. Caso Completo y zona A3	84
Tabla 5.1: Porcentajes de variación de los precios de la energía y los equipos	85
Tabla 5.2: Precios de los equipos de la instalación y las energías en función del porcentaje de variación	85
Tabla 5.3: LCC en función de la variación de los precios para cada zona climática. Caso Convencional	96
Tabla 5.4: LCC en función de la variación de los precios para cada zona climática. Caso Convencional+FV	97
Tabla 5.5: LCC en función de la variación de los precios para cada zona climática. Caso Completo	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Edificio de estudio	4
Figura 2.2: Mapa de España con zonas climáticas señaladas	5
Figura 2.3: Climograma de Cádiz	6
Figura 2.4: Climograma de Sevilla	7
Figura 2.5: Climograma de Barcelona	7
Figura 2.6: Climograma de Madrid	8
Figura 2.7: Climograma de Burgos	8
Figura 3.1: Demanda horaria de calefacción del edificio en B4	11
Figura 3.2: Demanda horaria de calefacción del edificio en E1	12
Figura 3.3: Demanda horaria de refrigeración del edificio en B4	12
Figura 3.4: Demanda horaria de refrigeración del edificio en E1	12
Figura 3.5: Hoja de datos del panel fotovoltaico	14
Figura 3.6: Hoja de datos del inversor	16
Figura 3.7: Hoja de datos de las enfriadoras de A3, B4, C2 y D3	19
Figura 3.8: Hoja de datos de la enfriadora de E1	20
Figura 3.9: Hoja de datos de las calderas de condensación de A3 y B4	22
Figura 3.10: Hoja de datos de las calderas de condensación de C2, D3 y E1	23
Figura 3.11: Potencia de bombas en función de caudales. Fuente: Catálogo BAXI	24
Figura 3.12: Hoja de datos y precios de cada volumen del depósito de inercia	25
Figura 3.13: Hoja de datos de los motores de micro-cogeneración	27
Figura 3.14: Esquema del subsistema eléctrico en TRNSYS	28
Figura 3.15: Esquema del subsistema térmico en TRNSYS	20
Figura 3.16: Esquema de TRNSYS de la instalación Convencional	30
Figura 3.17: Esquema de TRNSYS de la instalación Convencional + FV	30
Figura 3.18: Esquema de TRNSYS de la instalación Completo	31
Figura 4.1: Factores de conversión de energía final a primaria. Fuente: IDAE	34
Figura 4.2: Factores de emisiones de CO ₂ . Fuente: IDAE	35
Figura 4.3: Consumo de refrigeración anual para cada zona. Caso Convencional	36
Figura 4.4: Consumo de calefacción anual para cada zona y volumen de depósito. Caso Convencional	37
Figura 4.5: Consumo de bombas anual para cada zona. Caso Convencional	37
Figura 4.6: Demanda eléctrica de la red anual para cada zona. Caso Convencional	38
Figura 4.7: Consumo final de energía anual para cada zona y volumen de depósito. Caso Convencional	38
Figura 4.8: Demanda eléctrica de la red anual para cada zona. Caso Convencional + FV	40

Figura 4.9: Producción fotovoltaica anual para cada zona. Caso Convencional + FV	40
Figura 4.10: Radiación directa anual en B4	41
Figura 4.11: Autosuficiencia fotovoltaica anual para cada zona. Caso Convencional + FV	42
Figura 4.12: Consumo final de energía anual en cada zona y volumen de depósito. Caso Convencional+FV	43
Figura 4.13: Consumo de calefacción anual para cada zona y volumen de depósito. Caso Completo	45
Figura 4.14: Consumo de bombas anual para cada zona y volumen de depósito. Caso Completo	46
Figura 4.15: Consumo de los motores anual para cada zona y volumen de depósito. Caso Completo	47
Figura 4.16: Demanda eléctrica de la red anual para cada zona y volumen de depósito. Caso Completo	48
Figura 4.17: Autosuficiencia fotovoltaica anual para cada zona y volumen de depósito. Caso Completo	48
Figura 4.18: Consumo final de energía anual para cada zona y volumen de depósito. Caso Completo	49
Figura 4.19: Resultados del LCC para cada zona y volumen de depósito. Caso Convencional	59
Figura 4.20: Resultados del LCC para cada zona y volumen de depósito. Caso Convencional + FV	59
Figura 4.21: Resultados del LCC para cada zona y volumen de depósito. Caso Completo	60
Figura 4.22: Emisiones de CO ₂ VS consumo primario de energía para cada zona climática y caso de estudio	64
Figura 4.23: LCC VS Consumo primario de energía para cada zona climática y caso de estudio	65
Figura 4.24: LCC VS Emisiones de CO ₂ para cada zona climática y caso de estudio	66
Figura 4.25: Consumo de refrigeración anual para cada zona climática y horario. Caso Convencional	70
Figura 4.26: Consumo de calefacción anual para cada zona climática y horario. Caso Convencional	70
Figura 4.27: Consumo de bombas anual para cada zona climática y horario. Caso Convencional	71
Figura 4.28: Demanda eléctrica de la red anual para cada zona climática y horario. Caso Convencional	71
Figura 4.29: Resultados del LCC para cada zona climática y horario. Caso Convencional	71
Figura 4.30: Autosuficiencia fotovoltaica anual para cada zona climática y horario. Caso Convencional+FV	74
Figura 4.31: Excedente eléctrico anual para cada zona climática y horario. Caso Convencional + FV	74
Figura 4.32: Demanda eléctrica de la red anual para cada zona climática y horario. Caso Convencional+FV	75
Figura 4.33: Resultados del LCC para cada zona climática y horario. Caso Convencional + FV	75
Figura 4.34: Consumo de calefacción anual para cada zona climática y horario. Caso Completo	79
Figura 4.35: Consumo de bombas anual para cada zona climática y horario. Caso Completo	79
Figura 4.36: Consumo de los motores anual para cada zona climática y horario. Caso Completo	80
Figura 4.37: Autosuficiencia fotovoltaica anual para cada zona climática y horario. Caso Completo	80
Figura 4.38: Excedente eléctrico anual para cada zona climática y horario. Caso Completo	81
Figura 4.39: Demanda eléctrica de la red anual para cada zona climática y horario. Caso Completo	81
Figura 4.40: Resultados del LCC para cada zona climática y horario. Caso Completo	81
Figura 5.1: Resultados del LCC en el análisis de sensibilidad para cada zona climática. Caso Convencional	86
Figura 5.2: Resultados del LCC en el análisis de sensibilidad para cada zona. Caso Convencional+FV	87
Figura 5.3: Resultados del LCC en el análisis de sensibilidad para cada zona climática. Caso Completo	88
Figura 5.4: Resultados del LCC en el análisis de sensibilidad para cada caso de estudio. Zona A3	89
Figura 5.5: Resultados del LCC para precio de electricidad base y gas natural -20%. Zona A3	90
Figura 5.6: Resultados del LCC para precio de electricidad +40% y gas natural +40%. Zona A3	91

Figura 5.7: Resultados del LCC para precio de electricidad +40% y gas natural +20%. Zona A3	91
Figura 5.8: Resultados del LCC para precio de electricidad +20% y gas natural base. Zona A3	92
Figura 5.9: Resultados del LCC para precio de electricidad -20% y gas natural -40%. Zona A3	92
Figura 5.10: Resultados del LCC en el análisis de sensibilidad para cada caso de estudio. Zona B4	93
Figura 5.11: Resultados del LCC en el análisis de sensibilidad para cada caso de estudio. Zona C2	94
Figura 5.12: Resultados del LCC en el análisis de sensibilidad para cada caso de estudio. Zona D3	94
Figura 5.13: Resultados del LCC en el análisis de sensibilidad para cada caso de estudio. Zona E1	95
Figura 5.14: LCC para los precios base de los equipos y energías en cada zona climática y caso de estudio	99
Figura 5.15: LCC para el precio de electricidad + 40% en cada zona climática y caso de estudio	100
Figura 5.16: LCC para el precio de electricidad + 20% en cada zona climática y caso de estudio	100
Figura 5.17: LCC para el precio de gas natural - 20% en cada zona climática y caso de estudio	101
Figura 5.18: LCC para el precio de gas natural - 40% en cada zona climática y caso de estudio	101
Figura 5.19: LCC para el precio de los motores de gas natural - 20% en cada zona y caso de estudio	102
Figura 5.20: LCC para el precio de los motores de gas natural - 40% en cada zona y caso de estudio	103
Figura 5.21: LCC para el precio de los motores de gas natural - 60% en cada zona y caso de estudio	103
Figura 5.22: LCC para el precio de fotovoltaica - 60% en cada zona climática y caso de estudio	104

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El sector de la edificación representa más del 40% del uso mundial de la energía primaria y el 24% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Debido a los problemas relacionados con el cambio climático global y a la finitud de los recursos energéticos fósiles, es necesario el uso de fuentes de energía renovables para el sector de la construcción. Por esta razón y debido al gran peso que tiene el sector de la edificación en el consumo de energía primaria y emisiones de gases de efecto invernadero, el concepto de eficiencia energética ha estado muy presente en los últimos años en estudios relacionados con dicho sector.

Estos estudios se centran en la cogeneración de calor y electricidad o calor combinado como un sistema de producción de energía eficiente y confiable. Este sistema se define como la producción simultánea de varios tipos de energía a partir de una fuente y puesto que presentan muchas ventajas han sido recomendados por muchos organismos internacionales.

Los sistemas que combinan cogeneración con fuentes de energía renovables han sido atraídos por un interés sustancial durante los últimos años debido a su mayor eficiencia y sus beneficios de costes al tiempo que reducen los gases de efecto invernadero. Dicho sistema se considera como una forma alternativa para mejorar la eficiencia de utilización de la energía y mitigar los impactos ambientales negativos simultáneamente.

1.2 Micro-cogeneración

Se define la micro-cogeneración como la producción combinada de energía eléctrica y energía térmica, y se considera el método más eficiente para la producción de electricidad mediante la utilización de combustible. Esta producción de energías tiene lugar en un motor de micro-cogeneración que trabaja con gas natural. Por un lado, la energía eléctrica generada se puede aportar a la red eléctrica y/o utilizarla en forma de autoconsumo mientras que, por otro lado, la energía térmica se puede utilizar para calefacción, preparación de agua caliente sanitaria o para la generación de frío mediante enfriadoras por absorción, entre otros.

En la generación de energía mediante cogeneración, se pueden lograr ahorros de energía primaria de más del 25% en comparación con los sistemas de generación tradicional.

Al ser la micro-cogeneración el uso del calor generado por una máquina térmica prevista para la generación eléctrica resulta especialmente adecuada para su uso en lugares en los que se necesite de forma continua una fuente térmica (saunas, hoteles...).

Con la micro-cogeneración se consigue además independencia del suministro eléctrico externo, necesitando tan sólo el acceso al combustible necesario para la generación eléctrica, que se produce únicamente cuando las necesidades de iluminación y alimentación de aparatos eléctricos lo requieren.

Aunque las instalaciones de micro-cogeneración existen en el mercado desde hace tiempo, su implantación varía dependiendo del desarrollo tecnológico y social. En países como Alemania, con un alto desarrollo tecnológico y una población muy sensibilizada con el desarrollo sostenible y el ahorro energético, es donde más instalaciones hay de este tipo.

Los equipos de micro-cogeneración permiten ahorrar energía y costes de manera sencilla en las instalaciones térmicas de prácticamente cualquier edificio y en muchas pequeñas y medianas industrias.

Esto es así porque el calor se recupera de la refrigeración y los gases de escape de un motor de combustión que está simultáneamente generando electricidad. El valor de esta electricidad, que se consume localmente o se exporta a la red, compensa buena parte de los costes de operación y mantenimiento haciendo que el calor se obtenga a muy bajo precio. La micro-cogeneración presenta ventajas tanto para el usuario como para la comunidad y el medio ambiente.

Ventajas para el usuario:

- Costes de electricidad y gastos de calefacción más bajos.
- Menores costes de operación.
- Gran rendimiento energético.
- Absoluta fiabilidad de suministro.
- Suministro eléctrico independiente de la fuente de suministro público.

Ventajas para la comunidad y el medio ambiente:

- Ahorros en energía primaria.
- Producción de energía respetuosa con el medio ambiente.
- Emisiones más bajas de gases efecto invernadero (CO₂).
- Excelente biodegradabilidad del combustible.

2 METODOLOGÍA. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

2.1 Metodología

El estudio consiste en diseñar un sistema de producción de energía para un edificio terciario de oficinas situado en cinco zonas climáticas distintas de España, A3 (Cádiz), B4 (Sevilla), C2 (Barcelona), D3 (Madrid) y E1 (Burgos). Por otro lado, se considera que el edificio puede tener tres horarios de funcionamiento diferentes: 24 horas, 12 horas y 8 horas (el trabajo completo se desarrolla para el horario de funcionamiento de 24 horas/día).

Para suministrar la mayor parte de la energía demandada por el edificio se estudia el uso de un sistema híbrido, combinando un campo solar fotovoltaico con motores de micro-cogeneración.

El análisis llevado a cabo en este proyecto tiene un carácter innovador puesto que hay muy pocas investigaciones que se centran en la producción de energía combinando fotovoltaica y motores de combustión interna de gas natural para edificios de oficinas. La mayor parte de los estudios se centran en edificios residenciales y considerando ambas tecnologías por separado.

En primer lugar, se diseñan los equipos a partir de las necesidades energéticas del edificio, las cuales se obtienen del software LIDER. Estas demandas serán los datos de entrada, junto con el archivo climatológico, de TRNSYS.

Una vez dimensionados los equipos, se diseñan las distintas instalaciones o casos de estudio en TRNSYS16 introduciendo y conectando “types” procedentes de la biblioteca del software, los cuáles simulan el comportamiento de los equipos.

El sistema diseñado tendrá que satisfacer las demandas de calefacción, refrigeración y electricidad, y lo hará de la siguiente forma:

- La electricidad es producida por dos motores de micro-cogeneración que utilizan gas natural como combustible. Ambos motores tienen una potencia de 100 kW cada uno. Cuando no se pueda producir energía eléctrica a través de los motores, debido a que tienen que trabajar fuera de su rango de funcionamiento y, por tanto, trabajar a un rendimiento muy bajo, la electricidad se obtendrá de la red eléctrica.
- Un campo solar fotovoltaico compuesto por un total de 380 paneles produce electricidad para así reducir el consumo eléctrico de la red.
- La demanda de refrigeración se satisface a partir de enfriadoras de líquido refrigeradas por aire que funcionan a partir de electricidad.
- Una caldera de condensación se encarga de cubrir la demanda de calefacción del edificio. Además, se utiliza el calor producido por los motores de micro-cogeneración para disminuir la carga de trabajo de la caldera.

Posteriormente, se simula cada estrategia de operación para cada zona climática y horario de funcionamiento, y se obtienen resultados que serán analizados y estudiados.

Las diferentes estrategias de operación o casos de estudio son:

- Convencional: la energía necesaria para satisfacer las distintas demandas se obtiene a partir de energías convencionales. La energía eléctrica proviene de la red y la demanda de calefacción se cubre con la caldera de condensación (gas natural).
- Convencional + FV: este caso difiere del anterior en que incorpora un campo solar fotovoltaico para cubrir parte de la demanda eléctrica. La parte de calefacción se satisface de la misma forma que en Convencional.

- Completo: este caso incluye el campo fotovoltaico y, además se instalan motores de micro-cogeneración de gas natural, los cuales producen electricidad y además se aprovecha la energía térmica sobrante para disminuir el consumo de la caldera de condensación.

Una vez analizados los resultados obtenidos, se comparan el Coste del Ciclo de Vida (CCV), las emisiones de CO₂ y el consumo de energía primario entre sí para determinar qué tipo de instalación es idónea en cada una de las cinco zonas climáticas. Asimismo, se analiza la influencia que tiene en los resultados emplear un horario de funcionamiento u otro.

Para finalizar, se realiza un análisis de sensibilidad, en el horario de funcionamiento de 24 horas, en el cuál se estudian todas las posibles combinaciones cuando se varían los precios del gas natural, electricidad, motores de micro-cogeneración y fotovoltaica (inversores y paneles) para ver que repercusión tienen en el Coste del Ciclo de Vida.

2.2 Descripción del edificio y zonas climáticas

El edificio objeto de estudio se trata de un edificio de oficinas compuesto por seis plantas, más dos plantas subterráneas que no serán estudiadas. De estas seis plantas tres de ellas tienen las mismas características, por tanto, hay cuatro tipos de plantas diferentes, donde cada una de las plantas se divide en seis zonas. La planta baja se corresponde con la de menor área disponible (~366 m²) mientras que las demás tienen el mismo área (~1252.5 m²). El edificio consta de un área total de 6629 m². Esto se ve reflejado en el Anexo de *Áreas de los espacios y plantas del edificio*.

A continuación se muestra un boceto del edificio en el software LIDER. En la imagen se representan las caras Sur y Este, siendo la pared Sur del edificio la de mayor longitud.

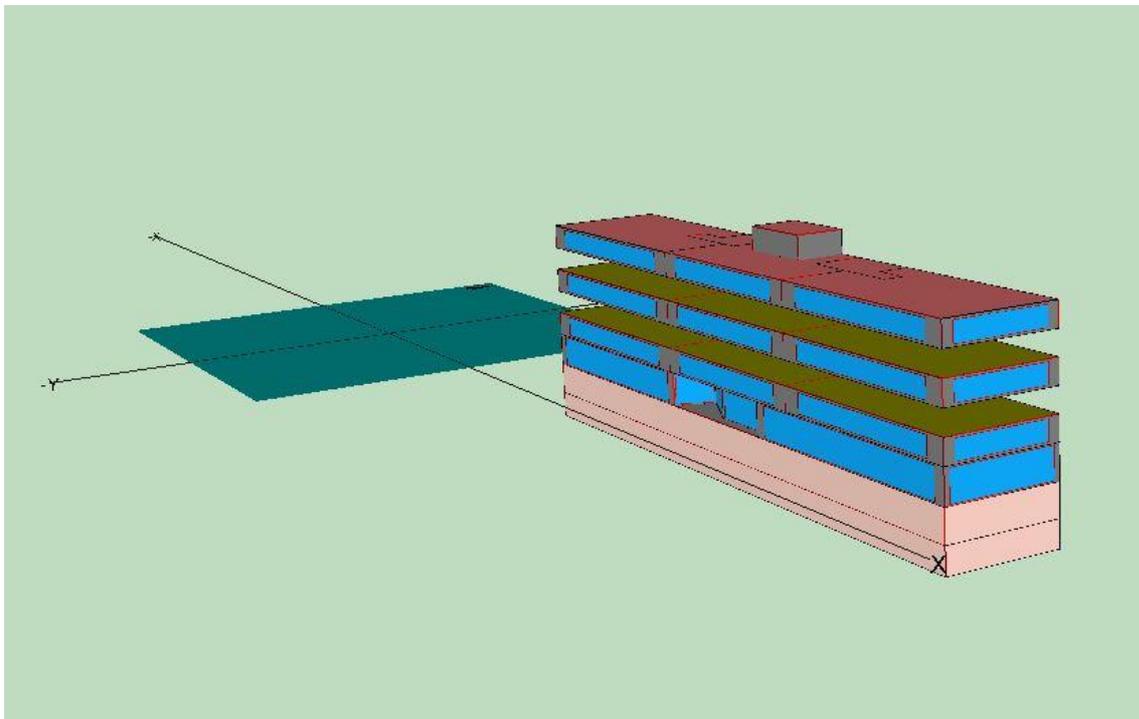


Figura 2.1: Edificio de estudio.

Se puede apreciar en la imagen lo comentado en el primer párrafo, las plantas rosas corresponderían a las subterráneas mientras que las plantas transparentes tienen las mismas características que la que queda en medio de ambas. Por tanto, las cuatro plantas con características diferentes son las que están representadas en la imagen con cerramientos transparentes.

Para la realización del estudio se han escogido cinco localidades geográficas diferentes de España, las cuales se consideran más representativas. Estas ciudades tienen unas características climáticas muy diversas y coinciden con las ciudades de referencia de las zonas climáticas:

Zona climática	Ciudad
A3	Cádiz
B4	Sevilla
C2	Barcelona
D3	Madrid
E1	Burgos

Tabla 2.1: Zonas climáticas de estudio y ciudad de referencia.

Se muestra un mapa de España donde se señalan las ubicaciones de estudio:



Figura 2.2: Mapa de España con zonas climáticas señaladas.

Las zonas climáticas se definen a partir de una letra y un número. La letra representa la severidad del clima en invierno, indicando “A” un clima menos severo en invierno y “E” un clima más severo en invierno. Por otra parte, el número representa la severidad del clima en verano, “1” expresa el clima menos severo en verano y “4” el clima más severo en dicha estación. Por tanto, dependiendo de la ubicación del edificio, éste estará expuesto a unas temperaturas y radiaciones solares diferentes, en definitiva, a un clima distinto.

Tanto Sevilla (B4) como Cádiz (A3) se encuentran en el Sur de España, lo que corresponde a ciudades con los veranos más severos y unos inviernos más suaves. Por otro lado están las ciudades del Norte, Barcelona (C2) y Burgos (E1), las cuales representan los veranos menos severos y unos inviernos más extremos, no tanto en el caso de Barcelona al ser una ciudad con costa en el Mar Mediterráneo, lo cual suaviza un poco el invierno. Por último, en el caso de Madrid, tanto el verano como el invierno son severos.

En la siguiente tabla se muestran las latitudes de cada localidad, las cuales serán útiles para el cálculo de la inclinación óptima del panel fotovoltaico para recoger la máxima radiación posible.

Zona climática	Latitud (°)
A3 (Cádiz)	36.53
B4 (Sevilla)	37.39
C2 (Barcelona)	41.39
D3 (Madrid)	40.42
E1 (Burgos)	42.34

Tabla 2.2: Latitud de cada zona climática de estudio.

A continuación se exponen las características climatológicas más importantes de cada ubicación:

- Zona A3 (Cádiz)

Ciudad situada al Sur de España, en la comunidad autónoma de Andalucía, y bañada por el Océano Atlántico. Cádiz presenta un clima típicamente mediterráneo caracterizado por las temperaturas suaves y la escasez de lluvias. Los veranos son largos, calurosos y secos mientras que los inviernos suelen ser suaves y húmedos. La temperatura promedio es de 17.9°C y las precipitaciones promedios son de 597mm.

La siguiente figura muestra las temperaturas y precipitaciones a lo largo de un año en Cádiz:

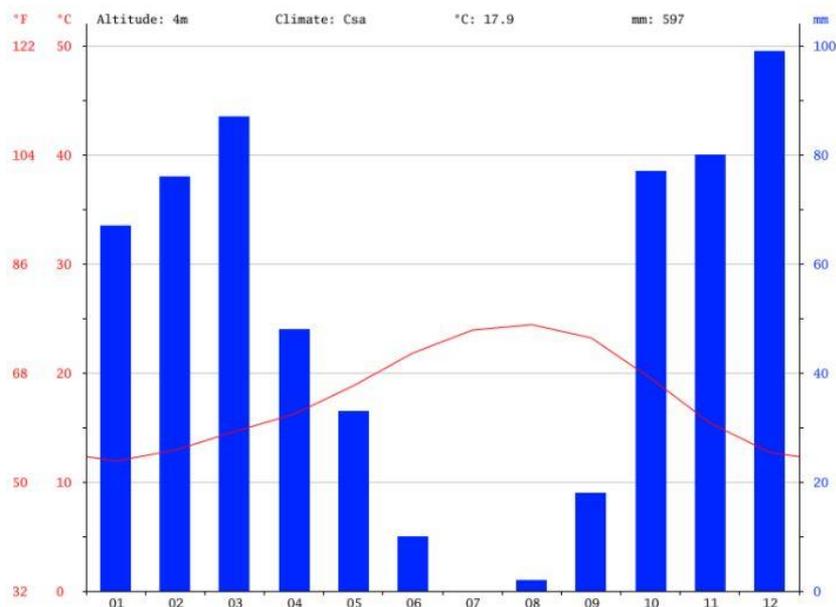


Figura 2.3: Climograma de Cádiz.

- Sevilla (B4)

Ciudad y capital de Andalucía situada a orillas del río Guadalquivir. Sevilla presenta un clima mediterráneo con un claro matiz oceánico. Los inviernos son suaves, la primavera y el otoño resultan cálidos y los veranos se presentan secos y muy calurosos (se superan los 40°C habitualmente). La temperatura media anual es de 18.6°C mientras que la precipitación media es de 576mm.

Las temperaturas y precipitaciones anuales en Sevilla se representan en la siguiente gráfica:

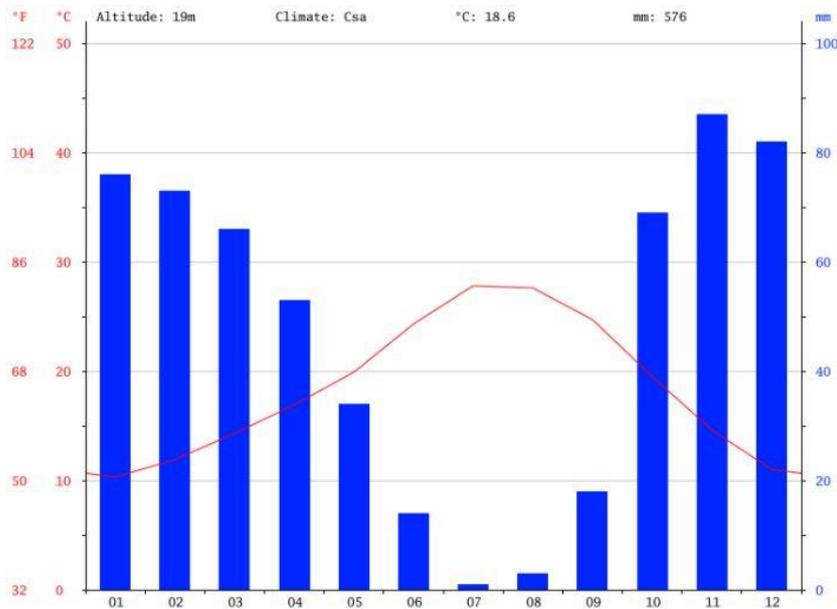


Figura 2.4: Climograma de Sevilla.

- Barcelona (C2)

Ciudad costera bañada por el mar Mediterráneo, situada al Norte de España y perteneciente a la comunidad autónoma de Cataluña (capital de dicha comunidad). Barcelona tiene un clima mediterráneo marítimo de matiz subhúmedo que presenta temperaturas cálidas en verano y frescas en invierno, con una escasa oscilación térmica diaria, que ronda los 8°C de media. La amplitud térmica anual se sitúa en torno a los 15°C, siendo menor que en otras zonas del interior peninsular debido a la condición marítima de la ciudad. La temperatura media anual es de 16.5°C y la precipitación media es de 612mm.

Las temperaturas y precipitaciones anuales se representan en la siguiente gráfica:

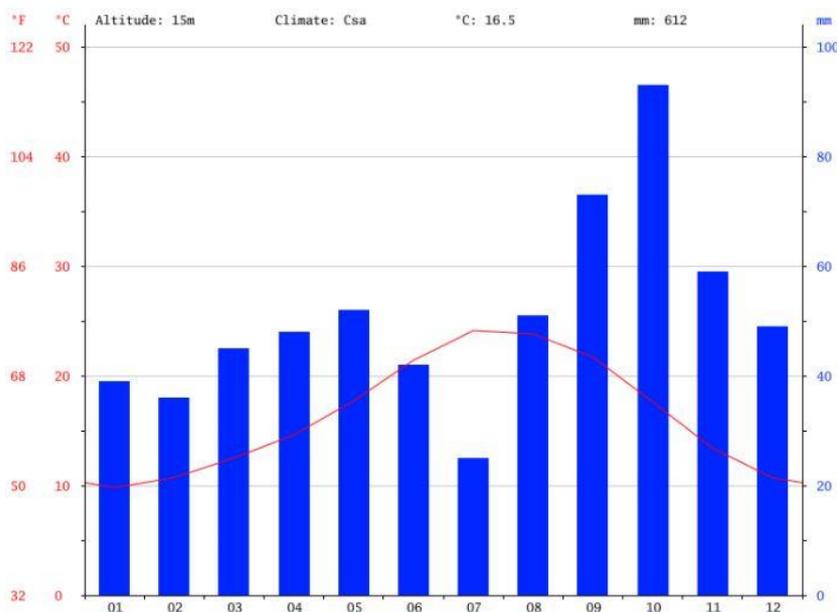


Figura 2.5: Climograma de Barcelona.

- Madrid (D3)

Madrid es la capital de España y se encuentra en la zona central de la península ibérica, a orillas del río Manzanares. El clima de Madrid se define como clima mediterráneo continentalizado, caracterizado por una gran amplitud térmica anual y una baja cantidad de precipitaciones debido a su altitud y lejanía con el mar. Madrid presenta inviernos moderadamente fríos con frecuentes nevadas mientras que los veranos son cálidos

con temperaturas medias que superan los 25°C y pueden llegar a alcanzar los 40°C. Madrid presenta una temperatura media de 13.7°C y una precipitación media de 450mm.

La siguiente figura refleja las temperaturas y precipitaciones a lo largo del año en Madrid:

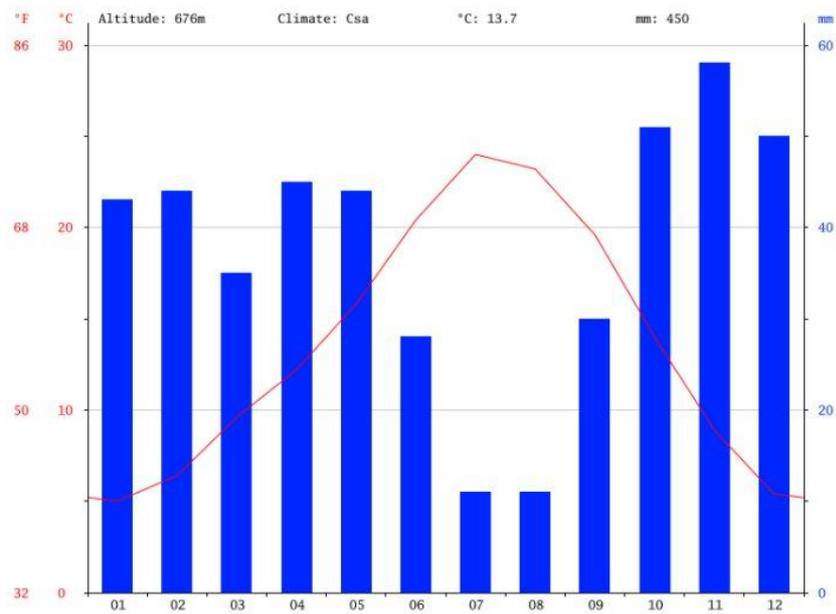


Figura 2.6: Climograma de Madrid.

- Burgos (E1)

Ciudad situada al Norte de España y perteneciente a Castilla y León. Burgos presenta un clima, en general, oceánico con inviernos muy fríos y nevosos (las temperaturas mínimas en ocasiones descienden de -10°C) y veranos suaves y mucho menos húmedos que en la España atlántica, mientras que la primavera es la estación más lluviosa. En Burgos, la temperatura media anual es de 10.5°C y la precipitación media es de 575mm.

La siguiente gráfica muestra las temperaturas y precipitaciones a lo largo del año en Burgos:

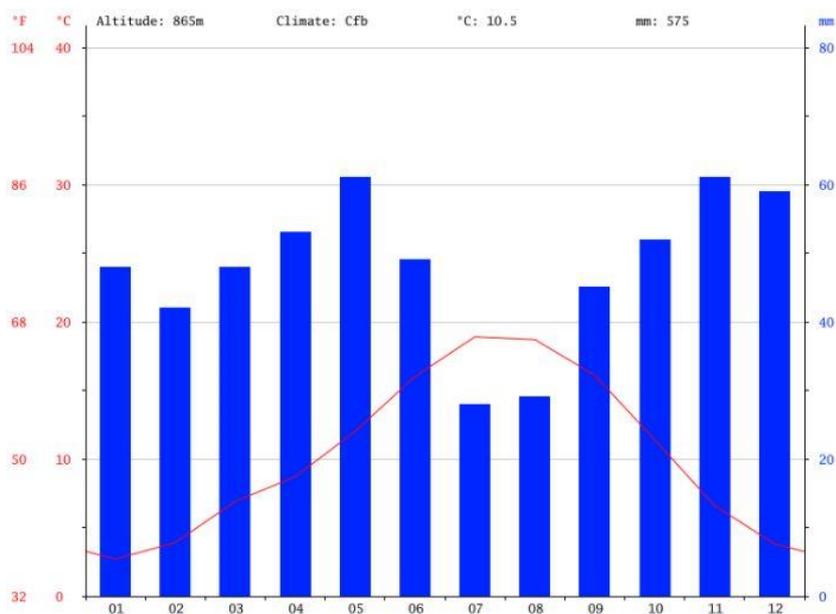


Figura 2.7: Climograma de Burgos.

2.3 Demandas energéticas del edificio

Para el cálculo de las demandas se utiliza el software LIDER que tiene como objetivo mostrar el consumo energético del edificio, para lo cual hay que definir las características, dimensiones y tipo de edificio que se va a estudiar. En nuestro caso, el software muestra como resultado las demandas de calefacción y refrigeración, a parte de la demanda eléctrica del edificio.

Las demandas de calefacción y refrigeración varían de una ubicación del edificio a otra debido a que las características climáticas son muy distintas entre zonas. La demanda de electricidad, por el contrario, se considera constante y no varía de una zona a otra debido a que en cada una de ellas se estudia el mismo edificio usado para una misma actividad.

La siguiente tabla muestra las necesidades de calefacción, refrigeración y electricidad del edificio de estudio. Se expresan las demandas anuales por unidad de área ($\text{kWh/m}^2\text{año}$), lo que permite comparar los consumos energéticos del edificio con otros de diferentes características y dimensiones.

Zona climática	Dem. calefacción ($\text{kWh/m}^2\text{año}$)	Dem. refrigeración ($\text{kWh/m}^2\text{año}$)	Dem. electricidad ($\text{kWh/m}^2\text{año}$)
Cádiz (A3)	21.68	89.19	131.4
Sevilla (B4)	32.06	97.00	131.4
Barcelona (C2)	57.62	52.18	131.4
Madrid (D3)	87.93	68.68	131.4
Burgos (E1)	121.68	29.39	131.4

Tabla 2.3: Necesidades energéticas anuales por unidad de área para cada zona climática.

En la tabla se puede apreciar que en climas más fríos, como Madrid o Burgos, la demanda de calefacción es mayor que la de refrigeración y, en Cádiz o Sevilla, ocurre lo contrario al tratarse de climas más cálidos. Por otro lado, la demanda eléctrica es la misma para cada zona como se expuso anteriormente.

3 IMPLEMENTACIÓN EN TRNSYS

TRNSYS es un entorno de software gráfico completo y extremadamente flexible utilizado para simular el comportamiento de los sistemas transitorios, incluyendo edificios multizona. Es utilizado por ingenieros e investigadores de todo el mundo para validar nuevos conceptos de energía, desde sistemas simples de agua caliente doméstica hasta el diseño y simulación de edificios y sus equipos, incluyendo estrategias de control, comportamiento de los ocupantes, sistemas de energía alternativa...

TRNSYS se compone de dos partes. El primero es un motor (llamado kernel) que lee y procesa el archivo de entrada, resuelve el sistema de forma iterativa, determina la convergencia y traza las variables del sistema. La segunda parte de TRNSYS es una extensa biblioteca de componentes, cada uno de los cuales modela el rendimiento de una parte del sistema. La biblioteca estándar incluye aproximadamente 150 modelos que van desde bombas hasta edificios de múltiples vías. Los modelos se construyen de tal manera que los usuarios pueden modificar los componentes existentes o escribir los suyos propios.

Después de 35 años de disponibilidad comercial, TRNSYS continúa siendo un paquete de software flexible y basado en componentes que se adapta a las necesidades cambiantes de los investigadores y profesionales de la comunidad de la simulación energética. Además, TRNSYS puede conectarse fácilmente a muchas otras aplicaciones, para pre o pos procesamiento a través de llamadas interactivas durante la simulación (por ejemplo, Microsoft Excel, Matlab, COMIS, etc.).

3.1 Climatología y demandas

3.1.1 Obtención de los datos climáticos

Para poder realizar el estudio es necesario conocer varios parámetros del clima de cada una de las zonas. Éstos son útiles para la simulación, en TRNSYS16, de la enfriadora y del campo solar fotovoltaico. Por tanto, en cada una de las zonas se necesita conocer los siguientes datos climatológicos para cada hora del año:

- Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)
- Radiación directa (W/m^2)
- Radiación difusa (W/m^2)
- Radiación total (W/m^2)
- Ángulo de incidencia de la radiación directa ($^{\circ}$)

Por un lado, la temperatura ambiente se utiliza como dato de entrada para la enfriadora y, por otro lado, las radiaciones directa, difusa y global junto con el ángulo de incidencia son útiles para la simulación del campo solar fotovoltaico.

Para el cálculo de las radiaciones en cada zona se utiliza CLIMEDTOOL, herramienta que ha sido desarrollada por el Departamento de Ingeniería Energética de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla. El objetivo principal de esta herramienta es convertir las radiaciones directa, difusa y global sobre superficie horizontal a superficie inclinada. Para ello, en primer lugar, se introduce en dicha herramienta el archivo climatológico de la zona, en este caso Cádiz, Sevilla, Barcelona, Madrid y Burgos, y se carga dicho archivo. Luego se fijan la inclinación respecto a la superficie horizontal, la orientación (azimut) sobre la que queremos obtener la radiación y la reflectividad del terreno (en nuestras cinco ubicaciones se decide 0.2). Por último, se genera el archivo con las radiaciones horarias para la orientación e inclinación indicadas.

En la siguiente tabla se muestra la orientación e inclinación para la que se calcula la radiación:

Zona climática	Inclinación (°)	Azimut (°)
A3 (Cádiz)	26	0 (Sur)
B4 (Sevilla)	27	0 (Sur)
C2 (Barcelona)	31	0 (Sur)
D3 (Madrid)	30	0 (Sur)
E1 (Burgos)	32	0 (Sur)

Tabla 3.1: Inclinación y azimut para el cálculo de la radiación en cada zona climática.

Por tanto, la temperatura ambiente se obtiene del archivo climatológico y, las radiaciones directa, difusa y global y el ángulo de incidencia de la radiación directa se obtienen a través de la herramienta CLIMEDTOOL.

3.1.2 Demanda eléctrica del edificio

El edificio de estudio se trata de una construcción con una alta intensidad de fuentes internas, con potencias eléctricas de $7.5W/m^2$ de iluminación y $7.5W/m^2$ de equipos. Es decir, tiene una potencia total de electricidad de $15W/m^2$. A partir de esta potencia de electricidad y la superficie del edificio se calcula la demanda eléctrica horaria del edificio, la cual es de 99.44kWh. Como ya se comenta en apartados anteriores, dicha demanda se considera constante a lo largo del año e igual para todas las zonas climáticas.

3.1.3 Demandas de calefacción y refrigeración

Las demanda de calefacción y refrigeración, como se expone en *Demandas energéticas del edificio*, difieren de una ubicación del edificio a otra debido a que cada zona tiene unas características de clima diferente.

Los perfiles demandas horarias de calefacción y refrigeración para las zonas B4 y A3 se muestran en modo de ejemplo. Las gráficas que muestran las demandas para el resto de zonas climáticas se incluyen en el anexo de *Demandas de calefacción y refrigeración*.

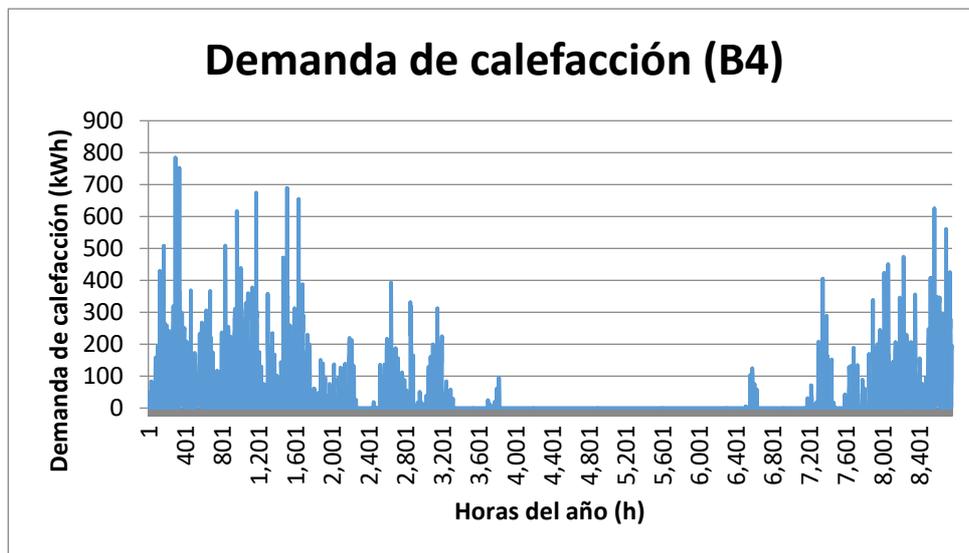


Figura 3.1: Demanda horaria de calefacción del edificio en B4.

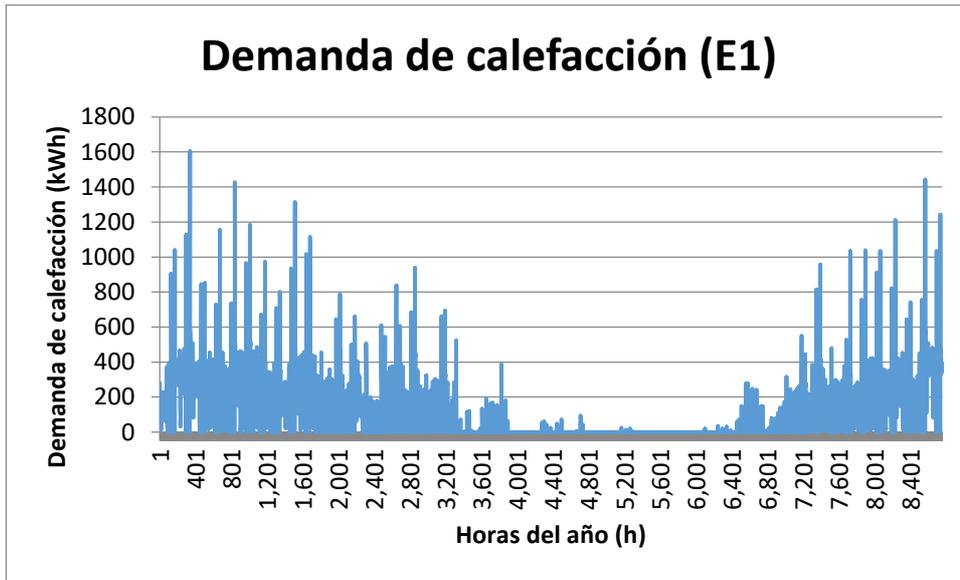


Figura 3.2: Demanda horaria de calefacción del edificio en E1.

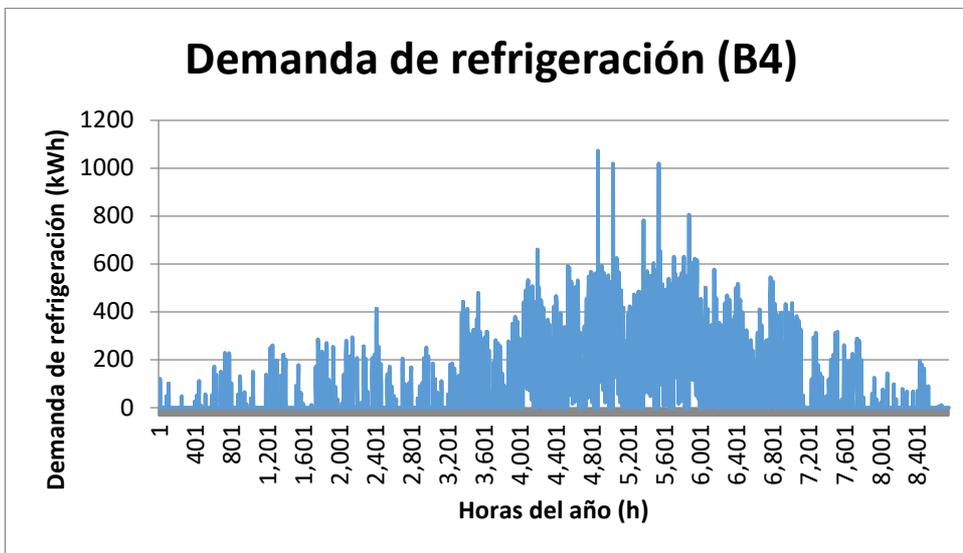


Figura 3.3: Demanda horaria de refrigeración del edificio en B4.

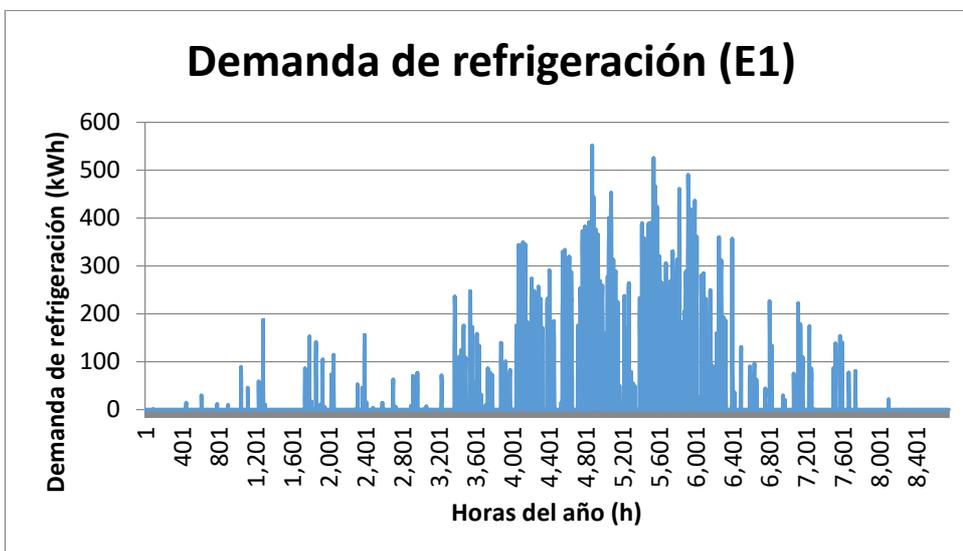


Figura 3.4: Demanda horaria de refrigeración del edificio en E1.

En las gráficas se puede ver la diferencia de demandas de una zona climática a otra. Por un lado, E1 presenta un mayor período de calefacción y además picos de demanda de calefacción dos veces superiores a los de la zona B4. Esto es debido a que E1 presenta un clima más severo, en invierno, que B4, como se explica en invierno. Por otro lado, en cuanto a las demandas de refrigeración, ocurre exactamente lo contrario, es decir, la demanda de refrigeración en B4 es mucho mayor que en E1 debido a la mayor severidad de B4 en verano.

3.2 Dimensionado de la instalación

3.2.1 Diseño del campo solar fotovoltaico

El objetivo de una instalación solar fotovoltaica es producir electricidad directamente a partir de la radiación solar.

Los módulos fotovoltaicos están formados por células solares asociadas entre sí. Estas células solares son los dispositivos encargados de la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica, en forma de corriente continua.

En el módulo, mientras más radiación incida y menor sea su temperatura mayor es su producción. La orientación del módulo que más produce en posición fija es la Sur.

Debido a que la energía eléctrica generada es en forma de corriente continua, es necesario instalar un inversor para transformar la corriente continua en corriente alterna ya que los equipos que requieren electricidad funcionan en su mayoría con corriente alterna.

Otros componentes de una instalación fotovoltaica son la batería, que se encarga de almacenar energía, y el regulador de tensión, que se encarga del control y protección de la batería. Estos dos dispositivos no se consideran en la instalación de estudio del trabajo ya que toda la electricidad producida por el campo solar fotovoltaico se va a utilizar para satisfacer la demanda de electricidad y cuando hay excedente eléctrico se considera que se vende a la red eléctrica.

En España son posibles dos formas de vertido a la red: no se reconoce el ingreso de energía en la red eléctrica, es decir, no se recibe dinero por la energía vertida o se reconoce ingreso de energía en la red pero el precio es muy inferior al coste de la energía eléctrica. Por tanto, no es rentable verter electricidad a la red en España.

La forma ideal de vertido de energía eléctrica a la red es que el precio de venta de la energía vertida sea similar al coste de la energía eléctrica, lo que es denominado balance neto. En España está prohibido este vertido ya que no se considera balance neto, como sí ocurre en otros países como Alemania.

La instalación de estudio se trata de una instalación interconectada que permite funcionar en paralelo, es decir, la energía eléctrica puede proceder de la red eléctrica, del campo solar fotovoltaico o de ambos a la vez.

A continuación, se lleva a cabo los diseños de los paneles fotovoltaicos, que producen energía eléctrica, y el inversor, que transforma la corriente continua en corriente alterna.

3.2.1.1 Dimensionado de los paneles fotovoltaicos

Para abastecer una parte de la demanda eléctrica se han instalado paneles fotovoltaicos en la cubierta del edificio. En primer lugar se evaluó también la posibilidad de poner paneles fotovoltaicos en los cerramientos transparentes de la pared Sur de la edificación pero tras el estudio de viabilidad económica el resultado fue negativo, por tanto, se decidió poner paneles solo en la cubierta del edificio.

El procedimiento que se sigue para calcular el número de paneles es el siguiente:

Se elige el panel fotovoltaico TSM-255 PC05A del fabricante Trinasolar, el cual tiene una potencia nominal de 255W.

Trina Solar es una empresa de fabricación FV, que produce lingotes, obleas y células para el ensamblaje de módulos de alta calidad, con tecnologías tanto monocristalinas como policristalinas. La amplia gama de productos Trina Solar se utiliza en aplicaciones residenciales, comerciales, industriales y grandes proyectos en todo el mundo. Como características destacables del panel fotovoltaico se tienen:

- Un alto rendimiento en condiciones de poca luz (días nublados, amaneceres y atardeceres).
- Altamente fiable debido al estricto control de calidad.
- Certificado para combatir extremas condiciones ambientales.

A continuación se muestra la hoja de datos del panel fotovoltaico:

ELECTRICAL DATA @ STC		TSM-255 PC05A	TSM-260 PC05A	TSM-265 PC05A
Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)		255	260	265
Power Output Tolerance- P_{MAX} (W)		0/+5	0/+5	0/+5
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)		30.5	30.6	30.8
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)		8.37	8.50	8.61
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)		38.1	38.2	38.3
Short Circuit Current- I_{SC} (A)		8.86	9.00	9.10
Module Efficiency η_m (%)		15.6	15.9	16.2

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3, Average efficiency reduction of 4.5% at 200 W/m² according to EN 60904-1.

ELECTRICAL DATA @ NOCT		TSM-255 PC05A	TSM-260 PC05A	TSM-265 PC05A
Maximum Power- P_{MAX} (Wp)		190	193	197
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)		28.2	28.4	28.6
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)		6.71	6.81	6.89
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)		35.3	35.4	35.5
Short Circuit Current- I_{SC} (A)		7.17	7.27	7.35

NOCT: Irradiance of 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA	
Solar Cells	Multicrystalline 156 x 156 mm
Cell Orientation	60 cells (6 x 10)
Module Dimensions	1650 x 992 x 35 mm
Weight	18.6 kg
Glass	High Transparency, Anti-Reflective, AR Coated and Heat Tempered Solar Glass - 3.2mm
Backsheet	White
Frame	Silver Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP65 or IP67 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0 mm ² , 1000 mm
Connector	MC4 Compatible

TEMPERATURE RATINGS		MAXIMUM RATINGS	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	44°C (±2K)	Operational Temperature	-40 to +85°C
Temperature Coefficient of P_{MAX}	-0.41%/K	Maximum System Voltage	1000V DC (IEC)
Temperature Coefficient of V_{OC}	-0.32%/K	Max Series Fuse Rating	15 A
Temperature Coefficient of I_{SC}	0.05%/K	Mechanical Load	5400 Pa
		Wind Load	2400 Pa

Figura 3.5: Hoja de datos del panel fotovoltaico.

Conociendo el área disponible de la cubierta y el área de cada panel fotovoltaico se obtiene el número máximo de paneles que se pueden instalar.

$$N_{tp} = \frac{A_{total}}{A_{panel}}$$

A partir del número de paneles y la potencia nominal de cada panel se obtiene la potencia del campo solar:

$$P_{cs} = P_n * N_{tp}$$

El siguiente paso es calcular el número de paneles en serie, tanto máximo como mínimo, y el número de hileras de paneles en paralelo máximo. Las siguientes gráficas muestran dichos resultados para cada zona climática:

Zona climática	Nps,min	Nps,max
A3 (Cádiz)	16	22
B4 (Sevilla)	16	22
C2 (Barcelona)	16	22
D3 (Madrid)	16	22
E1 (Burgos)	16	21

Tabla 3.2: Número de paneles en serie, máximo y mínimo, para cada zona climática.

Zona climática	Nhp
A3 (Cádiz)	23
B4 (Sevilla)	23
C2 (Barcelona)	23
D3 (Madrid)	23
E1 (Burgos)	23

Tabla 3.3: Número de hileras de paneles en paralelo para cada zona climática.

Finalmente, la solución adoptada para el número de paneles en la cubierta del edificio es 380 paneles con una distribución de 20 paneles en serie y 19 hileras en paralelo.

Por tanto, la potencia del campo solar es de $P_{cs} = 96900W$.

Solución para todas las zonas climáticas:

Npt	380
Nps	20
Nhp	19
Pcs (W)	96900

Tabla 3.4: Solución del campo solar fotovoltaico.

NOTA.- El procedimiento completo, detallado y realizado con números para el cálculo de los paneles se muestra en el anexo de *Dimensionado de los paneles fotovoltaicos*.

3.2.1.2 Dimensionado del inversor

Además del campo solar fotovoltaico, la instalación fotovoltaica incluye un inversor que permite transformar la corriente continua procedente de los paneles en corriente alterna, que será la que finalmente se consuma en el edificio de oficinas. Para su diseño se ha impuesto una única condición, la cual está referida a la potencia del inversor en la parte de continua:

$$P_i \geq 0.8 * P_{cs}$$

Es decir, la potencia del inversor tendrá que ser al menos:

$$P_i \geq 87210W$$

En la figura se muestran las características técnicas del inversor elegido. Se trata de un inversor del fabricante Ingeteam: Ingeteam IngeconSun 80.

Este inversor trabaja para un amplio rango de potencias del campo fotovoltaico lo cual es ideal para utilizar el mismo modelo de inversor en las distintas ubicaciones del edificio, pues la producción del campo dependerá de cada zona e inclinación de los paneles. Por tanto, en cada zona funcionará a una potencia distinta aunque se

trate del mismo inversor.

Algunos de los motivos por los que se selecciona este tipo de inversor son:

- Su diseño orientado a facilitar el mantenimiento, su alta eficiencia a temperaturas elevadas, así como su completo equipamiento de protecciones eléctricas incluidas de serie, hacen que esta familia de inversores sea una de las más demandadas de la gama de inversores IngeconSun.
- Estos inversores están diseñados tanto para instalaciones en cubierta de medianas y grandes potencias como para instalaciones multimegavatio en suelo.
- Esta familia de inversores está equipada con un avanzado sistema de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) para extraer la máxima energía del campo fotovoltaico.
- No necesitan elementos adicionales y permiten su desconexión manual de la red.

INGECON SUN		Power con transformador				
	50	60	70	80	90	100
Valores de Entrada (DC)						
Rango pot. campo FV recomendado ¹⁾	52 - 65 kWp	63 - 78 kWp	73 - 91 kWp	83 - 104 kWp	93 - 117 kWp	104 - 130 kWp
Rango de tensión MPPT	405 - 750 V					
Tensión máxima ²⁾	900 V					
Corriente máxima	130 A	156 A	182 A	208 A	234 A	260 A
Nº entradas	4	4	4	4	4	4
MPPT	1	1	1	1	1	1
Valores de Salida (AC)						
Potencia nominal ³⁾	55 kW	66 kW	77 kW	88 kW	99 kW	110 kW
Corriente máxima	93 A	118 A	131 A	156 A	161 A	161 A
Tensión nominal	400 V					
Frecuencia nominal	50 / 60 Hz					
Coseno Phi ⁴⁾	1	1	1	1	1	1
Coseno Phi ajustable	Sl. Smáx-55 kVA	Sl. Smáx-66 kVA	Sl. Smáx-77 kVA	Sl. Smáx-88 kVA	Sl. Smáx-99 kVA	Sl. Smáx-110 kVA
THD ⁵⁾	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%
Rendimiento						
Eficiencia máxima	96,3%	96,4%	97,2%	97,5%	96,9%	96,8%
Euroeficiencia	94,3%	94,7%	96,1%	96,2%	95,8%	95,7%
Datos Generales						
Refrigeración por aire	2.600 m ³ /h					
Consumo en stand-by ⁶⁾	30 W					
Consumo nocturno	1 W	1 W	1 W	1 W	1 W	1 W
Temperatura de funcionamiento	-20°C a +65°C					
Humedad relativa (sin condensación)	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%
Grado de protección	IP20	IP20	IP20	IP20	IP20	IP20
<p>Notas: ¹⁾ Dependiendo del tipo de instalación y de la ubicación geográfica. ²⁾ No superar en ningún caso. Considerar el aumento de tensión de los paneles "Voc" a bajas temperaturas. ³⁾ Potencia AC hasta 40°C de temperatura ambiente. Por cada °C de incremento, la potencia de salida se reducirá un 1,8%. ⁴⁾ Para P_{ac}>25% de la potencia nominal. ⁵⁾ Para P_{ac}>25% de la potencia nominal y tensión según IEC 61000-3-4. ⁶⁾ Consumo desde el campo fotovoltaico.</p> <p>Referencias normativas: CE, EN 61000-6-2, EN 61000-6-4, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12, EN 50178, EN 62109-1, EN 62109-2, FCC Part 15, IEC 62116, RD1699/2011, DIN V VDE V 0126-1-1, CEI 0-16, CEI 0-21, DE-AR-N 4105:2011-08, BDEW-Mittelspannungsrichtlinie:2011, A70 Tema, P.O.12.3, South Africa Grid code, IEE1929, IEC61727.</p>						

Figura 3.6: Hoja de datos del inversor.

3.2.1.3 Ángulos de inclinación y orientación de los paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos estarán situados en la cubierta del edificio, la cual tiene un área disponible de 626m².

La orientación de los paneles será hacia el Sur (ángulo azimutal igual a 0°), es decir, la orientación óptima.

En cuanto a la inclinación, los paneles fotovoltaicos serán montados para su inclinación ideal, aquella que favorece la producción anual, es decir, la que mayor cantidad de energía produce a lo largo del año. Por tanto, la inclinación será latitud - 10°.

El campo solar fotovoltaico tiene como objetivo producir el máximo posible de energía eléctrica para así reducir el consumo de electricidad de la red en el caso de estudio "Convencional + FV". En el caso de estudio

“Completo” la producción del campo fotovoltaico reducirá el consumo de los motores de gas natural así como el de energía procedente de la red. Esta es la razón por la que se elige latitud - 10° como inclinación y no una mayor inclinación, por ejemplo, para favorecer los meses de invierno.

Por tanto, la inclinación de los paneles fotovoltaicos para cada zona climática será:

Zona climática	Ángulo de inclinación (°)
A3 (Cádiz)	26
B4 (Sevilla)	27
C2 (Barcelona)	31
D3 (Madrid)	30
E1 (Burgos)	32

Tabla 3.5: Ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos para cada zona climática.

3.2.2 Diseño de refrigeración: enfriadora

Se define la climatización como el conjunto de componentes y equipos cuya función es mantener los parámetros ambientales dentro de unos límites confortables.

Estos parámetros ambientales son:

- Temperatura: la temperatura del local tiene que estar entre una temperatura máxima (26°C) y una temperatura mínima (19°C) para cumplir con la banda de confort.
- Humedad: la humedad relativa del local tiene que estar entre un 30% y un 70% para cumplir con la banda de confort.
- Calidad del aire interior: el local debe cumplir con una ventilación (renovación) del aire mínima y además dicho aire tiene que tener una cierta pureza.

Una instalación de climatización tiene como objetivo conseguir un flujo de aire que cumpla con la banda de confort para así poder combatir las cargas de calor del local a condicionar.

Los sistemas de climatización se pueden clasificar, según la fuente de frío, en sistemas de agua fría (centralizados) o sistemas de refrigerante (autónomos).

Las enfriadoras pertenecen a los sistemas centralizados, donde hay un intercambio directo entre el aire y el refrigerante. Estos sistemas utilizan agua como fluido caloportador, es decir, enfrían y/o calientan el aire con agua.

Las enfriadoras se pueden clasificar de varias formas siguiendo diferentes criterios:

- Tipo de condensación.
- Número de unidades en que se divide el ciclo.
- Tipo de descarga.
- Localización de la unidad interior.
- Geometría del equipo compacto.
- Caudal de refrigerante.

Atendiendo al criterio de clasificación según el tipo de condensación, existen:

- Enfriadoras de agua condensadas por aire (aire-agua)
- Enfriadoras de agua condensadas por agua (agua-agua)

Comparando ambos tipos de condensación, las enfriadoras de agua condensadas por aire tienen la ventaja de que el aire se puede obtener de forma fácil y gratis pero, debido al bajo calor específico del aire, se necesitan

mover grandes cantidades de aire y, por tanto, es necesario instalar ventiladores. Por otro lado, las enfriadoras de agua condensadas por agua tienen la ventaja de que el agua tiene mayor calor específico y, por tanto, intercambia mejor el calor, sin embargo, se requiere de una red de suministro de agua.

Las enfriadoras que se utilizan en este estudio se tratan de enfriadoras de agua condensadas por aire (aire-agua).

Para el cálculo de la potencia de la enfriadora, se ha tenido en cuenta que existen grandes picos de demanda debido a los arranques. Dichos picos se pueden apreciar en las *Figura 12* y *Figura 13*.

Por tanto, para evitar un sobredimensionamiento, se decide que la potencia de la enfriadora deberá cubrir el 90% de las horas del año en las que haya demanda de refrigeración. Además, la enfriadora trabajará cuando la temperatura ambiente sea mayor de 25°C.

La potencia necesaria de la enfriadora, en cada zona climática, para cubrir el 90% de las horas en año es la siguiente:

Zona climática	Potencia de la enfriadora (90% horas) [kW]
Cádiz (A3)	273.8
Sevilla (B4)	292.7
Barcelona (C2)	173.2
Madrid (D3)	230.6
Burgos (E1)	73.4

Tabla 3.6: Potencia necesaria para cubrir el 90% de las horas de refrigeración en cada zona climática.

En esta tabla se puede observar el crecimiento de la potencia requerida por la enfriadora para cubrir el mismo porcentaje de horas con respecto a la severidad del verano, es decir, cuanto más severo es el verano mayor es la potencia de la enfriadora. En climas más cálidos durante el verano, como son Sevilla (B4), Cádiz (A3) y Madrid (D3), las potencias son mayores que en climas más suaves como Barcelona (C2) y Burgos (E1), que apenas necesita refrigeración.

En todas las localidades se emplean enfriadoras Carrier, el mayor fabricante mundial de sistemas de aire acondicionado, ventilación y refrigeración. Se muestran las enfriadoras elegidas y algunas de sus características:

Zona climática	Enfriadora
Cádiz (A3)	30-RB 262
Sevilla (B4)	30-RB 302
Barcelona (C2)	30-RB 182
Madrid (D3)	30-RB 232
Burgos (E1)	30-RBS 80

Tabla 3.7: Modelos de las enfriadoras elegidas para cada zona climática.

A continuación se muestran imágenes de las hojas de datos de las enfriadoras Carrier utilizadas en cada zona climática. La primera imagen muestra las características de las enfriadoras instaladas en Cádiz, Sevilla, Barcelona y Madrid mientras que la segunda muestra la de la enfriadora en Burgos.

30RB 162-262 "B" unidades con opción 280 (intercambiador de calor de carcasa y tubos) y 30RB 302-802

30RB		162	182	202	232	262	302	342	372	402	432	462	522	602	672	732	802	
Aplicaciones de aire acondicionado según la norma EN14511-3: 2011*																		
Capacidad frigorífica nominal†	kW	162	181	197	227	270	297	331	366	395	422	452	508	607	657	712	774	
EER	KW/W	2,98	2,98	2,74	3,04	2,88	2,77	2,89	2,80	2,60	2,71	2,59	2,58	2,72	2,88	2,59	2,58	
Clase Eurovent, refrigeración		B	B	C	B	D	C	D	C	D	C	D	D	C	D	D	D	
Eficiencia a carga parcial ESEER	KW/W	3,89	3,81	3,64	4,07	3,74	3,80	3,81	3,95	3,72	3,71	3,65	3,66	3,97	3,88	3,75	3,71	
Aplicaciones de aire acondicionado**																		
Capacidad frigorífica nominal	kW	163	181	197	227	271	298	332	367	397	424	454	508	609	660	714	778	
EER	KW/W	3,01	3,01	2,77	3,07	2,72	2,81	2,72	2,83	2,64	2,75	2,62	2,63	2,75	2,72	2,63	2,62	
ESEER	KW/W	3,99	3,91	3,74	4,22	3,87	3,96	3,95	4,11	3,89	3,86	3,81	3,74	4,11	4,08	3,91	3,88	
Peso en orden de funcionamiento***																		
Unidad estándar + opción 15 + opción de módulo hidráulico de bomba doble de alta presión	kg	1806	2008	2093	2118	2292	2911	3102	3258	3358	3720	3977	4183	-	-	-	-	
Unidad con opción 15	kg	1720	1830	1917	1934	2108	2606	2797	2913	3013	3375	3582	3768	4828	5091	5597	5881	
Unidad estándar****	kg	1845	1755	1842	1839	2013	2489	2680	2779	2879	3224	3431	3600	4627	4873	5362	5609	
Niveles sonoros																		
Unidad con opción 15L6 (nivel sonoro muy bajo)																		
Nivel de potencia sonora 10 ⁻⁴ W/m ²	dB(A)	84	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	88	89	89	89	90	
Nivel de presión sonora a 10 m ²	dB(A)	52	52	52	53	53	54	54	55	55	55	55	56	56	57	57	57	
Unidad con opción 15 (bajo nivel sonoro)																		
Nivel de potencia sonora 10 ⁻⁴ W/m ²	dB(A)	89	89	89	89	89	90	90	91	91	92	92	92	93	93	94	94	
Nivel de presión sonora a 10 m ²	dB(A)	57	57	57	57	57	58	58	59	59	60	60	60	61	61	61	62	
Unidad base sin opción 15 y sin módulo hidráulico																		
Nivel de potencia sonora 10 ⁻⁴ W/m ²	dB(A)	91	91	91	91	91	92	92	93	93	94	94	94	95	95	96	96	
Nivel de presión sonora a 10 m ²	dB(A)	59	59	59	59	59	60	60	61	61	62	62	62	63	63	63	64	
Dimensiones																		
Longitud x profundidad	mm	2457 x 2253						3604 x 3353				4708 x 2253		5902 x 2253		7186 x 2253		
Altura	mm	2297	2297	2297	2297	2297	2297	2297	2297	2297	2297	2297	2297	2297	2297	2297	2297	
Compresores																		
		Scroll hermético, 48,3 r/s																
Circuito A		1	1	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4	3	3	4	4	
Circuito B		2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	3	3	4	4	
Circuito C		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	4	3	4	
N.º de niveles de control		-	-	-	-	4	5	5	6	6	7	7	8	9	10	11	12	
Refrigerante																		
		R-410A																
Circuito A	kg	9,2	11	11	12,5	12,5	16,5	19,5	19,5	19	24,3	24,5	24,5	21,5	21,5	26	26	
Circuito B	kg	12,8	12,8	12,8	13	13	13	14	19,5	20	21,5	21,5	22	21,5	26	26	26	
Circuito C	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,5	28	24	21	
Control de capacidad																		
		Pro-Dialog Plus																
Capacidad mínima	%	33	28	33	25	25	18	20	15	17	13	14	18	11	10	9	8	
Condensadores																		
		Intercambiador de calor completamente de aluminio con microcanales (MCHE)																
Ventiladores																		
		Flying Bird 4 axial con cubierta gálorita																
Cantidad		3	4	4	4	4	5	5	6	6	7	7	8	9	10	11	12	
Caudal de aire total	m ³ /s	13542	18056	18056	18056	18056	22569	22569	27083	27083	31907	31907	38111	40623	45139	49653	54167	
Velocidad	m/s	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	
Evaporador																		
		Expansión directa, de carcasa y tubos																
Volumen de agua	l	110	110	110	110	110	110	125	125	125	113	113	113	284	284	284	284	
Presión de funcionamiento máx., lado del agua sin módulo hidráulico	kPa	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Módulo hidráulico (opción)																		
		Bomba, filtro de pantalla Victaulic, válvula de seguridad, depósito de dilatación, manómetro, válvulas de purgo agua + aire, válvula de control del caudal																
Bomba de agua																		
		Centrífuga, monocelular, presión alta o baja (según se requiera), 48,3 r/s, bomba simple o doble empujada (según se requiera)																
Cantidad		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	
Volumen del depósito de dilatación	l	50	50	50	50	50	80	80	80	80	80	80	80	-	-	-	-	
Presión de funcionamiento máx., lado del agua con módulo hidráulico	kPa	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	-	-	-	-	
Conexiones de agua sin módulo hidráulico																		
		Victaulic																
Díámetro	pulg.	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	
Díámetro exterior de tubo	mm	88,9	88,9	88,9	88,9	88,9	114,3	114,3	114,3	114,3	168,3	168,3	168,3	168,3	168,3	168,3	168,3	
Conexiones de agua con módulo hidráulico																		
		Victaulic																
Díámetro	pulg.	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	-	-	-	-	
Díámetro exterior de tubo	mm	88,9	88,9	88,9	88,9	88,9	114,3	114,3	114,3	114,3	139,7	139,7	139,7	-	-	-	-	
Color de la pintura del chasis																		
		Código del color: RAL7085																

Figura 3.7: Hoja de datos de las enfriadoras de A3, B4, C2 y D3.

Datos físicos, 30RBS

30RBS		039	045	050	060	070	080	090	100	120	140	160
Aplicaciones de aire acondicionado según la norma EN14511-3:2013 [†] -Unidad estándar												
Condición 1												
Capacidad frigorífica nominal	kW	40	44	51	58	67	79	87	97	114	135	156
ESEER	kWh/kWh	3,75	3,88	3,95	3,80	3,62	3,67	3,91	3,94	3,83	3,68	3,87
EER	kWh/kWh	2,87	2,76	2,67	2,66	2,72	2,70	2,73	2,73	2,67	2,70	2,65
Clase Eurovent, refrigeración		C	C	D	D	C	C	C	C	D	C	D
Condición 2												
Capacidad frigorífica nominal	kW	53	59	69	81	85	98	114	128	151	171	194
EER	kWh/kWh	3,44	3,32	3,12	3,31	2,97	3,06	3,18	3,09	3,10	2,99	3,01
Aplicaciones de aire acondicionado ^{††} -Unidad estándar												
Condición 1												
Capacidad frigorífica nominal	kW	40	44	52	59	68	80	87	98	115	136	157
ESEER	kWh/kWh	3,97	4,14	4,22	4,08	3,84	3,90	4,16	4,18	4,08	3,94	4,18
EER	kWh/kWh	2,95	2,84	2,75	2,74	2,80	2,78	2,79	2,79	2,73	2,77	2,72
Condición 2												
Capacidad frigorífica nominal	kW	54	59	69	82	88	99	115	127	152	173	198
EER	kWh/kWh	3,59	3,47	3,26	3,47	3,08	3,19	3,28	3,19	3,21	3,09	3,12
Niveles sonoros												
Unidad estándar												
Nivel de potencia sonora ^{***}	dB(A)	80	81	81	81	87	87	84	84	84	90	90
Nivel de presión sonora a 10 m ^{***}	dB(A)	49	49	49	49	55	55	52	52	52	58	58
Unidad con opción 13LS												
Nivel de potencia sonora ^{***}	dB(A)	79	80	80	80	80	80	83	83	83	83	83
Nivel de presión sonora a 10 m ^{***}	dB(A)	48	48	48	48	48	48	51	51	51	51	51
Dimensiones												
Longitud	mm	1061	1061	1061	1061	1061	1061	2258	2258	2258	2258	2258
Profundidad	mm	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050
Altura	mm	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330
Peso en funcionamiento, unidades con baterías MCHÉ ^{***}												
Unidad estándar (sin módulo hidráulico)	kg	429	436	442	454	454	471	796	778	789	896	928
Unidad estándar (con módulo hidráulico)												
Alta presión, bomba individual	kg	459	466	472	484	484	501	798	808	825	935	967
Alta presión, bomba doble	kg	484	492	497	510	510	527	843	853	873	972	1004
Compresores												
		Scroll hermético, 48,8 r/s										
Circuito A		2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2
Circuito B		-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2
Número de etapas de capacidad		2	2	2	2	2	2	3	3	3	4	4
Refrigerante, unidades con baterías MCHÉ ^{***}												
		R-410A										
Circuito A	kg	4,7	5,3	5,9	6,7	6,2	7,3	10,7	10,8	11,4	6,5	7,4
Circuito B	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,5	7,4
Tipo de control												
		Pro-Dialog+										
Capacidad mínima	%	50	50	50	50	50	50	33	33	33	25	25
Condensador												
		Intercambiador de calor completamente de aluminio con microcanales										
Ventiladores												
		Flying Bird IV axial con anillo estator										
Cantidad		1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Máxima de aire total	m ³ /s	3885	3883	3887	3908	5013	5278	6940	6968	7370	10026	10556
Máxima velocidad	m/s	12	12	12	12	16	16	12	12	12	16	16
Evaporador												
		Intercambiador de calor de placas de separación directa, soldado										
Volumen de agua	l	2,6	3,0	3,3	4,0	4,8	5,6	8,7	9,9	11,3	12,4	14,7
Sin módulo hidráulico												
Presión de funcionamiento máxima del lado del agua	MPa	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Con módulo hidráulico (opción)												
		Bomba, filtro de pantalla Victaulic, válvula de seguridad, depósito de dilatación, válvulas de purgo agua + aire, manómetros										
Volumen del depósito de dilatación	l	12	12	12	12	12	12	35	35	35	35	35
Presión del depósito de dilatación ^{****}	bar	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Presión de funcionamiento máxima del lado del agua	MPa	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Conexiones de agua sin/módulo hidráulico												
		Victaulic										
Diámetro	pulg.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Diámetro exterior de tubo	mm	60,3	60,3	60,3	60,3	60,3	60,3	60,3	60,3	60,3	60,3	60,3
Color de la pintura del chasis												
		Código del color: RAL7035										

Figura 3.8: Hoja de datos de la enfriadora de E1.

La tabla recoge las potencias de las distintas enfriadoras elegidas, que son lo más parecidas posible a las potencias que se requieren para cubrir el 90% de las horas de refrigeración. Además se muestran los valores del coeficiente de eficacia energética (EER) de las enfriadoras. Ambos valores son necesarios para la simulación en TRNSYS.

Zona climática	Potencia enfriadora (kW)	EER enfriadora (kW/kWh)
Cádiz (A3)	270	2.68
Sevilla (B4)	297	2.77
Barcelona (C2)	181	2.98
Madrid (D3)	227	3.04
Burgos (E1)	79	2.7

Tabla 3.8: Potencia y EER de las enfriadoras para cada zona climática.

3.2.3 Diseño de la caldera de calefacción

Una caldera de condensación es un equipo que trabaja a partir de gas natural y produce agua caliente a baja temperatura 40-60°C, con un alto rendimiento y, por tanto, emisiones más reducidas de CO₂.

Esta caldera aprovecha la energía latente en el vapor de agua. Para conseguirlo debe calentar el agua a una temperatura máxima de 60-70°C (en lugar de los 90°C de las calderas corrientes) y evacuar los gases a temperaturas inferiores a las de condensación (100°C a nivel del mar). Por otro lado, reduce el tiro térmico del conducto de gases y hace necesario utilizar un ventilador.

La principal ventaja que ofrecen las calderas de condensación frente a las calderas tradicionales de gas es un mayor rendimiento con un menor consumo de combustibles fósiles (gas natural), lo que se traduce en menos emisiones de CO₂ y un ahorro significativo de gas. El rendimiento aparente de estas calderas es superior al 100% frente al 70-90% de las convencionales. Además presentan un buen rendimiento cuando trabajan a cargas parciales.

Su capacidad de aprovechar gran parte del calor que se pierde en forma de vapor de agua en el humo de la combustión genera un rendimiento extra que permite consumir menos gas según el tipo y uso de instalación.

Las calderas de condensación son adecuadas para cualquier tipo de instalación, ya sea una instalación de radiadores o de suelo radiante, en todas ellas producen un ahorro considerable de combustible. De hecho, cuanto mayor sea el consumo de calefacción, más rentable es su uso ya que su eficiencia se maximiza cuando la instalación trabaja a menor temperatura.

Las calderas de condensación tienen como principales ventajas frente a otras calderas:

- Mayor rendimiento.
- Menor consumo de gas natural.
- Menos emisiones y, por tanto, menor impacto medio ambiental.

Se dimensiona la caldera de calefacción con una potencia que cubra al menos el 90% de las horas del año en las que se demande calefacción. Obtenida la potencia ideal para cubrir el número de horas necesario se procede a elegir una caldera con una potencia similar a la requerida.

La potencia requerida por la caldera de calefacción varía de una zona climática a otra debido a que se encuentran en climas muy diversos. A medida que el invierno es más severo la potencia requerida es mayor, por eso en Cádiz (A3) y Sevilla (B4) las potencias de las calderas son mucho menores que en Madrid (D3) y Burgos (E1). Los datos sobre las potencias requeridas por las calderas se recogen en la siguiente tabla:

Zona climática	Potencia de la caldera (90% horas) [kW]
Cádiz (A3)	55.6
Sevilla (B4)	105.1
Barcelona (C2)	181.2
Madrid (D3)	259.2
Burgos (E1)	324.1

Tabla 3.9: Potencia necesaria para cubrir el 90% de las horas de calefacción en cada zona climática.

Una vez decidida la potencia de la caldera se procede a elegir el fabricante y el tipo de caldera que será necesaria. En las cinco zonas climáticas se emplean calderas de condensación del fabricante BAXI debido a que se trata de una compañía líder en sistemas y servicios de climatización para el hogar, integrada en el grupo BDR Thermea. Además ofrecen avanzadas soluciones de climatización que garantizan la máxima eficiencia energética y confort térmico.

Las calderas de condensación son la mejor opción cuando se busca un equipo altamente eficiente y con unas bajas emisiones contaminantes. Esta tecnología se basa en recuperar gran parte del calor que en las calderas convencionales se escapa por la chimenea. Se muestra la caldera elegida para cada ubicación y algunas de sus características:

Zona climática	Caldera de condensación
Cádiz (A3)	Power HT Plus 50F
Sevilla (B4)	Power HT Plus 110F
Barcelona (C2)	EuroCondens SGB 170
Madrid (D3)	EuroCondens SGB 260
Burgos (E1)	EuroCondens SGB 300

Tabla 3.10: Modelos de las calderas de condensación elegidas para cada zona climática.

A continuación se muestran las hojas de datos de las diferentes calderas de condensación. La primera imagen contiene las características de las calderas empleadas en Cádiz y Sevilla mientras que la segunda imagen muestra las de las calderas utilizadas en Barcelona, Madrid y Burgos.

Calderas de media y gran potencia
Calderas de pie de condensación



Power HT Plus

Diseño robusto: intercambiador de calor monofásico de acero inoxidable AISI 316 L y quemador de presurizado con encendido electrónico.

Bajas emisiones contaminantes: < 35 mg/kWh en NOx (Clase 5) y < 10 mg/kWh en CO.

Ratio de modulación 1:9 para un funcionamiento más eficiente, fiable y silencioso.

Amplia gama de accesorios de regulación: para gestión de calderas en cascada o instalaciones de alta o baja temperatura. Ver capítulo "Control y Regulación".

	50 F	110 F
Potencia útil (MAGP)	kW 45,0	102,0
Potencia útil (MOP)	kW 40,6	110,2
Clase de eficiencia en calderas	A	A
Resistencia útil (U) con carga 100%	% 105,0%	105,1%
Resistencia útil (U) con carga 30%	% 108,4%	108,1%
Resistencia útil (U) con carga 100%	% 97,4%	97,2%
Peso neto aproximado	kg 60	109
Ø conducto coaxial evacuación humos	mm 80/125	110/160
Longitud máx. conducto coaxial (U)	m 10	10
Ø conducto doble evacuación humos	mm 80	110
Longitud máx. conducto doble (U)	m 60	27
Ø conducto individual evacuación humos	mm 80 - 110	110 - 125 - 160
Longitud máx. conducto individual (U)	m 20 - 56	28 - 43 - 56
Capacidad agua	l 4	10
Peso máximo de trabajo	kg 4	4
Tipo de gas (U)	GN/GP	GN/GP
Conexión gas (C)	" 3/4"	" 1"
Conexiones ida y retorno (U)	" 1"	" 1 1/2"
Conexión condensados (U)	DN 18	DN 18
Referencia	7642627	7642626
Forma	3.160,00	4.820,00
Forma de suministro	En un solo bulto	En un solo bulto

Temperatura de suministro de MAGP.
 (temperatura = MOP)

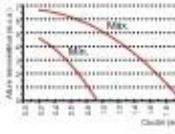
Temperatura de suministro de MOP.
 (temperatura = MOP)

El conducto de evacuación debe ser como mínimo de 25 mm para la Power HT (Ran. 50 F y 70 F) y de 75 mm para la Power HT (Ran. 80 F y 110 F)

La longitud horizontal no debe superar 2 metros + 2 codos.

Para su aplicación en gas, primero se necesita cambiar todos los gases y regular la válvula de gas. La información de gas suministrado y gas primero está incluido en la placa de muestra original.

Precaución en cuanto a la instalación: TABE
 La placa de muestra (U) de estas calderas sólo se referencia a partir del mismo tipo de presión que se indica con sus indicaciones de conexión de gas suministrado. Para estos productos, se requiere el uso del intercambiador. El punto que se cita en para la P.M. de calderas individuales. Para instalaciones en cascada el punto que se aplica es el punto de una placa de muestra como caldera individual, para la primera caldera, más el 50% de dicho punto para cada una de las restantes calderas.



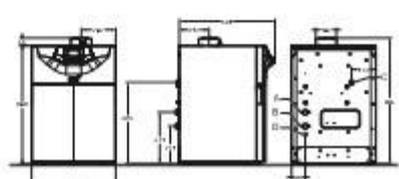



Figura 3.9: Hoja de datos de las calderas de condensación de A3 y B4.

EuroCondens SGB

Dimensiones compactas
para facilitar la reposición en instalaciones existentes: ancho inferior a 77 cm. en toda la gama.

Regulación Multinivel Plus
con posibilidad de integración mediante WebServer. Gestión de hasta 15 calderas en cascada mediante la regulación base.

Diseño robusto y moderno:
cuerpo caldera formado por elementos de fundición Aluminio-Silicio y quemador de premixta con encendido electrónico.

	SGB 125	SGB 170	SGB 260	SGB 300
Potencia estándar 80/60 °C	121,6	166,8	254,5	294,0
Potencia estándar 50/30 °C	135,1	181,3	278,1	321,3
Rendimiento estándar (1) con carga 100% %	106,5	106,6	107,0	107,1
Rendimiento estándar (1) con carga 50% %	106,6	106,7	107,0	107,1
Rendimiento estándar (2) con carga 100% %	97,3	97,5	97,9	98,0
Peso neto aproximado	205	240	314	364
Longitud máx. excavación (2)	60	60	60	60
Capacidad agua	1	34	45	53
Presión máxima de trabajo	6	6	6	6
Tipo de gas (6)	CN/C2P	CN/C2P	CN/C2P	CN/C2P
Conexión gas	1"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"
Conexiones ida y retorno C. G.C.	DN 65	DN 65	DN 65	DN 65
Conexión Salida quemador F	160	160	200	200
Conexión entrada aire	110	110	125	125
A	1.000	1.008	1.264	1.357
B	301	301	351	351
C	401	401	467	500
D	687	687	944	1.037
E	134	134	163	163
Referencia	222995027	222995028	222995030	222995031
Euros	7.700,00	8.650,00	12.050,00	13.540,00

Forma de suministro: En un solo lado, completamente montada y prerregulada de fábrica. Incluye sonda exterior.

(1) Temp. alimentación de 80/60°C. Temp. media - APC.
(2) Temp. alimentación de 50/30°C. Temp. media - APC.
El funcionamiento en estas condiciones con un nivel de ruido de fondo, representando el estándar indicado en la tabla superior.
No se suministra proporción para gas natural.
La configuración de gas natural exige quemador, pero los modelos que admiten ambos combustibles, está incluido en la gama en su configuración.
Puesta en marcha opcional: 155€
La puesta en marcha de las nuevas calderas solo se efectúa a petición del cliente. Los precios que se citan son para instalaciones con servicio de post-venta. Para más información, se representa el cuadro del desglose de precios. El precio que se cita es para la P.M. de calderas individuales. Para instalaciones en cascada el precio que se cita es el precio de una pieza que incluye una caldera individual para la primera caldera más el IVA, más el coste de mano de obra de las instalaciones calderas.

Figura 3.10: Hoja de datos de las calderas de condensación de C2, D3 y E1.

La tabla recoge las potencias de las distintas calderas elegidas:

Zona climática	Potencia Caldera de condensación (kW)
Cádiz (A3)	48.6
Sevilla (B4)	110.2
Barcelona (C2)	181.3
Madrid (D3)	278.1
Burgos (E1)	321.3

Tabla 3.11: Potencia de las calderas para cada zona climática.

3.2.4 Diseño de las bombas de circulación

Para calcular la potencia de las bombas de circulación, en primer lugar, se calcula el caudal de calefacción, cuyo cálculo se expone en el anexo de *Diseño de las bombas de circulación*.

Los caudales requeridos por las bombas del circuito de calefacción son:

Zona climática	Caudal de las bombas (kg/h)
Cádiz (A3)	2089.82
Sevilla (B4)	4738.65
Barcelona (C2)	7795.99
Madrid (D3)	11958.43
Burgos (E1)	13816.05

Tabla 3.12: Caudales de las bombas para cada zona climática.

A partir de los caudales que van a pasar por las bombas se elige la potencia que debe tener la bomba para mover dicho caudal. La imagen muestra distintas potencias de bombas en función de caudales:

Modelo MGK-2	MGK-2 130	MGK-2 170	MGK-2 210	MGK-2 250	MGK-2 300
Modelo WILO	Stratos 25/1-8	Stratos 30/1-10	Stratos 30/1-12	Stratos 32/1-12	Stratos 32/1-12
Ref.	20.90.448	21.03.616	20.90.451	20.90.452	20.90.452
Caudal nominal con 20 K diferencia (m ³ /h)	5,6	7,3	9	10,8	12,9
Pérdida de presión con 20 K diferencia (mbar)	110	112	123	146	176
Altura de bombeo (mbar)	430	460	610	560	420
Altura de bombeo residual (mbar)	320	358	487	414	244
Potencia (W)	130	190	310	310	310
Corriente (A)	1,2	1,3	1,37	1,37	1,37
Conexión	1~230V G 1 1/2" roscada	1~230V G 2" roscada	1~230V G 2" roscada	1~230V DN32 embridada	1~230V DN32 embridada

Figura 3.11: Potencia de bombas en función de caudales. Fuente: Catálogo BAXI.

Por tanto, teniendo en cuenta los caudales que pasan por las bombas, se seleccionan bombas de las siguientes potencias:

Zona climática	Potencia de las bombas (W)
Cádiz (A3)	70
Sevilla (B4)	120
Barcelona (C2)	200
Madrid (D3)	310
Burgos (E1)	340

Tabla 3.13: Potencia de las bombas para cada zona climática.

3.2.5 Dimensionado del depósito de acumulación

Debido a que la generación y la demanda están desfasadas en el tiempo es necesario incluir un sistema de almacenamiento cuyo objetivo principal es aumentar la gestionabilidad.

En la instalación estudiada se utiliza un depósito de inercia, que están diseñados para trabajar en circuitos cerrados de calentamiento o enfriamiento. Los depósitos de inercia se emplean para evitar que la caldera se pueda ver afectada por los arranques y paros de la instalación.

En cuanto al fluido en el interior del depósito de acumulación se puede considerar de dos formas diferentes: completamente mezclado o existencia de estratificación. En este caso se considera que hay estratificación del fluido.

Se considera que hay estratificación ya que el depósito es de gran capacidad y de geometría esbelta, por tanto, los gradientes de temperatura pueden ser lo suficientemente importantes como para afectar significativamente el comportamiento global.

La estratificación se tiene en cuenta dividiendo el depósito en un cierto número de niveles (en este caso seis

niveles) de igual volumen, cada uno de los cuales se supone completamente mezclado.

Para el dimensionado del depósito de acumulación no se ha seguido un procedimiento concreto que lleve a un depósito idóneo para la instalación como ocurre en el caso del campo solar fotovoltaico, la enfriadora o la caldera.

En este caso se plantean varias posibilidades de volumen del depósito de acumulación y se estudia cómo influye en el comportamiento del resto de la instalación, en particular al consumo de la parte de calefacción.

Los cinco volúmenes que se eligen son 5 m³, 4 m³, 3 m³, 2 m³ y 1 m³. En los resultados del estudio se explica que es lo que ocurre cuando se varía el volumen del depósito y a que parámetros afecta.

El depósito de acumulación tiene dos objetivos:

- Separar el circuito primario del secundario, es decir, separa la parte en la que se recupera calor de la energía de desecho procedente de los motores de gas natural y la parte en la que se produce la energía necesaria para la calefacción, es decir, la caldera y el retorno del fluido del edificio.
- Almacena agua a una temperatura mayor que la que procede de la red por lo que la caldera consume menos energía. Además, se le suma la temperatura a la que viene el agua del intercambiador de calor que recupera la energía residual de los motores.

En concreto, el depósito de acumulación disminuye los transitorios, es decir, aumenta la inercia térmica del sistema, a fin de evitar un número elevado de encendidos de la caldera cuando se producen rápidas variaciones de temperatura.

El depósito de acumulación seleccionado se trata de un depósito de inercia en acero al carbono perteneciente al fabricante SUILCASA ya que son ideales para circuitos cerrados de calefacción.

Los depósitos de inercia fabricados por SUICALSA cubren una amplia gama de aplicaciones en las instalaciones de calefacción y refrigeración, permitiendo aumentar la inercia térmica de las mismas así como combinar estas aplicaciones con producción y almacenamiento de agua caliente sanitaria.

Para la simulación en TRNSYS16 es necesario conocer las diferentes alturas de los nodos, el coeficiente de pérdidas y el volumen de dicho depósito. Todo ello se obtiene de la hoja de datos técnicos que pone a disposición el fabricante.

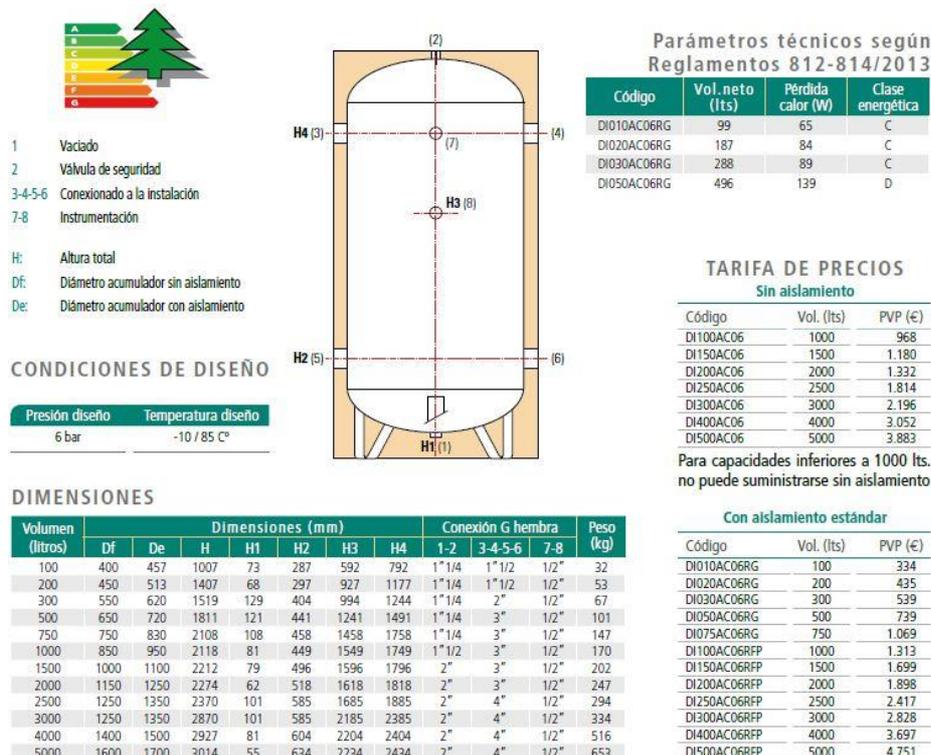


Figura 3.12: Hoja de datos y precios de cada volumen del depósito de inercia.

3.2.6 Dimensionado de los motores de micro-cogeneración

Los motores de gas natural van a cumplir con la función de motores de micro-cogeneración, es decir, van a producir energía eléctrica y energía térmica a la vez. Principalmente van a ser utilizados para producir electricidad y así satisfacer, en la medida de lo posible, la demanda eléctrica del edificio y, por otra parte, el calor de desecho de los motores se aprovechará para calentar el fluido que va al depósito de acumulación, mediante un intercambiador de calor, para así poder disminuir el consumo de la caldera auxiliar en la parte de calefacción.

Los motores de gas natural sólo se utilizan en el último caso de estudio, es decir, en el caso Completo.

Dichos motores, como se expone anteriormente, deberán cubrir el máximo posible del consumo eléctrico de la instalación. Este consumo eléctrico proviene del consumo de las bombas, la enfriadora y la necesidad eléctrica del edificio. Los motores, además, tendrán la ayuda del campo solar fotovoltaico para cubrir el consumo eléctrico. Por tanto, la producción eléctrica de los paneles hace que los motores tengan que cubrir una menor cantidad de energía eléctrica.

Se instalan dos motores de gas natural de 100 kW cada uno, es decir, uno va a trabajar a su potencia máxima la mayor parte de horas del año y el otro servirá de apoyo (backup) y funcionará sólo cuando la demanda de electricidad sea muy alta.

Teniendo en cuenta que la necesidad eléctrica del edificio es de 99 kW, aproximadamente, un único motor no va a ser suficiente para satisfacer las necesidades eléctricas totales de la instalación. Por tanto, esta es otra de las razones por la que se instalan dos motores.

Los motores de gas natural funcionan con un rendimiento adecuado dentro de un cierto rango de potencias, este rango va desde el 40% de la potencia nominal del motor hasta el 100% de dicha potencia nominal, es decir, su funcionamiento a máxima potencia. Si se le exige al motor funcionar fuera de ese rango éste no funcionará y habrá que coger de la red el resto de electricidad que el campo fotovoltaico no pueda dar para satisfacer la demanda.

Va a haber funcionamiento de los motores de gas natural cuando la diferencia entre el consumo eléctrico del edificio (bombas, enfriadoras y necesidad eléctrica) y la producción fotovoltaica esté en el rango de potencia mínima de funcionamiento de un motor (40% potencia nominal) y la potencia máxima cuando funcionan los dos motores. Si hay una demanda superior a la suma de las potencias máximas de los motores habrá que coger el resto de energía, hasta cubrir la demanda eléctrica, de la red y, si hay una demanda inferior al 40% del funcionamiento del motor habrá que coger dicha energía también de la red.

Como se comenta en el apartado *Diseño del campo solar fotovoltaico*, éste no va a cubrir nunca la demanda de electricidad por sí solo ya que la producción máxima no cubre ni la necesidad eléctrica del edificio. Por tanto, no va a haber excedente de energía eléctrica del campo fotovoltaico ninguna hora del año ya que el edificio trabaja todas las horas del año (24h/día) y en todas las horas la demanda eléctrica del edificio es superior a la producción fotovoltaica.

Por otro lado, la energía de desecho de los motores de gas natural va a ser utilizada para calentar el agua del depósito de acumulación. Para poder aprovechar esta energía se coloca un intercambiador de calor por el cual circula por un lado los gases calientes de los motores y por otro el agua proveniente del depósito de inercia. Esta energía no se puede aprovechar 100% ya que el intercambiador tiene un rendimiento, se ha considerado 70%, y además, se considera que sólo se puede aprovechar el 40% de la energía de desecho de los motores.

A continuación se muestra la ficha técnica de los motores de gas natural:

CHP Unit performance data and manufacturing technology					
CHP unit model	CG100S-NG	Power and efficiency			
Electric output power (kW)	100	Load	100%	75%	50%
Heat output power (kW)	138	Electric power (kW)	100	75	50
CHP unit electric efficiency	35.5%	Heat power (kW)	138	114	86
CHP unit heat efficiency	48.9%	Energy input (kW)	282	217	151
CHP unit total efficiency	84.4%	Electric efficiency	35.5%	34.6%	33.1%
Overload runtime at 1.1xSe(hour)	1	Heat efficiency	48.9%	52.5%	57.0%
Steady-state voltage deviation	≤±1%	Total efficiency	84.4%	87.1%	90.1%
Transient-state voltage deviation	-15%~20%	Manufacturing technology <ul style="list-style-type: none"> ● Special welded base frame, inner vibration isolators and design for whole lifting ● With high-class paint, enduring brightness as well resistance against abrasion and defacing ● Installation manual, operation and maintenance manual wiring program Standards and certificate <ul style="list-style-type: none"> ● ISO3046 , ISO8528 , GB2820 ● BS5000PT99 , AS1359 , IEC34 ● ISO9001:2008 quality system certification 			
Voltage recovery time(s)	≤4				
Voltage unbalance	1%				
Steady-state frequency regulation	±0.5%				
Transient -state frequency regulation	±5%				
Frequency recovery time(s)	≤3				
Steady-state frequency band	0.5%				
Recovery time response(s)	0.5				
Telephone interference factor(TIF)	≤50				
Telephone harmonious factor(THF)	≤2% , as per BS4999				

Figura 3.13: Hoja de datos de los motores de micro-cogeneración.

El motor de gas natural pertenece al fabricante PowerLink, el cual tiene como visión empresarial proporcionar energía eficiente y limpia a los usuarios de todo el mundo.

Algunas de las características de la unidad de gas natural son las siguientes, entre otras muchas más:

- Motor de gas altamente eficiente.
- Alternador síncrono AC.
- Tren de seguridad de gas y dispositivo de protección de gas contra fugas.
- Depósito de expansión.
- Sistema avanzado de control del motor.
- Capacidad para ser utilizado directamente al aire libre con características y diseño resistentes y firmes contra la lluvia y el polvo.

3.3 Diseño de la instalación en TRNSYS

En este apartado se explica la implementación del sistema para realizar las simulaciones necesarias y la evaluación del estudio. Se implementan diferentes modelos de TRNSYS debido a que hay que analizar varias estrategias de operación:

- Caso convencional
- Caso convencional con fotovoltaica
- Caso completo (fotovoltaica y motores de cogeneración)

Para una mejor explicación de TRNSYS se enumeran y explican todos los elementos utilizados en la simulación del caso de estudio más completo, es decir, el que incluye motores de cogeneración y parte de fotovoltaica.

3.3.1 Subsistema eléctrico

La parte eléctrica del sistema consta de:

- Enfriadoras de líquido refrigeradas por aire

Se utiliza una combinación de types para tener en cuenta las variaciones de rendimiento debidas a las fluctuaciones de la temperatura ambiente (Type 42) y los factores de carga parcial (Type 43). Además se utiliza un lector de datos (Type 9) que indica la demanda de refrigeración.

- Paneles fotovoltaicos e inversor

Se utiliza el Type 94, en el cuál se fijan los datos técnicos proporcionados por el fabricante. Los paneles están conectados al type que contiene los datos climáticos: radiaciones directa, difusa y global, temperatura ambiente y ángulo de incidencia de la radiación directa (Type 9).

Para el inversor se utiliza el Type 175. Al igual que en los paneles fotovoltaicos, se introducen los datos técnicos.

El Type de los paneles (Type 94) se conecta con el Type del inversor (Type 175).

- Balance

Se incluye una calculadora que obtiene para cada paso de tiempo el balance entre la electricidad necesaria para el edificio (Dem_elec), la que necesitan las enfriadoras de agua refrigeradas por aire (Dem_ref_final), los consumos de las bombas (Cons_bombas) y la electricidad producida por el campo fotovoltaico (Prod_fv). La demanda eléctrica se indica a través de un Type 9. Además, se envía información a los motores de gas natural para indicar la cantidad de energía que necesitan producir y cuántos deben trabajar en paralelo (con un máximo de dos motores en paralelo).

- Motores de micro-CHP

Se decide utilizar el Type 120 debido a su fiabilidad y amplia implementación. Este type está diseñado inicialmente para simular un motor diesel, pero también permite cambiar el tipo de combustible al gas natural (tipo de combustible 5). Una vez que se le comunica cuánta electricidad necesita producir da los datos de salida del consumo de combustible, la eficiencia del combustible, la eficiencia eléctrica y el calor residual producido, que más tarde se utilizarán para reducir el consumo de la caldera de calefacción.

La figura muestra el diseño del subsistema eléctrico de la estrategia de operación más completa:

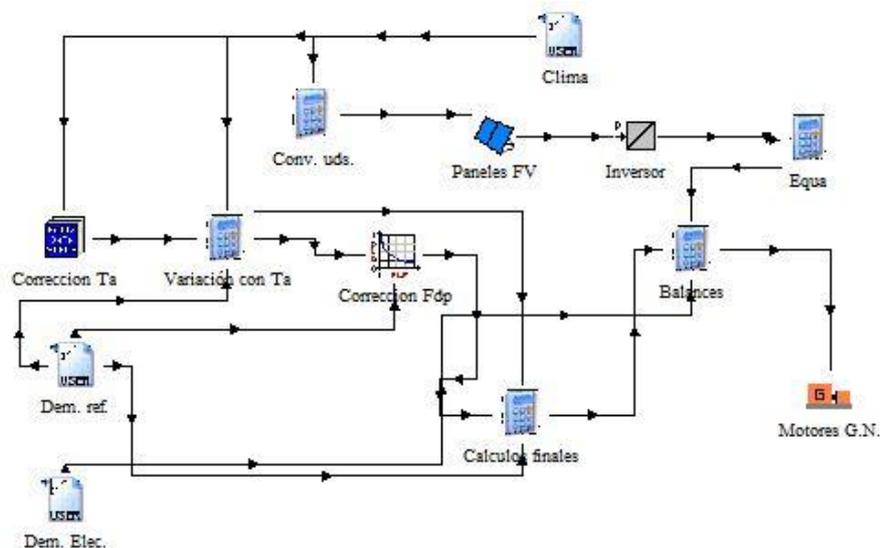


Figura 3.14: Esquema del subsistema eléctrico en TRNSYS.

3.3.2 Subsistema térmico

Este subsistema es el responsable de satisfacer la calefacción del edificio.

- Recuperación de calor residual de los motores de gas natural

Uno de los principales objetivos de este estudio es simular un sistema de micro-CHP. Vamos a suponer que el 60% del calor residual de los motores es potencialmente recuperable (datos consultados en la hoja de datos del fabricante). Se ha diseñado una nueva herramienta que actúa como un intercambiador de calor para calcular qué parte del calor desperdiciado se va a suministrar al depósito de almacenamiento de calor. Esto se incluye en el elemento calculador denominado Balance Qwaste.

- Depósito de almacenamiento de agua caliente

Se ha utilizado el Type 4, sin elementos de calefacción auxiliares. La altura total se divide en seis nodos ya que se considera estratificación del agua.

- Caldera de calefacción de espacio auxiliar

Se incluye una caldera Type 6, que corresponde a una caldera de una capacidad máxima especificada (que depende de las zonas climáticas). La temperatura de salida se ajusta a 50°C. Se supone una eficiencia de la caldera del 92%.

- Controlador y bombas

Se utilizan bombas de Type 114. Las bombas 3 y 4 se activarán sólo durante los meses de invierno cuando exista demanda de calefacción en el edificio. La diferencia de temperatura en los radiadores entre el agua proveniente de la caldera auxiliar y los retornos de agua se calcula a través de una calculadora dependiendo de la demanda de cada paso de tiempo.

El controlador utilizado es Type 2 y decide cuando tiene que funcionar la bomba 3 para aprovechar el calor residual de los motores (en los meses de invierno y cuando la temperatura del acumulador es inferior a 50°C).

- Otros elementos

Se necesita un Type 9 que proporcione la demanda de calefacción del edificio. Además son necesarios varios elementos calculadores para el consumo de las bombas, consumo de calefacción, control de las bombas y del calor residual, y balance de calefacción.

La figura muestra el diseño del subsistema térmico de la estrategia de operación más completa:

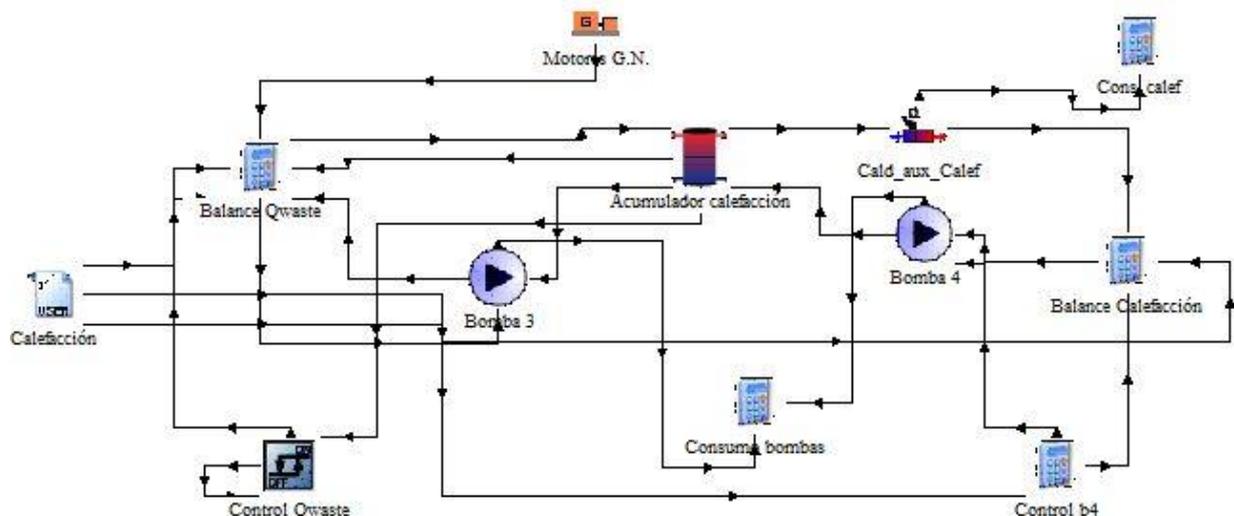


Figura 3.15: Esquema del subsistema térmico en TRNSYS.

3.3.3 Esquemas de la instalación en TRNSYS

A continuación se muestran figuras que representan la instalación diseñada en TRNSYS para los casos de estudio Convencional, Convencional + FV y Completo:

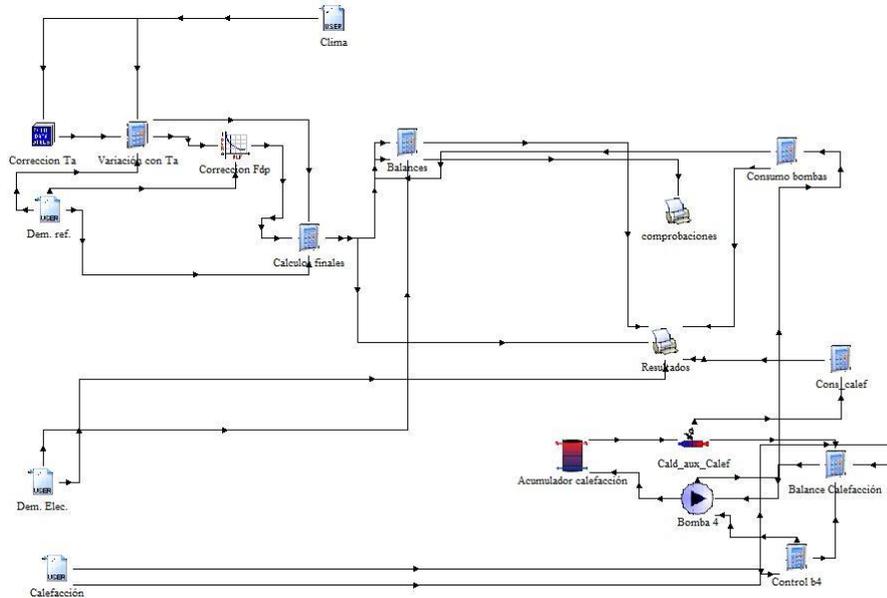


Figura 3.16: Esquema de TRNSYS de la instalación Convencional.

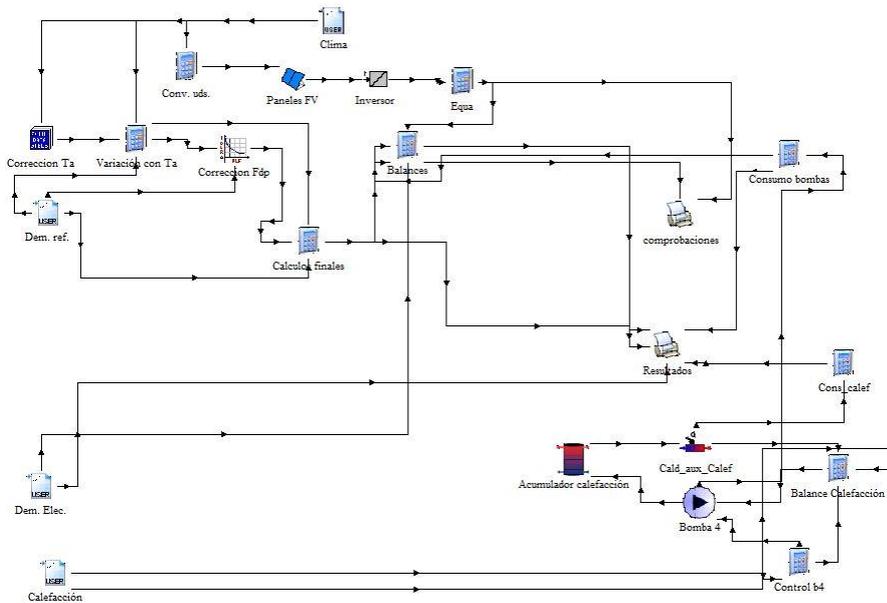


Figura 3.17: Esquema de TRNSYS de la instalación Convencional + FV.

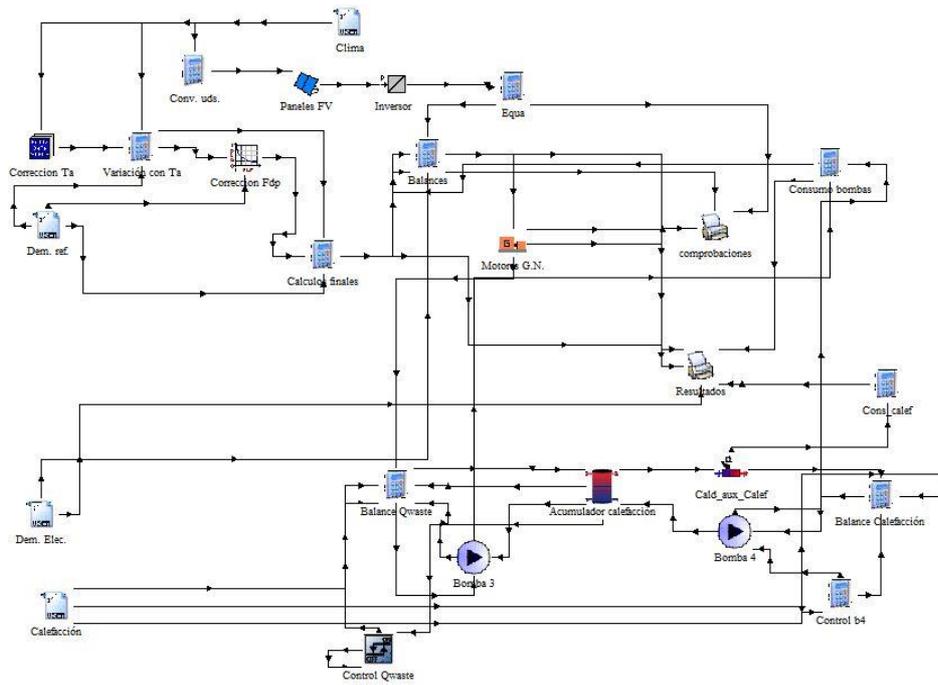


Figura 3.18: Esquema de TRNSYS de la instalación Completo.

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Simulaciones

Como ya se ha explicado en otros apartados, en el proyecto se estudian tres casos de operación diferentes en cinco localidades distintas. Esos tres casos son:

- Convencional: toda la energía necesaria para satisfacer las distintas demandas (electricidad, refrigeración y calefacción) provienen de energía convencional. La energía eléctrica demandada por el edificio, las bombas y la enfriadora será cubierta con la red eléctrica y la demanda de calefacción se satisface únicamente con la caldera de condensación, la cual funciona con gas natural.
- Convencional + FV: este caso es exactamente igual que el Convencional con la única diferencia de que se instala un campo solar fotovoltaico para cubrir parte de la demanda eléctrica. Por tanto, se consumirá menos energía eléctrica de la red. La parte de calefacción se satisface de la misma manera que en Convencional.
- Completo: en este caso se incluye el campo fotovoltaico, como en Convencional + FV, y además se instalan motores de micro-cogeneración de gas natural los cuales producen electricidad y además se provecha la energía sobrante para producir energía térmica y así disminuir el consumo de la caldera de condensación.

Para la simulación en TRNSYS16, en los tres casos se necesitan los mismos datos de entrada. Estos datos son: las demandas de calefacción, refrigeración y electricidad calculadas a través del software LIDER, y los datos necesarios del clima, calculados con la herramienta CLIMEDTOOL. Todos estos datos de entradas son horarios y además varían para cada zona climática (A3, B4, C2, D3 y E1).

Se hacen un total de 75 simulaciones en las que se recogen resultados muy diversos. Se realizan simulaciones en cada zona climática y para cada estrategia de operación y, además, dentro de una misma zona climática se realizan simulaciones para cinco volúmenes del depósito de acumulación.

4.1.1 Convencional

En el caso Convencional se pueden apreciar tres partes claramente diferenciadas: parte de calefacción, refrigeración y eléctrica.

La parte eléctrica simula la demanda eléctrica del edificio, la cual será cubierta por la red. Esta parte tiene como dato de entrada la demanda eléctrica horaria.

La parte de refrigeración simula el funcionamiento de la enfriadora para cubrir la necesidad de refrigeración. En este caso hay dos datos de entrada, la temperatura ambiente de la zona (Clima) y la demanda de refrigeración.

La calefacción dispone de varios elementos: la caldera de condensación que produce la energía necesaria para cubrir la demanda de calefacción, una bomba (y su control) que retorna el fluido procedente del edificio cuando ya ha cedido gran parte de su energía, y el depósito de acumulación, el cual va variando su volumen (1, 2, 3, 4 y 5 m³) en cinco simulaciones distintas dentro de cada caso de estudio y cada zona climática. Este depósito de inercia es el que suministra el fluido, a la caldera auxiliar, a una mayor temperatura que el procedente de la red doméstica. La caldera manda el fluido, en nuestro caso agua, al edificio a una temperatura de 50°C, temperatura de consigna de los equipos de calefacción. En cuanto al control de la bomba, indica cuándo debe funcionar ésta. La bomba va a funcionar siempre y cuando haya una demanda de calefacción en los meses de invierno.

Como resultado de este caso se tienen los consumos eléctricos del edificio, bombas y refrigeración, consumo de la caldera de calefacción, cantidad de gas natural necesaria para el funcionamiento de la caldera y demanda eléctrica de la red (coincide con la suma de los consumos eléctricos del edificio, bombas y refrigeración).

4.1.2 Convencional + FV

En el análisis del caso de Convencional + FV, a las partes de calefacción, refrigeración y eléctrica se le suma una nueva parte, la de producción fotovoltaica. Esta parte muestra la energía eléctrica que genera el campo solar fotovoltaico y está compuesta por los paneles fotovoltaicos y el inversor que convierte la energía continua en alterna.

La parte de fotovoltaica tiene como dato de entrada varios parámetros del clima como son: radiación directa, difusa y global, y ángulo de incidencia de la radiación directa en los paneles. Al depender de varios factores del clima, esta producción va a variar de una zona climática a otra.

Por último, como datos de salida de la simulación se tienen los mismos que en la estrategia de operación anterior más la producción fotovoltaica. Además en este caso la demanda eléctrica de la red es la diferencia entre el consumo eléctrico (edificio, bomba y enfriadora) y la producción del campo solar fotovoltaico. Por tanto, se va a consumir menos energía de la red.

4.1.3 Completo

En el último caso de estudio, además de añadirse la parte de fotovoltaica se añaden la parte de los motores de gas natural y la de recuperación de energía de dichos motores, las cuales están claramente relacionadas.

La parte de micro-cogeneración tiene como objetivo producir energía eléctrica a partir de gas natural que se utiliza como combustible de los motores. El funcionamiento de los dos motores ya se explica en el apartado de *Dimensionado de los motores de micro-cogeneración*. Esta parte de la simulación tiene como dato de entrada la diferencia de energía entre el consumo eléctrico (edificio, enfriadora y bombas) y la producción fotovoltaica. Esa diferencia le indicará a los motores a que potencia debe funcionar, siempre que esté en las condiciones de funcionamiento de los motores. Por tanto, esta parte disminuirá el consumo de electricidad de la red aunque aumentará el consumo de gas natural.

En cuanto a la parte de calefacción, hay varios cambios. En este caso se añade una bomba (y su control), el intercambiador de calor que permitirá aprovechar la energía térmica procedente de la micro-cogeneración y un control que indica cuando se tiene que recuperar dicha energía. La bomba que se incluye nueva es la que se sitúa entre el depósito de acumulación y el intercambiador de calor, esta bomba tiene como objetivo hacer pasar el agua procedente del depósito por el intercambiador de calor y así llevar el fluido a una mayor temperatura al depósito de acumulación. Al igual que la otra bomba, funciona en el período en el cual haya calefacción pero, además, se añade otra condición, la temperatura del agua en el depósito acumulador tiene que estar a una temperatura inferior a 50°C para poder recuperar la energía de desecho. Por tanto, el funcionamiento de esta bomba viene regulado por su propio control y por este nuevo llamado control de la recuperación de energía de desecho.

Como resultados se obtienen: consumo de la caldera de condensación, cantidad de necesaria para la caldera y para los motores, potencia de los motores, consumo eléctrico del edificio, las dos bombas y la enfriadora, producción fotovoltaica, demanda eléctrica de la red y el número de motores que funciona en cada hora.

4.2 Resultados

En el apartado *Simulaciones* se han nombrado los diferentes resultados que se recogen de cada una de las instalaciones en TRNSYS16. Ahora se hace un análisis más exhaustivo de estos resultados y, asimismo, se comparan los distintos resultados entre zonas climáticas, volúmenes del depósito de acumulación y casos que se han simulado.

Además de los resultados ya nombrados se van a realizar una serie de cálculos para analizar otros parámetros como son la autosuficiencia fotovoltaica, consumo total de energía final, consumo de energía primaria y emisiones de CO₂.

La autosuficiencia fotovoltaica es el porcentaje de energía eléctrica que cubre la producción fotovoltaica del consumo eléctrico total de la instalación, es decir, consumo eléctrico del edificio, bombas y enfriadora.

Se calculan dos consumos de energía final, por un lado el consumo final de electricidad que es la energía

eléctrica que se demanda de la red. En cada caso de estudio esta demanda de energía de la red es diferente, en el caso Convencional se demanda todo de la red mientras que en los casos Convencional + FV y Completo hay que descontar la producción fotovoltaica y, la producción fotovoltaica y producción de los motores de micro-cogeneración, respectivamente. Por otro lado se calcula el consumo final de gas natural que es la cantidad de gas natural necesario para que trabajen la caldera y los motores en cada momento.

4.2.1 Coeficientes de conversión empleados

Para el cálculo del consumo de energía primaria y emisiones de CO₂ es necesario utilizar unos factores de conversión. Estos factores de conversión se obtienen de un documento oficial del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) realizado en 2016 y se trata de un documento reconocido del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

En la siguiente tabla se muestran los factores de conversión obtenidos:

Combustible	Factores de conversión de energía final a primaria (kWh E _{final} /kWh E _{primaria})	Factores de emisiones de CO ₂ (kg CO ₂ /kWh E _{primaria})
Gas Natural	0.25	1.19
Electricidad	0.357	2.4

Tabla 4.1: Factores de energía primaria y emisiones para Gas Natural y Electricidad.

Factores de conversión de energía final a primaria					
	Fuente	Valores aprobados			Valores previos (****)
		kWh E.primaria renovable /kWh E. final	kWh E.primaria no renovable /kWh E. final	kWh E.primaria total /kWh E. final	kWh E.primaria /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,396	2,007	2,403	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,414	1,954	2,368	2,61
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,075	2,937	3,011	3,35
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,082	2,968	3,049	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,070	2,924	2,994	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,072	2,718	2,790	
Gasóleo calefacción	(***)	0,003	1,179	1,182	1,08
GLP	(***)	0,003	1,201	1,204	1,08
Gas natural	(***)	0,005	1,190	1,195	1,01
Carbón	(***)	0,002	1,082	1,084	1,00
Biomasa no densificada	(***)	1,003	0,034	1,037	
Biomasa densificada (pelets)	(***)	1,028	0,085	1,113	

Figura 4.1: Factores de conversión de energía final a primaria. Fuente: IDAE.

Factores de emisiones de CO ₂			
	Fuente	Valores aprobados	Valores previos (****)
		kg CO ₂ /kWh E. final	kg CO ₂ /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,357	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,331	0,649
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,833	0,981
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,932	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,776	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,721	
Gasóleo calefacción	(***)	0,311	0,287
GLP	(***)	0,254	0,244
Gas natural	(***)	0,252	0,204
Carbón	(***)	0,472	0,347
Biomasa no densificada	(***)	0,018	neutro
Biomasa densificada (pelets)	(***)	0,018	neutro

Figura 4.2: Factores de emisiones de CO₂. Fuente: IDAE.

Por tanto, para el cálculo del consumo primario de electricidad habrá que multiplicar el consumo final de electricidad por el factor de conversión correspondiente e igualmente para obtener las emisiones de CO₂ debidas a la electricidad.

Para el cálculo de consumo primario de gas natural y emisiones de CO₂ debido a este combustible hay que hacer un paso previo ya que los resultados de consumo de gas natural están en una unidad distinta a la que se necesita para hacer la conversión, es decir, está en m³h y se necesita en kWh.

En primer lugar, se multiplica el consumo total de gas natural por su poder calorífico inferior (PCI). Posteriormente se realiza la conversión de kcal a kJ conociendo que 1 kcal equivale a 4.1868 kJ y luego se pasa de kJ a kW.

PCI (Gas Natural) = 9400 kcal/m³ (este dato ha sido obtenido de una tabla de poderes caloríficos del IDAE)

Una vez se tiene el consumo en kWh solo hay que multiplicar por los factores de conversión (energía primaria y emisiones de CO₂) que se muestran en la tabla.

4.2.2 Análisis de resultados

A continuación se exponen y comparan los resultados para cada estrategia de operación. En primer lugar se van a analizar los resultados de un mismo caso. Dentro de ese mismo caso se comparan los datos de las distintas zonas climáticas y los diferentes volúmenes del depósito de calefacción. Una vez realizado esto para cada caso de estudio se hace una comparativa de resultados de los tres casos.

4.2.2.1 Convencional

En el caso Convencional, el consumo eléctrico del edificio es constante e igual a 99.44 kWh. Este consumo es el mismo en las cinco zonas climáticas de estudio al tratarse del mismo tipo de edificio. Por otro lado, la demanda eléctrica de la red coincide, en cada zona climática, con el parámetro llamado balance de energía, que se define como la diferencia entre la suma del consumo eléctrico del edificio, las bombas y las enfriadoras, y la producción fotovoltaica.

$$\text{Balance energía} = (\text{Cons. edificio} + \text{Cons. bombas} + \text{Cons. enfriadora}) - \text{Prod. FV}$$

En cuanto a los consumos eléctricos de refrigeración (enfriadoras) y de las bombas ocurre lo mismo que con la demanda eléctrica de la red, para una misma zona climática tienen el mismo valor, es decir, no varían con el

volumen del depósito de inercia. Los consumos de calefacción (caldera calefacción) y de gas natural para el funcionamiento de la caldera son los únicos resultados que dependen del volumen del depósito de acumulación ya que están directamente relacionados en la parte de calefacción.

El consumo de refrigeración es muy variable de una zona climática a otra ya que se encuentran en unas condiciones ambientales muy diversas. Este consumo es máximo en Sevilla (B4) y alcanza su máximo el 21 de Julio, justificando el clima severo que presenta esta ciudad en verano. Por el contrario, el consumo de refrigeración anual es mínimo en Burgos (E1), alcanzando el valor máximo el 30 de Julio, ya que se trata de una ciudad con un clima muy suave en verano. Los máximos de consumo de refrigeración se alcanzan el 24 de Agosto, 4 de Julio y 24 de Julio en Cádiz, Madrid y Barcelona respectivamente. Las fechas donde se alcanzan los máximos justifican qué meses del año son más cálidos en España, los meses de Julio y Agosto. En resumen, el consumo de refrigeración anual sigue el siguiente orden: B4>A3>D3>C2>E1.

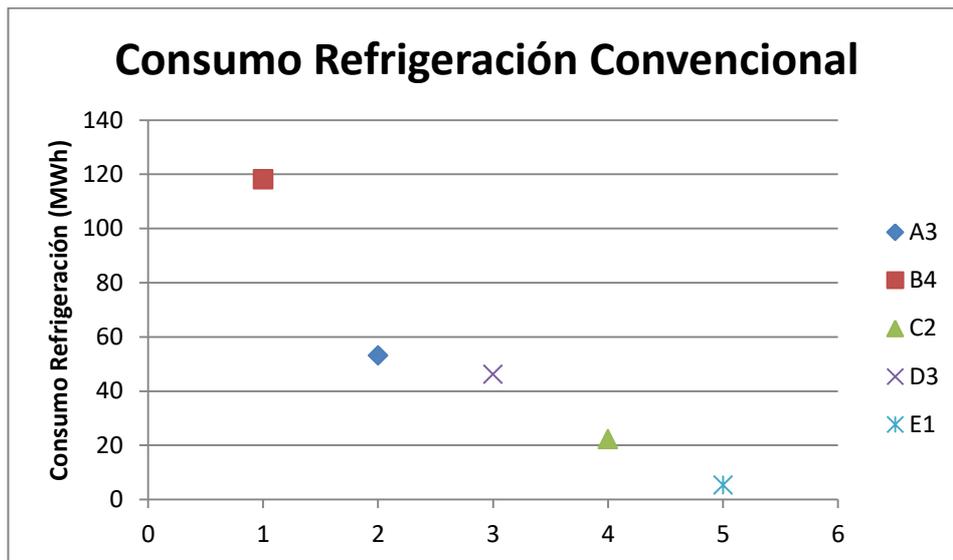


Figura 4.3: Consumo de refrigeración anual para cada zona. Caso Convencional.

El consumo de calefacción, es decir, el consumo de la caldera de condensación varía tanto de una zona a otra como de un volumen del depósito de acumulación a otro. Al contrario que el consumo de refrigeración, Burgos es la ciudad con mayor consumo anual de calefacción al tratarse de una ciudad con un clima invernal muy fuerte donde las temperaturas suelen descender muy por debajo de los 0°C. En cambio, A3 es la zona climática donde menor consumo de calefacción existe ya que se trata de una ciudad costera y, por tanto, tiene un clima suave durante todo el año. En Cádiz no hay grandes cambios de temperaturas entre invierno y verano como sí ocurre en zonas del interior peninsular.

El consumo de calefacción anual por zona climática clasificado de mayor a menor es: E1>D3>C2>B4>A3. Se pueden comparar, por un lado, Sevilla y Cádiz (situadas en el Sur de España) y, por otro lado, Madrid y Barcelona (más al Norte). En ambos casos ocurre que en la ciudad marítima (Cádiz y Barcelona) el consumo de calefacción es menor que en las zonas de interior (Sevilla y Madrid). De esta forma se aprecia la gran variación de temperaturas que hay en las ciudades de interior del país entre los meses de invierno y verano mientras que apenas varían en la costa.

El consumo de calefacción además varía dentro de una misma zona climática al variar el volumen del acumulador. Esta variación es mínima entre los diferentes volúmenes (1 m³, 2 m³, 3 m³, 4 m³ y 5 m³) ya que los caudales de agua que mueve la bomba que lleva el agua de retorno del edificio al depósito acumulador es muy grande en comparación con el volumen del depósito, por tanto, el agua del depósito se mantiene poco tiempo en él. En cada zona climática el consumo de calefacción va aumentando a medida que se disminuye el volumen del depósito de calefacción, como es lógico, ya que tiene menos capacidad de almacenar agua caliente. Sin embargo, esta variación es mínima, el consumo varía un 1.4% como máximo dentro de una misma zona climática y se alcanza en la zona B4. Las zonas donde menos cambio en el consumo hay son D3 (0.6% entre 1m³ y 5m³) y E1 (0.5% entre 1m³ y 5m³).

NOTA.- El consumo de calefacción es igual al consumo de gas natural de la caldera (Vgncalef). Por tanto,

Vgncalef va a aparecer en la tabla de resultados con el mismo número que el consumo de calefacción.

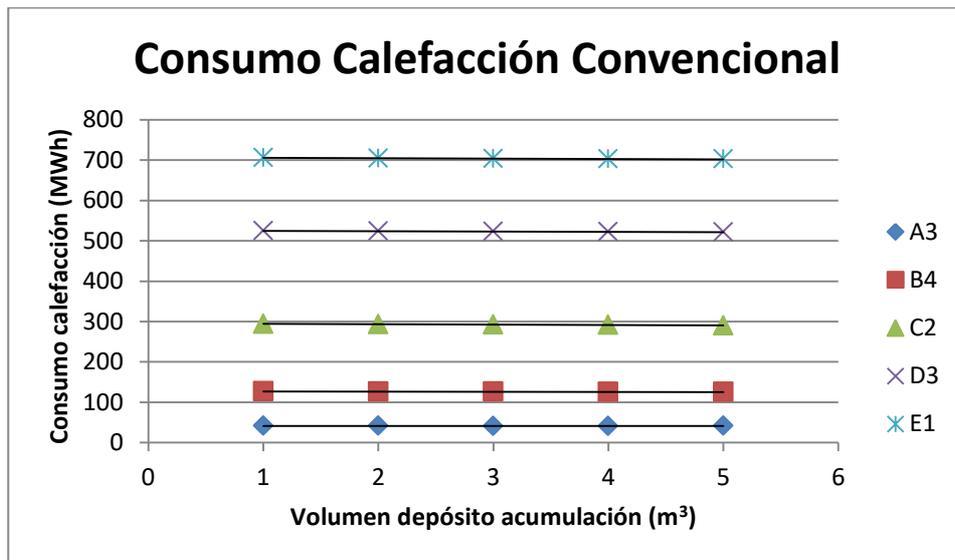


Figura 4.4: Consumo de calefacción anual para cada zona y volumen de depósito. Caso Convencional.

El consumo eléctrico de la bomba que se instala en la parte de calefacción está claramente relacionado con el consumo de la caldera de condensación. Por tanto, el consumo de la bomba será mayor en Burgos y menor en A3 como ocurre en el consumo de calefacción, en concreto sigue el siguiente orden: E1>D3>C2>B4>A3.

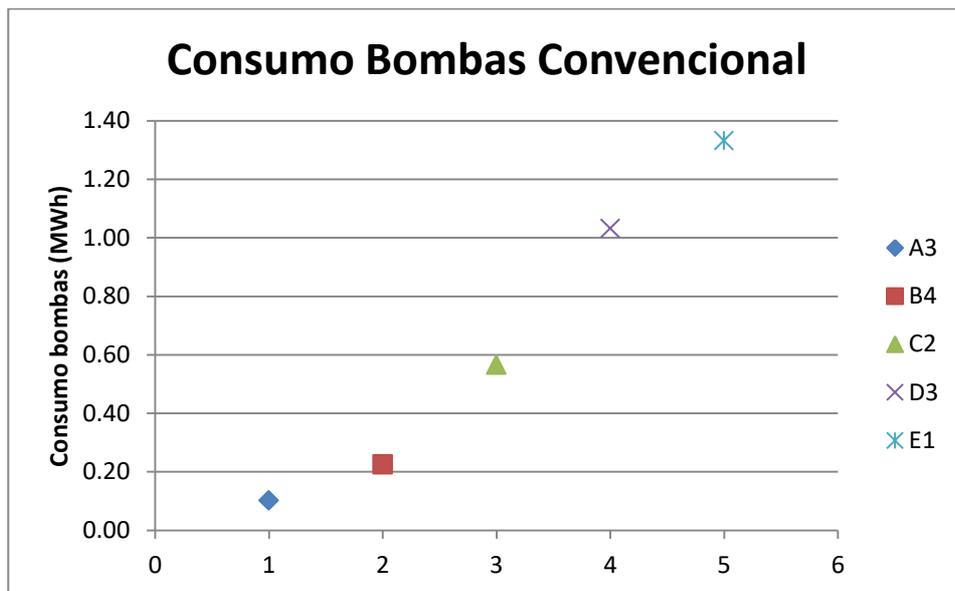


Figura 4.5: Consumo de bombas anual para cada zona. Caso Convencional.

En cuanto al balance de energía, difiere de una zona a otra debido a los consumos eléctricos de las bombas y las enfriadoras, pues la necesidad eléctrica del edificio es la misma en todas las zonas. Como se puede apreciar en las tablas *Tabla 3.8* y *Tabla 3.13*, la potencia de las bombas es mucho menor que el de las enfriadoras. Si además se añade que en cada una de las ciudades el número de horas en las que hay refrigeración es mayor que las que hay calefacción a lo largo de un año, o como mínimo igual, esto hace indicar que hay un mayor consumo de las enfriadoras que de las bombas. Por tanto, el consumo de refrigeración tiene mayor peso que el de las bombas y, el balance de energía va a seguir el mismo orden que seguía el consumo de refrigeración para las zonas climáticas: B4>A3>D3>C2>E1. Por otro lado, el balance de energía tiene como valor mínimo el consumo eléctrico del edificio, es decir, 99.44kWh cuando no existe consumo de refrigeración ni de calefacción (bombas). Como se comenta en el primer párrafo, la demanda eléctrica de la red tiene los mismos valores que el balance de energía.

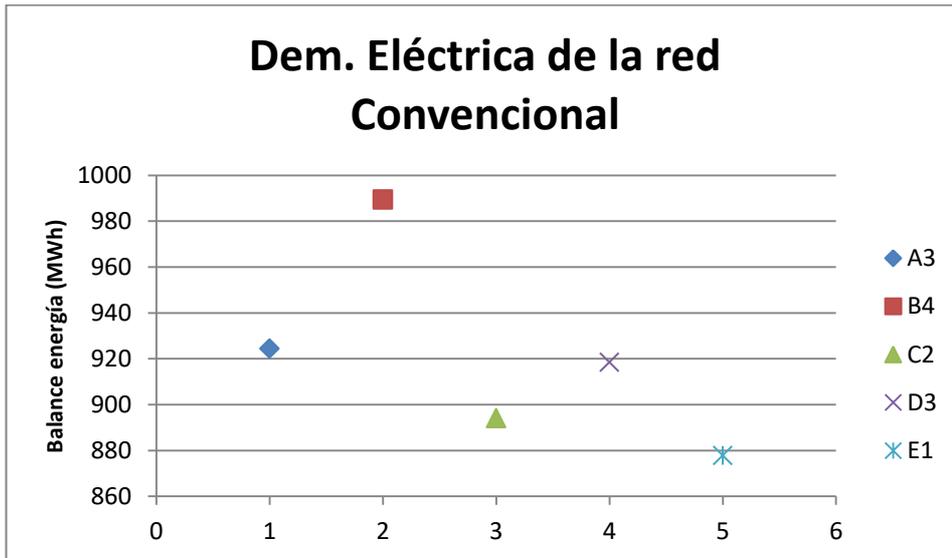


Figura 4.6: Demanda eléctrica de la red anual para cada zona. Caso Convencional.

En el caso Convencional no se puede calcular la autosuficiencia FV ya que no hay producción fotovoltaica.

Por último, se analizan el consumo de energía final y energía primaria, y las emisiones de CO₂. En todas estas variables se distingue entre gas natural y electricidad ya que son los dos consumos de energía que se tienen en el edificio.

El consumo final de electricidad indica el consumo eléctrico de la instalación, es decir, la energía eléctrica que se demanda de la red. Por tanto, los valores para este parámetro son los mismos que para el balance de energía y demanda eléctrica de la red.

Por otro lado, el consumo final de gas natural en este caso es la cantidad de gas natural que necesita la caldera, por consiguiente, los valores coinciden con los de $V_{gncalcf}$ y varían tanto entre zonas climáticas como volúmenes del depósito de acumulación.

En cuanto al consumo total de energía final, es decir, suma del consumo final de electricidad y gas natural, este sigue el mismo orden que el consumo final de gas natural: $E1 > D3 > C2 > B4 > A3$. Esto es debido a que el consumo final de electricidad, aunque sea siempre mayor, varía mucho menos que el consumo final de gas natural entre una zona y otra. Por tanto, al sumar ambos valores se obtiene este resultado.

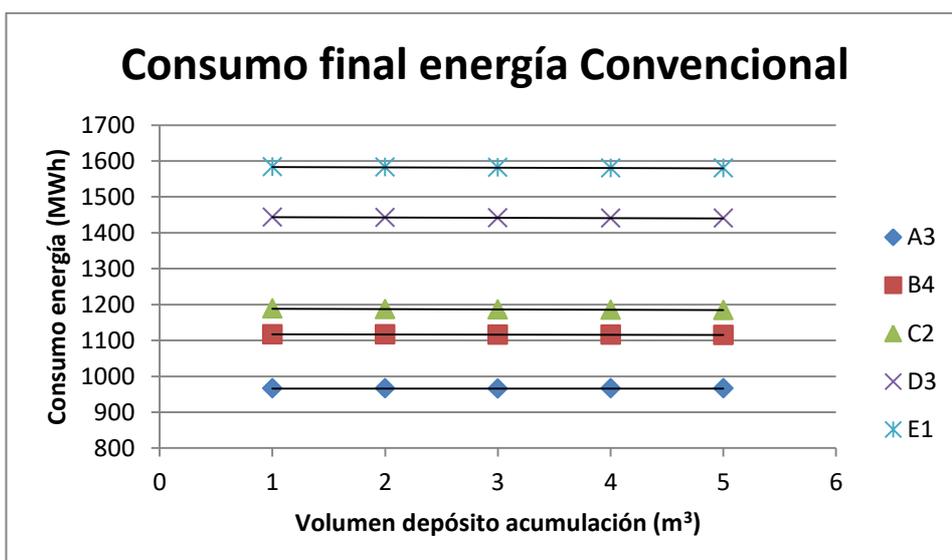


Figura 4.7: Consumo final de energía anual para cada zona y volumen de depósito. Caso Convencional.

Para el cálculo del consumo primario de energía y emisiones de CO₂ hay que multiplicar el consumo final de energía por unos valores constantes e iguales para todas las zonas climáticas. Por tanto, se obtienen valores

diferentes pero se ordenan de la misma forma que el consumo final de energía. Los factores por los que hay que multiplicar se indican en la *Tabla 4.1*. Como es de esperar, habrá mayor consumo final de electricidad o gas natural donde mayor consumo final de electricidad o gas natural haya y, lo mismo ocurre con las emisiones de CO₂, a mayor consumo de energía final mayor emisiones.

NOTA.- En el documento sólo se incluyen tablas y gráficas de algunos de los resultados, estando el resto de resultados incluidos en el anexo de *Análisis de resultados Convencional*. En las variables que cambien su valor en función del volumen del depósito acumulador se va a mostrar en la tabla el valor para el volumen 1m³ ya que apenas varían y así poder abreviar la tabla de resultados. Todos los valores que aparecen en las gráficas y tablas se tratan de valores anuales.

A continuación se muestra una tabla que permiten recalcar lo expuesto anteriormente:

Caso	Convencional				
Zona climática	A3	B4	C2	D3	E1
Volumen depósito acumulación (m³)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Total Dem. Red (MWh)	924.39	989.50	894.02	918.39	877.83
Total Cons. Refrigeración (MWh)	53.08	118.07	22.24	46.14	5.28
Total Cons. Calefacción (MWh)	41.92	127.31	294.29	524.76	705.83
Total Cons. Bombas (MWh)	0.10	0.23	0.57	1.03	1.33
Total Dem. Eléctrica (MWh)	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21
Consumo final electricidad (MWh)	924.39	989.50	894.02	918.39	877.83
Consumo final gas natural (MWh)	41.92	127.31	294.29	524.76	705.83
Consumo final energía (MWh)	966.31	1116.82	1188.30	1443.14	1583.66
Consumo primario electricidad (MWh)	2218.53	2374.81	2145.64	2204.13	2106.78
Consumo primario gas natural (MWh)	49.89	151.50	350.20	624.46	839.94
Consumo primario energía (MWh)	2268.42	2526.31	2495.84	2828.59	2946.72
Emisiones CO₂ por electricidad (tn CO₂)	330.01	353.25	319.16	327.86	313.38
Emisiones CO₂ por gas natural (tn CO₂)	10.48	31.83	73.57	131.19	176.46
Emisiones CO₂ energía (tn CO₂)	340.49	385.08	392.73	459.05	489.84

Tabla 4.2: Resultados anuales de cada zona climática (volumen depósito=1m³). Caso Convencional.

4.2.2.2 Convencional + FV

En este caso los resultados son casi los mismos que en el caso Convencional ya que se trata de la misma instalación excepto la incorporación de la parte fotovoltaica. Se analizan dos nuevos parámetros: producción fotovoltaica y autosuficiencia fotovoltaica. Además, la producción fotovoltaica no es despreciable en el cálculo del balance de energía y, por tanto, obtiene unos valores menores a los del caso Convencional. Al igual que ocurría en el caso anterior, el balance de energía coincide, en cada zona climática, con la demanda eléctrica de la red.

$$\text{Balance energía} = (\text{Cons. edificio} + \text{Cons. bombas} + \text{Cons. enfriadora}) - \text{Prod. FV}$$

En la estrategia de operación Convencional + FV, los consumos eléctricos del edificio, las bombas y las enfriadoras no varían con respecto a los valores que se obtienen en Convencional. Esto se debe a que se sigue analizando el mismo edificio en las mismas zonas y se utilizan las mismas bombas (no se modifica la parte de calefacción) y enfriadoras (no se modifica la parte de refrigeración). Por consiguiente, la demanda eléctrica de la red, en este caso, va a ser menor ya que hay que descontar la producción fotovoltaica. Se sigue el siguiente

orden en cuanto al consumo de energía eléctrica de la red, y balance de energía, en las distintas zonas climáticas: B4>D3>A3>C2>E1, mismo orden que en Convencional debido a que el consumo eléctrico es el mismo y a que la producción fotovoltaica tiene un valor relativamente pequeño comparado con la suma y, además, no varía mucho de una zona climática a otra.

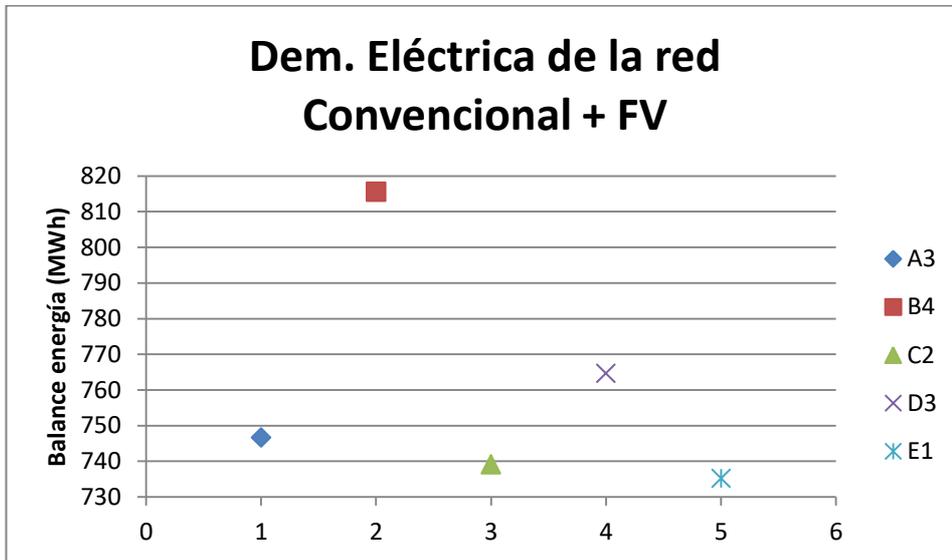


Figura 4.8: Demanda eléctrica de la red anual para cada zona. Caso Convencional + FV.

La parte de calefacción tampoco varía entre este caso y el anterior, por tanto, los resultados de consumo de calefacción y gas natural de la caldera de condensación son los mismos.

La única diferencia entre Convencional y Convencional FV es la parte de fotovoltaica. Se incluye un campo solar fotovoltaico y un inversor con el objetivo de consumir menos electricidad de la red. De esta nueva parte se obtienen dos resultados: por un lado, se analiza la producción fotovoltaica y, por otro lado, la autosuficiencia fotovoltaica, es decir, que porcentaje de la electricidad que se consume en el edificio puede llegar a cubrir la fotovoltaica.

La producción del campo solar fotovoltaico es diferente para cada zona climática pero no varía con respecto al volumen del depósito de calefacción. Las zonas donde mayor producción fotovoltaica hay son A3 y B4 ya que son las ciudades con mayor número de horas de sol al año y además la radiación solar es mayor. Por el contrario, D3 y E1 son las ciudades con menor producción fotovoltaica. La producción fotovoltaica sigue el siguiente orden: A3>B4>C2>D3>E1.

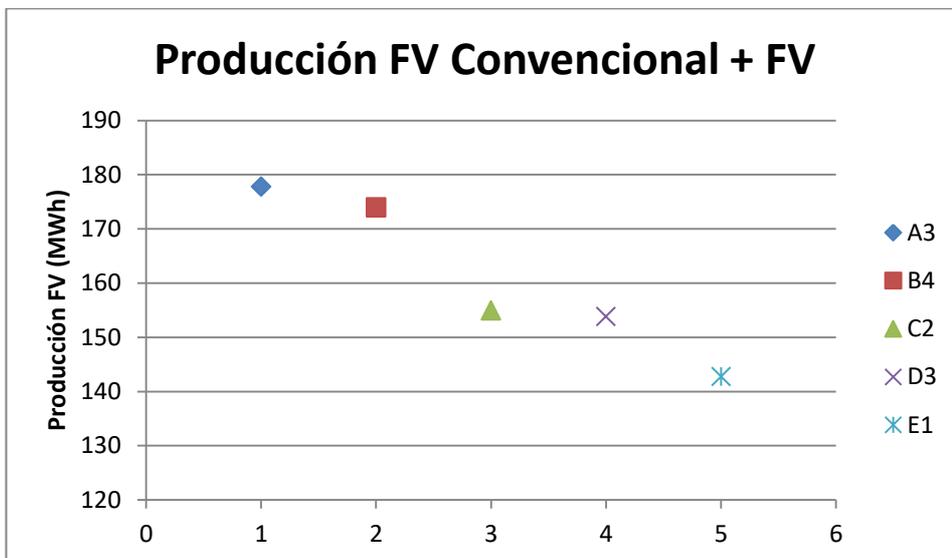


Figura 4.9: Producción fotovoltaica anual para cada zona. Caso Convencional + FV.

Además, se alcanzan máximos de producción fotovoltaica entre los meses de Marzo y Abril, cuando mayor es la radiación solar. Cádiz, Sevilla, Barcelona, Madrid y Burgos alcanzan los máximos en: 27 de Abril, 31 de Marzo, 9 de Abril, 17 de Abril y 28 de Abril respectivamente.

En la siguiente tabla se muestran los valores máximos de producción fotovoltaica para cada una de las zonas climáticas estudiadas:

Caso	Convencional+FV				
Zona climática	A3	B4	C2	D3	E1
Máx. Prod. FV (kWh)	91.96	91.01	91.63	93.12	96.89

Tabla 4.3: Producción fotovoltaica máxima para cada zona climática. Caso Convencional + FV.

Se muestran el perfil de la radiación directa anual sobre superficie inclinada en la zona climática B4 a modo de ejemplo, el resto de gráficas se incluyen en el anexo de *Perfiles de radiación directa anual para cada zona climática*:

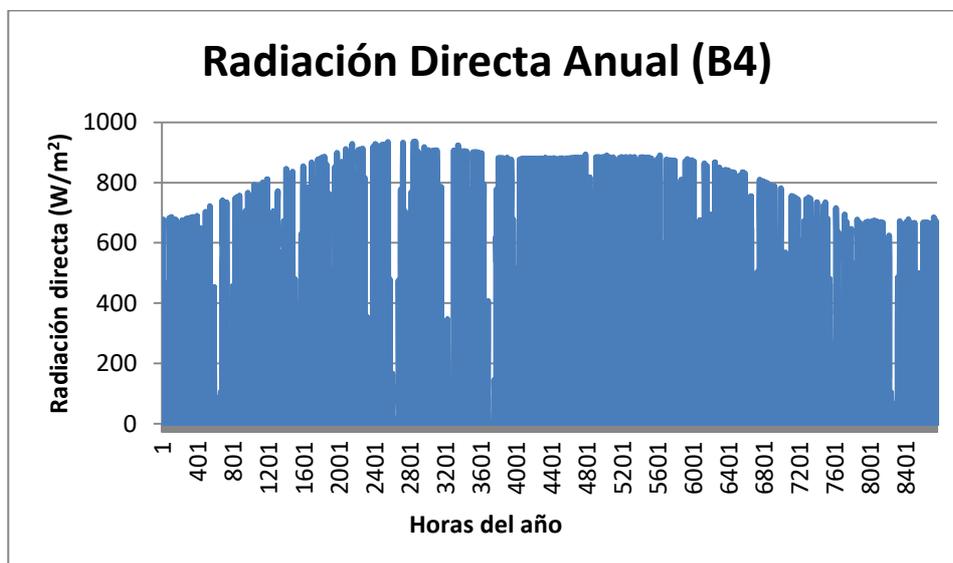


Figura 4.10: Radiación directa anual en B4.

La producción del campo solar fotovoltaico en ningún momento es superior a la necesidad energética de la instalación, por tanto, siempre hay demanda eléctrica de la red o lo que es lo mismo, nunca hay excedente de electricidad en la producción fotovoltaica. Esto hace que el campo de paneles fotovoltaicos sirva como apoyo para consumir menos energía de la red pero no tiene por objetivo cubrir la necesidad energética de la instalación ya que no es posible.

Por otro lado, se calcula la autosuficiencia fotovoltaica mensual y anual para cada zona climática. Este parámetro tampoco depende del volumen del depósito de inercia, sólo varía entre las distintas ciudades.

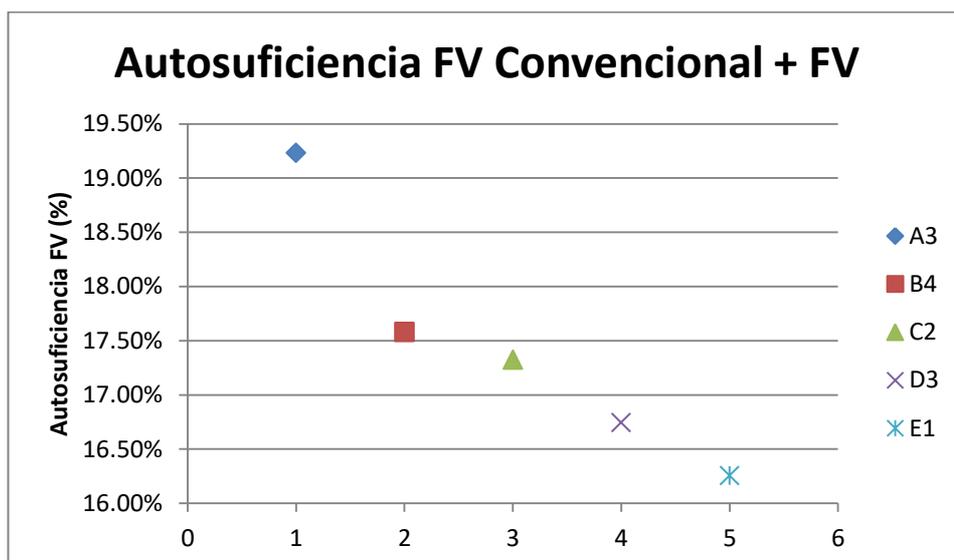


Figura 4.11: Autosuficiencia fotovoltaica anual para cada zona. Caso Convencional + FV.

En la siguiente tabla se muestran los porcentajes de autosuficiencia fotovoltaica mensual y anual para cada zona:

Caso	Convencional+FV				
	A3	B4	C2	D3	E1
% Autosuficiencia FV					
Enero	14.74%	14.91%	12.38%	10.94%	7.86%
Febrero	17.41%	17.46%	15.84%	14.12%	11.89%
Marzo	20.66%	20.18%	18.04%	17.58%	16.00%
Abril	22.62%	21.74%	20.24%	19.91%	17.77%
Mayo	23.00%	20.57%	21.03%	21.11%	20.34%
Junio	22.73%	17.85%	20.52%	19.43%	21.66%
Julio	20.15%	16.82%	19.96%	18.92%	23.00%
Agosto	20.61%	17.36%	19.94%	19.86%	23.69%
Septiembre	19.41%	17.27%	18.20%	18.99%	19.84%
Octubre	19.10%	17.26%	16.39%	16.18%	14.84%
Noviembre	15.75%	15.97%	12.98%	12.10%	10.36%
Diciembre	13.80%	13.74%	11.62%	10.09%	7.15%
Anual	19.23%	17.58%	17.32%	16.74%	16.26%

Tabla 4.4: Autosuficiencia fotovoltaica mensual y anual para cada zona climática. Caso Convencional + FV.

Por último, se calculan los consumos de energía final y energía primaria, y las emisiones de CO₂. En cuanto a los cálculos que dependen del gas natural, se obtienen los mismos resultados que en Convencional ya que el consumo de gas natural necesario para la caldera no cambia entre ambos casos y los tres cálculos están directamente relacionados con ese consumo. Por tanto, en la tabla aparecerán los mismos valores que en Convencional. Por el contrario, los cálculos que dependen de la electricidad sí varían respecto al caso anterior ya que la demanda eléctrica de la red es distinta debido a la producción fotovoltaica. Por consiguiente, sí se analizan estos cálculos para la electricidad.

El consumo final de electricidad es la demanda eléctrica de la red por lo que los valores serán los mismos. Este consumo se ordena: B4>D3>A3>C2>E1 y los valores son menores que en Convencional. El motivo por el que el consumo final de electricidad sigue ese orden es el mismo que el de Convencional.

El consumo de electricidad primaria y las emisiones de CO₂ debidas a la electricidad siguen el mismo orden que el consumo final de electricidad ya que se multiplica en cada zona climática por una constante.

En cuanto al consumo final de energía (gas natural + electricidad) también se obtienen valores diferentes al Convencional debido a que la electricidad varía. El consumo final de energía presenta el siguiente orden: E1>D3>C2>B4>A3, es decir, mismo orden que el consumo final de gas natural, como ocurre en Convencional. Ese orden se debe a que la variación del consumo de gas natural entre zonas tiene un mayor peso que la modificación del consumo de electricidad, el cual varía muy poco entre zonas. El consumo final de energía también depende del volumen del depósito acumulador siendo mayor para 1m³ y menor para 5m³, aunque el cambio es mínimo.

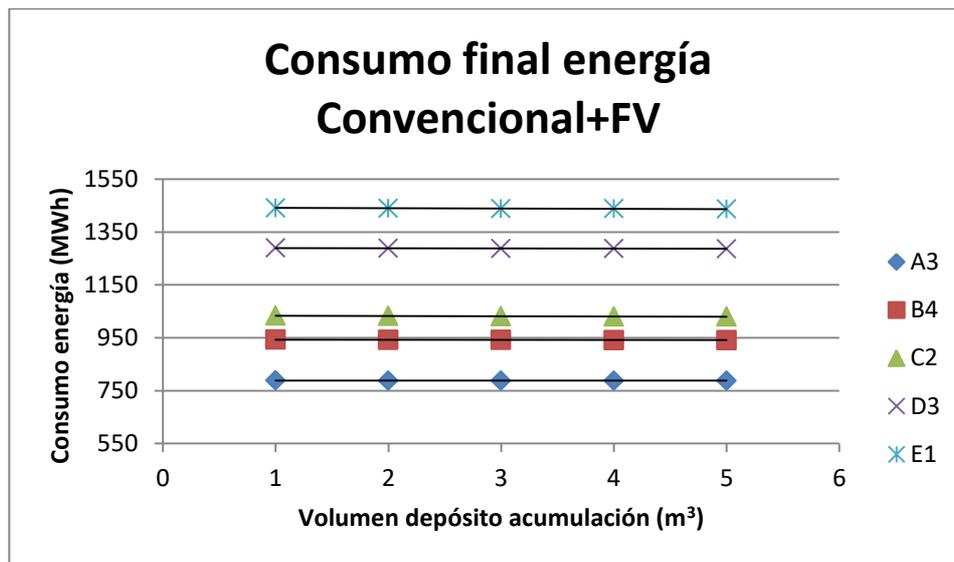


Figura 4.12: Consumo final de energía anual para cada zona y volumen de depósito. Caso Convencional + FV.

Para el consumo primario de energía y emisiones de CO₂ totales ocurre lo mismo que en el consumo final de energía al ser dependientes de ese consumo.

NOTA.- En el documento sólo se incluyen tablas y gráficas de algunos de los resultados, estando el resto de resultados incluidos en el anexo de *Análisis de resultados Convencional+FV*. En las variables que cambien su valor en función del volumen del depósito acumulador se va a mostrar en la tabla el valor para el volumen 1m³. Todos los valores que aparecen en las gráficas y tablas se tratan de valores anuales.

Caso	Convencional+FV				
	A3	B4	C2	D3	E1
Zona climática	A3	B4	C2	D3	E1
Volumen depósito acumulación (m ³)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Total Dem. Red (MWh)	746.60	815.56	739.14	764.61	735.12
Total Cons. Refrigeración (MWh)	53.08	118.07	22.24	46.14	5.28
Total Cons. Calefacción (MWh)	41.92	127.31	294.29	524.76	705.83
Total Cons. Bombas (MWh)	0.10	0.23	0.57	1.03	1.33
Total Prod. FV (MWh)	177.78	173.95	154.88	153.78	142.70
Total Dem. Eléctrica Edificio (MWh)	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21
Consumo final electricidad (MWh)	746.60	815.56	739.14	764.61	735.12
Consumo final gas natural (MWh)	41.92	127.31	294.29	524.76	705.83
Consumo final energía (MWh)	788.53	942.87	1033.42	1289.37	1440.95
Consumo primario electricidad (MWh)	1791.85	1957.34	1773.93	1835.06	1764.29
Consumo primario gas natural (MWh)	49.89	151.50	350.20	624.46	839.94
Consumo primario energía (MWh)	1841.74	2108.84	2124.13	2459.52	2604.23
Emisiones CO ₂ por electricidad (tnCO ₂)	266.54	291.15	263.87	272.96	262.44
Emisiones CO ₂ por gas natural (tnCO ₂)	10.48	31.83	73.57	131.19	176.46
Emisiones CO ₂ energía (tnCO ₂)	277.02	322.98	337.44	404.15	438.90

Tabla 4.5: Resultados anuales de cada zona climática (volumen depósito=1m³). Caso Convencional + FV.

4.2.2.3 Completo

Esta estrategia de operación varía bastante con respecto a las dos anteriores, las cuales eran muy parecidas entre sí. En el caso Completo se añade una nueva parte, motores de micro-cogeneración para la producción de energía eléctrica y térmica a partir de gas natural. Además se modifica la parte de calefacción al incluir el circuito de recuperación de energía térmica desechada de los motores, que incluye un intercambiador de calor y una nueva bomba. Las únicas partes que se mantienen intactas son: refrigeración (igual que en Convencional y Convencional + FV) y fotovoltaica (igual que en Convencional + FV), las demás partes sufren algún cambio.

Por tanto, habrá cambios respecto a los casos anteriores en los siguientes parámetros: balance de energía, demanda eléctrica de la red, autosuficiencia fotovoltaica, consumo de calefacción, cantidad de gas natural para la caldera, consumo de las bombas y, debido a estos cambios, en los cálculos de los consumos de energía final y primaria y emisiones de CO₂. Por el contrario, no habrá cambios en los resultados relacionados únicamente con la refrigeración y la fotovoltaica, es decir, consumo de las enfriadoras (refrigeración) y producción fotovoltaica. Además, el consumo eléctrico del edificio seguirá siendo el mismo al tratarse del mismo edificio de estudio, 99.44kWh.

En este caso se analizan dos resultados nuevos como son la potencia de los motores y la cantidad de gas natural necesaria para el funcionamiento de los mismos (Vgnmotores).

El objetivo de los motores es producir energía eléctrica para así consumir menos electricidad de la red. La incorporación de los motores hace que la demanda eléctrica de la red ya no sea igual al balance de energía, ahora además de descontar al consumo eléctrico del edificio, bombas y motores la producción fotovoltaica hay que descontar la producción eléctrica de los motores. Por tanto, la demanda eléctrica de la red es:

$$\text{Balance energía} = (\text{Cons. edificio} + \text{Cons. bombas} + \text{Cons. enfriadora}) - \text{Prod. FV}$$

$$\text{Dem. eléctrica red} = \text{Balance energía} - \text{Producción eléctrica motores}$$

Los motores tienen que producir el resto de electricidad que no pueda producir los paneles fotovoltaicos hasta cubrir la demanda de la instalación, siempre que sea posible. Cuando los motores no tengan la suficiente potencia o tenga que operar fuera del rango de funcionamiento, esa energía será demandada de la red eléctrica.

El balance de energía en este caso tiene valores muy parecidos al del caso Convencional + FV ya que no hay cambios en el consumo eléctrico del edificio, refrigeración y producción fotovoltaica. Aunque ahora el consumo de las bombas es mayor al haber una unidad más (ahora funcionan dos bombas en la parte de calefacción) tiene una repercusión mínima en el balance de energía. El orden entre zonas climáticas varía un poco respecto a Convencional y Convencional + FV, en este caso la zona climática D3 tiene un balance de energía mayor que A3, mientras que B4 es la zona que presenta el mayor valor y E1 el menor. El balance de energía en el caso Completo tiene una ligera dependencia con el volumen del depósito de acumulación ya que el funcionamiento de la bomba que se incorpora depende de la temperatura a la que está dicho depósito, entre otros parámetros. Esta dependencia es inapreciable puesto que de los cuatro términos de los que se compone la fórmula del balance de la energía sólo un término varía y además muy poco al tener un orden de magnitud entre 100 y 1000 veces menor que los demás términos. Por tanto, se puede considerar que el balance de energía es independiente del volumen del depósito.

Esta estrategia de operación tiene menor consumo de la caldera de gracias a la energía térmica que se recupera de los motores. Esto permite que los consumos de la caldera se reduzcan entre un 15% en E1 y casi un 55% en A3. La diferencia de porcentajes se debe en gran medida a la diferencia de demanda de calefacción entre las zonas climáticas, utilizando motores de las mismas potencias. Por consiguiente, con el mismo calor recuperado de los motores se puede llegar a cubrir más demanda de calefacción en A3 (al ser menor dicha demanda) que en E1.

Además, el consumo de la caldera de condensación es distinto según el volumen del depósito acumulador que se utilice, a medida que aumenta dicho volumen disminuye el consumo de la caldera. Se puede apreciar una mayor disminución del consumo de la caldera en las zonas donde menor demanda de calefacción existe y al contrario en las zonas donde mayor demanda hay. En A3 se reduce el consumo casi un 40% al variar el volumen del depósito acumulador de 1m³ a 5m³, mientras que en E1 se reduce un 0.7%. Esto se debe a que las bombas empleadas en las zonas donde mayor demanda de calefacción hay mueven un caudal de fluido mayor que en las zonas donde hay poca demanda, entonces el fluido se mantiene menos tiempo en el depósito acumulador, es decir, el fluido en el interior del depósito se regenera mucho más rápido, lo que no le permite alcanzar las temperaturas tan altas. Por tanto, aumentar el volumen del depósito de acumulación tiene un mayor efecto en zonas donde la demanda de calefacción es menor.

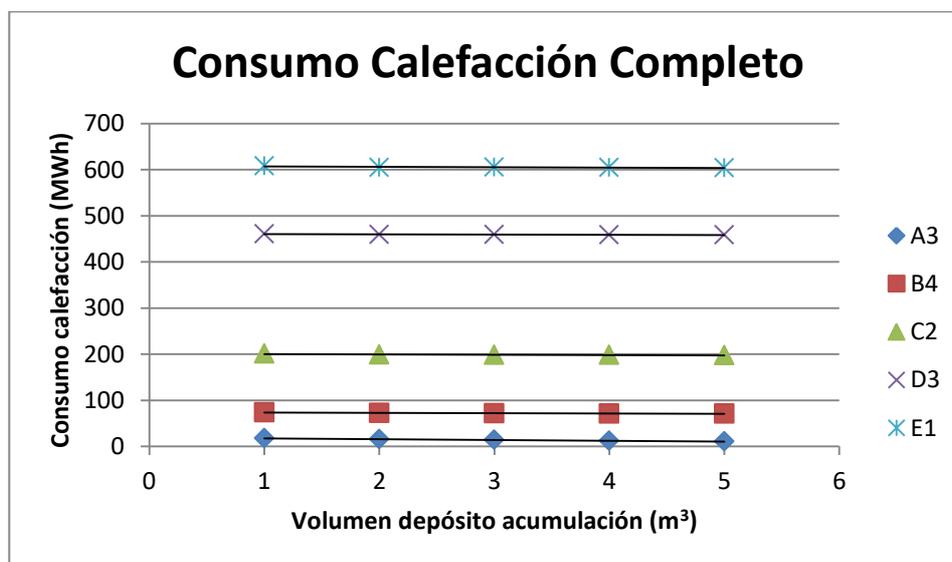


Figura 4.13: Consumo de calefacción anual para cada zona y volumen de depósito. Caso Completo.

Otro parámetro relacionado con la parte de calefacción es el consumo de las bombas, éste ahora obtiene cifras

mayores que en los casos anteriores debido, en especial, a que se trabaja con una unidad más. Ambas bombas se han diseñado con la misma potencia y trabajan aproximadamente el mismo número de horas, por tanto, observando los resultados se aprecia que el consumo de las bombas en este caso es el doble que en los casos anteriores. Dicho consumo se ordena de la misma forma que el consumo de la caldera de condensación, pues ambos pertenecen a la parte de calefacción y están relacionados. Asimismo, la dependencia con el volumen del depósito se debe únicamente a la incorporación de la nueva bomba cuyo funcionamiento depende de la temperatura del depósito ya que la bomba que lleva el agua de retorno hacia el depósito (bomba que funciona en los tres casos de estudio) no depende del volumen como se expone en los apartados anteriores.

Esta variación en el consumo de las bombas no es tan sencillo de explicar como sí ocurre en el consumo de la caldera, donde en cada zona climática ocurre lo mismo al variar el volumen del depósito. En este caso, cada zona tiene un comportamiento distinto cuando se modifica el volumen, pues el consumo de la bomba para la recuperación de calor depende no solo del depósito de acumulación sino también de la demanda de calefacción y del funcionamiento de los motores de gas natural (utiliza el calor desechado). A su vez, el funcionamiento de los motores de gas natural depende del consumo de las bombas puesto que tiene como dato de entrada el balance de energía.

En zonas donde hay mayor demanda de calefacción (por ejemplo E1) las bombas mueven un caudal mayor que en zonas con una baja demanda, por tanto, el acumulador regenera el fluido en su interior a mayor velocidad. Por otro lado, cuanto mayor es el depósito de acumulación más tiene que trabajar la bomba colocada en el circuito de recuperación de calor para que el depósito acumulador alcance la temperatura deseada. Por tanto, el consumo de las bombas va a depender de esas dos condiciones.

La zona climática A3 es una zona con poca demanda de calefacción, por consiguiente, el fluido del depósito de calefacción se va a regenerar de forma lenta y va a haber un mayor consumo de bombas cuanto mayor sea el volumen del depósito. Sin embargo, la zona climática E1 es una zona con una demanda de calefacción muy elevada, por tanto, el depósito va a regenerar muy rápido el fluido de su interior. Esto hace que poner un volumen de 1m^3 se vacíe casi de forma instantánea por lo que el fluido de su interior nunca llega a la temperatura deseada y por tanto la bomba siempre esté funcionando para recuperar calor. En un depósito con volumen de 5m^3 , al vaciarse más lentamente, es posible que en algún momento se alcance la temperatura deseada y la bomba no tenga que funcionar. Por tanto, en este caso hay un mayor consumo de las bombas cuando menor es el volumen del depósito.

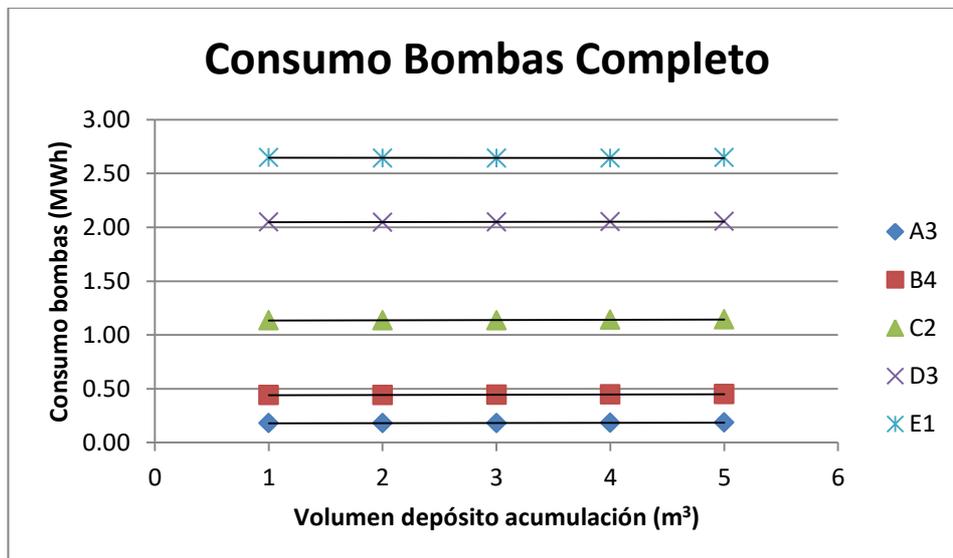


Figura 4.14: Consumo de bombas anual para cada zona y volumen de depósito. Caso Completo.

Los motores de micro-cogeneración están altamente relacionados con el balance de energía ya que este indica la potencia a la que deben trabajar dichos motores. Cuanto mayor sea el balance de energía mayores potencias de los motores hay y mayor cantidad de gas natural se necesitará para el funcionamiento de dichos motores. La potencia de los motores sigue el mismo orden que el balance de energía al depender directamente de él: $B4 > D3 > A3 > C2 > E1$. Este orden se debe prácticamente al consumo de las enfriadoras, la producción fotovoltaica y el consumo de las bombas que aunque tiene valores muy pequeños comparados con el resto de

variables tiene una pequeña influencia. La demanda eléctrica del edificio es la misma en cada zona climática por tanto no repercute en el resultado. La zona B4 tiene una de las mayores producciones fotovoltaica y es la que mayor consumo de refrigeración tiene, este es el motivo de que los motores trabajen más que en cualquier otra zona. Por el contrario, E1 a pesar de tener un gran consumo de las bombas tiene un consumo de refrigeración muy pequeño y la menor producción fotovoltaica.

La potencia de los motores tiene una pequeña dependencia con el volumen del depósito. Esta relación con el volumen es apreciable únicamente en las zonas donde mayor consumo de bombas hay (E1, D3 y C2) y además varían en torno al 0.01% por lo que se puede considerar que no depende del volumen del depósito.

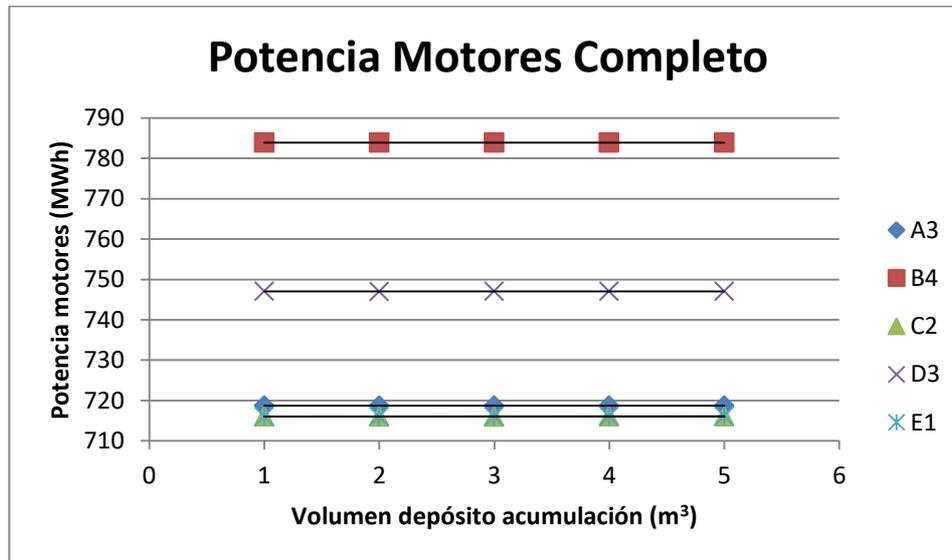


Figura 4.15: Consumo de los motores anual para cada zona y volumen de depósito. Caso Completo.

La demanda eléctrica de la red en este caso es menor que en los dos casos anteriores ya que al balance de energía se le descuenta producción eléctrica de los motores de micro-cogeneración. Por tanto, habrá que demandar de la red eléctrica la diferencia entre el balance de energía y la potencia de los motores. De esta manera, el orden de demanda eléctrica de la red entre las distintas zonas climáticas va a depender tanto del balance de energía como de la potencia de los motores y sigue el siguiente orden: B4>A3>C2>E1>D3. La zona climática D3 es la zona donde mayor capacidad de funcionamiento tienen los motores de gas natural, pues es donde menor diferencia hay entre la demanda que se quiere cubrir (balance de energía) y la producción de los motores (potencia de los motores).

La demanda eléctrica depende de la red de dos parámetros que a su vez dependen del consumo de las bombas, que es función del volumen del depósito acumulador. Aunque la potencia de los motores y el balance de energía dependen muy poco del volumen, la demanda eléctrica del edificio, al depender de ambos parámetros, tiene una mayor relación con el volumen aunque sigue siendo pequeña. En A3, B4 y D3 la variación con el volumen del depósito de acumulación no es detectable mientras que en C2 y E1 hay variaciones máximas de 0.2%, porcentaje que se puede no considerar.

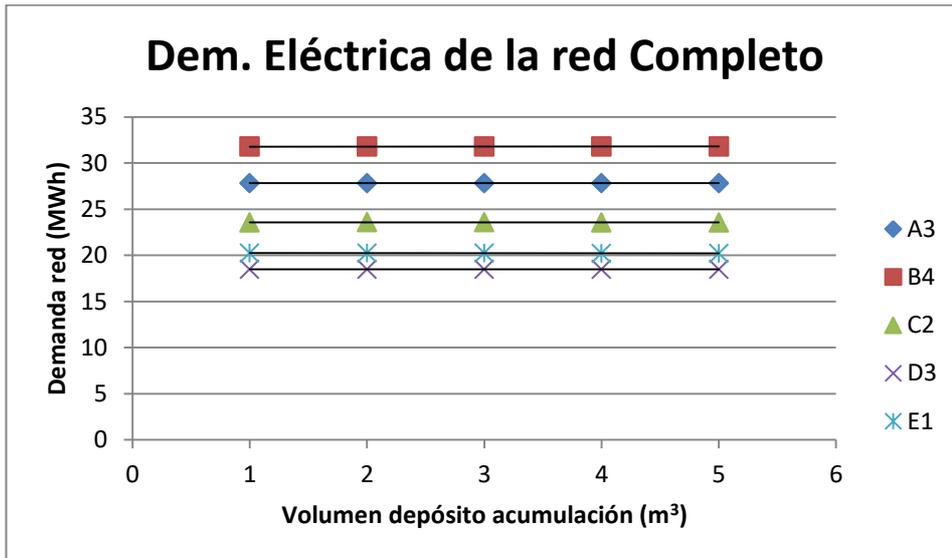


Figura 4.16: Demanda eléctrica de la red anual para cada zona y volumen de depósito. Caso Completo.

Se definió la autosuficiencia fotovoltaica como:

$$\text{Autosuficiencia FV (\%)} = \frac{\text{Producción FV}}{\text{Cons. Bombas} + \text{Cons. Edificio} + \text{Cons. Enfriadora}} * 100$$

La única diferencia de la autosuficiencia fotovoltaica entre el caso Completo y Convencional + FV es que ahora el consumo eléctrico de las bombas es mayor y, por tanto, la autosuficiencia fotovoltaica será menor. Como se explica en otros apartados, debido a que el consumo de las bombas es mucho menor que los demás términos de la fórmula, la diferencia es mínima. Se obtienen mayores porcentajes de reducción de la autosuficiencia fotovoltaica respecto al caso anterior en las ciudades donde más demanda de calefacción hay, D3 y E1, ya que es donde más potencia y más trabajan las bombas.

Al depender del consumo de las bombas, la autosuficiencia fotovoltaica teóricamente debe tener relación con los volúmenes del depósito de acumulación esa variación es insignificante.

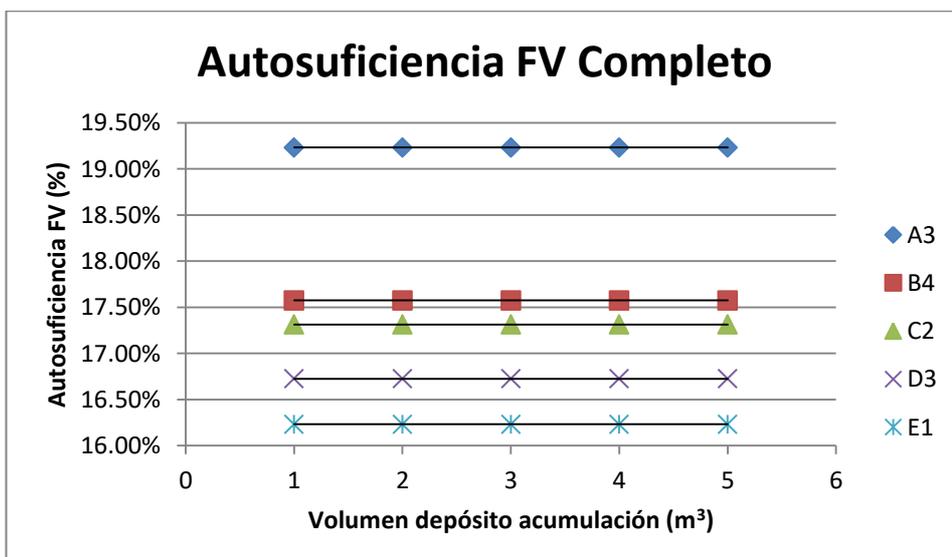


Figura 4.17: Autosuficiencia fotovoltaica anual para cada zona y volumen de depósito. Caso Completo.

La tabla de autosuficiencia fotovoltaica mensual y anual para cada zona climática se muestra en el anexo de *Análisis de resultados Completo* debido a que se obtienen prácticamente los mismos valores que en Convencional + FV.

Por último, se analizan los cálculos de los consumos de energía primaria y final y las emisiones de CO₂. El

análisis que se hace para el consumo de energía final es válido para el consumo de energía primaria y para las emisiones de CO₂ ya que estas variables se calculan a partir de la energía final multiplicándola por una constante. Es decir, donde mayor consumo de energía final haya habrá mayores consumo de energía primaria y emisiones de CO₂ y viceversa.

El consumo final de electricidad es igual al consumo eléctrico de la red puesto que se trata de la demanda eléctrica de la instalación que no pueden dar paneles fotovoltaicos ni motores de gas natural. Por tanto, los cálculos están justificados en el apartado que se comentan los resultados de la demanda eléctrica de la red.

Por otra parte, el consumo final de gas natural es la suma de los consumos de gas natural de la caldera (Vgncaldera) y de los motores (Vgnmotores). En este caso el consumo final de gas natural es mucho mayor que en los dos anteriores ya que además de ser suma de dos términos, y aunque Vgncaldera sea menor en este caso, el nuevo término que se incluye es mucho mayor. Vgnmotores tiene un peso en el consumo final de gas natural de entre el 77% y el 99%, esto se debe a que los motores tienen una potencia muy alta en comparación con la caldera y además son dos unidades. La diferencia de porcentajes entre zonas se debe en gran medida al consumo de la caldera de calefacción en las distintas zonas climáticas, hay mucha diferencia entre A3 y E1, mientras que el consumo de gas natural en los motores se mantiene casi constante. Por tanto, debido a la gran repercusión del consumo de gas natural de la caldera, el consumo final de gas natural entre zonas climáticas se ordena: E1>D3>C2>B4>A3.

En cuanto al consumo final de energía, debido al bajo consumo final de electricidad en este caso, el consumo final de electricidad apenas tiene influencia en el resultado. Por tanto, el orden entre zonas climáticas es igual al que sigue el consumo final de gas natural, que es prácticamente el total del consumo final de energía. El consumo de gas natural tiene un peso en el consumo final de energía de entre 98% y 99% dependiendo de las zonas. Es decir, en este caso se consume mayoritariamente y, casi únicamente, gas natural.

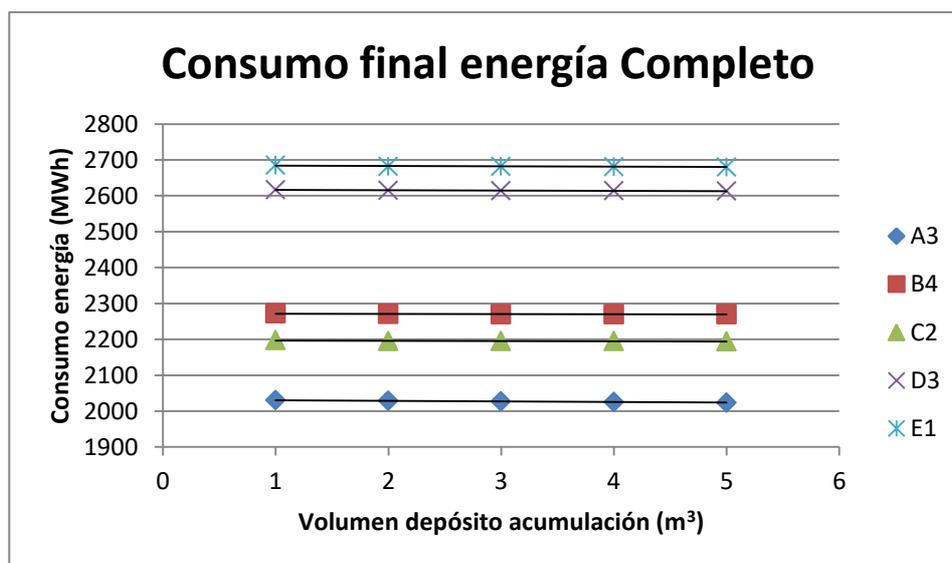


Figura 4.18: Consumo final de energía anual para cada zona y volumen de depósito. Caso Completo.

En el consumo final de energía y emisiones de CO₂ ocurre lo mismo que en el consumo primario de energía, es decir, el gas natural tiene un gran peso mientras que la electricidad apenas tiene influencia. En ambos parámetros se sigue el mismo orden que se tenía en el consumo primario de energía.

NOTA.- En el documento sólo se incluyen tablas y gráficas de algunos de los resultados, estando el resto de resultados incluidos en el anexo de *Análisis de resultados Completo*. En las variables que cambien su valor en función del volumen del depósito acumulador se va a mostrar en la tabla el valor para el volumen 1m³. Todos los valores que aparecen en las gráficas y tablas se tratan de valores anuales.

Caso	Completo				
Zona climática	A3	B4	C2	D3	E1
Volumen depósito acumulación (m ³)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Total Bal. Energía (MWh)	746.68	815.77	739.71	765.63	736.44
Total Cons. Refrigeración (MWh)	53.08	118.07	22.24	46.14	5.28
Total Cons. Calefacción (MWh)	17.97	73.91	201.07	461.03	607.93
Total Cons. Bombas (MWh)	0.18	0.44	1.14	2.05	2.65
Total Prod. FV (MWh)	177.78	173.95	154.88	153.78	142.70
Total Pot. Motores (MWh)	718.76	783.89	716.05	747.04	716.09
Total V _{gn} motores (MWh)	1984.87	2166.43	1973.00	2137.10	2056.82
Total Dem. Eléctrica Edificio (MWh)	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21
Consumo final electricidad (MWh)	27.93	31.89	23.66	18.58	20.35
Consumo final gas natural (MWh)	2002.84	2240.34	2174.07	2598.13	2664.75
Consumo final energía (MWh)	2030.76	2272.23	2197.73	2616.71	2685.10
Consumo primario electricidad (MWh)	67.02	76.53	56.78	44.60	48.84
Consumo primario gas natural (MWh)	2383.37	2666.01	2587.14	3091.77	3171.05
Consumo primario energía (MWh)	2450.40	2742.53	2643.92	3136.37	3219.89
Emisiones CO ₂ por electricidad (tnCO ₂)	9.97	11.38	8.45	6.63	7.26
Emisiones CO ₂ por gas natural (tnCO ₂)	500.71	560.09	543.52	649.53	666.19
Emisiones CO ₂ energía (tnCO ₂)	510.68	571.47	551.96	656.17	673.45

Tabla 4.6: Resultados anuales de cada zona climática (volumen depósito=1m³). Caso Completo.

4.2.3 Comparación de resultados

En este apartado se comparan los resultados anuales obtenidos en las simulaciones de las distintas instalaciones que se implementan en TRNSYS.

4.2.3.1 Comparación entre Convencional + FV y Convencional

La diferencia entre ambos casos es mínima debido a que se tratan del mismo con la única diferencia de que en Convencional + FV se añade producción fotovoltaica. La incorporación del campo solar fotovoltaico solo tiene influencia en un parámetro común entre ambos casos, la demanda eléctrica de la red. Es decir, en ambos casos se obtienen los mismos resultados excepto en la demanda eléctrica de la red.

No se pueden comparar los consumos de refrigeración, calefacción, bombas, edificio y gas natural necesario para el funcionamiento de la caldera debido a que son los mismos en ambos casos. Por otro lado, tampoco se puede comparar la producción fotovoltaica ya que solo es resultado del caso Convencional + FV.

La demanda eléctrica de la red es el único resultado que se puede comparar ya que en Convencional es la suma de los consumos de la bomba, edificio y enfriadora y en Convencional + FV a esa suma hay que descontar la producción eléctrica del campo fotovoltaico.

$$Dem. \text{el\u00e9ct. red (Conv)} = Cons. \text{bomba} + Cons. \text{edif} + Cons. \text{enfriadora}$$

$$Dem. \text{el\u00e9ct. red (C + FV)} = (Cons. \text{bomba} + Cons. \text{edif} + Cons. \text{enfriadora}) - Prod. \text{FV}$$

Por tanto, el consumo eléctrico de la red va a ser mayor en el caso Convencional que en el caso Convencional + FV. La demanda eléctrica de la red (igual al consumo final de electricidad) se reduce lo que produce el campo solar fotovoltaico, es decir, en términos de porcentajes se reduce un porcentaje igual al que supone la autosuficiencia fotovoltaica, que se definía como:

$$\text{Autosuficiencia FV (\%)} = \frac{\text{Producción FV}}{\text{Cons. Bombas} + \text{Cons. Edificio} + \text{Cons. Enfriadora}} * 100$$

Debido a que se reduce el consumo final de electricidad de un caso a otro, se reduce el consumo final de energía. Esto mismo ocurre con el consumo primario de electricidad y energía y las emisiones de CO₂ debidas a la electricidad y al total de la energía al ser todos los parámetros dependientes del consumo final de electricidad.

El consumo primario de electricidad y las emisiones de CO₂ debidas a la electricidad se reducen de Convencional a Convencional + FV un porcentaje igual al de autosuficiencia fotovoltaica al depender sólo de la electricidad, mientras que ambos parámetros para el total de energía (electricidad + gas natural) se reducen un porcentaje menor al depender también del gas natural, que no se modifica de un caso a otro. Por otro lado, los porcentajes de reducción son los mismos para todos los cálculos cuando dependen únicamente de la electricidad (consumos final y primario de electricidad y emisiones de CO₂ debidas a la electricidad) mientras que sí cambian para la energía total (consumos final y primario de energía y emisiones totales de CO₂) ya que electricidad y gas natural se multiplican por factores de conversión distintos.

Los resultados de reducción de los parámetros del caso Convencional al Convencional + FV se muestran en la siguiente tabla:

Zona climática	A3	B4	C2	D3	E1
Consumo final electricidad	19.23%	17.58%	17.32%	16.74%	16.26%
Consumo final energía	18.40%	15.58%	13.03%	10.66%	9.01%
Consumo primario electricidad	19.23%	17.58%	17.32%	16.74%	16.26%
Consumo primario energía	18.81%	16.53%	14.89%	13.05%	11.62%
Emisiones CO₂ electricidad	19.23%	17.58%	17.32%	16.74%	16.26%
Emisiones CO₂ energía	18.64%	16.13%	14.08%	11.96%	10.40%

Tabla 4.7: Porcentajes de reducción de los cálculos de Convencional a Convencional + FV para cada zona.

4.2.3.2 Comparación entre Completo y Convencional

Hay grandes diferencias entre ambas estrategias de operación al tratarse de instalaciones muy distintas. Sólo dos resultados se mantienen iguales: demanda eléctrica del edificio ya que se analiza el mismo edificio en ambos casos y el consumo de refrigeración ya que la parte de refrigeración no es dependiente de ninguna otra parte de la instalación. Por tanto, sufren cambios todos los demás parámetros: demanda eléctrica de la red, balance de energía y consumos de calefacción, bombas y gas natural necesario para la caldera de condensación. Los cambios en estos parámetros harán que también cambien el consumo primario y final y las emisiones de CO₂ para electricidad, gas natural y energía total.

Por otro lado, no se pueden comparar los siguientes resultados ya que sólo son resultados del caso Completo: producción fotovoltaica, autosuficiencia fotovoltaica, potencia de los motores y cantidad de gas natural para los motores.

Los porcentajes que se reducen, de Convencional a Completo, los diferentes resultados se muestran en la siguiente tabla, donde aparezca un signo negativo significa que ese parámetro aumenta del caso Convencional al Completo:

Zona climática	A3	B4	C2	D3	E1
Demanda eléctrica red	96.98%	96.78%	97.35%	97.98%	97.68%
Balance energía	19.22%	17.56%	17.26%	16.63%	16.11%
Consumo refrigeración	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Consumo calefacción	57.15%	41.95%	31.68%	12.14%	13.87%
Consumo bombas	-76.72%	-96.43%	-100.88%	-98.71%	-98.85%
Vgncalefacción	57.15%	41.95%	31.68%	12.14%	13.87%
Demanda eléctrica edificio	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Tabla 4.8: Porcentajes de reducción de los resultados de Convencional a Completo para cada zona.

En la tabla se puede apreciar que todos los parámetros se reducen del caso Convencional al Completo excepto el consumo de las bombas ya que en el caso Completo funcionan dos bombas, es decir, una unidad más que en el Convencional. Debido a que ambas bombas tienen la misma potencia y funcionan aproximadamente el mismo número de horas, el consumo de las bombas en el caso Completo es de aproximadamente el doble que en el Convencional (aumenta en torno a un 100%, que equivale con el doble). Este consumo aumenta más en las zonas climáticas que más demanda de calefacción hay ya que las bombas funcionan más horas y además tienen una potencia mayor. En Cádiz es la única zona en la que ese aumento de consumo no está cerca al doble, en A3 es de aproximadamente 7/4 (1.75) respecto al caso Convencional.

La demanda eléctrica de la red en este caso es menor debido a que se emplean dos formas para producir electricidad y así consumir menos de la red (motores gas natural y campo solar fotovoltaico) mientras que en el caso Convencional todo el consumo eléctrico de la instalación se coge de la red. El caso Completo es el que menor consumo de electricidad de la red tiene mientras que el Convencional es el caso que mayor consumo eléctrico de la red presenta. Como se puede apreciar en la tabla, los consumos eléctricos de la red se reducen aproximadamente a la mitad en todas las zonas climáticas.

$$Dem. elec. red (Conv) = Cons. bomba + Cons. edif + Cons. enfriadora$$

$$Dem. elec. red (Comp) = (C. bomba + C. edif + C. enfriadora) - Prd. FV - Pot. mot$$

El balance de energía se reduce un porcentaje muy similar al porcentaje de autosuficiencia fotovoltaica. Por tanto, esta reducción casi igual a la autosuficiencia fotovoltaica tiene el mismo razonamiento que tenía la demanda eléctrica de la red (balance de energía) en la comparación entre Convencional y Convencional + FV.

$$Balance energía (Convencional) = Cons. bomba + Cons. edif + Cons. enfriadora$$

$$Balance energía (Comp) = (Cons. bomba + Cons. edif + Cons. enfriadora) - Prod. FV$$

La fórmula del balance de energía en Completo es la misma que en Convencional + FV pero en este caso el consumo de las bombas es mayor, de ahí que no se tengan exactamente los mismos porcentajes que en la comparación anterior.

En cuanto a los consumos de la caldera de calefacción y gas natural necesario para el funcionamiento de dichas calderas, ambos se reducen respecto al caso Convencional y además lo hacen el mismo porcentaje. Esta disminución se debe a que en el Completo se recicla el calor desechado por los motores para así reducir el consumo de la caldera y, por tanto, el consumo de gas natural, mientras que en el Convencional toda la demanda de calefacción se satisface únicamente con la caldera. La reducción es mayor en zonas climáticas donde hay menos demanda de calefacción como son A3 o B4 debido a que en todas las zonas climáticas los motores producen una cantidad de electricidad y, por tanto, de energía térmica, muy parecidas. Con la misma energía térmica se puede cubrir más demanda de calefacción donde ésta es menor. En A3, zona donde menos calefacción se demanda, hay una disminución del 50% mientras que en E1 apenas se reduce un 10%.

A continuación se muestra la tabla de los porcentajes que se reducen los cálculos realizados a partir de los resultados, es decir, los consumos final y primario de energía y las emisiones de CO₂. Al igual que en la tabla anterior, los valores negativos indican que aumenta el consumo de Convencional a Completo:

Zona climática	A3	B4	C2	D3	E1
Consumo final electricidad	96.98%	96.78%	97.35%	97.98%	97.68%
Consumo final gas natural	-4677.28%	-1659.72%	-638.76%	-395.11%	-277.53%
Consumo final energía	-110.16%	-103.46%	-84.95%	-81.32%	-69.55%
Consumo primario electricidad	96.98%	96.78%	97.35%	97.98%	97.68%
Consumo primario gas natural	-4677.28%	-1659.72%	-638.76%	-395.11%	-277.53%
Consumo primario energía	-8.02%	-8.56%	-5.93%	-10.88%	-9.27%
Emisiones CO2 electricidad	96.98%	96.78%	97.35%	97.98%	97.68%
Emisiones CO2 gas natural	-4677.28%	-1659.72%	-638.76%	-395.11%	-277.53%
Emisiones CO2 energía	-49.98%	-48.40%	-40.54%	-42.94%	-37.48%

Tabla 4.9: Porcentajes de reducción de los cálculos de Convencional a Completo para cada zona.

Observando la tabla se puede comprobar que los consumos y emisiones debidos a la electricidad disminuyen ya que disminuye el consumo eléctrico final (demanda eléctrica de la red) mientras que los consumos y emisiones debidos al gas natural y al total de energía aumentan debido a que en Completo hay mayor consumo de gas natural debido a los motores de micro-cogeneración. Por tanto, todo esto se justifica con la incorporación de los motores que, por un lado, permiten reducir el consumo de electricidad pero, por otro lado, necesitan gas natural para operar.

Justificando los porcentajes de los consumos finales de electricidad, gas natural y energía total se justifican los de los demás parámetros puesto que se calculan a partir de los consumos finales.

El consumo de gas natural final es la suma del consumo de gas natural en la caldera y en los motores. Como se ha explicado anteriormente, debido al circuito de recuperación de calor de los motores, el consumo de gas natural de la caldera disminuye pero la caldera consume tan poco gas natural comparado con los motores (dos motores de 100kW cada uno) que esa reducción no tiene una gran repercusión ya que el consumo final de gas natural aumenta del caso Convencional al Completo. El consumo de gas natural supone entre el 75% y el 100% del consumo final de gas natural, es decir, prácticamente el consumo total de gas natural.

La diferencia de aumento, de Convencional a Completo, del consumo final de gas natural entre A3 y E1 se debe a que en Convencional el consumo de gas natural en A3 era mucho menor que en E1 mientras que en Completo, debido al peso del consumo de los motores, el consumo de gas natural varía poco entre zonas.

El consumo final de energía, al igual que el consumo final de gas natural, también aumenta de Convencional a Completo aunque lo hace con un porcentaje menor ya que no sólo depende del gas natural, sino también de la electricidad que, al contrario que el gas natural, disminuye de un caso a otro. Esto se debe a que el consumo de gas natural supone entre el 98% y el 99% del consumo final de energía, es decir, casi su totalidad.

El consumo final de electricidad disminuye aproximadamente lo mismo en cada una de las zonas climáticas mientras que el aumento en el consumo final de gas natural respecto a Convencional si presenta grandes cambios entre una zona climática y otra como se explica en el párrafo anterior. Por tanto, debido a la gran influencia que tiene el consumo final de gas natural en el consumo final de energía, este consumo aumenta respecto al caso Convencional como lo hace el consumo de gas natural. El grado de aumento del consumo final de energía entre el caso Convencional y Completo está en torno al doble para cada zona climática.

En cuanto a los porcentajes para el consumo primario y emisiones de CO₂ son los mismos para electricidad y gas que en el consumo final ya que sólo se multiplican por un único factor de conversión mientras que para el total de energía los porcentajes cambian al depender de dos factores de conversión.

4.2.3.3 Comparación de resultados entre Completo y Convencional + FV

Debido a que el caso Convencional + FV es muy similar al Convencional hay muchas comparaciones entre Completo y Convencional + FV que serán iguales a las que se han hecho con el caso Convencional, por lo que

no se volverán a hacer para aquellos resultados que sean los mismos en ambos casos. Por tanto, no se harán las comparaciones con los siguientes parámetros: consumos de refrigeración, calefacción, bombas, edificio y gas natural necesario para el funcionamiento de la caldera.

Además, tampoco se puede comparar la producción fotovoltaica ya que en ambos casos se instala un mismo campo solar fotovoltaico, ni las potencias de los motores y el consumo de gas natural de los motores porque ambos resultados solo aparecen en el caso Completo. Por consiguiente, sí se comparan los siguientes parámetros: demanda eléctrica de la red, balance de energía y autosuficiencia fotovoltaica. Además se comparan los cálculos realizados a partir de los resultados, es decir, el consumo primario y final y las emisiones de CO₂ para electricidad, gas natural y energía total.

Para el cálculo del balance de energía se emplea la misma forma en ambos casos, la única diferencia es que en el caso Completo el consumo de las bombas es mayor al incluir una unidad más.

$$\text{Balance energía} = (\text{Cons. bomba} + \text{Cons. edif} + \text{Cons. enfriadora}) - \text{Prod. FV}$$

Debido a que el consumo de bombas es mayor el balance de energía será mayor, aunque muy poco debido a que el consumo de las bombas es un término muy pequeño, en el caso Completo. El aumento es mayor en zonas donde más demanda de calefacción hay debido a que las bombas también consumen más.

La demanda eléctrica de la red en el caso Completo es mucho menor que en el caso Convencional + FV debido a la incorporación de los motores de micro-cogeneración. Esta demanda tiene una reducción de Convencional + FV a Completo de casi la mitad y muy similar en todas las zonas climáticas debido a que los motores producen una energía eléctrica muy parecida en cada zona. Además, estos porcentajes son casi iguales a los porcentajes que se reduce la demanda eléctrica de la red en la comparación Convencional-Completo ya que la única diferencia entre Convencional y Convencional + FV es el campo solar fotovoltaico, cuya producción es mucho menor que la producción eléctrica de los motores de micro-cogeneración. A continuación se muestran las fórmulas de demanda eléctrica para cada uno de los tres casos:

$$\text{Dem. elec. red (Convencional)} = \text{Cons. bomba} + \text{Cons. edif} + \text{Cons. enfriadora}$$

$$\text{Dem. eléct. red (C + FV)} = (\text{Cons. bomba} + \text{Cons. edif} + \text{Cons. enfriadora}) - \text{Prod. FV}$$

$$\text{Dem. elec. red (Comp)} = (\text{C. bomba} + \text{C. edif} + \text{C. enfriadora}) - \text{Prd. FV} - \text{Pot. mot}$$

En la siguiente tabla se muestra la diferencia de porcentajes en los que se reduce la demanda eléctrica de la red de los casos Convencional + FV y Convencional al caso Completo:

Zona climática	A3	B4	C2	D3	E1
Convencional	96.98%	96.78%	97.35%	97.98%	97.68%
Convencional + FV	96.26%	96.09%	96.80%	97.57%	97.23%

Tabla 4.10: Porcentajes de reducción de la demanda eléctrica de red respecto al caso Completo en cada zona.

Hay una mayor reducción de la demanda eléctrica de la red con respecto al Convencional que con respecto al Convencional + FV ya que en el Convencional se demanda más electricidad de la red.

Atendiendo a la fórmula de la autosuficiencia fotovoltaica, el caso Convencional + FV y el caso Completo divergen en los consumos de las bombas, pues en el caso Completo este consumo es mayor por lo que la autosuficiencia fotovoltaica debe ser menor. Como se ha expuesto anteriormente, el consumo de las bombas es mucho menor que los otros dos términos que se encuentran en el denominador de la fórmula por lo que tiene una influencia pequeña en el cálculo de la autosuficiencia FV (esto se puede apreciar en la tabla de porcentajes). Los valores de los porcentajes son mayores en las zonas D3 y E1 debido a que las bombas consumen más que en los otros casos, por tanto, la autosuficiencia fotovoltaica es menor. Esto hace que la diferencia con respecto a los valores obtenidos en el caso Convencional + FV sea mayor.

$$\text{Autosuficiencia FV (\%)} = \frac{\text{Producción FV}}{\text{Cons. Bombas} + \text{Cons. Edificio} + \text{Cons. Enfriadora}} * 100$$

Se muestra la tabla en la que se recogen los porcentajes de los tres resultados que se comparan:

Zona climática	A3	B4	C2	D3	E1
Demanda eléctrica red	96.26%	96.09%	96.80%	97.57%	97.23%
Balance energía	-0.01%	-0.03%	-0.08%	-0.13%	-0.18%
Autosuficiencia fotovoltaica	0.01%	0.02%	0.06%	0.11%	0.15%

Tabla 4.11: Porcentajes de reducción de los resultados de Convencional + FV a Completo para cada zona.

La siguiente tabla muestra la comparación de los cálculos. El signo negativo representa que aumenta el consumo o las emisiones del caso Convencional + FV al caso Completo:

Zona climática	A3	B4	C2	D3	E1
Consumo final electricidad	96.26%	96.09%	96.80%	97.57%	97.23%
Consumo final gas natural	-4677.28%	-1659.72%	-638.76%	-395.11%	-277.53%
Consumo final energía	-157.54%	-140.99%	-112.66%	-102.95%	-86.34%
Consumo primario electricidad	96.26%	96.09%	96.80%	97.57%	97.23%
Consumo primario gas natural	-4677.28%	-1659.72%	-638.76%	-395.11%	-277.53%
Consumo primario energía	-33.05%	-30.05%	-24.47%	-27.52%	-23.64%
Emisiones CO₂ electricidad	96.26%	96.09%	96.80%	97.57%	97.23%
Emisiones CO₂ gas natural	-4677.28%	-1659.72%	-638.76%	-395.11%	-277.53%
Emisiones CO₂ energía	-84.35%	-76.94%	-63.57%	-62.36%	-53.44%

Tabla 4.12: Porcentajes de reducción de los cálculos de Convencional+FV a Completo en cada zona.

El consumo final de electricidad se justifica de la misma forma que la demanda eléctrica de la red ya que se trata del mismo cálculo pero con distinto nombre. El consumo final de electricidad disminuye del caso Convencional + FV al Completo debido a que en este caso hay una nueva parte que produce electricidad, motores. Esto mismo ocurre con los dos otros parámetros que son función de la electricidad (consumo primario y emisiones) y además se reducen el mismo porcentaje. En cuanto al consumo final de gas natural, los porcentajes aumentan en el caso Completo y además se obtienen los mismo valores que en la comparación Completo VS Convencional, pues Convencional y Convencional + FV tienen el mismo consumo de gas natural. Por tanto, esto queda justificado de la misma forma que la comparación Completo-Convencional.

Por último, el consumo final de energía aumenta para el caso Completo como lo hace el consumo final de gas natural aunque lo hace con un porcentaje menor ya que depende tanto del gas natural como de la electricidad, cuyo consumo final disminuye en este caso. Aun disminuyendo el consumo de electricidad, el consumo final de energía aumenta debido a que el consumo final de energía se debe casi en su totalidad al consumo final de gas natural. A3 es la zona climática donde más aumenta mientras que E1 es la que menos.

El consumo final de energía aumenta más del caso Convencional + FV al Completo que del caso Convencional al Completo debido a que en Convencional + FV hay menos consumo final de electricidad y el consumo final de gas natural es el mismo en ambos casos. Se muestra una tabla con dichos aumentos:

Zona climática	A3	B4	C2	D3	E1
Convencional VS Completo	2.10	2.03	1.85	1.81	1.70
Convencional + FV VS Completo	2.58	2.41	2.13	2.03	1.86
Convencional VS Completo	110.16%	103.46%	84.95%	81.32%	69.55%
Convencional + FV VS Completo	157.54%	140.99%	112.66%	102.95%	86.34%

Tabla 4.13: Porcentajes y grados de aumento del consumo final de energía en el caso Completo en cada zona.

4.2.4 Conclusiones de los resultados

- El consumo de las enfriadoras (consumo de refrigeración) es el mismo en los tres casos ya que refrigeración no depende de ninguna de las partes que se modifican de un caso de estudio a otro.
- El consumo eléctrico del edificio es el mismo en los tres casos al tratarse del mismo edificio de estudio.
- En los casos Convencional + FV y Completo no hay excedente de electricidad en la producción fotovoltaica, para el horario de funcionamiento de 24 horas, ya que la máxima producción fotovoltaica no supera ni la demanda eléctrica del edificio.
- Los parámetros consumo de la caldera y consumo de gas natural para el funcionamiento de la caldera son iguales en los casos Convencional y Convencional + FV, mientras que el caso Completo es el que menores consumos tiene debido a la incorporación de los motores de micro-cogeneración.
- El consumo de las bombas es igual en Convencional y Convencional + FV y menor que en Completo debido a que este último caso emplea una bomba más.
- La producción fotovoltaica es la misma en Convencional + FV y Completo debido a que el campo de paneles fotovoltaicos es el mismo.
- El balance de energía es igual a la demanda eléctrica de la red en los casos Convencional y Convencional + FV mientras que obtienen valores diferentes en el caso Completo ya que se incluyen motores de micro-cogeneración que generan electricidad (además de paneles fotovoltaicos).
- El balance de energía es mayor en el caso Convencional que en los casos Convencional + FV y Completo, que obtienen valores muy próximos, puesto que en Convencional no hay producción fotovoltaica. Sin embargo, el balance de energía es un poco mayor en Completo que en Convencional + FV debido al mayor consumo de las bombas en Completo.
- La demanda eléctrica de la red sigue el siguiente orden: Convencional > Convencional + FV > Completo. Esto se debe a que Convencional lo demanda todo de la red mientras que en Convencional + FV y Completo hay campo solar fotovoltaico y motores de gas natural + campo solar fotovoltaico, respectivamente.
- La autosuficiencia fotovoltaica obtiene valores similares en Convencional + FV y Completo. Esos valores no son exactamente igual debido al mayor consumo de bombas en Completo.
- El consumo final de electricidad es igual a la demanda eléctrica de la red en todos los casos, por tanto, sigue este orden: Convencional > Convencional + FV > Completo. Lo mismo ocurre en el consumo eléctrico primario y emisiones de CO₂ debido a la electricidad.
- El consumo final de gas natural es igual en los casos Convencional y Convencional + FV ya que solo consume gas natural la caldera. Este consumo es mayor en el Completo puesto que además del gas natural de la caldera se necesita gas natural para los motores. Por tanto, los motores permiten consumir menos electricidad pero a su vez aumenta el consumo de gas natural. Lo mismo ocurre en el consumo de gas natural primario y emisiones de CO₂ debido al gas natural.
- El consumo final de energía es mayor en Completo que en Convencional y Convencional + FV debido al gran consumo de gas natural de los motores, aunque disminuyan el consumo de electricidad. Entre los otros dos casos, el Convencional tiene un mayor consumo final de energía ya que ambos tienen el mismo consumo de gas natural pero el Convencional + FV tiene un consumo eléctrico menor. Por tanto el orden es: Completo > Convencional > Convencional + FV. Lo mismo ocurre en el consumo primario de energía y emisiones de CO₂ debido al total de energía.
- Para los casos de estudio Convencional y Convencional + FV, los parámetros que dependen del volumen del depósito de acumulación (consumo de calefacción, consumo final de gas natural, consumo final de energía, consumo primario de gas natural, consumo primario de energía, emisiones CO₂ debido al gas natural, emisiones CO₂ total) presentan mayores valores para menores volúmenes

del depósito (en cada una de las zonas climáticas), es decir, una instalación con un volumen de 5m³ es la que menores consumos y emisiones de CO₂ presenta.

- Para el caso de estudio Completo, los parámetros que tienen una variación detectable con el volumen del depósito de acumulación son: consumo de calefacción, consumo de bombas, consumo final de gas natural, consumo final de energía, consumo primario de gas natural, consumo primario de energía, emisiones de CO₂ debido al gas natural, emisiones de CO₂ total y LCC). Todos ellos presentan mayores valores cuanto menor es el volumen del depósito excepto el consumo de bombas (presenta menores valores para el volumen de 2m³. Por tanto, una instalación con un volumen del depósito de acumulación de 5m³ es la que menores consumos (excepto de bombas) y emisiones de CO₂ presenta.

4.3 Cálculo del Coste del Ciclo de Vida

4.3.1 Cálculo del Coste del Ciclo de Vida

El Coste del Ciclo de Vida (CCV) o Life Cycle Costing (LCC) se puede definir como una herramienta que permite analizar todos los costes (directos e indirectos, variables y fijos) a un producto o servicio desde que se inicia la concepción de la idea hasta el final de su vida útil.

En nuestro caso, el LCC permite analizar los costes de la instalación de cada uno de los tres casos, Convencional, Convencional + FV y Completo, considerando una vida útil de 30 años.

La fórmula que se emplea para el cálculo del Coste del Ciclo de Vida es:

$$LCC (\text{€}) = \text{Inv. inicial} + \text{Cost. reemplazo} + (\text{Cost. operación} + \text{Cost. mant}) * \sum_{t=1}^{30} \frac{1}{(1+r)^t}$$

Donde t = año y r = tasa de inflación. Se considera una tasa de inflación del 3%.

- Inversión inicial: se considera que hay que hacer la compra de la parte fotovoltaica y de los motores de micro-cogeneración, es decir, 380 paneles, inversor y 2 motores de gas natural. Por otro lado, no hay que hacer una inversión en la caldera de calefacción, bombas, enfriadora y depósito de acumulación debido a que ya son parte de la instalación. Este término varía de un caso a otro, es decir, en Convencional no existe inversión inicial, se tiene la instalación hecha, en Convencional + FV se consideran los costes de los paneles e inversor y en Completo los costes de los paneles, inversor y motores. La inversión inicial se trata de un coste puntual, es decir, solo se considera una vez, cuando se realiza la compra de los equipos.
- Coste de reemplazo: debido a la vida útil de los paneles fotovoltaicos (25 años), inversor (20 años) y enfriadora (15 años) habría que reemplazar estos equipos una vez a lo largo de la vida útil considerada para la instalación (30 años). Por tanto, en el término de reemplazo en la fórmula, el coste de la enfriadora se considera en todos los casos mientras que los de inversor y paneles solo se incluyen en Convencional + FV y Completo. Al igual que la inversión inicial, el coste de reemplazo es un coste puntual al considerarse solo cuando se realiza el reemplazo de los equipos.
- Coste de operación: se define como el coste que se va a tener debido al consumo de electricidad de la red y de gas natural para alimentar la caldera y los motores de micro-cogeneración. Este término varía tanto entre los distintos casos como entre volúmenes del depósito de acumulación ya que se tienen diferentes consumos de gas natural y electricidad. Para su cálculo hay que multiplicar el consumo de gas natural y electricidad por su coste. El coste de operación se trata de un coste continuo ya que se encuentra presente los 30 años de vida útil de la instalación.
- Coste de mantenimiento: se estima como el 3% del coste de inversión. Por tanto, para su cálculo basta con multiplicar la inversión inicial por 0.03. Este coste, al igual que el coste de operación, es un coste continuo.

En la siguiente tabla se muestran los costes de los diferentes equipos empleados en la instalación y los precios de electricidad y gas natural:

Zona climática	A3	B4	C2	D3	E1
Enfriadora (€)	37800	43600	26900	32600	19083
Panel FV (€/panel)	250				
Inversor (€)	22100				
Motor GN (€/kWe)	3000				
Electricidad (€/kWh)	0.209				
Gas Natural (€/kWh)	0.068				

Tabla 4.14: Precios de los equipos de la instalación y las energías.

El coste del motor de micro-cogeneración viene expresado en € por cada kilovatio eléctrico del motor, por tanto, para el cálculo del coste de los motores habría que multiplicar $3000 \cdot 100 \cdot 2$ donde 100 es la potencia eléctrica del motor y 2 es el número de motores. En cuanto al coste del panel FV se refiere al coste de cada panel por lo que habría que multiplicar por el número total de paneles (380) para su cálculo.

Se puede observar en la tabla que sólo el coste de la enfriadora depende de la zona climática ya que cada zona tiene una determinada demanda de refrigeración y, por consiguiente, se necesitan enfriadoras de diferente potencia.

Además de calcular el LCC en € se va a expresar en €/m² y así poder comparar el Coste del Ciclo de Vida de esta instalación con otras instalaciones que tengan un área distinta. Para ello basta con dividir el LCC (€) entre el área del edificio (6629 m²).

En las siguientes tablas se muestran los costes y el cálculo del LCC para cada caso de estudio y zona climática. Los valores que aparecen en las tablas corresponden a un volumen del depósito de acumulación de 1 m³ para abreviar las tablas y debido a que apenas hay diferencias con otros volúmenes. Los resultados para el resto de volúmenes del depósito acumulador están contenidos en el anexo de *Cálculo del Coste del Ciclo de Vida*.

Caso	Convencional				
	A3	B4	C2	D3	E1
Zona climática					
Costes de inversión (€)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costes de reemplazo (€)	37800.00	43600.00	26900.00	32600.00	19083.00
Costes de operación (€)	196047.85	215463.76	206860.66	227626.24	231462.20
Costes de mantenimiento (€)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
LCC (€/m ²)	585.33	643.61	615.66	677.91	687.21
LCC (€)	3880424.42	4266784.83	4081460.28	4494174.80	4555844.26

Tabla 4.15: Resultados de los costes y el LCC (volumen de depósito=1m³) en cada zona. Caso Convencional.

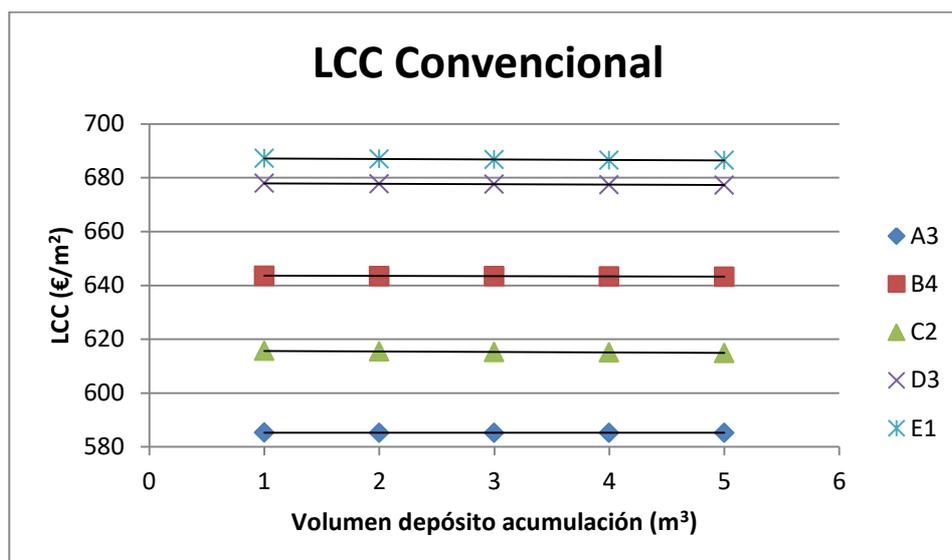


Figura 4.19: Resultados del LCC para cada zona y volumen de depósito. Caso Convencional.

Caso	Convencional + FV				
	A3	B4	C2	D3	E1
Costes de inversión (€)	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00
Costes de reemplazo (€)	154900.00	160700.00	144000.00	149700.00	136183.00
Costes de operación (€)	158891.24	179108.69	174491.01	195486.47	201637.21
Costes de mantenimiento (€)	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00
LCC (€/m²)	521.19	581.84	565.67	628.60	644.75
LCC (€)	3455194.75	3857265.65	3750057.09	4167277.44	4274317.65

Tabla 4.16: Resultados de costes y LCC (volumen de depósito=1m³) en cada zona. Caso Convencional+FV.

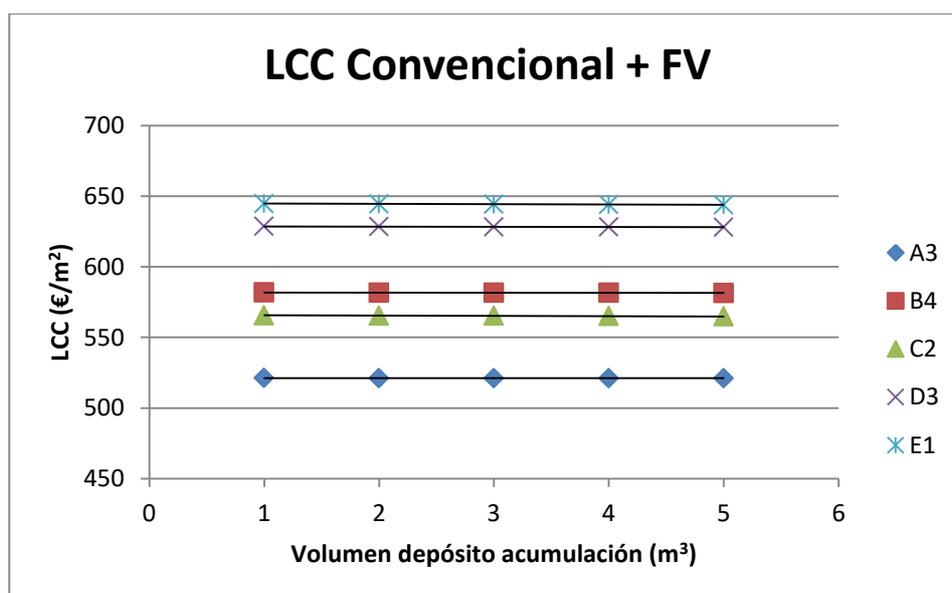


Figura 4.20: Resultados del LCC para cada zona y volumen de depósito. Caso Convencional + FV.

Caso	Completo				
Zona climática	A3	B4	C2	D3	E1
Costes de inversión (€)	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00
Costes de reemplazo (€)	154900.00	160700.00	144000.00	149700.00	136183.00
Costes de operación (€)	142029.51	159007.44	152781.45	180556.58	185455.81
Costes de mantenimiento (€)	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00
LCC (€/m ²)	615.06	666.13	645.20	728.18	740.63
LCC (€)	4077505.29	4416080.31	4277348.06	4827453.03	4909962.98

Tabla 4.17: Resultados de los costes y el LCC (volumen de depósito=1m³) para cada zona. Caso Completo.

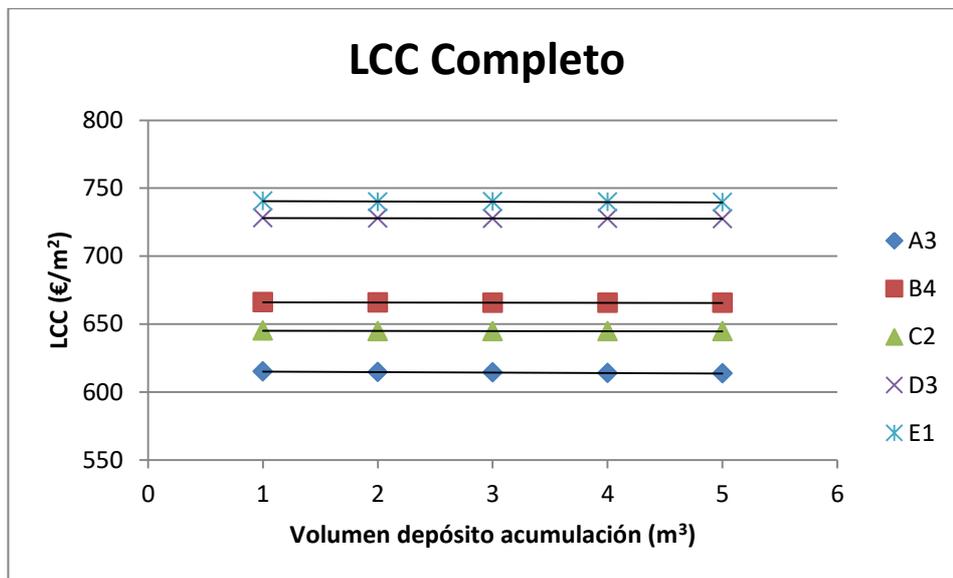


Figura 4.21: Resultados del LCC para cada zona y volumen de depósito. Caso Completo.

4.3.2 Comparación del LCC entre estrategias de operación

Observando las tablas *Tabla 15*, *Tabla 16* y *Tabla 17* se pueden comparar los tres casos:

Los costes de inversión son menor en Convencional, debido a que no hay que hacer ninguna inversión, que en los otros dos casos. Entre Convencional + FV y Completo, Completo tiene una mayor inversión inicial ya que hay que hacer la compra de dos motores de gas natural. Además, en Convencional + FV y Completo todas las zonas climáticas tienen la misma inversión ya que el campo solar fotovoltaico y los motores son los mismos para cada zona.

En cuanto a los costes de reemplazo, Convencional es el que menos coste tiene ya que solo hay que reemplazar la enfriadora mientras que en Completo y Convencional + FV hay que reemplazar los paneles fotovoltaicos y el inversor, además de la enfriadora. Por tanto, Completo y Convencional tienen el mismo coste de reemplazo. Las zonas climáticas con mayor coste de reemplazo van a ser aquellas en las que la demanda de refrigeración sea mayor ya que las enfriadoras son de mayor potencia y, por tanto, más caras. Las enfriadoras tienen distintos precios en cada zona climática mientras que la parte fotovoltaica es la misma, por tanto, las enfriadoras determinan la diferencia de costes entre zonas.

Los costes de mantenimiento y los costes de operación tienen mayor peso en el cálculo del LCC ya que se encuentran presentes durante los 30 años de vida útil de la instalación mientras que la inversión inicial y el coste de reemplazo solo se considera una vez (al principio y cuando haya que reemplazar el equipo). El coste de mantenimiento se considera el 3% de la inversión inicial, por tanto, la diferencia entre los distintos casos se justifica de la misma forma que la inversión inicial.

Por último, el coste de operación depende del consumo de energía en cada caso y zona climática. Como se expone en los apartados en los que se comparan los resultados de los distintos casos, el consumo de electricidad es mayor en Convencional y, entre Convencional + FV y Completo, el primero tiene mayor consumo de electricidad (Convencional>Convencional+FV>Completo). Por otro lado, el consumo de gas natural es mayor en Completo mientras que Convencional y Convencional + FV tienen el mismo consumo (Completo>Convencional+FV=Convencional). En cuanto al consumo total de energía, Completo es el de mayor consumo debido al gran consumo de gas natural mientras que entre Convencional y Convencional + FV, Convencional tiene mayor consumo de energía total al tener un mayor consumo de electricidad (Completo>Convencional>Convencional+FV).

Además del consumo total de energía hay que tener en cuenta el precio por kWh de cada tipo de energía, y la electricidad tiene un precio mayor que el gas natural (0.209€/kWh > 0.068€/kWh), es decir, la electricidad tiene un precio tres veces mayor. Debido a esta gran diferencia de precios entre las dos energías, el caso Convencional es el que mayor coste de operación tiene debido al gran consumo de electricidad, luego le sigue Convencional + FV y, por último, Completo, aunque consuma mucha cantidad de gas natural y tenga mayor consumo de energía total. Comparando este coste entre zonas climáticas: E1>D3>B4>C2>A3. En la siguiente tabla se muestra el porcentaje que aumenta el coste de operación de cada zona con respecto a la de menor coste (A3) para cada caso:

Zona climática	A3	B4	C2	D3	E1
Convencional	0.00%	9.90%	5.52%	16.11%	18.06%
Convencional + FV	0.00%	12.72%	9.82%	23.03%	26.90%
Completo	0.00%	11.95%	7.57%	27.13%	30.58%

Tabla 4.18: Porcentajes de aumento del coste de operación de A3 al resto de zonas para cada caso de estudio.

Dentro de cada zona climática hay cambios en el coste de operación de un volumen del depósito de acumulación a otro. 1 m³ es el volumen de depósito de acumulación para el cual este coste es mayor mientras que 5 m³ es el volumen que menor coste de operación tiene, aunque la diferencia entre un volumen y otro es mínima. Esto se debe a que cuanto mayor es el volumen del depósito menos consumo de la caldera existe y, por tanto, menos consumo de gas natural. Por otro lado, esta variación del coste se aprecia más en zonas climáticas donde se demanda más calefacción como por ejemplo D3 y E1 donde el coste se reduce, de 1 m³ a 5 m³, un 0.15% mientras que en A3 se reduce un 0.03%. Atendiendo a los porcentajes, el coste de operación no varía apenas entre los diferentes volúmenes del depósito.

En cuanto al Coste del Ciclo de Vida, éste es mayor en el caso Completo siendo seguido por Convencional y Convencional + FV, en ese orden. Este orden se debe en gran medida a los costes de operación y mantenimiento ya que son los que están presentes a lo largo de la vida útil de la instalación. Aunque Convencional tiene mayor coste de operación que Convencional + FV y Completo, no presenta coste de mantenimiento, por tanto, esto hace que su LCC baje mucho.

Por otro lado, Completo es el que menos coste de operación presenta pero este coste varía muy poco con respecto a los otros dos casos (0.25 respecto a Convencional y 0.1 respecto a Convencional + FV). Sin embargo, Completo es el que más coste de mantenimiento presenta, además con gran diferencia, tiene un coste de mantenimiento cinco veces superior al de Convencional + FV. Esto hace que Completo sea el que tiene mayor LCC. Tiene un LCC aproximadamente 0.05 veces mayor que Convencional y sobre 0.15 veces mayor que Convencional + FV. Esto indica que Convencional tiene un LCC mayor que Convencional + FV. Por consiguiente, el orden entre casos para el LCC es: Completo>Convencional>Convencional+FV.

En las siguientes tablas se muestran los porcentajes de variación de Completo con respecto a Convencional y Convencional + FV, y Convencional + FV respecto a Convencional en los diferentes costes y LCC. En la comparación del caso Completo con los otros dos casos, el signo negativo indica que los costes aumentan para el caso Completo mientras que en la comparación Convencional+FV-Convencional, el signo negativo indica que los costes aumentan para Convencional + FV.

Caso	Convencional + FV VS Convencional				
	A3	B4	C2	D3	E1
Zona climática					
Costes de inversión (€)	-	-	-	-	-
Costes de reemplazo (€)	-309.79%	-268.58%	-435.32%	-359.20%	-613.64%
Costes de operación (€)	18.95%	16.87%	15.65%	14.12%	12.89%
Costes de mantenimiento (€)	-	-	-	-	-
LCC (€/m2)	10.96%	9.60%	8.12%	7.27%	6.18%
LCC (€)	10.96%	9.60%	8.12%	7.27%	6.18%

Tabla 4.19: Porcentajes que varían los costes y LCC entre Convencional + FV y Convencional para cada zona.

Caso	Completo VS Convencional				
	A3	B4	C2	D3	E1
Zona climática					
Costes de inversión (€)	-	-	-	-	-
Costes de reemplazo (€)	-309.79%	-268.58%	-435.32%	-359.20%	-613.64%
Costes de operación (€)	27.55%	26.20%	26.14%	20.68%	19.88%
Costes de mantenimiento (€)	-	-	-	-	-
LCC (€/m2)	-5.08%	-3.50%	-4.80%	-7.42%	-7.77%
LCC (€)	-5.08%	-3.50%	-4.80%	-7.42%	-7.77%

Tabla 4.20: Porcentajes que varían los costes y el LCC entre Completo y Convencional para cada zona.

Caso	Completo VS Convencional + FV				
	A3	B4	C2	D3	E1
Zona climática					
Costes de inversión (€)	-512.38%	-512.38%	-512.38%	-512.38%	-512.38%
Costes de reemplazo (€)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Costes de operación (€)	10.61%	11.22%	12.44%	7.64%	8.03%
Costes de mantenimiento (€)	-512.38%	-512.38%	-512.38%	-512.38%	-512.38%
LCC (€/m2)	-18.01%	-14.49%	-14.06%	-15.84%	-14.87%
LCC (€)	-18.01%	-14.49%	-14.06%	-15.84%	-14.87%

Tabla 4.21: Porcentajes que varían los costes y el LCC entre Completo y Convencional + FV para cada zona.

Las celdas en las que se muestra (-) es porque los costes para Convencional son cero y no se puede calcular el porcentaje que aumenta o disminuye dichos costes con respecto a Convencional. La diferencia de dichos costes es mayor entre Completo y Convencional que entre Convencional + FV y Convencional.

4.3.3 Comparación del LCC entre zonas climáticas

Además el LCC varía de una zona climática a otra y se ordena de la misma forma que lo hacía el coste de operación ya que junto con el coste de mantenimiento es el que más influencia tiene en dicho cálculo pero este último coste no varía de una zona climática a otra. Además, el coste de inversión tampoco varía entre zonas y el coste de reemplazo varía debido a las enfriadoras pero solo se considera una vez a lo largo de los treinta años. Por tanto, el orden es: E1>D3>B4>C2>A3 y los porcentajes que aumenta el LCC en las zonas climáticas respecto a A3 son parecidos a los que se tienen en el coste de operación:

Zona climática	A3	B4	C2	D3	E1
Convencional	0.00%	9.96%	5.18%	15.82%	17.41%
Convencional + FV	0.00%	11.64%	8.53%	20.61%	23.71%
Completo	0.00%	8.30%	4.90%	18.39%	20.42%

Tabla 4.22: Porcentajes de aumento del LCC de A3 al resto de zonas para cada caso de estudio.

Dentro de cada zona climática, como ocurre en el coste de operación, hay cambios en el LCC de un volumen del depósito de acumulación a otro. Asimismo, se obtienen resultados prácticamente iguales: LCC es mayor para 1 m³ de volumen de depósito mientras que es menor para 5 m³, aunque la diferencia entre un volumen y otro es mínima.

4.3.4 Conclusiones del Coste del Ciclo de Vida

- Los costes de operación y los de mantenimiento son los que tienen un mayor peso en el cálculo del LCC ya que son los que se encuentran presentes durante los 30 años de vida útil de la instalación.
- El LCC es mayor en el caso Completo que en Convencional + FV y Convencional debido, principalmente, a una alta inversión y a los mayores costes de mantenimiento. Por otro lado, Convencional + FV es el caso de menor LCC ya que es el caso que menor coste de operación presenta.
- Comparando el LCC entre zonas climáticas, los únicos costes que varían de una zona a otra son los costes de operación y los de reemplazo, pues los costes de inversión y de mantenimiento son los mismos para cada zona climática (dentro de una misma estrategia de operación). Por tanto, E1 es la zona climática que mayor LCC presenta para cada estrategia de operación debido a que es la que mayor coste de operación presenta.
- El LCC tiene un cambio mínimo en sus resultados cuando se varía el volumen del depósito de acumulación.

4.4 Consumos de energía primaria, emisiones de CO₂ y Coste del Ciclo de Vida

Uno de los objetivos del trabajo es analizar tres parámetros claves y, a partir de ellos, considerar que estrategia de operación es la idónea para cada una de las zonas climáticas que se estudian. Esos tres parámetros son los siguientes:

- Consumo primario de energía
- Emisiones de CO₂
- Coste del Ciclo de Vida

A continuación se muestran tres gráficas en las que se comparan los tres parámetros entre sí y las cuales permitirán elegir qué estrategia de operación es la mejor solución para cada zona climática.

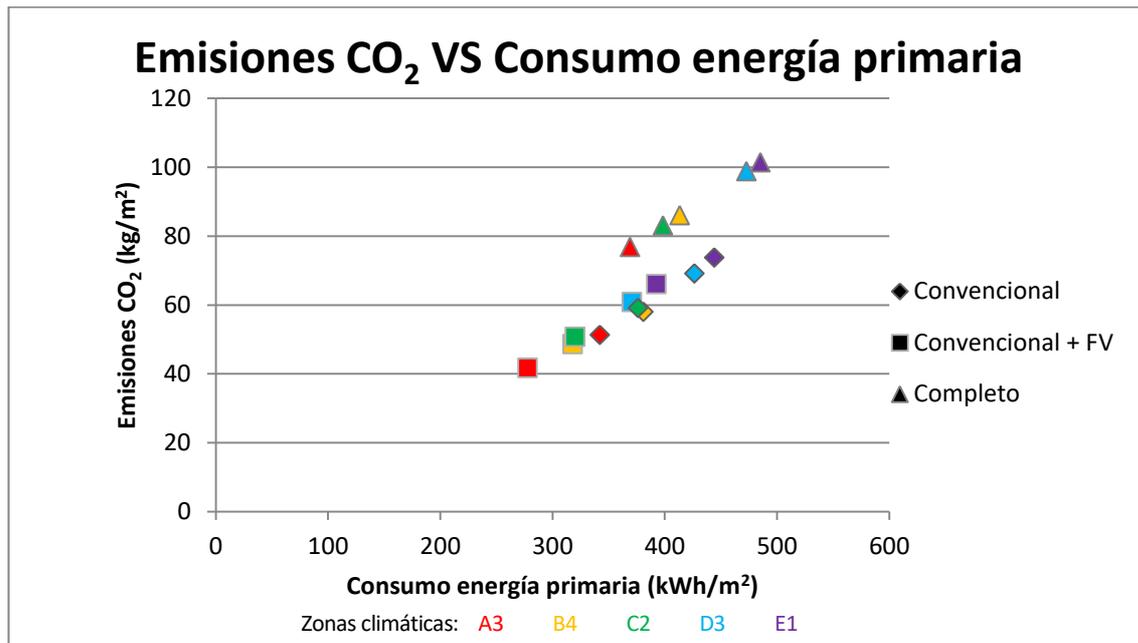


Figura 4.22: Emisiones de CO₂ VS Consumo primario de energía para cada zona climática y caso de estudio.

En la gráfica se comparan las emisiones de CO₂ por unidad de área, representadas en el eje de ordenadas y el consumo primario de energía por unidad de área, representado en el eje de abscisas. Ambos parámetros se compararan para cada estrategia de operación y zona climática. Los valores de cada uno de los dos parámetros se corresponden con los obtenidos para un volumen del depósito de inercia de 3m³.

Centrándose en cada una de las tres estrategias de operación, la zona climática A3 es la que menor consumo de energía primaria tiene y menos CO₂, por tanto, es la ubicación idónea para instalar cualquiera de las tres instalaciones que se estudian en lo que a consumo de energía primaria y emisiones de CO₂ se refiere. Por el contrario, E1 es la peor zona climática atendiendo a estos dos parámetros ya que se obtienen las mayores cantidades.

Prestando atención en el resto de zonas climáticas, B4 y C2 son las que presentan más complicaciones a la hora de seleccionar una de las dos para instalar cualquiera de las tres estrategias ya que tienen unas emisiones de CO₂ y un consumo primario de energía muy parecidos. Para el caso Convencional, B4 presenta consumo de energía primaria un poco mayor que C2 mientras que C2 tiene unas emisiones de CO₂ ligeramente superiores, por tanto, habría que hacer un análisis un poco más profundo y considerar más parámetros para poder elegir una u otra zona climática. Para Convencional + FV, B4 es una zona levemente mejor para instalar este tipo de estrategia, pues tiene unas emisiones y un consumo un poco menores que C2. Para el caso Completo, se ve de forma más clara que C2 es una mejor solución que B4.

Por tanto, para todos los diferentes tipos de instalaciones, A3 es la zona adecuada para hacer llevar a cabo dicha instalación mientras que D3 y E1 son las peores soluciones. En cuanto a las zonas climáticas B4 y C2, hay más dudas a la hora de elegir una u otra.

Si se comparan los tres casos de estudio, para cada zona climática, Convencional + FV es el que menos consumo de energía y emisiones de CO₂ presenta mientras que Completo es el que obtiene mayores valores. Por tanto, la instalación Convencional + FV es la idónea para cada una de las distintas ubicaciones en cuanto a consumo primario de energía y emisiones.

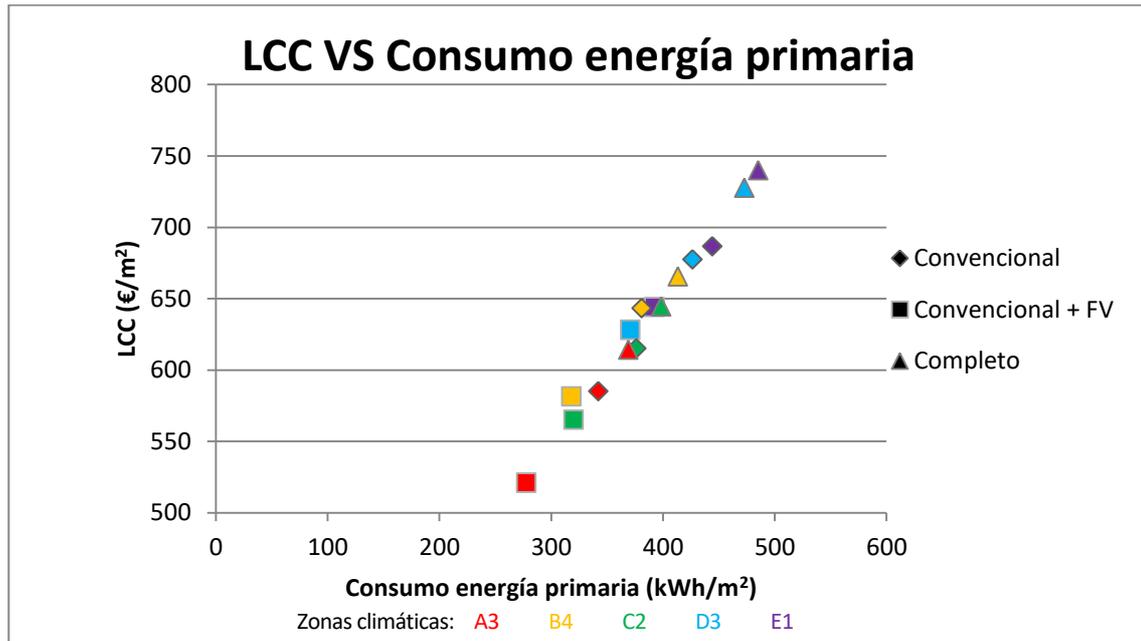


Figura 4.23: LCC VS Consumo primario de energía para cada zona climática y caso de estudio.

En esta gráfica se representa en el eje de abscisas, al igual que en la gráfica anterior, el consumo de energía primaria por unidad de área y en el eje de ordenadas el Coste del Ciclo de Vida por unidad de área. Como ocurre en la gráfica comentada anteriormente, los valores de cada uno de los dos parámetros se corresponden con los obtenidos para un volumen del depósito acumulador de 3m³.

Como se puede observar en la gráfica, para cada uno de los casos de estudio, la zona climática A3 es la que presenta menor consumo de energía primaria y menor LCC, por lo que es mejor opción para instalar cualquiera de las tres instalaciones en cuanto a LCC y consumo de energía primaria. Por el contrario, E1 es la peor opción.

Al igual que se hace en la gráfica anterior, considerando las demás zonas climáticas se puede apreciar que D3 es la que presenta peores LCC y consumo de energía primaria después de E1. En los casos de estudio Convencional y Completo, la zona climática C2 es ligeramente mejor que B4 en cuanto a consumo de energía primaria mientras que B4 es levemente mejor para el caso Convencional + FV. Si se observa el eje de ordenadas, es decir, los valores de LCC, B4 presenta mayores valores que C2 para todas las zonas climáticas, por lo que B4 es menos viable económicamente. Por tanto, si hubiese que elegir una de las dos ubicaciones para instalar alguna de los tres tipos de instalaciones, B4 sería la zona elegida para instalar Convencional y Completo. En cambio, habría dudas a la hora de instalar Convencional + FV puesto que C2 presenta un menor LCC y B4 menor consumo de energía primaria.

Si se analizan los tres casos de estudios en cada una de las cinco ubicaciones del edificio, al igual que ocurre en la comparación de las emisiones de CO₂ y el consumo primario de energía, Convencional + FV es la estrategia idónea para instalar en cualquiera de las cinco zonas mientras que Completo es la peor solución.

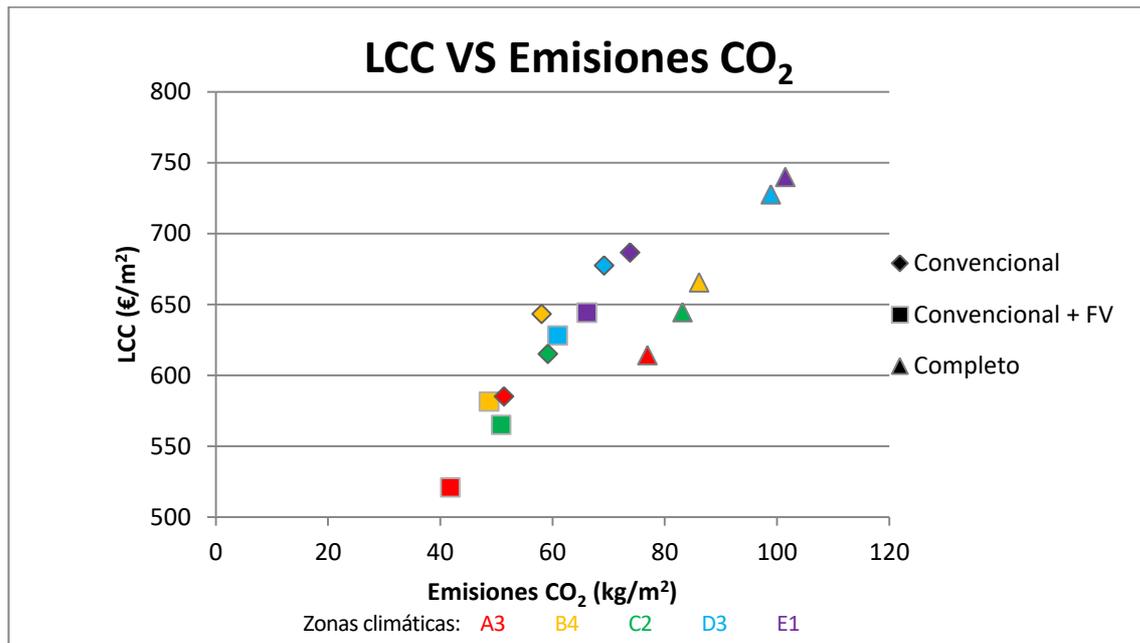


Figura 4.24: LCC VS Emisiones de CO₂ para cada zona climática y caso de estudio.

En esta gráfica se representan dos parámetros que ya han sido estudiados en las dos gráficas anteriores. En este caso, el eje de abscisas equivale al Coste del Ciclo de Vida por unidad de área mientras que el eje de ordenadas se corresponde con las emisiones de CO₂ por unidad de área. Se va a analizar qué estrategia de operación y que zona climática son las más adecuadas en cuanto a estos dos parámetros.

Como ya se ha expuesto anteriormente, la zona climática A3 es la más adecuada para llevar a cabo cualquiera de los tres casos de estudio en cuanto a LCC y emisiones ya que presenta los valores más bajos mientras que E1 es siempre la más desfavorable. En cuanto a estrategias de operación, en todas las zona climática, el caso Convencional + FV presenta los valores mínimos de cada uno de los dos parámetros, por tanto, es la mejor solución en cualquier ubicación mientras que Completo es la que presenta mayores valores de LCC y emisiones de CO₂.

En conclusión, atendiendo a estos tres parámetros considerados, Cádiz (A3) sería la mejor zona para realizar cualquiera de las tres instalaciones, si se tuviera que elegir entre algunas de las cinco zonas climáticas, ya que es donde menos emisiones de CO₂ existen y la que menores consumo de energía primaria y LCC presenta. Es decir, es la más rentable económicamente, tiene el menor consumo y, además, es la más respetuosa con el medioambiente. Por el contrario, D3 y E1 son las zonas que peores resultados dan.

Comparando las zonas climáticas B4 y C2, en los casos Convencional y Completo, C2 es mejor solución mientras que en Convencional + FV B4 presenta mejores prestaciones. En Convencional, C2 tiene menor consumo de energía primaria y LCC mientras que B4 tiene menores emisiones de CO₂. En Convencional + FV, B4 presenta menores emisiones y consumo de energía primaria y mayor LCC que C2. Por último, en Completo, C2 obtiene menores valores en los tres parámetros estudiados.

Si se tuviera que seleccionar una de las tres estrategias de operación, la mejor sería Convencional + FV ya que es la que menor consumo de energía primaria presenta, menor Coste de Ciclo de Vida tiene y emite menos CO₂ para cada una de las diferentes zonas climáticas. Por otro lado, la última estrategia que se seleccionaría sería Completo ya que es la peor solución en cuanto a estos tres parámetros estudiados.

4.5 Comparación entre horarios de funcionamiento

En este apartado se comparan los resultados obtenidos de las simulaciones del edificio con diferentes horarios de funcionamiento: 8 horas, 12 horas y 24 horas (modelo que se ha explicado a lo largo de la memoria).

El edificio con horarios de funcionamiento de 8 y 12 horas es exactamente el mismo que el que ya se ha estudiado, únicamente cambian las demandas de refrigeración, eléctrica y calefacción. Además, se utilizan los

mismos equipos de la instalación para las nuevas simulaciones y ambos casos de funcionamiento se simularán para un volumen del depósito de acumulación de 3m³. A continuación se van a definir ambos horarios de funcionamiento:

- Edificio con funcionamiento de 8 horas: se trata de un edificio de oficinas cuyo horario de funcionamiento es de 7:00h a 15:00h, días laborales y sábados, mientras que festivos y domingos no hay funcionamiento.
- Edificio con funcionamiento de 12 horas: se trata de un edificio de oficinas cuyo horario de funcionamiento es de 7:00h a 15:00h y de 17:00h a 21:00h, días laborales, mientras que sábados es de 7:00h a 15:00h. Domingos y festivos no hay funcionamiento.

En ambos horarios se considera un consumo eléctrico, en funcionamiento del edificio, igual al del edificio de 24 horas ya explicado, es decir, una intensidad alta de fuentes internas (7.5 W/m² de iluminación y 7.5 W/m² de equipos). Multiplicando las fuentes internas por el área del edificio se obtiene una demanda eléctrica igual a 99.44 kWh y, cuando el edificio no está en el horario de funcionamiento se considera un consumo eléctrico de un 20% la demanda eléctrica cuando hay funcionamiento.

Las siguientes tablas muestran las necesidades energéticas del edificio para los tres horarios de funcionamiento en las zonas climáticas B4 y E1, a modo de ejemplo. Las tablas para el resto de zonas se encuentran en el anexo de *Comparación entre horarios de funcionamiento*.

Zona climática	B4		
Demandas	Refrigeración (KWh/m ²)	Calefacción (KWh/m ²)	Eléctrica (KWh/m ²)
Funcionamiento de 8 horas	45.19	10.35	60.08
Funcionamiento de 12 horas	76.82	12.52	75.74
Funcionamiento de 24 horas	97.01	32.06	131.40

Tabla 4.23: Demandas anuales de calefacción, refrigeración y electricidad en cada horario. Zona climática B4.

Zona climática	E1		
Demandas	Refrigeración (KWh/m ²)	Calefacción (KWh/m ²)	Eléctrica (KWh/m ²)
Funcionamiento de 8 horas	9.58	61.90	60.08
Funcionamiento de 12 horas	23.99	72.44	75.74
Funcionamiento de 24 horas	29.39	121.68	131.40

Tabla 4.24: Demandas anuales de calefacción, refrigeración y electricidad en cada horario. Zona climática E1.

Centrándose en ambas gráficas, se puede observar que las demandas de refrigeración son mayores en la zona climática B4 mientras que las demandas de calefacción son mayores en E1, esto es debido a las características climáticas de cada zona. Por otro lado, la demanda eléctrica del edificio es la misma en B4 y E1 para los diferentes horarios de funcionamiento al tratarse del mismo edificio de estudio. Además, las tablas permiten comprobar que las demandas son mayores cuantas más horas opera el edificio, como es de esperar.

Los equipos que se utilizan en la instalación, al igual que en el caso de 24 horas, son:

- Enfriadora
- Caldera de condensación
- Campo solar fotovoltaico (380 paneles fotovoltaicos + inversor) en caso Convencional + FV y Completo
- 2 motores de micro-cogeneración en caso Completo
- Depósito de acumulación
- Bombas

Las gráficas de los resultados de estos dos nuevos horarios de funcionamiento se incluyen en el anexo de *Comparación entre horarios de funcionamiento*.

En los siguientes apartados se comparan los resultados obtenidos en cada uno de los casos de estudios para cada zona climática y horario de funcionamiento.

4.5.1 Convencional

En este caso, ocurre lo mismo para todas las zonas climáticas, todos los consumos son mayores cuanto más horas funciona el edificio.

Es lógico que el consumo eléctrico de la enfriadora sea mayor para el caso de 24 horas y menor en el de 8 horas debido a que la demanda de refrigeración es mayor en 24 horas. Lo mismo ocurre con el consumo de gas natural de la caldera de calefacción y el consumo eléctrico de las bombas ya que la demanda de calefacción es mayor cuanto más horas trabaje el edificio, por tanto, dichos consumos se ordenan: $24h > 12h > 8h$. Los casos de 8 horas y 12 horas tienen un consumo de bombas próximo ya que las horas de trabajo del edificio no difieren en gran medida. En cuanto a la demanda eléctrica del edificio: $24h > 12h > 8h$ ya que cuantas más horas de funcionamiento más electricidad se demanda.

El edificio que más electricidad demanda de la red es el que opera más horas, es decir, el caso de 24 horas mientras que el de 8 horas es el que menos demanda de la red.

Por tanto, el consumo de gas natural total (igual al consumo de gas natural de la caldera) va a ser mayor cuanto mayor es el horario de funcionamiento, al igual que el consumo de electricidad total de la instalación (consumo bombas + consumo eléctrico edificio + consumo enfriadora) ya que los 3 consumos son mayores cuanto más horas de funcionamiento tiene el edificio. El consumo de energía total (gas natural + electricidad) también sigue el mismo orden.

NOTA.- El consumo primario y las emisiones de CO₂ siguen el mismo orden que el consumo final ya que se calculan a través de éste).

Por último, el Coste del Ciclo de Vida se ordena de la siguiente forma: $24h > 12h > 8h$. Esto es debido a que el coste de operación depende del consumo de gas natural y electricidad, los cuales son mayores cuantas más horas de funcionamiento tiene el edificio. El resto de costes para el cálculo del LCC (coste de inversión, coste de reemplazo y coste de mantenimiento) son iguales en los tres casos que se comparan, pues hay que hacer la misma inversión y los mismos reemplazos al tener los mismos equipos y, por tanto, hacer el mismo mantenimiento.

4.5.1.1 Tablas y gráficas resumen

A continuación, se muestran tablas de comparación de los resultados y el LCC de los tres casos para la zona climática A3. Las tablas para el resto de zonas se incluyen en el anexo de *Comparación entre horarios de funcionamiento*:

Caso	Convencional		
Zona climática	A3		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00
Total Dem. Red (MWh)	424.96	542.11	924.39
Total Cons. Refrigeración (MWh)	26.58	39.90	53.08
Total Cons. Calefacción (MWh)	13.24	15.95	41.41
Total Cons. Bombas (kWh)	41.51	45.01	101.92
Total V_{gn} calef (MWh)	13.24	15.95	41.41
Total Dem. Eléctrica Edificio (MWh)	398.34	502.16	871.21
Consumo final electricidad (MWh)	424.96	542.11	924.39
Consumo final gas natural (MWh)	13.24	15.95	41.41
Consumo final energía (MWh)	438.20	558.06	965.80
Consumo final electricidad (kWh/m²)	64.10	81.77	139.44
Consumo final gas natural (kWh/m²)	2.00	2.41	6.25
Consumo final energía (kWh/m²)	66.10	84.18	145.68
Consumo primario electricidad (MWh)	1019.91	1301.06	2218.53
Consumo primario gas natural (MWh)	15.75	18.98	49.28
Consumo primario energía (MWh)	1035.66	1320.05	2267.81
Consumo primario electricidad (kWh/m²)	153.84	196.25	334.65
Consumo primario gas natural (kWh/m²)	2.38	2.86	7.43
Consumo primario energía (kWh/m²)	156.22	199.12	342.08
Emisiones CO₂ por electricidad (tnCO₂)	151.71	193.53	330.01
Emisiones CO₂ por gas natural (tnCO₂)	3.31	3.99	10.35
Emisiones CO₂ energía (tnCO₂)	155.02	197.52	340.36
Emisiones CO₂ electricidad (kgCO₂/m²)	22.88	29.19	49.78
Emisiones CO₂ gas natural (kgCO₂/m²)	0.50	0.60	1.56
Emisiones CO₂ energía (kgCO₂/m²)	23.38	29.79	51.34

Tabla 4.25: Resultados anuales de cada horario de funcionamiento. Caso Convencional y la zona A3.

Caso	Convencional		
Zona climática	A3		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión (€)	-	-	-
Costes de reemplazo (€)	37800.00	37800.00	37800.00
Costes de operación (€)	89716.84	114385.67	196012.96
Costes de mantenimiento (€)	-	-	-
LCC (€/m ²)	270.96	343.89	585.23
LCC (€)	1796289.67	2279809.54	3879740.50

Tabla 4.26: Resultados de costes y LCC en cada horario de funcionamiento. Caso Convencional y zona A3. Además se muestran gráficas para corroborar las tablas y lo expuesto en el apartado:

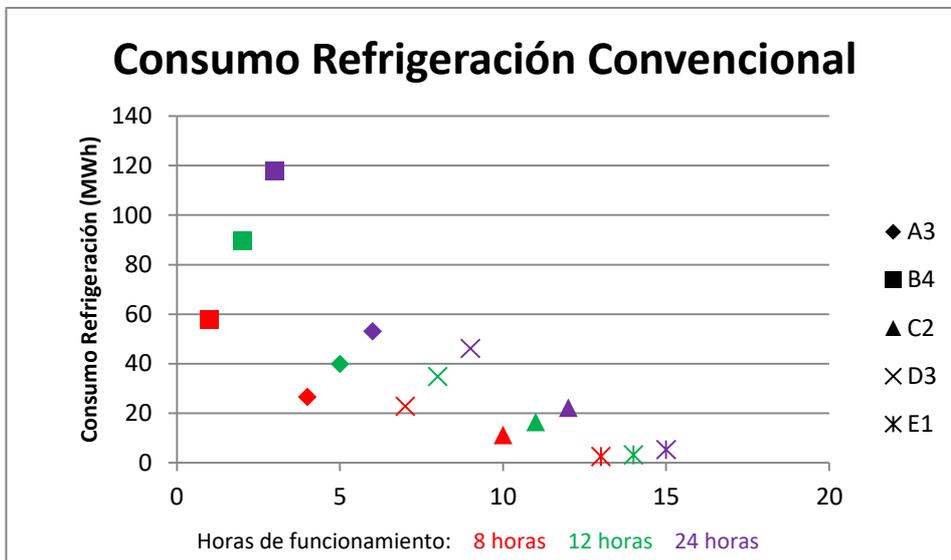


Figura 4.25: Consumo de refrigeración anual para cada zona climática y horario. Caso Convencional.

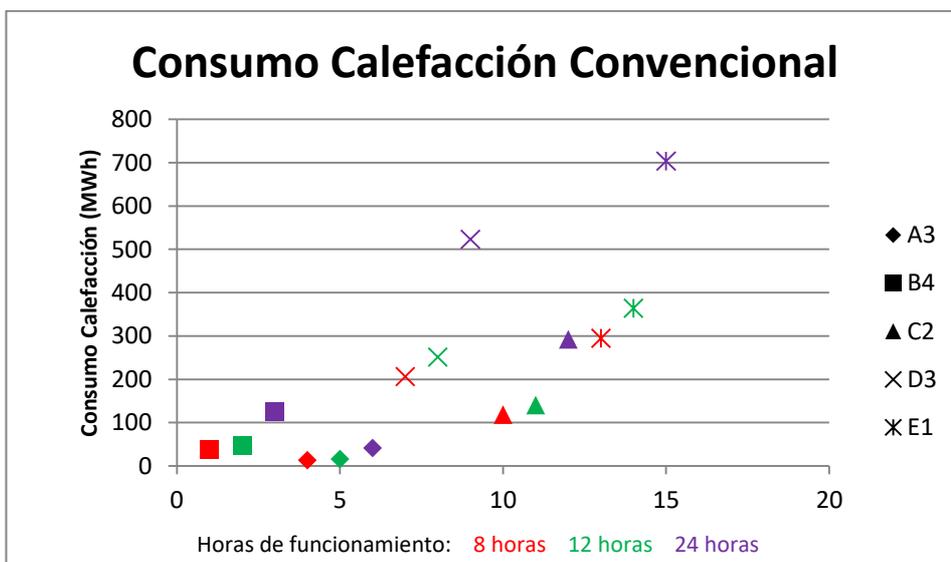


Figura 4.26: Consumo de calefacción anual para cada zona climática y horario. Caso Convencional.

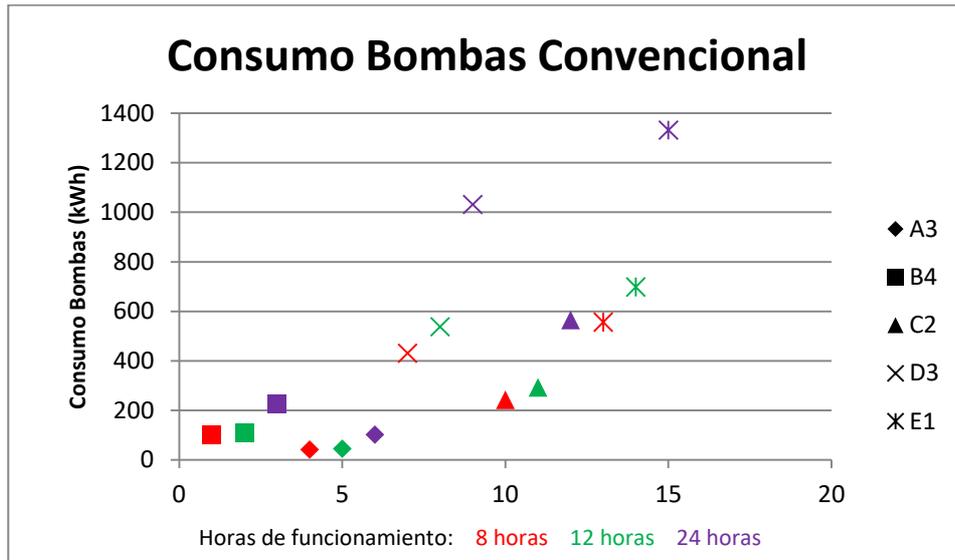


Figura 4.27: Consumo de bombas anual para cada zona climática y horario. Caso Convencional.

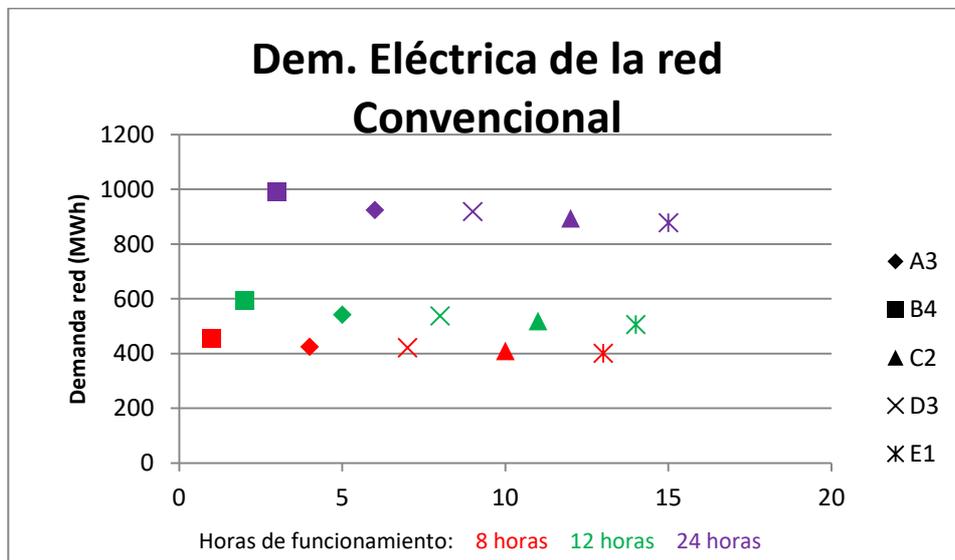


Figura 4.28: Demanda eléctrica de la red anual para cada zona climática y horario. Caso Convencional.

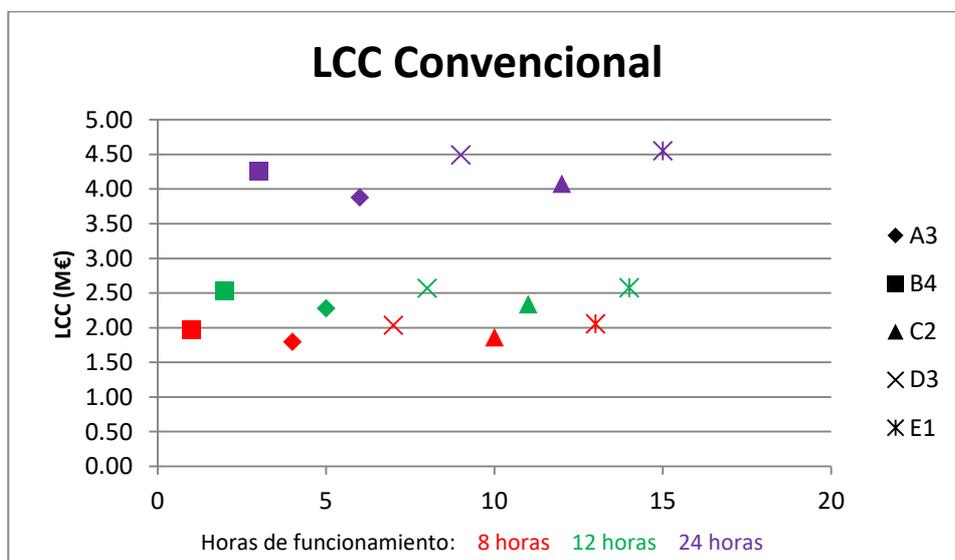


Figura 4.29: Resultados del LCC para cada zona climática y horario. Caso Convencional.

4.5.2 Convencional + FV

Este caso sigue exactamente el mismo modelo que el caso anterior con la única diferencia que incluye un campo solar fotovoltaico. Por tanto, los resultados que no están relacionados con esta variable van a cumplir el mismo orden que en Convencional.

El consumo de calefacción y refrigeración no se ven afectados por el campo solar fotovoltaico, por tanto, el consumo eléctrico de la enfriadora y de las bombas y el consumo de gas natural de calefacción van a seguir el mismo orden que en Convencional: 24h>12h>8h. La demanda eléctrica del edificio también sigue el mismo orden al no depender de la producción fotovoltaica.

En cuanto a la producción fotovoltaica, es igual para cada caso ya que el campo solar fotovoltaico no varía de un horario de funcionamiento a otro. Sin embargo, la autosuficiencia fotovoltaica sí varía de un caso a otro ya que aunque la producción fotovoltaica sea la misma, varía el consumo eléctrico de un horario de funcionamiento a otro. Por tanto, la autosuficiencia fotovoltaica es mayor donde menor es el consumo eléctrico de la instalación, es decir, 8 horas, luego 12 horas y, por último, 24 horas.

Por otro lado, a diferencia del caso de 24 horas, para los casos 8 horas y 12 horas hay exceso de electricidad, es decir, hay horas en las que la producción fotovoltaica es mayor que el consumo eléctrico de la instalación. En el caso de 24 horas no ocurría esto ya que la producción fotovoltaica estaba cubierta siempre por el consumo eléctrico del edificio (99.44 kWh). Sin embargo, en los casos de 12 y 8 horas hay muchas horas en las que el consumo eléctrico del edificio es el 20% de 99.44 kWh, por tanto, esto hace que en dichas horas haya un exceso de electricidad debido a la producción fotovoltaica. Dicho excedente eléctrico es mayor en el caso de 8 horas que en el de 12 horas ya que tiene un menor consumo eléctrico de instalación y la misma producción fotovoltaica. (Al final del apartado se plantea una posible solución para esta energía eléctrica que sobra).

El consumo de gas natural final sigue el mismo orden que en Convencional al no presentar variación y, por tanto, también lo hacen el consumo primario de gas natural y las emisiones de CO₂ debidas al gas natural. Lo que sí varía es el consumo final de electricidad (demanda de la red) al haber producción fotovoltaica, la cual disminuye dicho consumo. Sin embargo, este consumo sigue el mismo orden que en el caso Convencional: 24h>12h>8h. El consumo primario de electricidad y las emisiones de CO₂ debidas a la electricidad también siguen dicho orden. El consumo de energía, al depender del consumo de gas natural y electricidad, sigue el mismo orden que ambos.

Por último, el LCC es mayor para 24 horas que para 12 horas y 8 horas debido al coste de operación, como en el caso Convencional, ya que es el único coste que varía de un horario de funcionamiento a otro.

Lo explicado anteriormente ocurre para todas las zonas climáticas (A3, B4, C2, D3 y E1) al igual que en el caso Convencional.

4.5.2.1 Tablas y gráficas resumen

A continuación, se muestran tablas de comparación de los tres casos para la zona climática A3. Las tablas para el resto de zonas se incluyen en el anexo de *Comparación entre horarios de funcionamiento*:

Caso	Convencional + FV		
Zona climática	A3		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00
Total Dem. Red (MWh)	247.18	364.33	746.60
Total Cons. Refrigeración (MWh)	26.58	39.90	53.08
Total Cons. Calefacción (MWh)	13.24	15.95	41.41
Total Cons. Bombas (kWh)	41.51	45.01	101.92
Total Prod. FV (MWh)	177.78	177.78	177.78
Total Dem. Red (MWh)	269.59	386.06	746.60
Total V_{gn} calef (MWh)	13.24	15.95	41.41
Total Dem. Eléctrica Edificio (MWh)	398.34	502.16	871.21
Total Exced_{elec} (MWh)	22.41	21.74	
Consumo final electricidad (MWh)	247.18	364.33	746.60
Consumo final gas natural (MWh)	13.24	15.95	41.41
Consumo final energía (MWh)	260.41	380.28	788.02
Consumo final electricidad (kWh/m²)	37.28	54.96	112.62
Consumo final gas natural (kWh/m²)	2.00	2.41	6.25
Consumo final energía (kWh/m²)	39.28	57.36	118.87
Consumo primario electricidad (MWh)	593.23	874.39	1791.85
Consumo primario gas natural (MWh)	15.75	18.98	49.28
Consumo primario energía (MWh)	608.98	893.37	1841.13
Consumo primario electricidad (kWh/m²)	89.48	131.89	270.29
Consumo primario gas natural (kWh/m²)	2.38	2.86	7.43
Consumo primario energía (kWh/m²)	91.86	134.76	277.72
Emisiones CO₂ por electricidad (tnCO₂)	88.24	130.06	266.54
Emisiones CO₂ por gas natural (tnCO₂)	3.31	3.99	10.35
Emisiones CO₂ energía (tnCO₂)	91.55	134.05	276.89
Emisiones CO₂ electricidad (kgCO₂/m²)	13.31	19.62	40.21
Emisiones CO₂ gas natural (kgCO₂/m²)	0.50	0.60	1.56
Emisiones CO₂ energía (kgCO₂/m²)	13.81	20.22	41.77

Tabla 4.27: Resultados anuales de cada horario de funcionamiento. Caso Convencional + FV y zona A3.

Caso	Convencional + FV		
Zona climática	A3		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión (€)	117100.00	117100.00	117100.00
Costes de reemplazo (€)	154900.00	154900.00	154900.00
Costes de operación (€)	52560.23	77229.05	158856.34
Costes de mantenimiento (€)	3513.00	3513.00	3513.00
LCC (€/m ²)	206.81	279.75	521.08
LCC (€)	1371059.99	1854579.86	3454510.82

Tabla 4.28: Resultado de costes y LCC en cada horario de funcionamiento. Caso Convencional+FV y zona A3.

Además se muestran gráficas que permiten comprobar lo que reflejan las tablas de resultados:

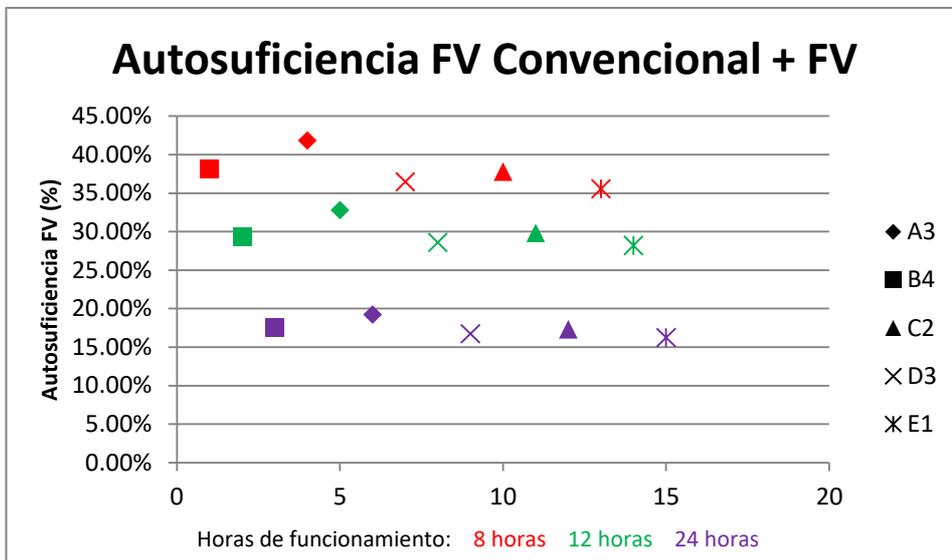


Figura 4.30: Autosuficiencia fotovoltaica anual para cada zona climática y horario. Caso Convencional + FV.

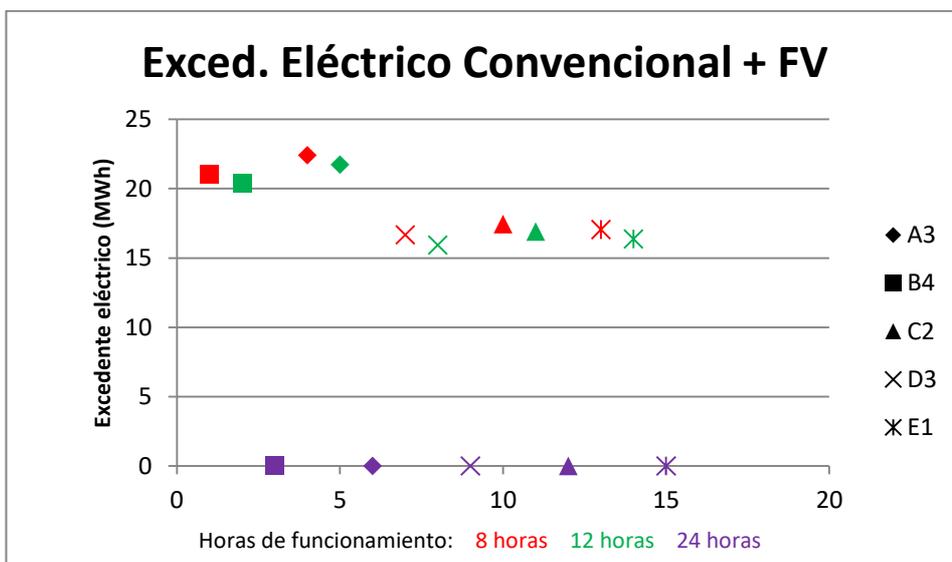


Figura 4.31: Excedente eléctrico anual para cada zona climática y horario. Caso Convencional + FV.

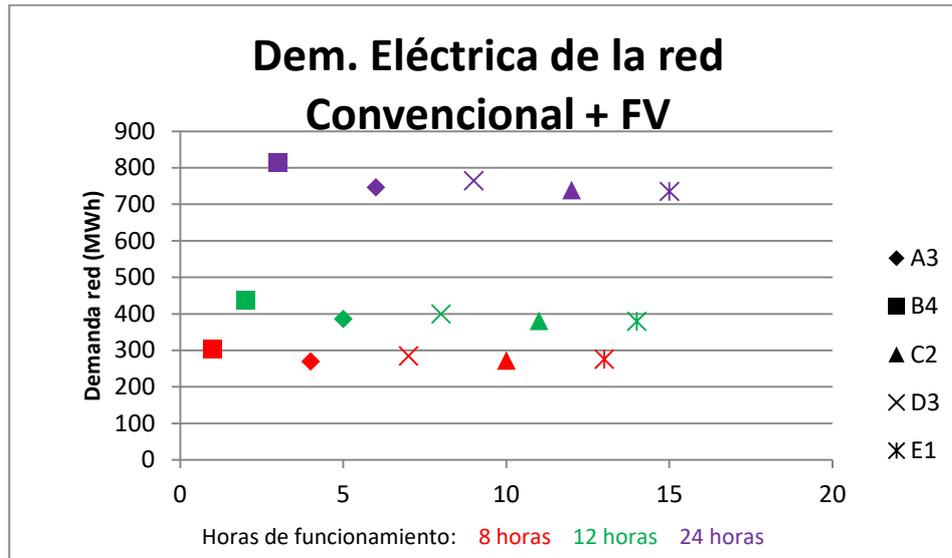


Figura 4.32: Demanda eléctrica de la red anual para cada zona climática y horario. Caso Convencional + FV.

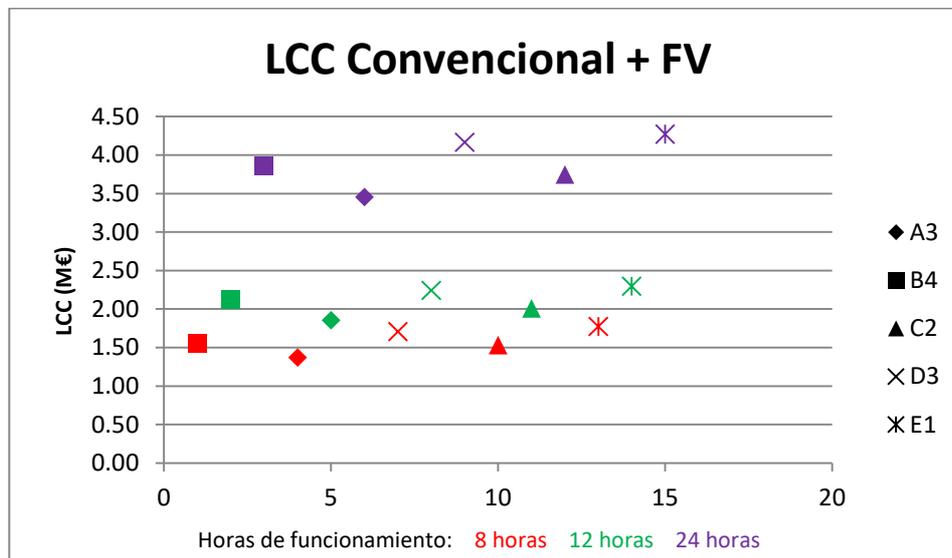


Figura 4.33: Resultados del LCC para cada zona climática y horario. Caso Convencional + FV.

4.5.3 Completo

En el caso Completo, comparando los tres horarios de funcionamiento, se obtienen conclusiones muy similares a las que se obtuvieron en los dos casos anteriores. En este caso, todos los resultados se ordenan de la misma forma en las diferentes zonas climáticas excepto en consumo de las bombas, cuyo orden varía de una zona a otra.

Los consumos son mayores donde mayores demandas hay, es decir, donde el horario de funcionamiento es más extenso. De esta forma, los consumos eléctricos del edificio y la enfriadora y el de gas natural de la caldera son mayores en el caso de 24h que en el de 12h, y éste mayor que el de 8h.

En cuanto a la parte fotovoltaica, ocurre lo mismo que en Convencional + FV, la producción fotovoltaica es la misma para todos los horarios de funcionamiento mientras que la autosuficiencia fotovoltaica es mayor cuanto menos horas opera el edificio. Por otro lado, el exceso de electricidad es mayor en 8h que en 12h (no hay exceso de electricidad para el caso de 24h).

El consumo de gas natural de los motores es mayor para los casos de mayor horario de trabajo (24h>12h>8h). Como se explica en apartados anteriores, el funcionamiento de los motores de micro-cogeneración depende de la electricidad que sea necesaria para cubrir la demanda de la instalación una vez que se ha descontado la producción fotovoltaica, siempre y cuando la potencia demandada esté dentro de su rango de funcionamiento.

Por tanto, los motores deben generar una electricidad igual a un término que se denomina Balance de energía, siempre que sea posible. Este término es la diferencia entre el consumo de electricidad de la instalación (consumo bombas, enfriadora y edificio) y la producción fotovoltaica de electricidad. Al ser el consumo eléctrico de la enfriadora y del edificio mayor cuanto más horas trabaja el edificio y la producción fotovoltaica igual para todos los casos, mientras que el consumo de bombas apenas tiene repercusión al ser del orden de kWh mientras los demás términos son del orden de MWh, la diferencia entre el consumo y la producción eléctrica se ordena: $24h > 12h > 8h$ y, por tanto, de esta misma forma el consumo de los motores.

El consumo de las bombas tiene comportamientos distintos según la zona climática. En A3, B4 y C2 (zonas de menor consumo de calefacción) el consumo de las bombas se ordena de la siguiente forma para los distintos horarios de funcionamiento: $24h > 8h > 12h$. Este orden difiere con los que se tienen en los casos Convencional y Convencional + FV, y es debido a la incorporación de la bomba de recuperación de calor de los motores de micro-cogeneración. El consumo de la bomba 3 (bomba del circuito de calefacción) es mayor cuanto mayor es el horario de funcionamiento mientras que la bomba 4 (bomba de recuperación de calor) se ordena inversamente, es decir, es mayor cuanto menor es el horario de funcionamiento ($8h > 12h > 24h$).

Este orden se debe a que la bomba 4 trabaja cuando la temperatura del depósito de acumulación de calor descende por debajo de 50°C . En el caso en el que la oficina funciona 24 horas no hay nunca parada por lo que la temperatura del depósito de acumulación no sufre grandes descensos como ocurre en los casos en los que hay paradas (8h y 12h).

Por otro lado, cuanto menor número de horas trabaja el edificio menos producen los motores de micro-cogeneración por lo que la energía recuperada de dichos motores puede no ser suficiente para alcanzar los 50°C necesarios en el depósito por lo que el controlador de la bomba 4 manda de nuevo la señal para que funcione y recupere más calor.

Por tanto, el consumo de las bombas es mayor en 24h debido a la importancia del consumo de la bomba 3 frente al de la bomba 4 al haber una gran demanda de calefacción en comparación con el resto de casos. Sin embargo, en los casos de 8h y 12h, tiene más importancia el consumo de la bomba 4 ya que ambos casos no difieren mucho en cuanto a la demanda de calefacción al no haber tantas horas de funcionamiento de diferencia y además estas zonas climáticas tienen poca demanda de calefacción.

En la zona climática D3 el orden es el mismo que en las tres zonas climáticas anteriores con la diferencia de que los casos 12h y 8h tienen consumos de bombas casi iguales. Sin embargo, en la zona climática E1 el consumo de las bombas es mayor cuanto mayor es el horario de funcionamiento, es decir, se ordena exactamente igual que el consumo de la bomba 3. Esto es debido a que E1 tiene una demanda de calefacción muy alta, por lo que el consumo de esta bomba gana importancia frente al consumo de la bomba 4.

La demanda de la red también sigue un orden distinto al que seguían Convencional y Convencional + FV, en Completo se demanda más energía eléctrica de la red para aquellos casos en los que el edificio trabaja menos horas, es decir, $8h > 12h > 24h$. Esto es debido al rango de funcionamiento de los motores de micro-cogeneración y al balance de energía. Los motores funcionan para un rango de potencias comprendido entre el 40% y el 100% de la potencia nominal, por tanto, cuando la potencia demandada no esté en ese rango se demandará la energía eléctrica de la red. De esta forma, debido a que hay horas en los casos 8h y 24h en los que el balance de energía es muy bajo ya que no hay funcionamiento del edificio (demanda eléctrica del edificio al 20%) y sí hay producción fotovoltaica, la potencia que se demanda a los motores de micro-cogeneración no supera el mínimo por lo que hay que demandar de la red. Por esta razón, la demanda eléctrica de la red sigue este orden.

En cuanto al consumo final de gas natural, consumo final de energía y coste del ciclo de vida, siguen el mismo orden que en Convencional y Convencional + FV, es decir, $24h > 12h > 8h$.

El consumo final de gas natural depende de los consumos de gas natural de la caldera y los motores, y ambos se ordenan: $24h > 12h > 8h$. El consumo primario de gas natural y las emisiones de CO_2 debidas al gas natural siguen este mismo orden.

El consumo final de energía depende del consumo final de electricidad (demanda de la red) y el consumo final de gas natural. Ambos términos se ordenan de forma contraria, sin embargo, en el caso Completo el consumo de gas natural tiene mayor importancia frente al consumo de electricidad como se expone en apartados anteriores, por lo que el consumo final de energía se ordena de la misma forma que el consumo final de gas

natural. Este orden también se sigue en el consumo primario de energía y emisiones totales de CO₂.

Por último, el LCC, al igual que en Convencional y Convencional + FV, tiene todos los costes iguales excepto el coste de operación. Este coste es mayor cuanto mayor es el horario de funcionamiento del edificio debido a que el consumo de gas natural es mayor aunque el de electricidad sea menor debido al gran peso que tiene el consumo de gas natural en este caso.

4.5.3.1 Tablas y gráficas resumen

A continuación, se muestran tablas de comparación de los tres casos para la zona climática A3. Las tablas para el resto de zonas se incluyen en el anexo de *Comparación entre horarios de funcionamiento*:

Caso	Completo		
Zona climática	A3		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00
Total Bal. Energía (MWh)	247.28	364.41	746.68
Total Cons. Refrigeración (MWh)	26.58	39.90	53.08
Total Cons. Calefacción (MWh)	4.71	5.05	14.38
Total Cons. Bombas (kWh)	142.94	125.58	181.44
Total Prod. FV (MWh)	177.78	177.78	177.78
Total Pot. Motores (MWh)	148.69	286.27	718.76
Total Dem. Red (MWh)	121.00	99.86	27.82
Total V_gn_calef (MWh)	4.71	5.05	14.38
Total V_gn_motores (MWh)	433.40	806.53	1984.87
Total Exced_elec (MWh)	22.41	21.73	
Total Dem. Eléctrica Edificio (MWh)	398.34	502.16	871.21
Consumo final electricidad (MWh)	98.59	78.14	27.93
Consumo final gas natural (MWh)	438.11	811.57	1999.25
Consumo final energía (MWh)	536.70	889.71	2027.18
Consumo final electricidad (kWh/m²)	14.87	11.79	4.21
Consumo final gas natural (kWh/m²)	66.08	122.42	301.57
Consumo final energía (kWh/m²)	80.96	134.21	305.78
Consumo primario electricidad (MWh)	236.62	187.53	67.03
Consumo primario gas natural (MWh)	521.35	965.77	2379.11
Consumo primario energía (MWh)	757.97	1153.30	2446.13
Consumo primario electricidad (kWh/m²)	35.69	28.29	10.11
Consumo primario gas natural (kWh/m²)	78.64	145.68	358.87
Consumo primario energía (kWh/m²)	114.33	173.97	368.98
Emisiones CO₂ por electricidad (tnCO₂)	35.20	27.89	9.97
Emisiones CO₂ por gas natural (tnCO₂)	109.53	202.89	499.81
Emisiones CO₂ energía (tnCO₂)	144.72	230.79	509.78
Emisiones CO₂ electricidad (kgCO₂/m²)	5.31	4.21	1.50
Emisiones CO₂ gas natural (kgCO₂/m²)	16.52	30.60	75.39
Emisiones CO₂ energía (kgCO₂/m²)	21.83	34.81	76.90

Tabla 4.29: Resultados anuales de cada horario de funcionamiento. Caso Completo y zona A3.

Caso	Completo		
Zona climática	A3		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión (€)	717100.00	717100.00	717100.00
Costes de reemplazo (€)	154900.00	154900.00	154900.00
Costes de operación (€)	50396.93	71517.56	141785.85
Costes de mantenimiento (€)	21513.00	21513.00	21513.00
LCC (€/m ²)	344.14	406.59	614.34
LCC (€)	2281466.45	2695440.00	4072729.54

Tabla 4.30: Resultados de los costes y LCC en cada horario de funcionamiento. Caso Completo y zona A3.

Las siguientes gráficas justifican lo que se expone en este apartado:

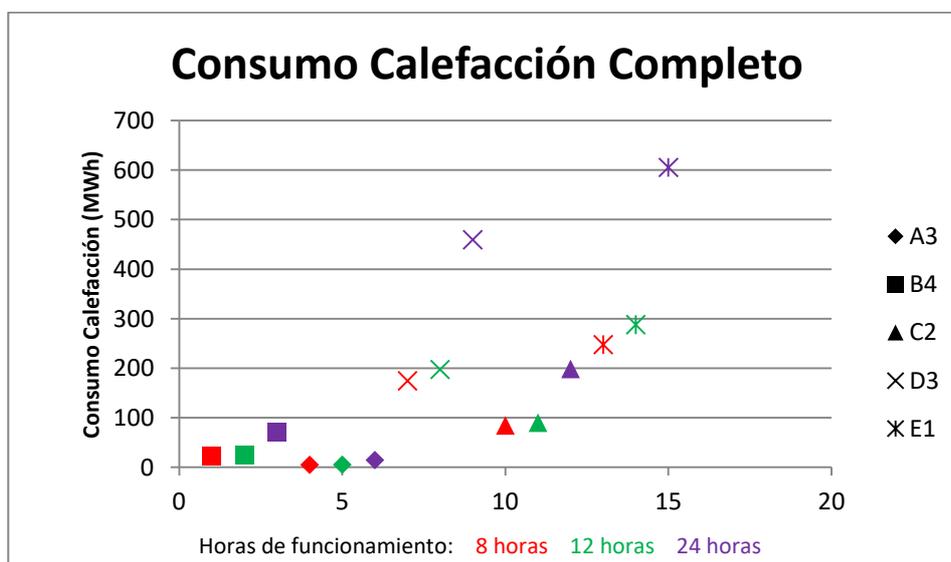


Figura 4.34: Consumo de calefacción anual para cada zona climática y horario. Caso Completo.

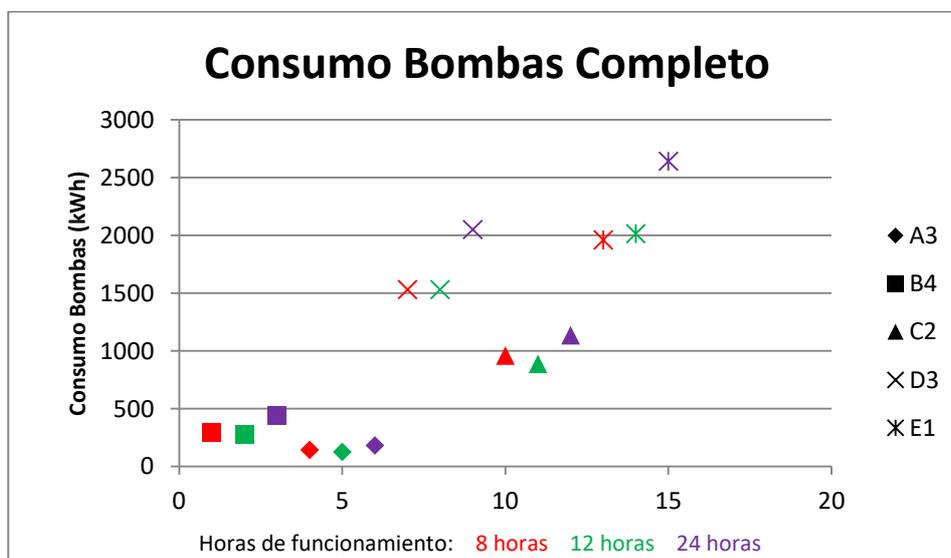


Figura 4.35: Consumo de bombas anual para cada zona climática y horario. Caso Completo.

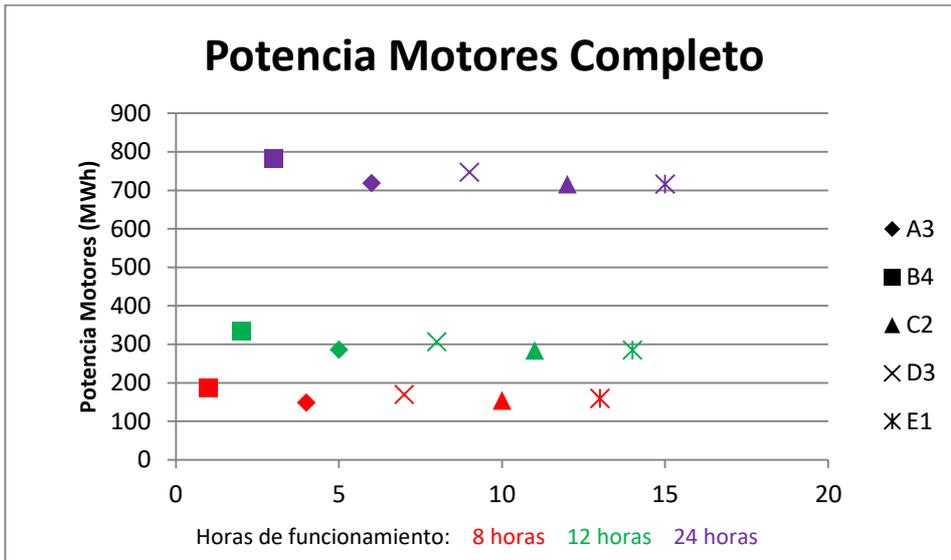


Figura 4.36: Consumo de los motores anual para cada zona climática y horario. Caso Completo.

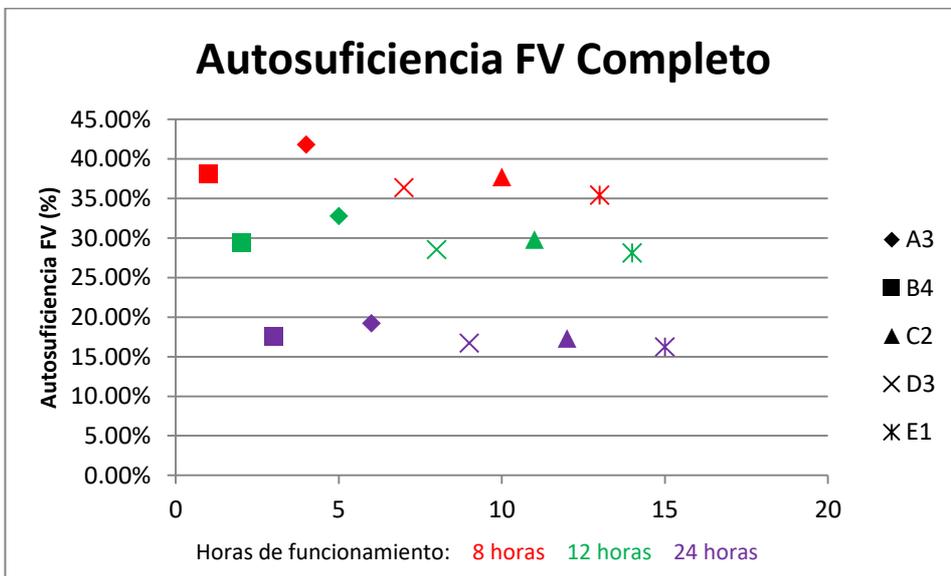


Figura 4.37: Autosuficiencia fotovoltaica anual para cada zona climática y horario. Caso Completo.

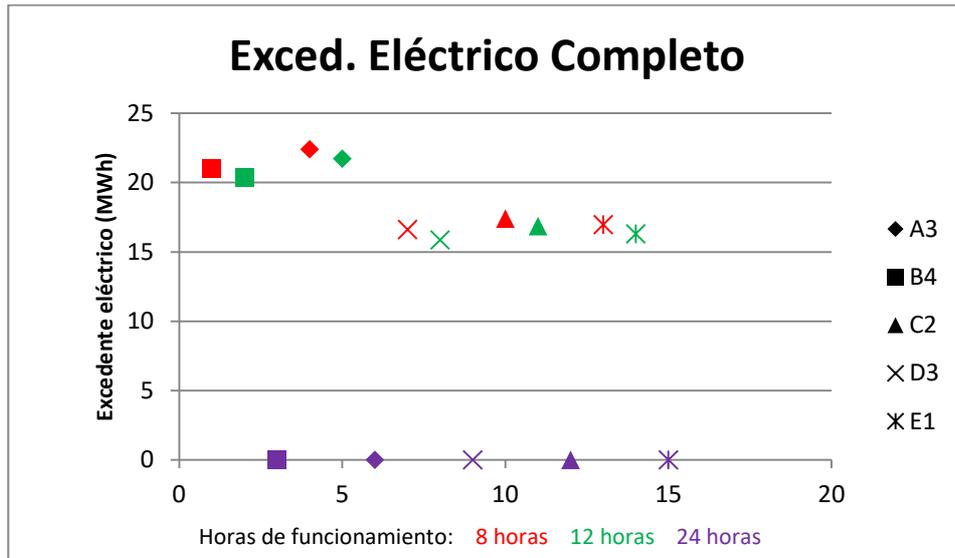


Figura 4.38: Excedente eléctrico anual para cada zona climática y horario. Caso Completo.

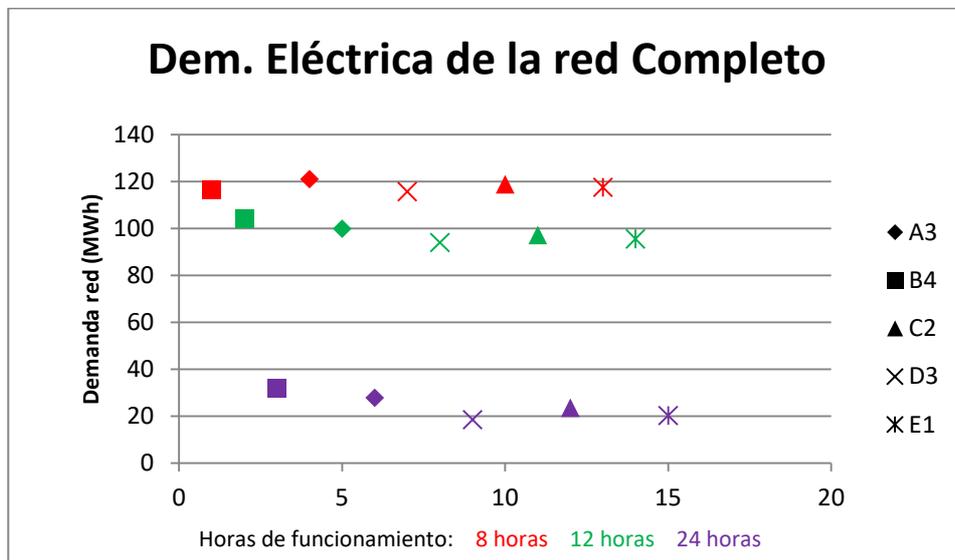


Figura 4.39: Demanda eléctrica de la red anual para cada zona climática y horario. Caso Completo.

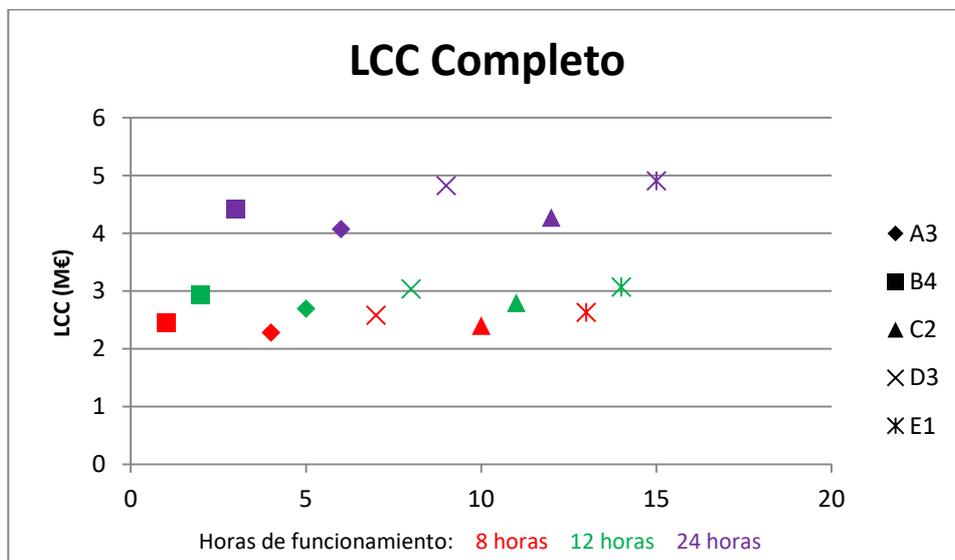


Figura 4.40: Resultados del LCC para cada zona climática y horario. Caso Completo.

4.5.4 Influencia de la venta de electricidad excedente en el LCC

A continuación se estudia cómo varía el LCC en los casos 8h y 12h, y si es determinante en su comparación con el caso 24h para los casos de estudio Convencional + FV y Completo debido al exceso de electricidad de la producción fotovoltaica. Se considera que se vende este exceso de energía al precio de venta en Alemania ya que en España esto no está permitido al no haber balance neto, es decir, el precio al que se vende la energía eléctrica fotovoltaica excedente es muy inferior al coste de la electricidad o ni siquiera se puede vender.

Este coste de venta de electricidad se descuenta en el coste de operación al coste de la electricidad de la red y de gas natural. El precio de venta de la electricidad se considera 0.1231€/kWh (Bundesnetzagentur, 2015).

Como se puede comprobar en las siguientes tablas, la venta del excedente eléctrico no altera el orden que seguía el Coste del Ciclo de Vida cuando no se consideraba esta venta. Se muestran tablas para la zona climática A3 en los casos Convencional, Convencional + FV y Completo. Las tablas para el resto de zonas se incluyen en el anexo de *Comparación entre horarios de funcionamiento*:

Caso	Convencional		
Zona climática	A3		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión (€)	-	-	-
Costes de reemplazo (€)	37800.00	37800.00	37800.00
Costes de operación (€)	89716.84	114385.67	196012.96
Costes de mantenimiento (€)	-	-	-
LCC (€/m ²)	270.96	343.89	585.23
LCC (€)	1796289.67	2279809.54	3879740.50

Tabla 4.31: Resultados de costes y LCC en cada horario (venta electricidad). Caso Convencional y zona A3.

Caso	Convencional + FV		
Zona climática	A3		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión (€)	117100.00	117100.00	117100.00
Costes de reemplazo (€)	154900.00	154900.00	154900.00
Costes de operación (€)	49801.13	74553.26	158856.34
Costes de mantenimiento (€)	3513.00	3513.00	3513.00
LCC (€/m ²)	198.66	271.84	521.08
LCC (€)	1316980.47	1802133.14	3454510.82

Tabla 4.32: Resultados de coste y LCC en cada horario (venta electricidad). Caso Convencional+FV y zona A3.

Caso	Completo		
Zona climática	A3		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión (€)	717100.00	717100.00	717100.00
Costes de reemplazo (€)	154900.00	154900.00	154900.00
Costes de operación (€)	47638.80	68842.78	141785.85
Costes de mantenimiento (€)	21513.00	21513.00	21513.00
LCC (€/m²)	335.99	398.68	614.34
LCC (€)	2227405.85	2643013.20	4072729.54

Tabla 4.33: Resultados de costes y LCC en cada horario (venta electricidad). Caso Completo y zona A3.

Las siguientes tablas reflejan el poco cambio que hay en los resultados del Coste del Ciclo de Vida cuando se considera venta de electricidad y cuando no se considera dicha venta. Las tablas muestran los porcentajes que disminuye el LCC de cuando no se considera venta de electricidad a cuando sí se considera, es decir, se comparan los resultados obtenidos en las tablas *Tabla 4.31*, *Tabla 4.32* y *Tabla 4.33* con los de las tablas *Tabla 4.26*, *Tabla 4.28* y *Tabla 4.30*, respectivamente. Se representa la zona A3 para cada una de las estrategias de operación a modo de ejemplo. Las tablas y gráficas para el resto de zonas se incluyen en el anexo de *Comparación entre horarios de funcionamiento*.

Caso	Convencional		
Zona climática	A3		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión	-	-	-
Costes de reemplazo	0.00%	0.00%	0.00%
Costes de operación	0.00%	0.00%	0.00%
Costes de mantenimiento	-	-	-
LCC	0.00%	0.00%	0.00%

Tabla 4.34: Porcentajes de reducción de costes y el LCC en cada horario. Caso Convencional y zona A3

Caso	Convencional + FV		
Zona climática	A3		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión	0.00%	0.00%	0.00%
Costes de reemplazo	0.00%	0.00%	0.00%
Costes de operación	5.25%	3.46%	0.00%
Costes de mantenimiento	0.00%	0.00%	0.00%
LCC	3.94%	2.83%	0.00%

Tabla 4.35: Porcentajes de reducción de costes y el LCC en cada horario. Caso Convencional+FV y zona A3

Caso	Completo		
Zona climática	A3		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión	0.00%	0.00%	0.00%
Costes de reemplazo	0.00%	0.00%	0.00%
Costes de operación	5.47%	3.74%	0.00%
Costes de mantenimiento	0.00%	0.00%	0.00%
LCC	2.37%	1.95%	0.00%

Tabla 4.36: Porcentajes de reducción de costes y el LCC en cada horario. Caso Completo y zona A3

Como se aprecia en las tablas, el LCC no varía en Convencional (en cualquiera de los tres horarios de funcionamiento) al considerarse venta de electricidad excedente ya que en esta instalación no hay instalación fotovoltaica. Por otro lado, tampoco varía para el horario de funcionamiento del edificio de 24 horas (en cualquiera de las tres estrategias de operación) ya que para este horario no hay excedente eléctrico. Por tanto, el LCC varía en las estrategias de operación Convencional + FV y Completo y para los horarios de funcionamiento de 8 y 12 horas ya que en estos casos hay tanto instalación fotovoltaica como excedente eléctrico.

Centrándose en las tablas *Tabla 4.35* y *Tabla 4.36*, el LCC se reduce del caso con venta de energía al caso en que no se vende energía debido a que se reduce el coste de operación ya que es el único coste al que le afecta la venta de electricidad (el resto de costes no varían). Por último, tanto en Convencional + FV como en Completo, el LCC se reduce más para el edificio que opera 8 horas ya que éste tiene mayor excedente eléctrico y, por tanto, se vende más electricidad (esto se puede comprobar en las tablas *Tabla 4.27* y *Tabla 4.29*).

4.5.5 Conclusiones de la comparación entre horarios de funcionamiento

- Comparando los horarios de funcionamiento del edificio, para todas las zonas climáticas y estrategias de estudio, los consumos, las emisiones de CO₂ y el Coste del Ciclo de Vida, por lo general, presentan mayores valores cuanto más horas trabaja el edificio. Los únicos parámetros que no siguen este orden son la producción fotovoltaica (igual en todos los horarios de funcionamiento) y el excedente eléctrico (mayor en 8 horas que en 12 horas) para las estrategias de operación Convencional + FV y Completo. Por otro lado, en el caso Completo, la demanda de la red es mayor cuanto menos horas opera el edificio.
- La diferencia entre el LCC (con venta de energía) y el LCC (sin venta de energía) es mínima. Además, sólo afecta al caso Completo y Convencional + FV y a los horarios de funcionamiento del edificio de 8 horas y 12 horas.

5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad tiene como misión acabar con la incertidumbre que hay en torno al coste de la instalación debido a la continua variación de los precios tanto de los equipos como de la energía. Esto permite construir escenarios posibles que permitirán analizar el comportamiento de un resultado bajo diferentes supuestos, es decir, el análisis de sensibilidad permite medir el cambio de un resultado cuando cambian un conjunto de variables. Por tanto, el objetivo de este punto es ver el cambio del Coste del Ciclo de Vida cuando se varían los precios de la instalación, en concreto, los precios de: motores de micro-generación, fotovoltaica (paneles e inversor), gas natural y electricidad. Se estudia qué ocurre cuando el precio de alguno de ellos varía un cierto porcentaje.

Debido al gran número de combinaciones es imposible realizarlas a mano, por lo que se automatiza en Excel para que se realice de forma automática. En total hay 625 combinaciones para cada zona climática y para cada uno de los tres casos. Estas 625 combinaciones son resultados de cinco precios de electricidad, cinco precios de gas natural, cinco precios de motores y cinco precios de fotovoltaica ($5^4 = 625$). Se obtiene una inmensa cantidad de resultados de los cuales se representan sólo algunos de forma gráfica para explicar lo que ocurre cuando varía un cierto precio u otro.

NOTA.- El análisis de sensibilidad se ha llevado a cabo sólo para el horario de funcionamiento del edificio terciario de 24 horas. Las simulaciones se hacen para un volumen del depósito de acumulación de 5m^3 en cada zona climática.

Los porcentajes de variación de los precios son los siguientes:

Motor gas natural	-10%	-20%	-40%	-60%
Fotovoltaica	-10%	-20%	-40%	-60%
Gas Natural	+20%	+40%	-20%	-40%
Electricidad	+20%	+40%	-20%	-40%

Tabla 5.1: Porcentajes de variación de los precios de la energía y los equipos.

Como expresa la tabla, se considera que el precio de los motores de gas natural y el de fotovoltaica disminuyen con respecto al precio actual (base) mientras que el precio de electricidad y gas natural pueden tanto aumentar como disminuir.

Por tanto, mostrando los precios para cada uno de los porcentajes y el caso base (el caso base corresponde con los precios empleados para el cálculo del LCC, *Tabla 4.14*):

	Precio Motor GN (€/kWe)	Precio Fovoltvica (€)	Precio Gas Natural (€/kWh)	Precio Electricidad (€/kWh)
Base	3000	117100	0.068	0.209
+40%	-	-	0.095	0.293
+20%	-	-	0.082	0.251
-10%	2700	105390	-	-
-20%	2400	93680	0.054	0.167
-40%	1800	70260	0.041	0.125
-60%	1200	46840	-	-

Tabla 5.2: Precios de los equipos de la instalación y las energías en función del porcentaje de variación.

Las distintas combinaciones se realizan de la siguiente forma: para cada uno de los cinco precios de la

electricidad se varía el precio del gas natural, es decir, un precio fijo de electricidad se combina con los cinco precios distintos de gas natural. A su misma vez, para cada precio del gas natural se varía los cinco precios de los motores de gas natural y lo mismo ocurre para el precio de fotovoltaica, se combina cada precio de fotovoltaica con un precio fijo de motores de gas natural. De esta forma, para cada precio fijo de motores de gas natural habrá 5 combinaciones (5 precios fotovoltaica), para cada precio fijo de gas natural habrá 25 combinaciones (5 precios de motores con 5 precios de fotovoltaica, cada uno de ellos) y para cada precio fijo de electricidad hay 125 combinaciones (5 precios de gas natural donde en cada uno de ellos varía 5 precios de motores y, 5 precios de fotovoltaica para cada precio de motores). Esto mismo se cumple para cada precio de electricidad, y como hay 5 precios, son las 625 combinaciones de precios.

Recordando del apartado *Cálculo del Coste del Ciclo de Vida*, el LCC depende de cuatro costes y un sumatorio durante los treinta años de vida útil de la instalación:

$$LCC (\text{€}) = \text{Inv. inicial} + \text{Cost. reemplazo} + (\text{Cost. operación} + \text{Cost. mant}) * \sum_{t=1}^{30} \frac{1}{(1+r)^t}$$

Donde los costes de mantenimiento y operación están presentes los treinta años y los de reemplazo e inversión inicial solo se tienen en cuenta una vez durante la vida de la instalación. Por esta razón, los costes de operación y mantenimiento tienen un gran peso en el cálculo del LCC.

Estos costes difieren de un caso a otro debido a que en cada caso se usan diferentes equipos y se consumen diferentes cantidades de energía. Por tanto, en cada caso, el LCC va a variar de forma distinta al variar los precios de los equipos y la energía.

5.1 Gráficas de resultados

5.1.1 Estrategias de operación

En este apartado se exponen las gráficas que incluyen los resultados del LCC para todas las posibles combinaciones de los precios de las energías consumidas y los equipos utilizados, para las tres instalaciones de estudio.

5.1.1.1 Convencional

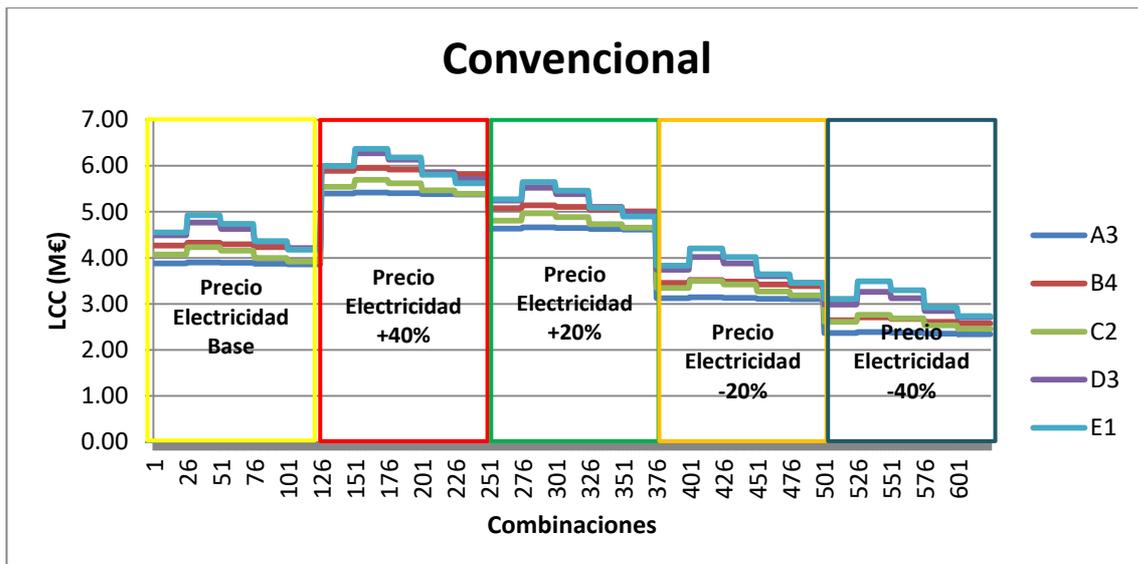


Figura 5.1: Resultados del LCC en el análisis de sensibilidad para cada zona climática. Caso Convencional.

En la gráfica se representa los 625 resultados de LCC, medido en millones de euros, en el caso Convencional para las cinco zonas climáticas de estudio. El LCC varía sólo cuando varía el precio de la electricidad y el del gas natural, por eso solo se pueden apreciar dos variaciones del LCC en la gráfica. Hay cinco grandes cambios

que corresponden con los cambios en el precio de la electricidad y cinco pequeños saltos dentro cada gran cambio que corresponden con los cambios en el precio del gas natural. Poniendo atención en los cambios del precio del gas natural las zonas climáticas A3 y B4 apenas presentan saltos, son líneas prácticamente horizontales para cada precio de la electricidad mientras que C2, D3 y E1 muestran saltos de un precio del gas natural a otro. La razón de esto es que A3 y B4 consumen muy poco gas natural en comparación con el consumo de electricidad de la red al haber poca demanda de calefacción. Cuando el precio de la electricidad aumenta 20% y 40%, el LCC es mayor en B4 que en E1 y D3 para precios del gas natural -40% ya que esta bajada del precio del gas natural influye muy poco en B4 y mucho en E1 y D3 al tener grandes demandas de gas natural. Por el contrario, cuando el precio de la electricidad disminuye no ocurre esto ya que los precios son bajos y no tienen tanto peso.

En este caso el LCC no se ve afectado por los cambios en los precios de los motores de gas natural y fotovoltaica puesto que no existen en este caso. Las líneas horizontales de la gráfica muestran que no hay cambios en el LCC debido a los motores y fotovoltaica.

En la gráfica, de izquierda a derecha, el precio de la electricidad varía de la siguiente forma: base, +40%, +20%, -20% y -40%, y dentro de cada precio de electricidad, el precio del gas natural varía de la misma forma: base, +40%, +20%, -20% y -40%.

En el caso Convencional hay un gran consumo de energía eléctrica puesto que todo se demanda de la red mientras que la caldera es el único consumo de gas natural. Por esta razón, hay una gran variación en el LCC al modificar el precio de la electricidad y un menor cambio cuando se varía el precio de gas natural.

5.1.1.2 Convencional + FV

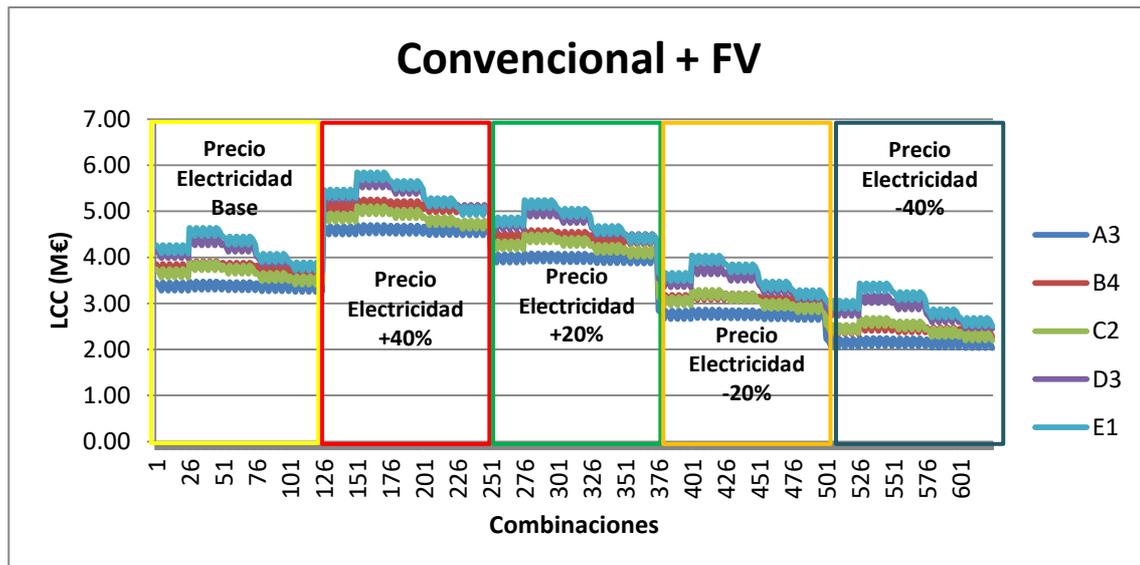


Figura 5.2: Resultados del LCC en el análisis de sensibilidad para cada zona. Caso Convencional+FV.

La gráfica representa los distintos resultados del LCC, en millones de euros, para cada zona climática en el caso de estudio Convencional + FV. El LCC, además de depender del precio de gas natural y de electricidad, como ocurre en Convencional, depende del precio de fotovoltaica ya que en este caso sí hay un campo solar fotovoltaico. Ahora se incluyen unas pequeñas variaciones dentro de cada precio del gas natural, como se puede observar en la gráfica, que se deben a los distintos precios de fotovoltaica. Por tanto, se tienen los cinco grandes cambios debido a la electricidad, los cinco cambios dentro de cada precio de electricidad que corresponden con las variaciones del precio del gas natural y, por último, cinco pequeñas variaciones para cada precio de gas natural debidas a los precios de fotovoltaica.

Observando la gráfica, apenas se observan cambios para cada precio del gas natural debido a las variaciones en los precios de fotovoltaica pero sí se desplaza la gráfica del LCC hacia abajo respecto a la gráfica del Convencional, es decir, se obtiene valores del LCC menores. Esto es debido a que la parte de fotovoltaica disminuye el consumo eléctrico de la red y, por tanto, el LCC. Por un lado, la parte de fotovoltaica aumenta la inversión inicial, el coste de reemplazo y el coste de mantenimiento (3% inversión inicial) debido a los

paneles e inversor y, por otro lado, disminuye el coste de operación al disminuir el consumo eléctrico de la red. El LCC es menor respecto al Convencional debido a que es mayor el ahorro debido a la disminución del consumo eléctrico de la red (durante los treinta años) que el aumento debido a la compra de los paneles e inversor (sólo se consideran en la inversión y el reemplazo) y al coste de mantenimiento que es muy bajo aunque esté presente los treinta años.

Los cambios en el LCC debido a la modificación del precio del gas natural son exactamente igual que en el caso Convencional ya que el consumo de gas natural es el mismo.

En este caso, como ocurría en Convencional, el precio de la electricidad en la gráfica varía de la siguiente forma: base, +40%, +20%, -20% y -40%, y dentro de la variación de la electricidad, el precio del gas natural varía de la misma forma: base, +40%, +20%, -20% y -40%. Ahora se incluye una nueva variación dentro de la del gas natural, el cambio en el LCC debido al precio de fotovoltaica, que varía igual que los dos anteriores: base, +40%, +20%, -20% y -40%.

5.1.1.3 Completo

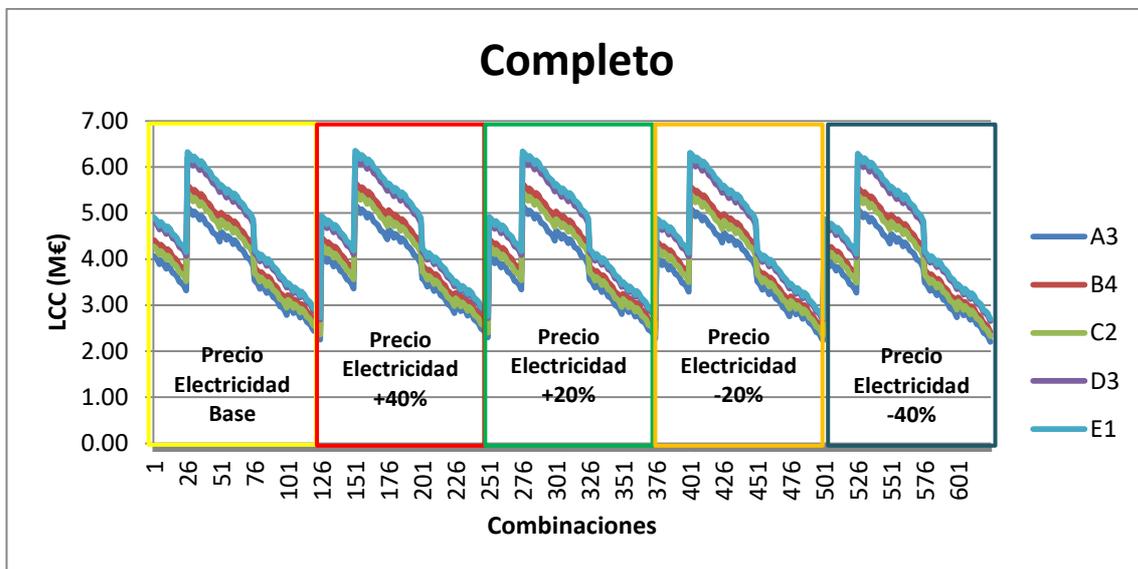


Figura 5.3: Resultados del LCC en el análisis de sensibilidad para cada zona climática. Caso Completo.

En esta gráfica se representa el Coste del Ciclo de Vida para cada una de las 625 combinaciones en el caso Completo y para cada una de las zonas climáticas en las que se instala el edificio. En este caso, el caso más completo, se obtienen 625 valores de LCC distintos ya que el LCC depende de todas las variables, es decir, precios de fotovoltaica, motores, gas natural y electricidad. Cada vez que hay un cambio en alguno de estos precios hay cambio en el LCC.

En el caso Completo hay un mayor consumo de gas natural que de electricidad. Esto se debe a que ahora consume gas natural tanto la caldera como los dos motores de micro-cogeneración mientras que el consumo de electricidad de la red se disminuye con la fotovoltaica y con los motores. Esto se puede apreciar en la gráfica puesto que los cinco grandes bloques que se muestran, que corresponden con los cinco precios de electricidad, tienen valores de LCC similares, es decir, dibujan curvas casi iguales. Donde sí se aprecian grandes cambios es en los distintos precios del gas natural, que corresponden con las cinco variaciones dentro de los grandes bloques. El LCC presenta una mayor dependencia con el precio del gas natural que con el de la electricidad.

Para cada precio del gas natural hay pequeñas variaciones que se deben a los cambios en los precios de fotovoltaica y los motores de micro-cogeneración. Ambos precios se consideran que siempre van a disminuir, es decir, se estudian los siguientes precios: base, -10%, -20%, -40% y -60%. Por esta razón, hay una curva descendente para cada precio del gas natural.

5.1.2 Zonas climáticas

A continuación se comparan, para una misma zona climática, los resultados del LCC recogidos en cada caso de estudio. Esto permite averiguar qué caso es más adecuado para cada zona climática.

5.1.2.1 Zona climática A3

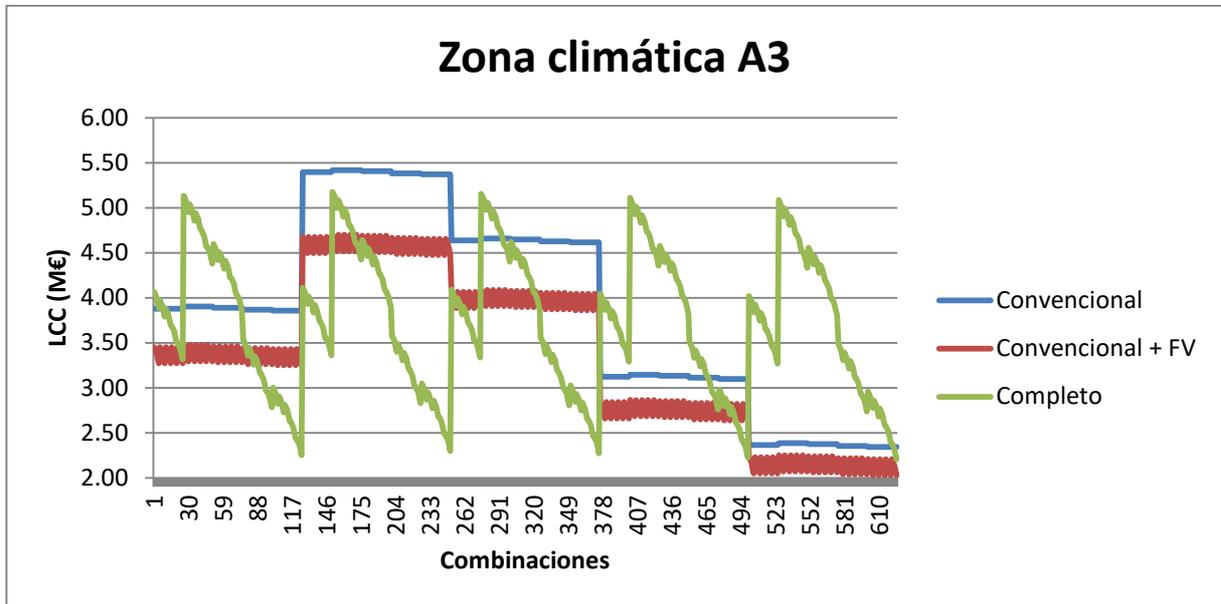


Figura 5.4: Resultados del LCC en el análisis de sensibilidad para cada caso de estudio. Zona A3.

A3 se trata de una zona climática donde hay poca demanda de calefacción, de hecho la de menor demanda, por ello en los casos Convencional y Convencional + FV apenas se aprecia cambio en los diferentes resultados del LCC cuando varía el precio del gas natural y el de electricidad permanece constante, es decir, para cada valor del precio de la electricidad aparece en las gráficas líneas prácticamente horizontales (líneas azul y roja) como ya se explicó en el apartado de Convencional. Al haber una baja demanda de calefacción hay un bajo consumo de gas natural por lo que variar el precio del gas natural apenas tiene repercusión en el resultado del LCC. Por el contrario, los casos Convencional y Convencional + FV tienen una gran demanda eléctrica de la red, siendo menor en Convencional + FV debido a la producción fotovoltaica y, por tanto, menor valores del LCC como se aprecia en la gráfica. Esto hace que haya grandes cambios en el LCC cuando se varía el precio de la electricidad.

Por otro lado, el caso Completo tiene una baja demanda eléctrica de la red a causa de la producción fotovoltaica y los motores de gas natural y un gran consumo de gas natural debido en gran parte al consumo de gas natural de los motores, como se expone anteriormente. Por consiguiente, hay poco cambio en el LCC cuando varía el precio de la electricidad mientras se aprecian grandes cambios cuando cambia el precio del gas natural.

Centrándose en la modificación del precio de la electricidad y teniendo en cuenta que el LCC para Convencional + FV es siempre menor que para Convencional:

- Cuando el precio de la electricidad aumenta respecto al precio base, en la zona A3 es más adecuado el caso Completo debido a que el consumo de electricidad es mucho más pequeño que en los otros dos casos y el precio de la electricidad es muy alto.
- Cuando el precio de la electricidad disminuye con respecto al precio base, el caso más adecuado en cuanto al Coste del Ciclo de Vida es el Convencional + FV debido a que aunque se consume más electricidad que en el caso Completo, la electricidad ha disminuido su precio y es barata. Además se consume mucho menos gas natural que en el Completo.

A continuación se analiza para cada precio fijo de electricidad que es lo que ocurre cuando se varía el precio de gas natural. Se comparan los resultados para el caso Convencional + FV y Completo.

- Precio Electricidad (base)

Observando la gráfica se puede apreciar claramente que el LCC es mayor en el caso Completo que en el Convencional + FV cuando el precio del gas natural es el base y cuando se aumenta (+40% y +20%), y es menor cuando el precio del gas natural disminuye respecto al caso base (-40% y -20%). Sin embargo, cuando el precio del gas natural disminuye un 20% hay una zona crítica. Para analizar mejor esa zona se hace un zoom (siguiente gráfica). El caso Convencional + FV y Completo obtienen valores iguales de LCC cuando el precio de los motores de gas natural disminuye un 10%, es decir, las curvas verde y roja coinciden en la segunda parte de ambas gráficas (señalización en gráfica). El precio de los motores no afecta a la curva de Convencional + FV, las cinco partes de la curva roja son iguales debido a que no hay motores. Por tanto, cuando el precio del gas natural disminuye un 20% no siempre es mayor el LCC en Convencional + FV que en Completo, eso ocurre para los precios de los motores de cogeneración: -20%, -40% y -60%. En resumen, el LCC es mayor en Completo para precios del gas natural +40% (todos los precios de motores de gas natural) y +20% sólo para el precio base de los motores, y es menor para precios del gas natural +20% (precios de motores -20%, -40% y -60%) y, -20% y -40% (todos los precios de motores de gas natural).

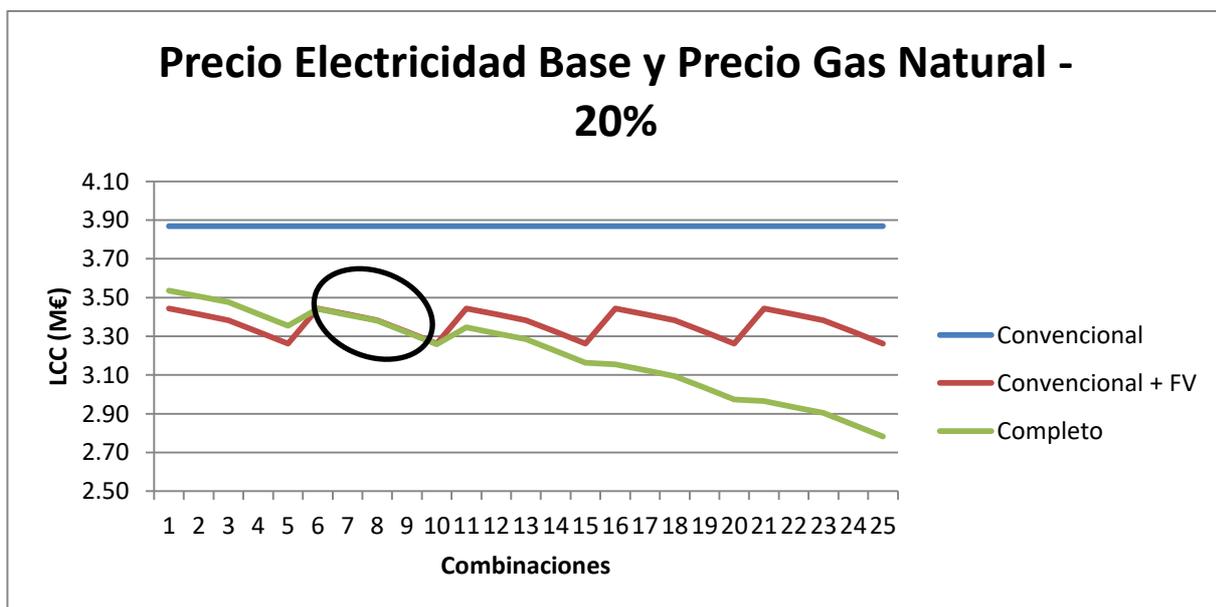


Figura 5.5: Resultados del LCC para precio de electricidad base y gas natural -20%. Zona A3.

- Precio Electricidad (+40%)

El LCC es mayor en el caso Completo que en el Convencional + FV cuando el precio del gas natural es el base y cuando se disminuye (-40% y -20%) mientras que hay puntos críticos cuando el precio del gas natural aumenta respecto al caso base (+40% y +20%). Se hace un zoom para estos dos casos del precio de gas natural. La primera gráfica muestra los valores del LCC cuando el precio del gas natural aumenta un 40%, en este caso el LCC mayor en Completo que en Convencional + FV para todos los precios de los motores de gas natural excepto cuando éste disminuye un 60%, donde es menor. Los valores del LCC cuando el precio del gas natural aumenta 20% (segunda gráfica) son siempre mayores en Convencional + FV que en Completo aunque para el caso base se obtienen resultados muy parecidos (señalización en gráfica). En este caso, al aumentar tanto el precio de la electricidad, que tiene una alta repercusión en el caso Convencional + FV, el LCC es siempre mayor en Convencional + FV (precios del gas natural base, +20%, -20% y -40%) y es menor únicamente cuando el precio del gas natural aumenta lo máximo (gran peso en caso Completo), es decir, precio del gas natural +40% (excepto cuando el precio de los motores se reduce -60%).

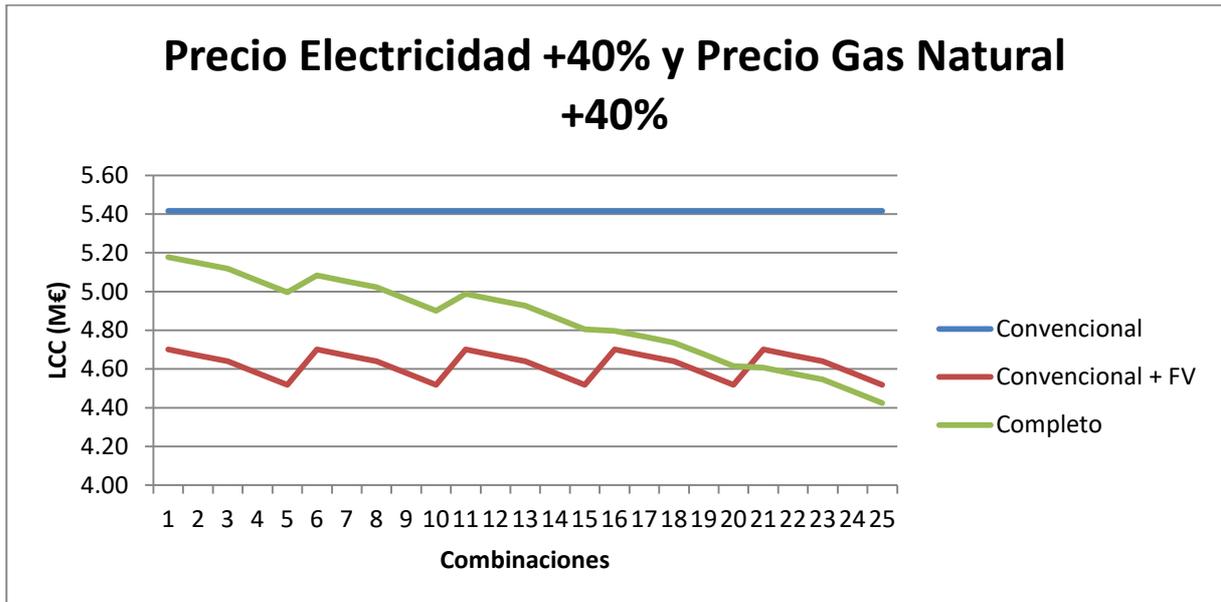


Figura 5.6: Resultados del LCC para precio de electricidad +40% y gas natural +40%. Zona A3.

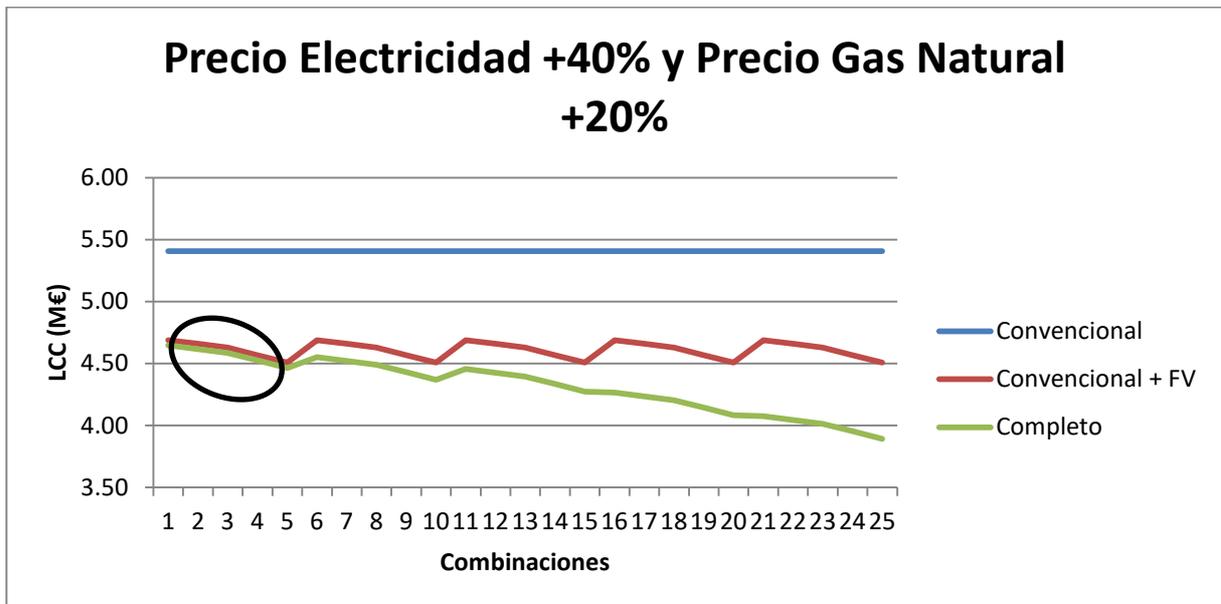


Figura 5.7: Resultados del LCC para precio de electricidad +40% y gas natural +20%. Zona A3.

- Precio Electricidad (+20%)

En este caso, el LCC obtiene valores menores en Completo que en Convencional + FV cuando el precio del gas natural disminuye respecto al caso base (-20% y -40%) mientras que son mayores en Completo cuando dicho precio aumenta (+40% y +20%). Para el precio base del gas natural hay criticidad, la siguiente gráfica lo aclara. La gráfica muestra el LCC cuando el precio del gas natural es el base, para todos los precios de los motores de gas. El LCC es mayor en Completo sólo cuando el precio de los motores de gas natural es el base (señalización en gráfica), una vez que ese precio comienza a disminuir ya es mayor en Convencional + FV. En este caso, al igual que en el caso anterior, se aumenta el precio de la electricidad aunque ahora un porcentaje menor, por tanto, el punto crítico va a aparecer para un precio del gas natural menor ya que la curva Convencional + FV va a estar desplazada hacia abajo con respecto al caso anterior. Por consiguiente, el LCC es mayor en Convencional + FV para precios del gas natural +20%, +40% y base (excepto precio de los motores base, punto crítico) y menor para el precio base del gas natural (a partir del punto crítico) y cuando se disminuye el precio del gas natural respecto al precio base (-20% y -40%).

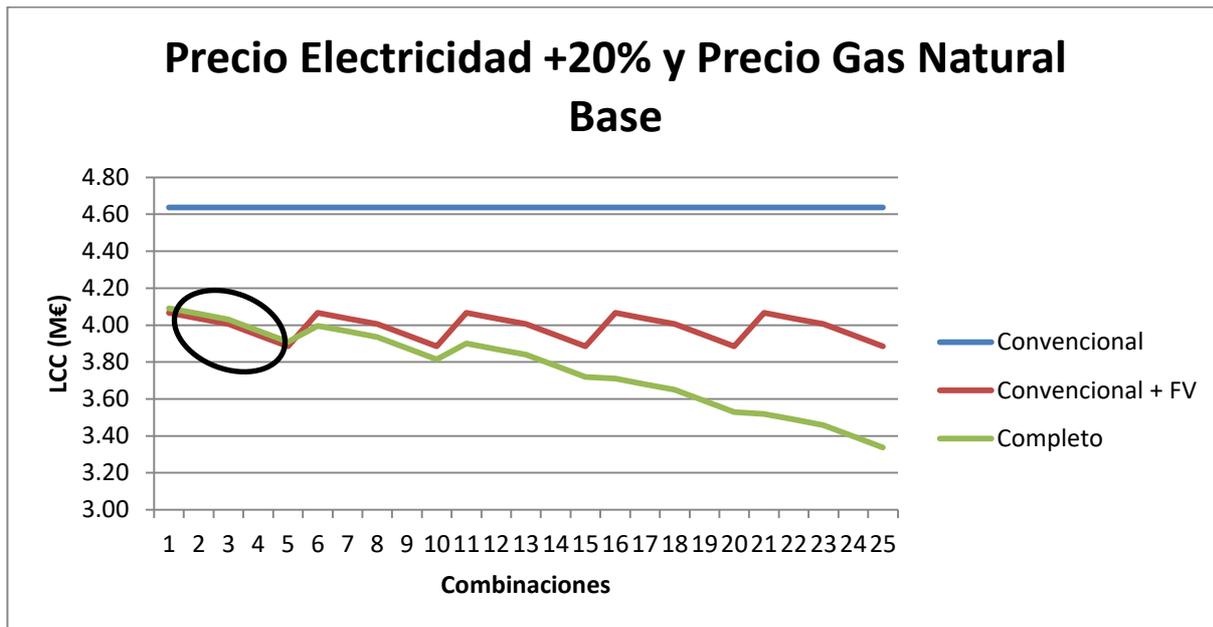


Figura 5.8: Resultados del LCC para precio de electricidad +20% y gas natural base. Zona A3.

- Precio Electricidad (-20%)

El LCC es mayor en Completo que en Convencional + FV para todos los precios del gas natural excepto cuando éste disminuye un 40%, dónde hay un punto crítico (señalización en gráfica). Este punto crítico se da cuando el precio del gas natural es -40% y el precio de los motores de gas natural pasan de -10% a -20%, es decir, para el precio de los motores base y -10%, el LCC es mayor en Completo que en Convencional + FV mientras que cuando el precio de los motores disminuye 20%, 40% o 60% es mayor en Convencional + FV. Esto se puede apreciar en la siguiente gráfica, donde se muestra el LCC para el precio del gas natural -40%. Al igual que al aumentar el precio de electricidad se desplaza la curva de Convencional + FV hacia arriba (apenas afecta a la curva de Completo), cuando se disminuye el precio de electricidad la curva de Convencional + FV se desplaza hacia abajo, por tanto, el caso Completo va a tener mayores valores del LCC en la mayoría de precios del gas natural. El único precio del gas natural para el cual Convencional + FV obtiene mayores valores del LCC es -40% ya que éste si afecta en gran medida a la curva de Completo, desplazándola hacia abajo hasta tal punto de quedar por debajo de Convencional + FV.

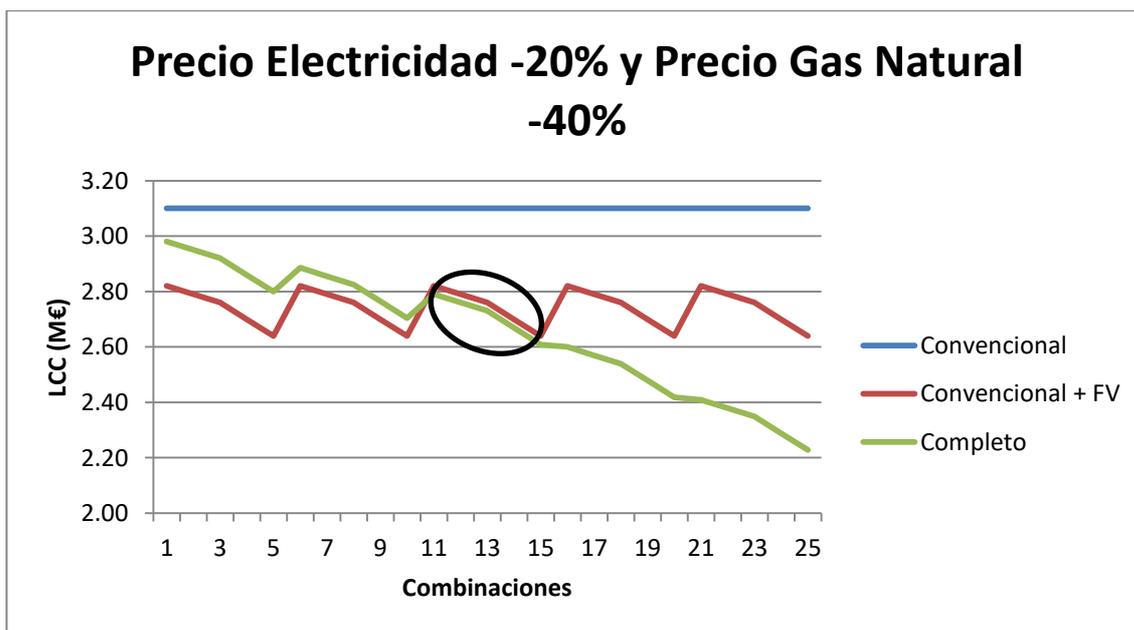


Figura 5.9: Resultados del LCC para precio de electricidad -20% y gas natural -40%. Zona A3.

- Precio Electricidad (-40%)

En este caso el LCC siempre es mayor en Completo que en Convencional + FV debido a que el precio de la electricidad se disminuye mucho. Por tanto, tiene una gran influencia en Convencional + FV al consumir una gran cantidad de energía eléctrica mientras que apenas tiene repercusión en Completo ya que en este caso se consume muy poca electricidad en comparación con el gas natural consumido. Para este caso no se muestran gráficas ya que se puede apreciar con claridad en la gráfica que muestra el LCC para la zona climática A3, *Figura 5.4*.

5.1.2.2 Zona climática B4

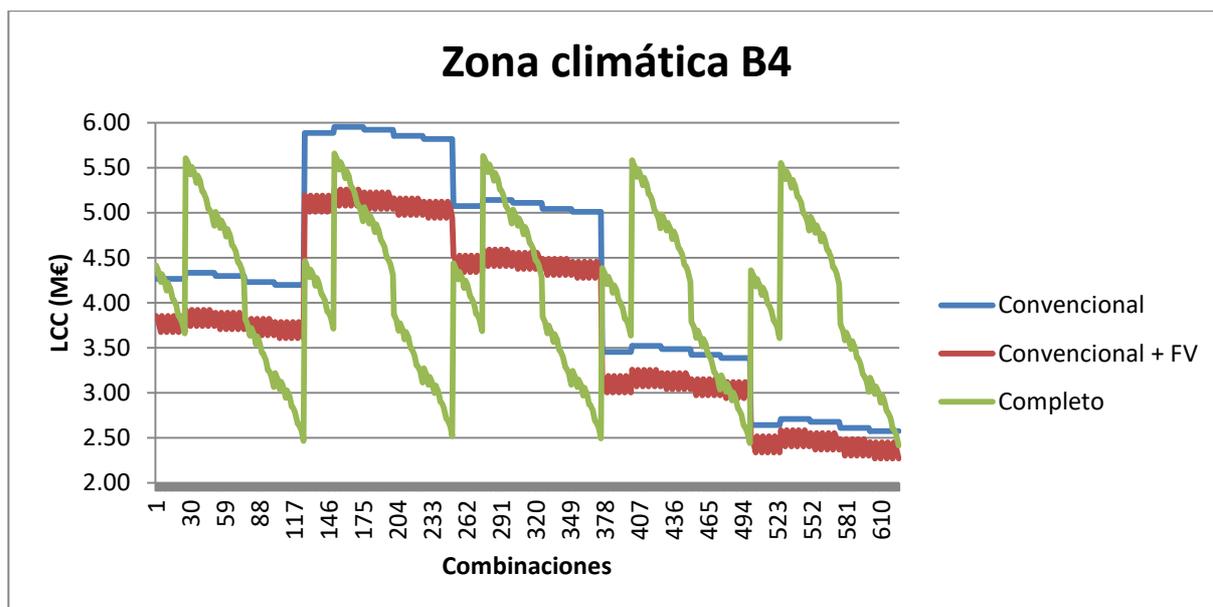


Figura 5.10: Resultados del LCC en el análisis de sensibilidad para cada caso de estudio. Zona B4.

B4 es una zona en la que en los casos Convencional + FV y Convencional hay una menor diferencia, que en A3, entre el consumo eléctrico y el de gas natural, ya que en esta zona hay un mayor consumo de calefacción, pero sigue siendo una gran diferencia. Por esta razón, en ambos casos se aprecia un mayor cambio en el LCC cuando se varía el precio del gas natural aunque sigue siendo un cambio mínimo. La zona B4 es la zona de mayor demanda eléctrica de la red, lo que hace, junto a un mayor consumo de calefacción, que el LCC en B4 sea mayor que en A3. Por otro lado, igual que ocurre en A3 y el resto de zonas climáticas, el LCC en Convencional + FV es menor que en Convencional debido al menor consumo de electricidad de la red.

En el caso Completo hay poco cambio en el LCC cuando varía el precio de la electricidad mientras se aprecian grandes cambios cuando cambia el precio del gas natural por la misma razón que en A3.

Centrándose en la modificación del precio de la electricidad y teniendo en cuenta que el LCC para Convencional + FV es siempre menor que para Convencional ocurre prácticamente lo mismo que en la zona climática A3, es decir, cuando el precio de la electricidad aumenta respecto al precio base el caso Completo presenta un menor LCC debido a que el consumo de electricidad es mucho más pequeño que en los otros dos casos y cuando el precio de la electricidad disminuye con respecto al precio base, el LCC es menor en Convencional + FV debido a que aunque se consuma más electricidad (barata) se consume menos gas natural.

El análisis de los puntos críticos para la zona climática B4 se expone en el anexo de *Gráficas de resultados del análisis de sensibilidad* ya que se sigue la misma metodología que para la zona climática A3.

5.1.2.3 Zonas climáticas C2, D3 y E1

Las zonas climáticas C2, D3 y E1 se tratan de las zonas donde en los casos Convencional y Convencional + FV se aprecia una mayor variación del LCC con respecto al precio del gas natural ya que son las zonas donde más gas natural se consume al haber mayores demandas de calefacción. Sin embargo, el LCC sigue variando más con respecto al precio de la electricidad ya que este consumo sigue siendo mayor que el de gas natural. En

cuanto al caso Completo sigue ocurriendo lo mismo en A3 y B4, hay grandes cambios en el LCC con los precios del gas natural mientras que apenas varía con el precio de la electricidad.

A continuación se muestran las gráficas del LCC para los tres casos de estudio en cada zona:

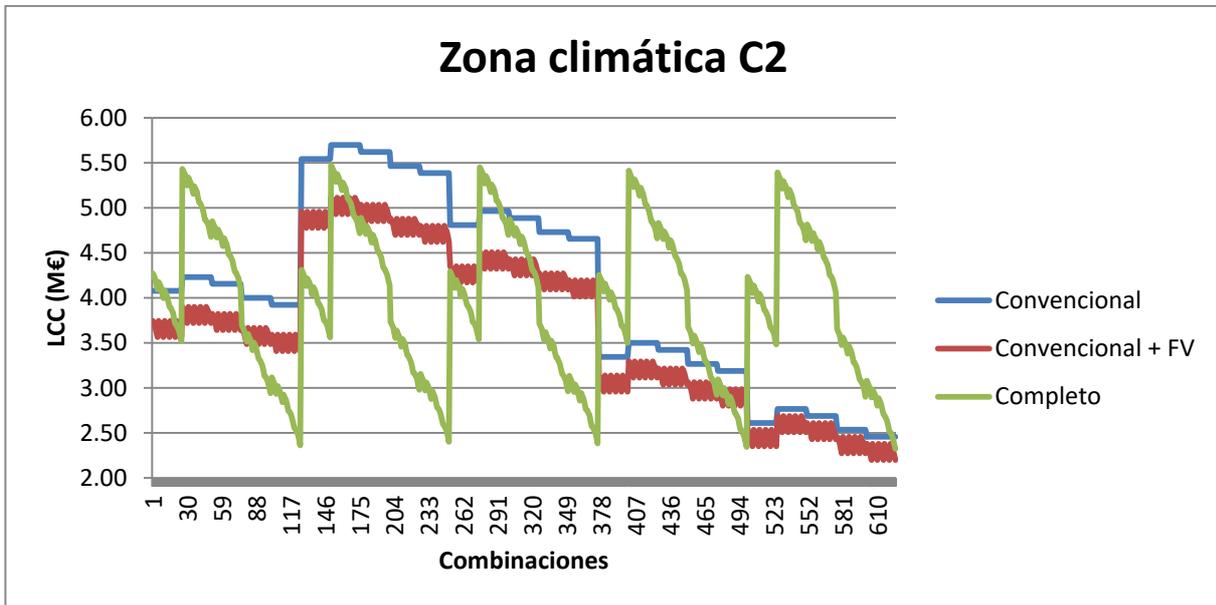


Figura 5.11: Resultados del LCC en el análisis de sensibilidad para cada caso de estudio. Zona C2.

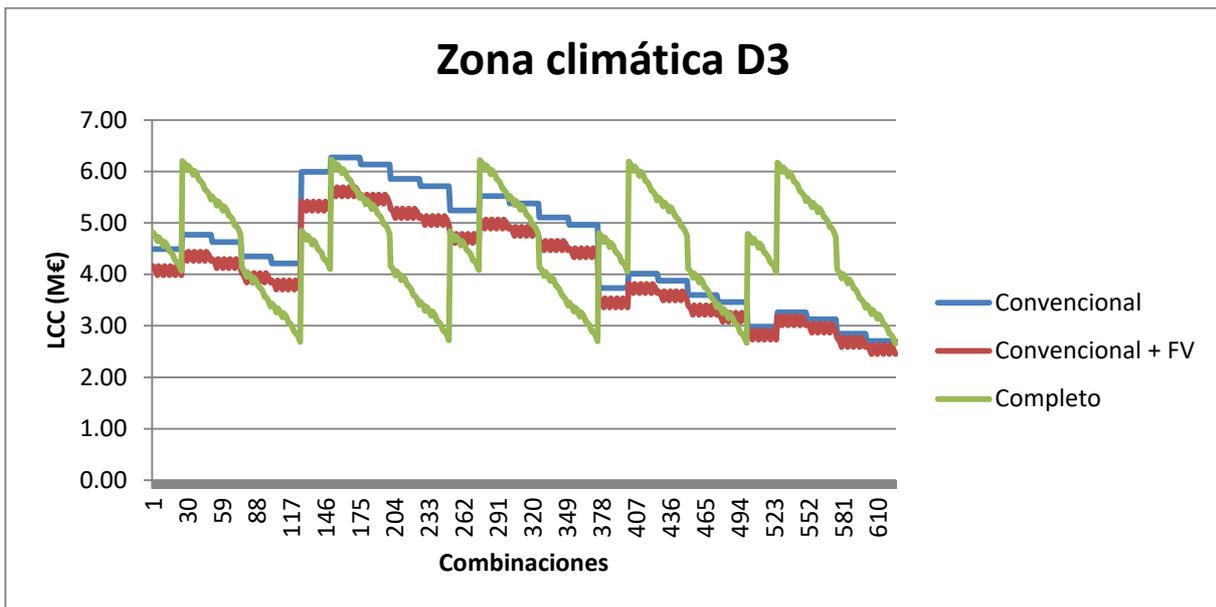


Figura 5.12: Resultados del LCC en el análisis de sensibilidad para cada caso de estudio. Zona D3.

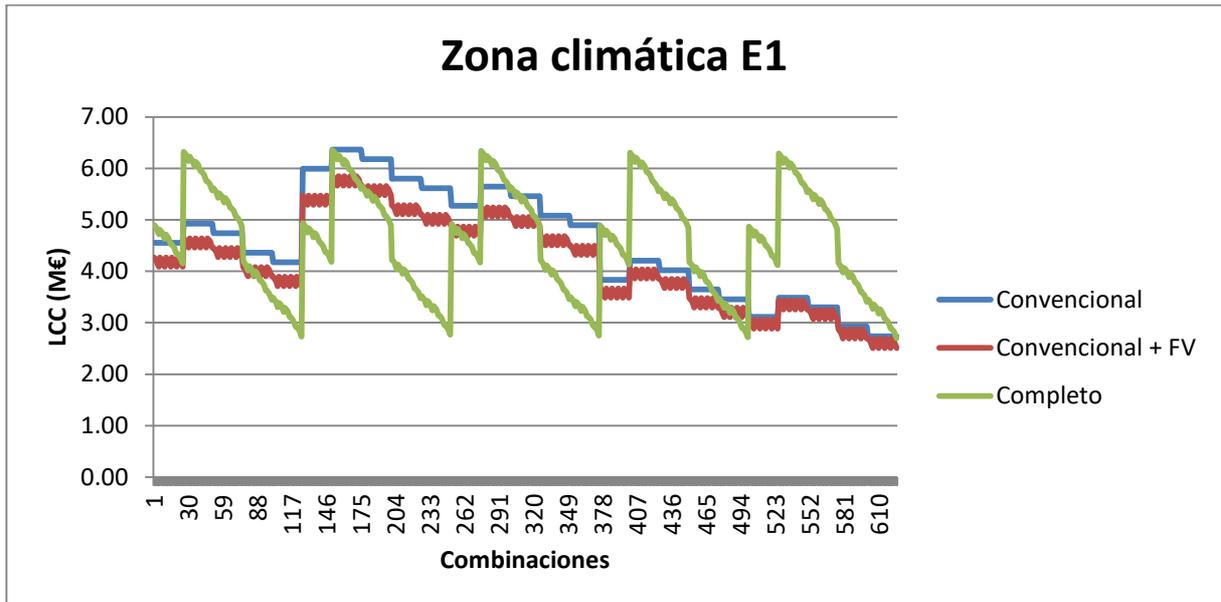


Figura 5.13: Resultados del LCC en el análisis de sensibilidad para cada caso de estudio. Zona E1.

Centrándose en la modificación del precio de la electricidad, para las zonas climáticas C2, D3 y E1, cuando el precio de la electricidad aumenta respecto al precio base el caso Completo presenta un menor LCC que el Conventional + FV, y cuando el precio de la electricidad disminuye con respecto al precio base, el LCC es menor en Conventional + FV.

El análisis de los puntos críticos para la zona climática B4 se expone en el anexo de *Gráficas de resultados del análisis de sensibilidad* ya que se sigue la misma metodología que para la zona climática A3.

5.2 Influencia de los precios de la energía y los equipos

En las tres siguientes tablas se muestran los valores del Coste del Ciclo de Vida (LCC), expresado en millones de euros, para cada estrategia de operación y zona climática de estudio. Por un lado, se expresa el LCC para el precio base, es decir, cuando cada una de las cuatro variables consideradas en el análisis de sensibilidad (precios electricidad, gas natural, fotovoltaica y motores GN) tienen el precio actual. Por otro lado, se expone el Coste del Ciclo de Vida para los diferentes precios en los que varían cada una de las cuatro variables consideradas en el análisis de sensibilidad mientras el resto de variables permanecen en su precio base.

Caso	Convencional				
Zona climática	A3	B4	C2	D3	E1
Precio base (M€)	3.880	4.264	4.076	4.490	4.551
Precio electricidad +40% (M€)	5.395	5.886	5.541	5.995	5.990
Precio electricidad +20% (M€)	4.637	5.075	4.809	5.242	5.271
Precio electricidad -20% (M€)	3.123	3.454	3.344	3.738	3.832
Precio electricidad -40% (M€)	2.365	2.643	2.612	2.985	3.113
Precio Gas Natural +40% (M€)	3.902	4.331	4.231	4.768	4.926
Precio Gas Natural +20% (M€)	3.891	4.298	4.154	4.629	4.739
Precio Gas Natural -20% (M€)	3.869	4.231	3.999	4.351	4.364
Precio Gas Natural -40% (M€)	3.858	4.197	3.922	4.212	4.177
Precio fotovoltaica -10% (M€)	3.880	4.264	4.076	4.490	4.551
Precio fotovoltaica -20% (M€)	3.880	4.264	4.076	4.490	4.551
Precio fotovoltaica -40% (M€)	3.880	4.264	4.076	4.490	4.551
Precio fotovoltaica -60% (M€)	3.880	4.264	4.076	4.490	4.551
Precio motores GN -10% (M€)	3.880	4.264	4.076	4.490	4.551
Precio motores GN -20% (M€)	3.880	4.264	4.076	4.490	4.551
Precio motores GN -40% (M€)	3.880	4.264	4.076	4.490	4.551
Precio motores GN -60% (M€)	3.880	4.264	4.076	4.490	4.551

Tabla 5.3: LCC en función de la variación de los precios para cada zona climática. Caso Convencional.

Caso	Convencional + FV				
Zona climática	A3	B4	C2	D3	E1
Precio base (M€)	3.455	3.855	3.745	4.163	4.269
Precio electricidad +40% (M€)	4.678	5.191	4.956	5.416	5.473
Precio electricidad +20% (M€)	4.066	4.523	4.351	4.790	4.871
Precio electricidad -20% (M€)	2.843	3.187	3.139	3.537	3.666
Precio electricidad -40% (M€)	2.231	2.519	2.534	2.910	3.064
Precio Gas Natural +40% (M€)	3.477	3.922	3.900	4.441	4.643
Precio Gas Natural +20% (M€)	3.466	3.888	3.822	4.302	4.456
Precio Gas Natural -20% (M€)	3.444	3.821	3.668	4.024	4.082
Precio Gas Natural -40% (M€)	3.433	3.788	3.590	3.885	3.895
Precio fotovoltaica -10% (M€)	3.424	3.825	3.715	4.133	4.238
Precio fotovoltaica -20% (M€)	3.394	3.794	3.684	4.102	4.208
Precio fotovoltaica -40% (M€)	3.334	3.734	3.624	4.042	4.147
Precio fotovoltaica -60% (M€)	3.273	3.673	3.563	3.981	4.087
Precio motores GN -10% (M€)	3.455	3.855	3.745	4.163	4.269
Precio motores GN -20% (M€)	3.455	3.855	3.745	4.163	4.269
Precio motores GN -40% (M€)	3.455	3.855	3.745	4.163	4.269
Precio motores GN -60% (M€)	3.455	3.855	3.745	4.163	4.269

Tabla 5.4: LCC en función de la variación de los precios para cada zona climática. Caso Convencional + FV.

Caso	Completo				
Zona climática	A3	B4	C2	D3	E1
Precio base (M€)	4.068	4.413	4.273	4.823	4.904
Precio electricidad +40% (M€)	4.114	4.465	4.312	4.853	4.937
Precio electricidad +20% (M€)	4.091	4.439	4.293	4.838	4.920
Precio electricidad -20% (M€)	4.045	4.386	4.254	4.808	4.887
Precio electricidad -40% (M€)	4.022	4.360	4.235	4.792	4.870
Precio Gas Natural +40% (M€)	5.132	5.606	5.431	6.206	6.322
Precio Gas Natural +20% (M€)	4.600	5.009	4.852	5.514	5.613
Precio Gas Natural -20% (M€)	3.536	3.816	3.695	4.131	4.195
Precio Gas Natural -40% (M€)	3.004	3.220	3.116	3.439	3.485
Precio fotovoltaica -10% (M€)	4.038	4.382	4.243	4.792	4.873
Precio fotovoltaica -20% (M€)	4.008	4.352	4.213	4.762	4.843
Precio fotovoltaica -40% (M€)	3.947	4.291	4.152	4.702	4.782
Precio fotovoltaica -60% (M€)	3.886	4.231	4.091	4.641	4.722
Precio motores GN -10% (M€)	3.973	4.317	4.178	4.727	4.808
Precio motores GN -20% (M€)	3.878	4.222	4.083	4.632	4.713
Precio motores GN -40% (M€)	3.687	4.031	3.892	4.442	4.523
Precio motores GN -60% (M€)	3.497	3.841	3.702	4.251	4.332

Tabla 5.5: LCC en función de la variación de los precios para cada zona climática. Caso Completo.

Como se puede apreciar en cada una de las tablas, al aumentar el precio de cualquier variable respecto al precio base aumenta el LCC mientras que cuando se disminuye el precio disminuye el valor del LCC. En el caso Convencional no se aprecian cambios en el LCC respecto al base cuando se varían los precios de fotovoltaica y motores de GN ya que en esta estrategia no existen estas dos partes. En el caso Convencional + FV ocurre lo mismo con el precio de los motores de GN.

Prestando atención en cada una de las tablas, en las cinco zonas climáticas, el valor del LCC es mayor en Completo que en Convencional y en Convencional mayor que en Convencional + FV para el precio base, es decir, el valor del LCC se ordena de mayor a menor, en el caso Base, de la siguiente forma: Completo>Convencional>Convencional+FV. Esto mismo se puede apreciar en la siguiente gráfica:

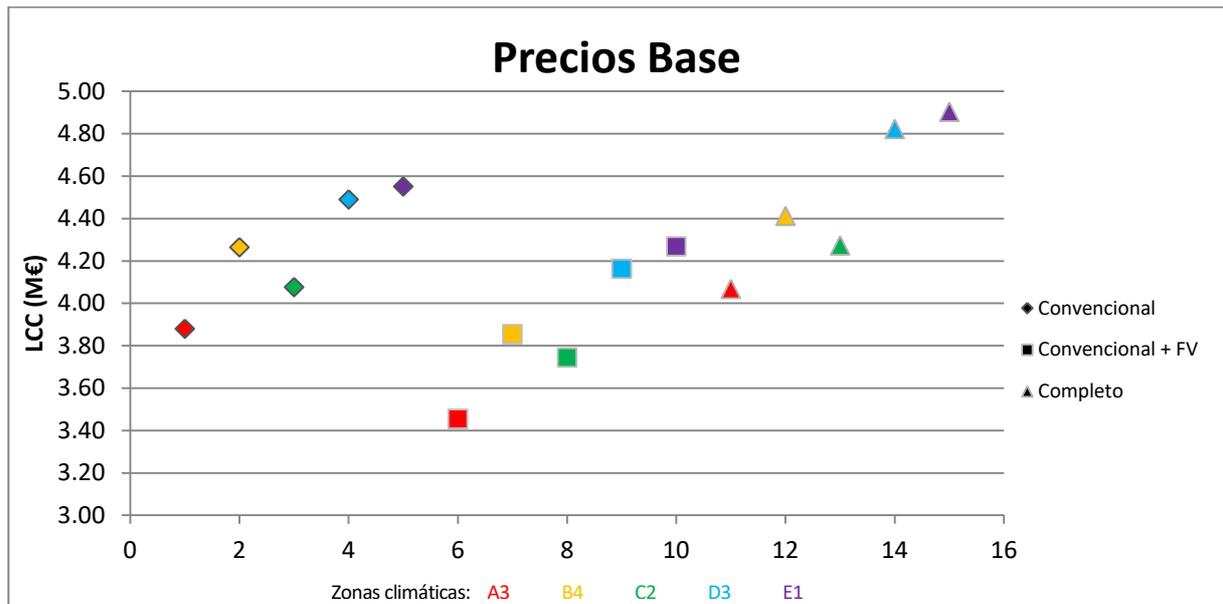


Figura 5.14: LCC para los precios base de los equipos y energías en cada zona climática y caso de estudio.

A continuación se analiza qué ocurre cuando se varían los precios de cada una de las variables en las diferentes zonas climáticas.

5.2.1 Influencia del precio de la energía

5.2.1.1 Electricidad

Al disminuir el precio de la electricidad, mientras que los demás precios se mantienen en su precio base, el LCC se ordena de la misma forma que en el caso Base para cada zona climática (Completo > Convencional > Convencional + FV). Esto es debido a que el precio de la electricidad tiene una gran influencia en el LCC de las estrategias Convencional y Convencional + FV (gran consumo energía eléctrica de la red) mientras que apenas tiene repercusión para el caso Completo al consumir mucha menos electricidad de la red. Por tanto, Completo apenas reduce sus valores del LCC mientras que sí lo hacen Convencional y Convencional + FV, aumentando aún más la diferencia en LCC con el caso Completo.

Cuando se aumenta el precio de la electricidad sí se producen cambios respecto al orden que sigue el LCC en el caso Base ya que aumenta mucho el LCC en Convencional y en Convencional + FV mientras que sufre un menor aumento en Completo debido a los consumos eléctricos de la red de uno y otro caso de operación.

Al aumentar un 40% el precio de la electricidad, Convencional presenta los mayores valores de LCC, en todas las zonas climáticas, mientras que Completo obtiene los menores. En comparación con el caso Base, Completo pasa de ser el que más LCC tiene a ser el que menos debido a que el alto precio de la electricidad es muy determinante en las otras dos estrategias (gran consumo eléctrico).

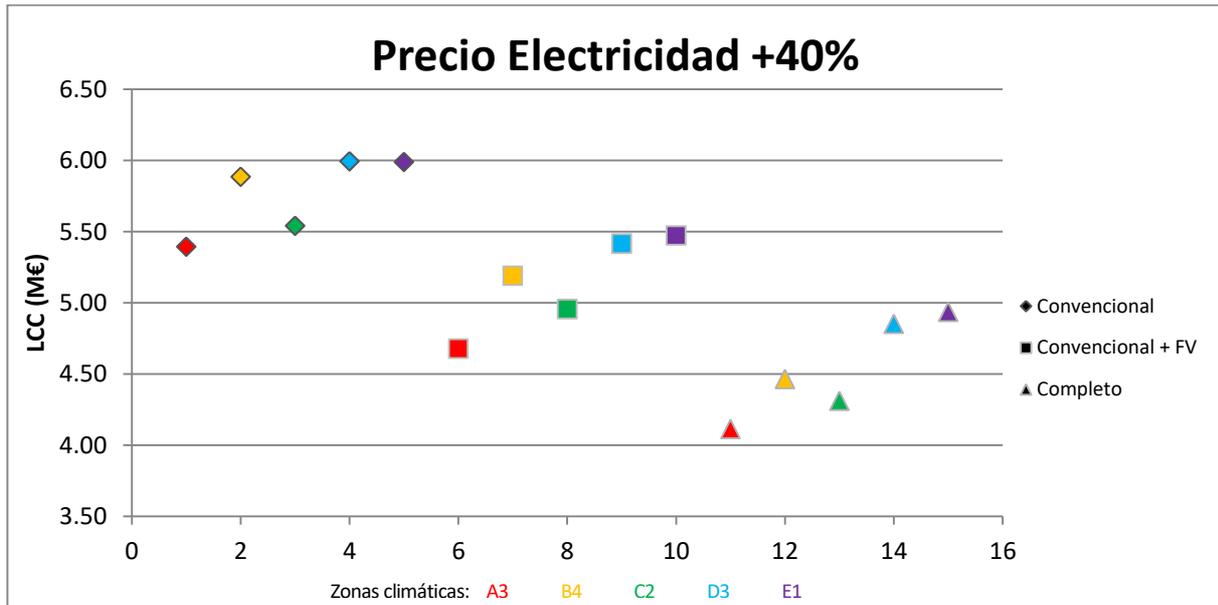


Figura 5.15: LCC para el precio de electricidad + 40% en cada zona climática y caso de estudio.

Cuando se aumenta el precio de la electricidad un 20%, en las zonas climáticas A3, D3 y E1 el LCC se ordena de forma distinta (Convencional>Completo>Convencional+FV) a las zonas climáticas B4 y C2 (Convencional>Convencional+FV>Completo).

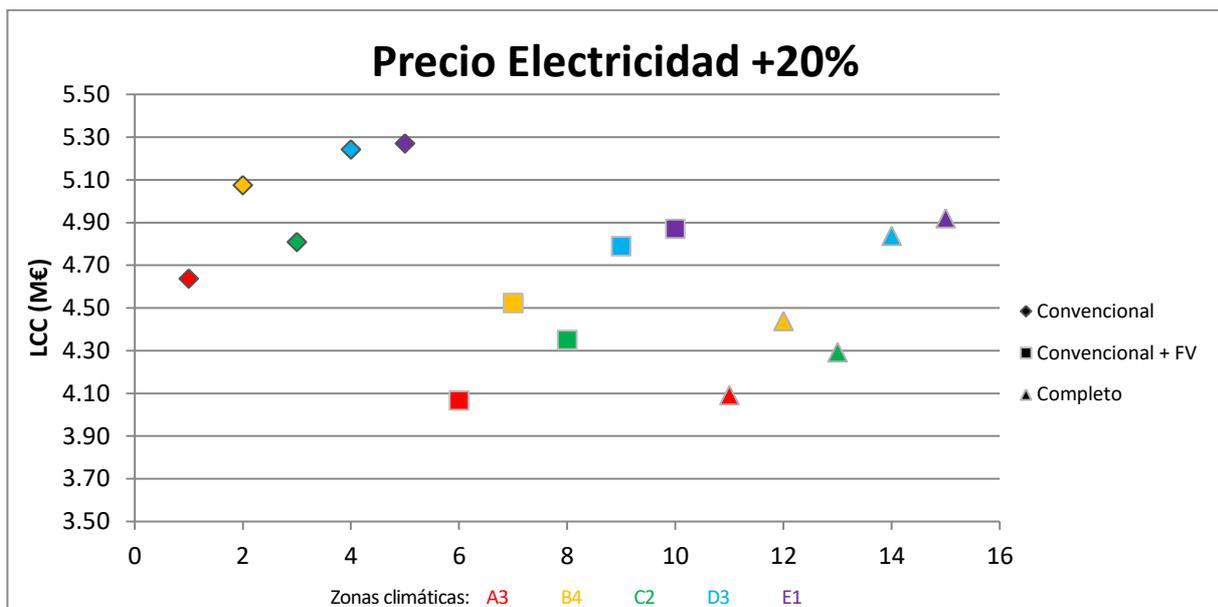


Figura 5.16: LCC para el precio de electricidad + 20% en cada zona climática y caso de estudio.

5.2.1.2 Gas Natural

Cuando se aumenta el precio del gas natural respecto a su precio base se sigue, para cada una de las zonas climáticas, el mismo orden del LCC que para el caso Base mientras que cuando se disminuye se presentan cambios en el orden. La razón de que esto ocurra es que el precio del gas natural tiene una gran influencia en el cálculo del LCC del caso Completo (gran consumo de gas natural) mientras que repercute de una forma más leve en los casos Convencional y Convencional + FV (menor consumo de gas natural). Por tanto, al aumentar el precio del gas natural, Completo se va a hacer mucho más caro mientras que el LCC va a aumentar poco en Convencional + FV y el orden del LCC va a seguir siendo el mismo que en el caso Base (Completo>Convencional>Convencional+FV).

Por consiguiente, si se aumenta el precio del gas natural, la instalación Convencional + FV es la más adecuada

para todas las zonas climáticas ya que además de casi ni verse afectada por el aumento del precio del gas natural consume menos electricidad que Convencional.

Al disminuir el precio del gas natural un 20%, el LCC es mayor en Convencional que en Completo, y mayor en este último que en Convencional + FV, para todas las zonas climáticas excepto B4, que se ordena de la siguiente forma: Convencional>Convencional+FV>Completo.

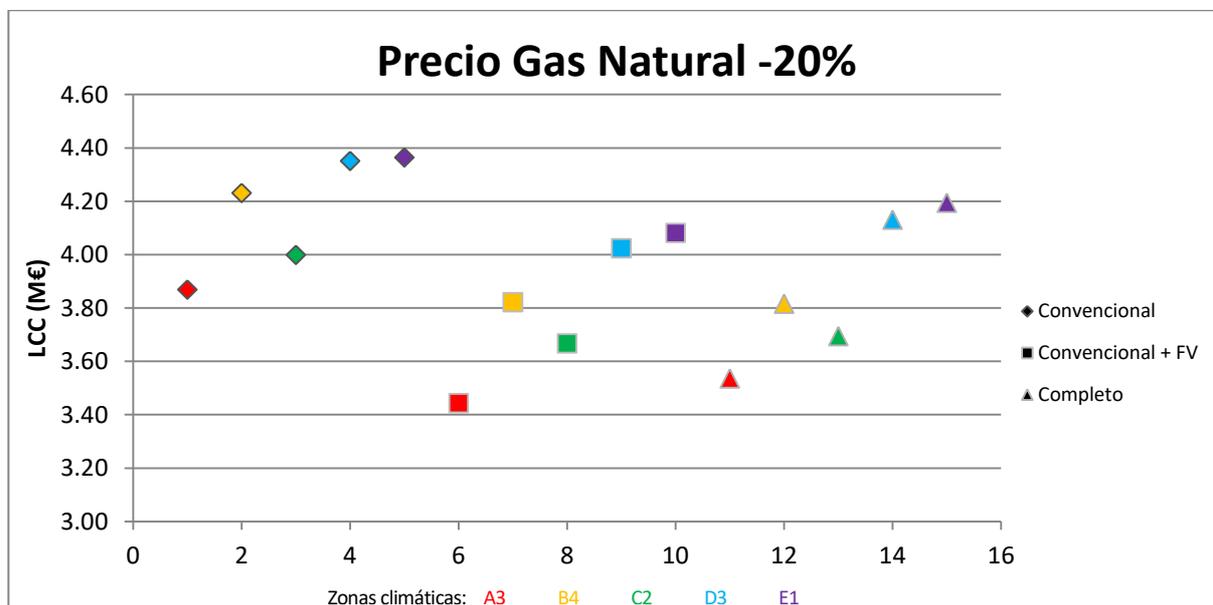


Figura 5.17: LCC para el precio de gas natural - 20% en cada zona climática y caso de estudio.

Por otro lado, cuando se disminuye el precio del gas natural un 40%, el orden del LCC para todas las zonas climáticas es: Convencional>Convencional+FV>Completo. Se puede apreciar el gran peso que tiene el precio del gas natural en el cálculo del LCC para el caso Completo ya que es el caso con mayor consumo de gas natural. El LCC, al igual que en el caso base, sigue siendo mayor en Convencional que en Convencional+FV mientras que es Completo el que cambia de posición respecto al base.

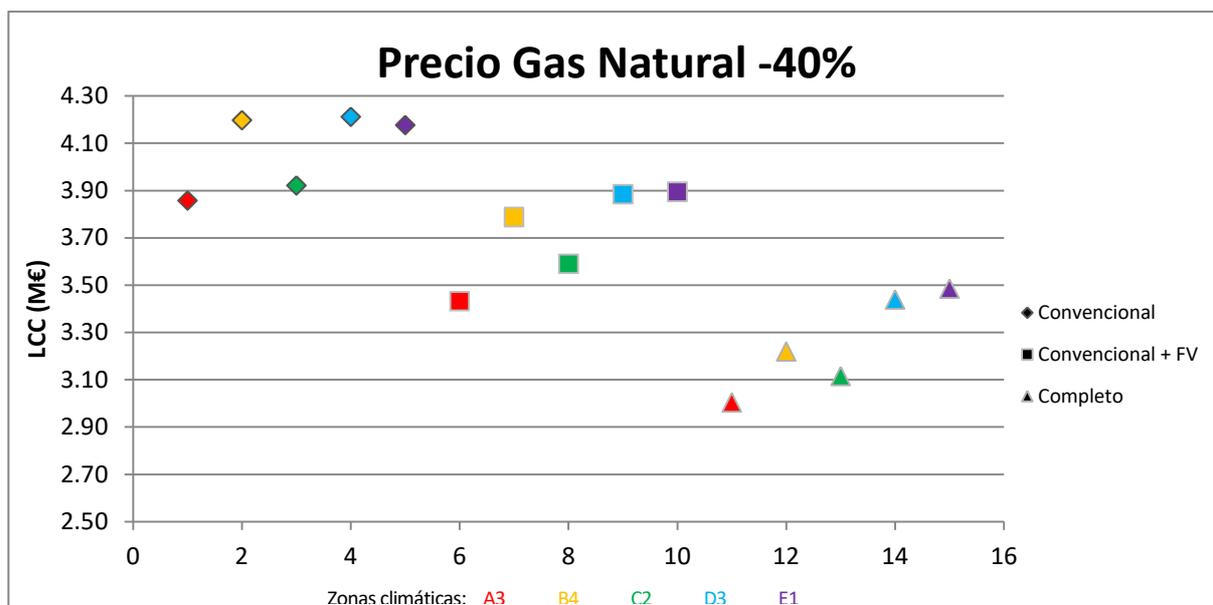


Figura 5.18: LCC para el precio de gas natural - 40% en cada zona climática y caso de estudio.

5.2.2 Influencia del precio de los equipos

5.2.2.1 Motores de Gas Natural

Para los diferentes precios de los motores de gas natural, los valores del LCC en los casos Convencional y Convencional + FV no varían ya que no existe esta parte.

Como se puede ver en las gráficas, disminuir el precio de los motores sí da lugar a una mayor modificación en el LCC para Completo que cuando se modificaba el precio de fotovoltaica, es decir, tiene una mayor repercusión los motores de gas natural que la parte fotovoltaica en el cálculo del LCC.

Cuando se disminuye el precio de los motores un 10% respecto al precio base el LCC se ordena de la misma forma que en el caso Base para cada una de las zonas climáticas.

Al disminuir dicho precio un 20%, el orden del LCC es igual que en el caso base para todas las zonas climáticas excepto en B4, donde Convencional es mayor que Completo, y Completo mayor que Convencional+FV.

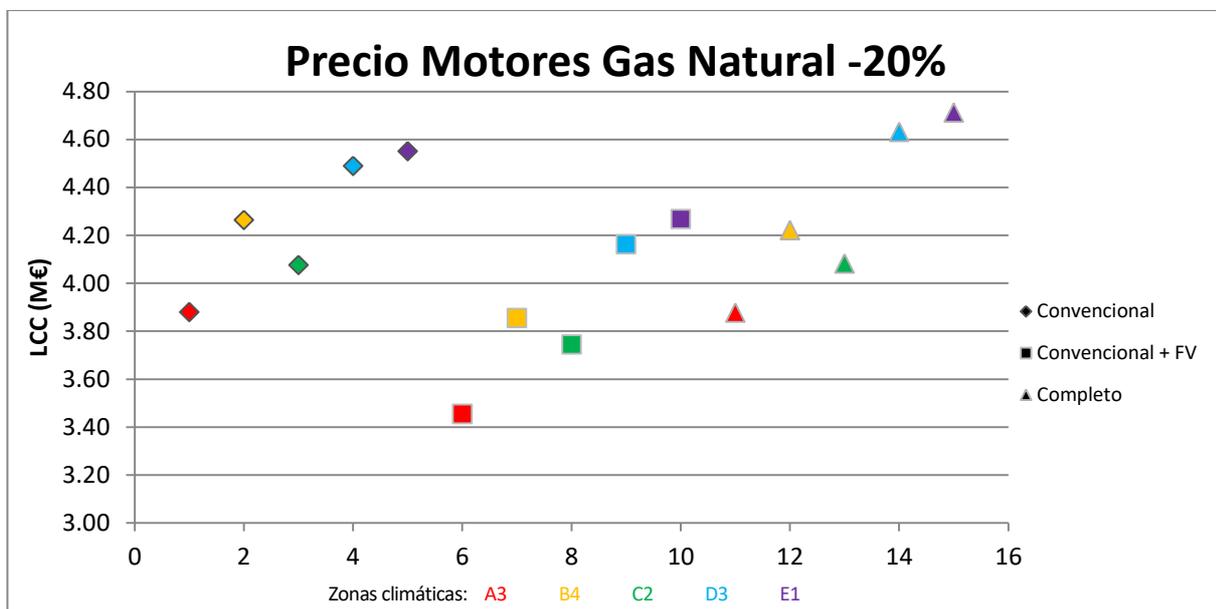


Figura 5.19: LCC para el precio de los motores de gas natural - 20% en cada zona climática y caso de estudio.

Cuando se disminuye un 40% el precio de los motores de micro-cogeneración, el valor del LCC es mayor en Convencional que en Completo y mayor en este último que en Convencional+FV para todas las ubicaciones del edificio.

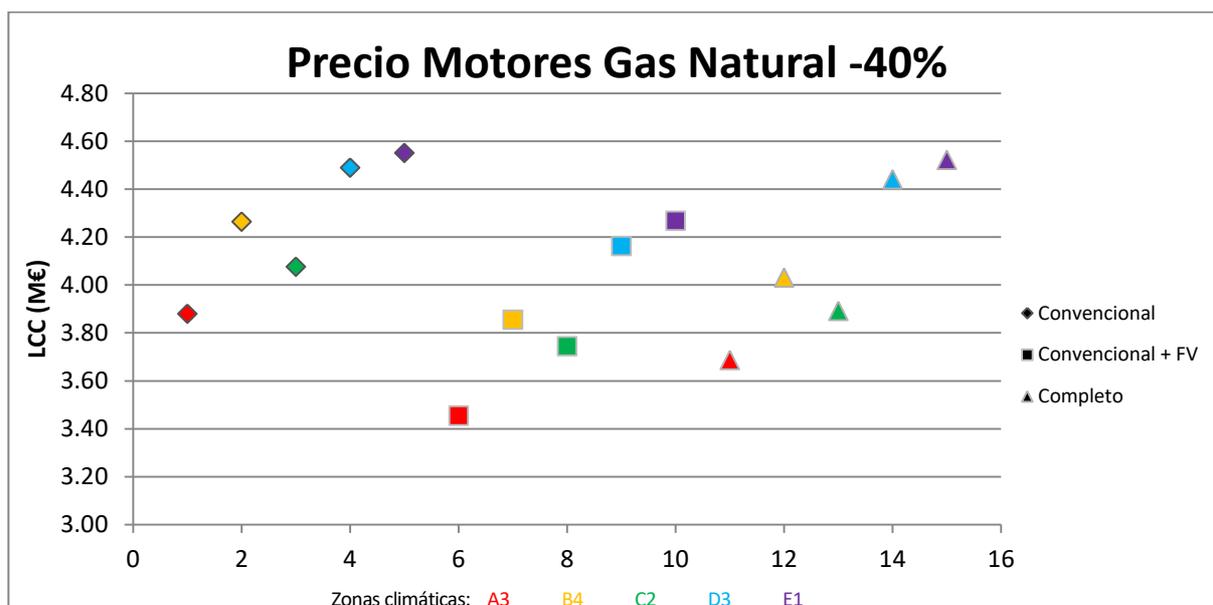


Figura 5.20: LCC para el precio de los motores de gas natural - 40% en cada zona climática y caso de estudio.

Por último, al disminuir un 60%, el LCC se ordena de la misma forma que cuando se disminuye un 40% en todas las zonas excepto en B4 y C2, donde se ordena así: Convencional>Convencional+FV>Completo.

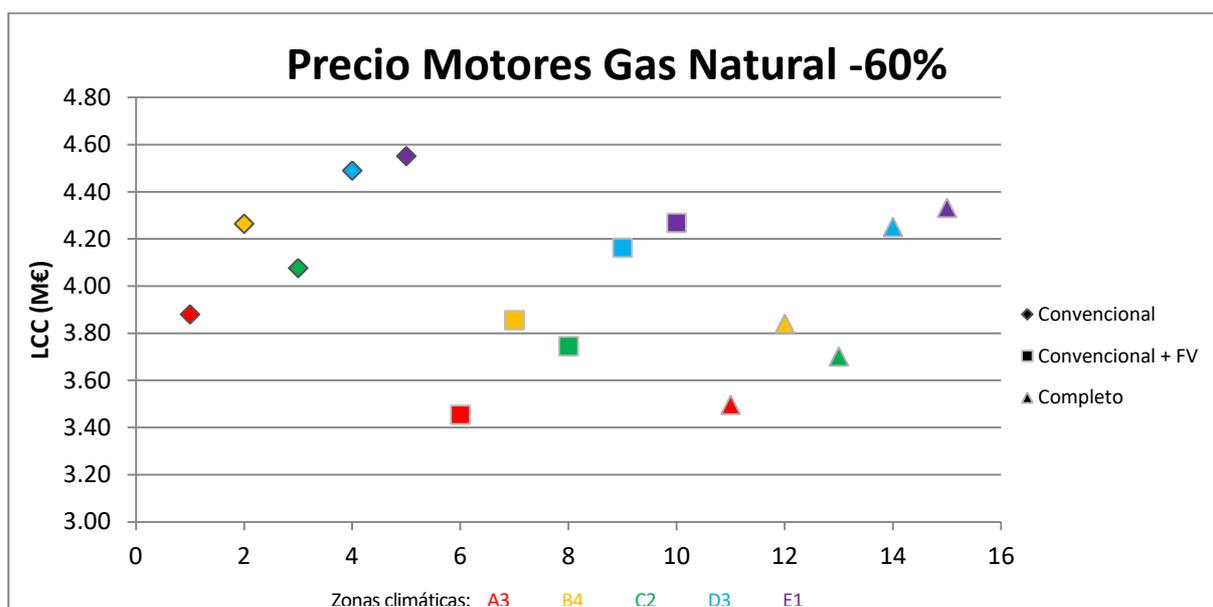


Figura 5.21: LCC para el precio de los motores de gas natural - 60% en cada zona climática y caso de estudio.

5.2.2.2 Fotovoltaica

Variar el precio de fotovoltaica (paneles + inversor) respecto al precio base apenas tiene repercusión en los valores del LCC. Los casos de estudio que sufren cambios en el LCC es el Completo y Convencional + FV, es decir, en los que se coloca campo solar fotovoltaico. En estas dos estrategias de operación el LCC disminuye lo mismo con respecto al caso Base ya que ambos casos tienen la misma instalación fotovoltaica.

Cuando se disminuye un 10%, 20% y 40% respecto al precio base, el orden es el mismo que en el caso Base para todas las zonas climáticas (Completo>Convencional>Convencional+FV).

Al disminuir dicho precio un 60%, el orden es el mismo que en el base en cada una de las zonas climáticas excepto en B4, donde Convencional es mayor que Completo, es decir, el orden del LCC es: Convencional>Completo>Convencional+FV.

En conclusión, el caso más rentable para cada zona climática es el Convencional + FV, al igual que en el caso

Base. A continuación se muestra esta gráfica:

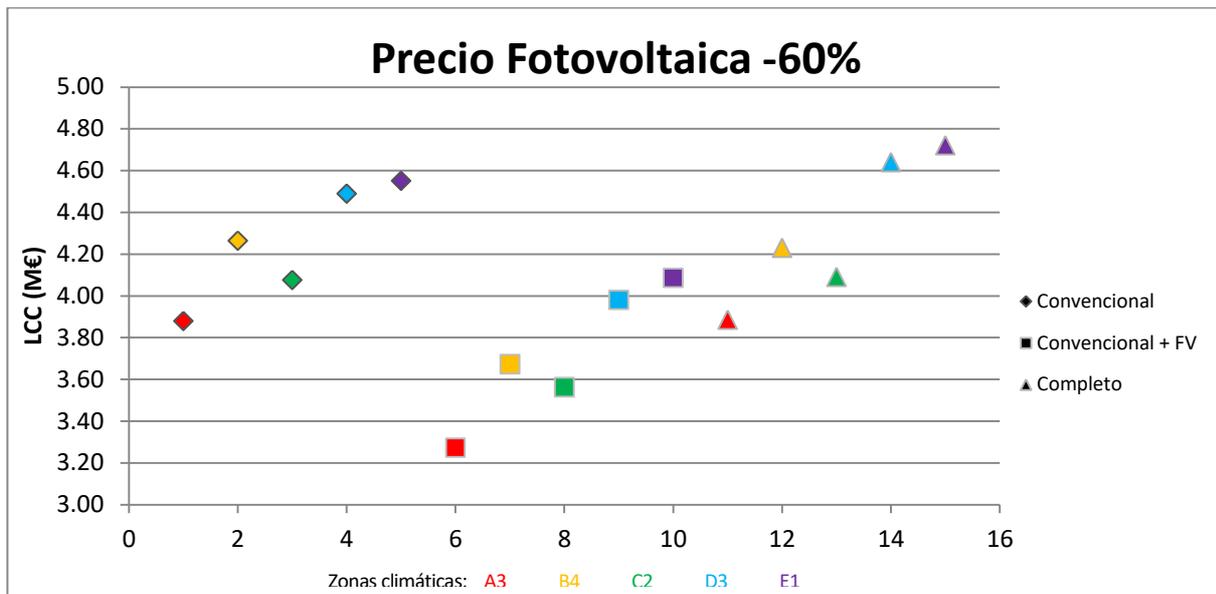


Figura 5.22: LCC para el precio de fotovoltaica - 60% en cada zona climática y caso de estudio.

6 CONCLUSIONES

El proyecto presentaba unas expectativas antes de su realización, entre ellas, aprender a manejar el software TRNSYS, así como a buscar información en revistas y artículos científicos para extraer información útil de ellos y analizar y obtener conclusiones.

Dichas expectativas se han cumplido, pues los artículos que se analizaron antes de comenzar con el estudio realizado han sido de gran ayuda para ampliar conocimientos, por ejemplo, sobre cogeneración y los sistemas híbridos de generación de energía. Además se ha utilizado información recogida en dichos artículos para la realización de la memoria. Esto favorecerá la búsqueda y consulta de información para proyectos y trabajos futuros.

Por otro lado, se ha aprendido a diseñar instalaciones en TRNSYS, que componentes existen en su biblioteca y como utilizarlos, incluir datos de entradas ajenos a TRNSYS, realizar las conexiones entre los diferentes Types, introducir parámetros dentro de un Type, ejecutar una simulación, visualizar los resultados...

Este documento ha mostrado varias posibilidades de diseño integrando motores de gas natural junto con recursos renovables para suministrar la energía necesaria en edificios de oficinas situados en varias ciudades españolas. Además, en el proyecto se han desarrollado cálculos, se han realizado análisis de resultados y se ha llevado a cabo una comparación entre las distintas zonas climáticas y diseños. De esta forma se han extraído conclusiones.

De los resultados se extrae que aún queda mucho por hacer en cuanto a la reducción de los costes de los motores de micro-cogeneración, o la importancia del clima a la hora de elegir entre un diseño u otro.

Debido a que las cinco ubicaciones del edificio presentan características climáticas muy diferentes, se obtienen resultados muy diversos dentro de una misma estrategia de operación. Los parámetros que más influenciados están por el clima son el consumo eléctrico de refrigeración y el consumo de gas natural de la caldera de calefacción ya que están directamente relacionados con el clima. Para todas las estrategias de operación, la zona climática B4 es la que mayor consumo de refrigeración y demanda eléctrica de la red (debido al consumo eléctrico de refrigeración) presenta mientras que E1 es la de menor consumo. Por otro lado, la zona E1 es la que mayores consumos de calefacción, bombas, final de gas natural, primario de gas natural y emisiones de CO₂ tiene mientras que A3 es la de menores consumos y emisiones de CO₂. Esto es debido a las características climáticas de cada zona, pues E1 presenta inviernos severos y veranos suaves, al contrario que B4 y A3.

Comparando los diferentes diseños estudiados, Convencional + FV es la instalación ideal en cuanto a consumos de energía, emisiones de CO₂ y Coste del Ciclo de Vida se refiere. Ésta instalación presenta menores consumos final y primario de energía que Convencional, debido a que presenta un menor consumo de electricidad mientras que el consumo de gas natural es el mismo, y Completo, ya que aunque Completo tenga menor consumo de electricidad tiene un muy alto consumo de gas natural. Por otro lado, debido a estos menores consumos de energía, Convencional + FV presenta menores emisiones de CO₂ y una mejor viabilidad económica al presentar menor LCC (el cálculo del LCC está muy influenciado por el coste de operación, que a su vez está directamente relacionado con el consumo de energía).

Por otro lado, el volumen del depósito de acumulación también tiene influencia en los resultados obtenidos, aunque dicha influencia es pequeña. Para los tres casos de estudio, Convencional, Convencional + FV y Completo, por lo general, los parámetros que dependen del volumen de acumulación presentan mayores valores para menores volúmenes del depósito, es decir, una instalación con un volumen de 5m³ es la que menores consumos, emisiones de CO₂ y LCC presenta.

Por último, en el presente trabajo se ha realizado un análisis de sensibilidad que ha permitido conocer la importancia que tiene a la hora de elaborar un estudio de este tipo y cómo influyen los precios de la energía y de los equipos utilizados en las diferentes instalaciones sobre el Coste del Ciclo de Vida. De dicho análisis se extrae que los precios de la energía (electricidad y gas natural) tienen una mayor influencia en el LCC que los precios de los equipos (motores de micro-cogeneración y paneles e inversor). Los precios de la parte de fotovoltaica (inversor y paneles) son los que menos repercusión tiene en el LCC.

REFERENCIAS

- [1] Luis Pérez-Lombard. Tema 1: Energía y Edificios. Ahorro y Eficiencia Energética en Instalaciones en la Edificación. Grado en Ingeniería de la Energía. 3º Curso. Universidad de Sevilla. 2015-2016
- [2] Maryam Fani and Amirhassan Sadreddin. Solar assisted CCHP system, energetic, economic and environmental analysis, case study: Educational office buildings. 2017
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877881631684X>
- [3] Unidades compactas de cogeneración. Eficiencia Energética. 2016
<http://www.ksadocuteca.com/DOCS/Folleto%20INDOP.pdf>
- [4] Isidoro Lillo. Teoría y problemas. Instalaciones Fotovoltaicas. Grado en Ingeniería de la Energía. 4º Curso. Universidad de Sevilla. 2016-2017
- [5] José Julio Guerra y Francisco Javier Pino. Tema 4: Acumulación. Energía Solar en la Edificación. Grado en Ingeniería de la Energía. 4º Curso. Universidad de Sevilla. 2016-2017
- [6] Caldera de condensación
https://es.wikipedia.org/wiki/Caldera_de_condensaci%C3%B3n
<https://www.saunierduval.es/para-el-usuario/productos/tecnologias/calderas-de-condensacion/>
- [8] Luis Pérez-Lombard. Tema 1: Fundamentos de climatización. Instalaciones Térmicas. Grado en Ingeniería de la Energía. 3º Curso. Universidad de Sevilla. 2015-2016
- [9] Documento Básico HE Ahorro de Energía. 2013
<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>
- [10] Características y Climogramas de zonas climáticas
<https://es.climate-data.org/>
- [11] TRNSYS 17 MANUAL. Volume 1: Getting Started. 2009
<http://web.mit.edu/parmstr/Public/Documentation/01-GettingStarted.pdf>
- [12] TRNSYS
<http://www.trnsys.com/>
- [13] The Honey Module PC05A. 2015
<http://static.trinasolar.com/sites/default/files/HONEY%20PC05A%26PC05A.08.pdf>
- [14] Energía Solar Fotovoltaica – Ingeteam. Fichas técnicas de los equipos. 2016
https://www.ingeteam.com/Portals/0/Productos/Documentos/PTD11559_Fichas%20t%C3%A9cnicas%20de%20los%20equipos%20U.pdf
- [15] Enfriadoras de líquido condensadas por aire. Bombas de calor aire-agua reversibles 30RBS 039-160/30RQS 039-160. Carrier. 2014
http://eto.carrier.com/litterature/psd/83461_PSD_06_2015_30RBS_30RQS_039_160_LR.pdf
- [16] Enfriadoras de líquido refrigeradas por aire con opción de módulo hidrónico integrado 30RB 162-802. Carrier. 2012
http://eto.carrier.com/litterature/psd/83438_PSD_02_2014_30RB_162_802_B_LR.pdf

[17] BAXI Catálogo tarifa 2015. 2015

<https://ahorraclima.es/catalogos/Catalogo-tarifa-BaxiRoca-2015.pdf>

[18] Catálogo SUILCASA 2016. 2016

<http://www.suicalsa.com/pdf/Catalogo-Suicalsa-2016.pdf>

[19] CG100S-NG Powerlink. 2015-2016

http://www.newenco.co.uk/file_upload/CG100S-NG.pdf

[20] Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España. 2014

http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros%20documentos/Factores_emision_CO2.pdf

[21] Precio inversor

<https://autosolar.es/inversores-de-red-trifasicos/inversor-red-80000w-ingecon-sun-power-80-kw>

[22] Tarifa de precios 2016. Carrier. 2016

<http://www.almagrup.com/new/files/pdfs/tarifas-proveedores/Tarifa-Carrier-2016.pdf>

[23] Brian R.Hicks. Gas alternatives: Small scale CHP, fuel cells and gas heat pumps. Germany. 2013

<https://www.bsria.com/download/asset/gas-alternatives-uk-contents-nov-2013.pdf>

[24] Lista de precios. Productos para instalaciones solares. Technosun. 2015

<https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiRkfHCqunYAhULLsAKHQamBmMQFggtMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.technosun.com%2Fes%2Fdescargas%2FTECHNO-SUN-lista-precios-solar-fotovoltaica.pdf&usq=AOvVaw30NiT3gBGMeuCYzqDzWDPs>

[25] Bundesnetzagentur. 2015

https://www.bundesnetzagentur.de/cln_112/DE/Home/home_node.html

[26] Laura Romero, José Manuel Salmerón, Servando Álvarez, José Sánchez and Enrique Ángel Rodríguez. Analysis of the economic feasibility and reduction of a building's energy consumption and emissions when integrating hybrid solar thermal/PV/micro-CHP systems. 2016

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915016530>

- **Áreas de los espacios y plantas del edificio**

Las siguientes tablas recogen el desglose de las áreas de las distintas zonas y plantas del edificio:

Planta baja:

Espacios	P03_E02	P03_E03	P03_E04	P03_E05	P03_E07	P03_E08
Área (m²)	48.20	157.02	35.07	10.35	77.19	38.07

Primera planta:

Espacios	P04_E01	P04_E02	P04_E03	P04_E04	P04_E05	P04_E06
Área (m²)	403.33	270.91	393.49	69.51	54.07	61.40

Segunda, tercera y cuarta planta (mismas características):

Espacios	P05_E01	P05_E02	P05_E03	P05_E04	P05_E05	P05_E06
Áreas (m²)	403.33	270.91	393.49	69.51	54.07	61.40

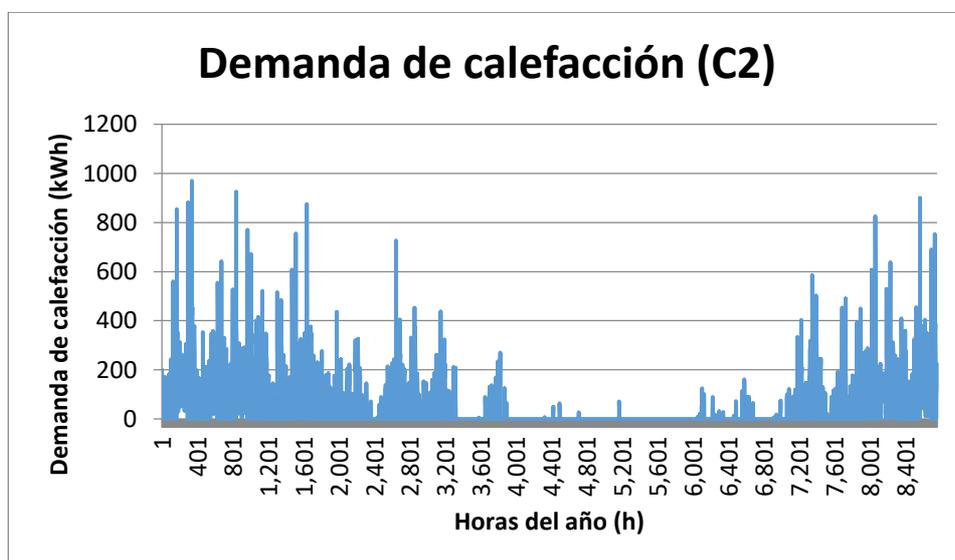
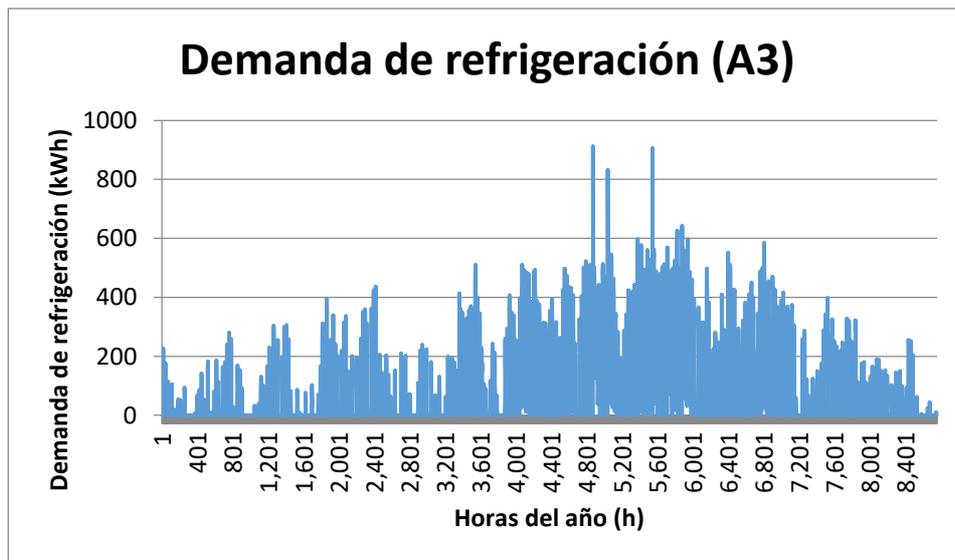
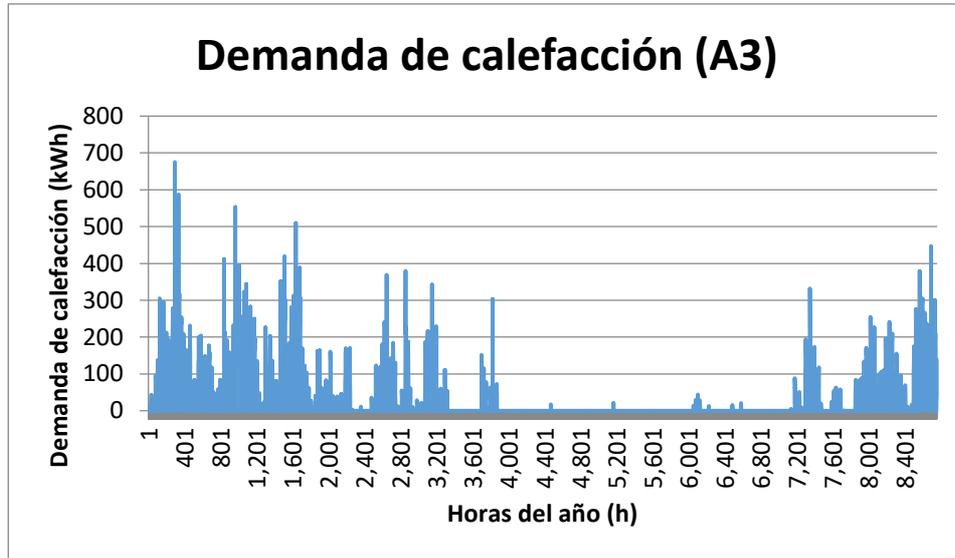
Quinta planta:

Espacios	P06_E01	P06_E02	P06_E03	P06_E04	P06_E05	P06_E06
Áreas (m²)	403.33	270.91	393.49	69.51	54.07	61.40

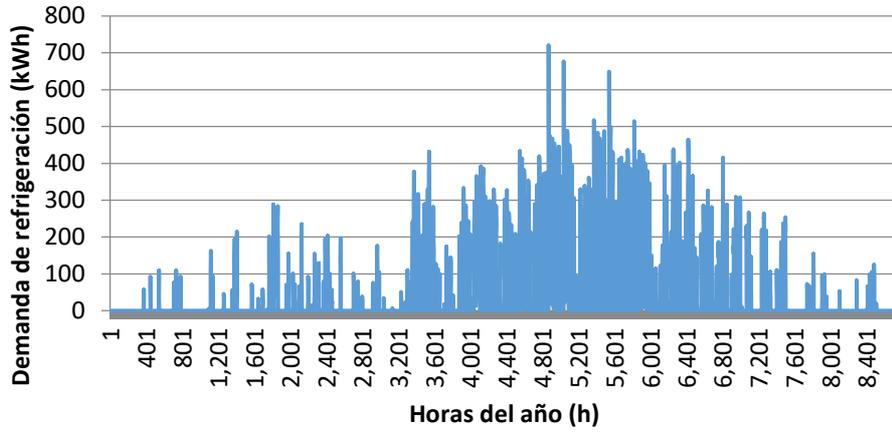
Si se suman las áreas de los distintos espacios y plantas se obtiene el área total del edificio, 6629 m².

- **Demandas de calefacción y refrigeración**

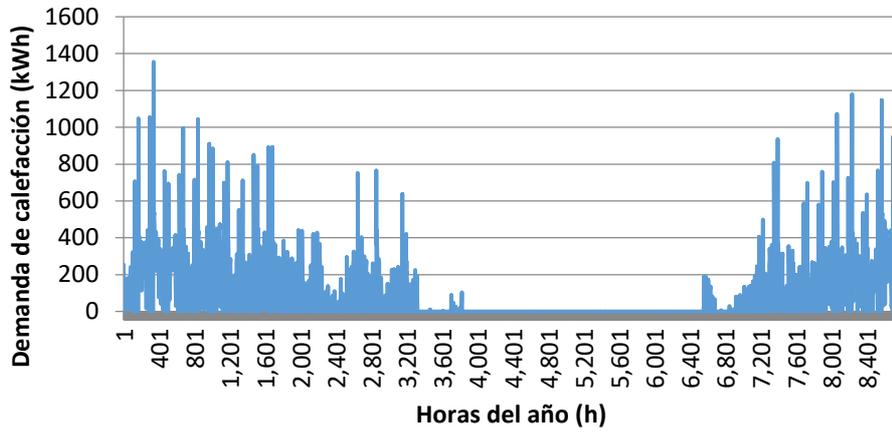
Se muestran las gráficas de las demandas horarias de calefacción y refrigeración para las zonas climáticas A3, C2 y D3:



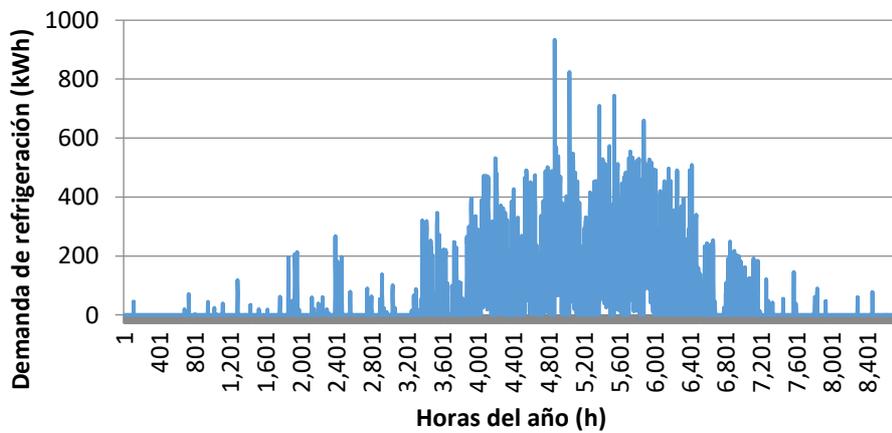
Demanda de refrigeración (C2)



Demanda de calefacción (D3)



Demanda de refrigeración (D3)



- **Dimensionado de los paneles fotovoltaicos**

Conociendo el área disponible de la cubierta y el área de cada panel fotovoltaico se obtiene el número máximo de paneles que se pueden instalar.

$$N_{tp} = \frac{A_{total}}{A_{panel}} = \frac{626}{1.637} = 382 \text{ paneles}$$

A partir del número de paneles y la potencia nominal de cada panel se obtiene la potencia del campo solar:

$$P_{cs} = P_n * N_{tp} = 255 * 381 = 97410 \text{ W}$$

El siguiente paso es calcular el número de paneles en serie, tanto máximo como mínimo. Para ello es necesario calcular en primer lugar las temperaturas máximas y mínimas que va a llegar a alcanzar el panel en función de la temperatura ambiente de cada zona climática y la Temperatura Nominal de la Célula (TONC):

$$T_{maxp} = T_{maxamb} + \frac{TONC - 20}{800} * I_{max}$$

$$T_{minp} = T_{minamb} + \frac{TONC - 20}{800} * I_{min}$$

Donde TONC es un dato del fabricante, $I_{max}=1000\text{W/m}^2$, $I_{min}=100\text{W/m}^2$ y, T_{maxamb} y T_{minamb} se obtienen de los datos climatológicos de las distintas zonas obtenidos a través de la herramienta CLIMEDTOOL, la cual se comenta más adelante:

Zona climática	Tminamb (°C)	Tmaxamb (°C)
A3 (Cádiz)	6.3	31.8
B4 (Sevilla)	2	41.1
C2 (Barcelona)	0.8	32.5
D3 (Madrid)	-0.6	36
E1 (Burgos)	-4.3	34.5

Sustituyendo en ambas fórmulas, se obtienen las temperaturas máximas y mínimas del módulo fotovoltaico:

Zona climática	Tminp (°C)	Tmaxp (°C)
A3 (Cádiz)	9.3	61.8
B4 (Sevilla)	5	71.1
C2 (Barcelona)	3.8	62.5
D3 (Madrid)	2.4	66
E1 (Burgos)	-1.3	64.5

Una vez calculadas dichas temperaturas se procede a calcular las tensiones de seguimiento del punto de máxima potencia máximas y mínimas, es decir, $V_{spmpmax}$ y $V_{spmpmin}$. Además se calculan las tensiones a circuito abierto máxima (V_{camax}). Estas tres tensiones permitirán conocer, posteriormente, el número de paneles en serie máximo y mínimo.

$$V_{spmp, max} = V_{spmp} * \left(1 - \frac{\partial V_{mp}}{\partial T} * (T_{minp} - 25) \right)$$

$$V_{spmp, min} = V_{spmp} * \left(1 - \frac{\partial V_{mp}}{\partial T} * (T_{maxp} - 25) \right)$$

$$V_{ca, max} = V_{ca} * \left(1 - \frac{\partial V_{ca}}{\partial T} * (T_{minp} - 25) \right)$$

Donde V_{spmp} , V_{ca} y $\partial V_{ca}/\partial T$ son datos del fabricante.

NOTA.- $\partial V_{mp}/\partial T$ se considera igual a $\partial V_{ca}/\partial T$ ya que el fabricante solo da la variación de la tensión a circuito abierto con la temperatura.

Zona climática	$V_{spmp, max}$ (V)	$V_{spmp, min}$ (V)	$V_{ca, max}$ (V)
A3 (Cádiz)	32.03	26.91	40.01
B4 (Sevilla)	32.45	26	40.54
C2 (Barcelona)	32.57	26.84	40.68
D3 (Madrid)	32.71	26.49	40.86
E1 (Burgos)	33.07	26.64	41.31

Ya se puede calcular el número máximo y mínimo de paneles en serie:

$$N_{ps, min} \geq \frac{V_{spmp, min, inversor}}{V_{spmp, min}}$$

$$N_{ps, max} \leq \frac{V_{spmp, max, inversor}}{V_{spmp, max}}$$

$$N_{ps, max} \leq \frac{V_{max, inversor}}{V_{ca, max}}$$

Donde $V_{spmpmininversor}$, $V_{spmpmaxinversor}$ y $V_{maxinversor}$ son datos del inversor. La tensión de continua en el inversor tiene que estar en un rango de tensiones, además, no se puede superar la tensión máxima permitida por el inversor.

Entre las dos ecuaciones de paneles en serie máximo hay que elegir el más restrictivo, es decir, en la ecuación que salga el menor número de paneles en serie. Por tanto, el número de paneles en serie para cada zona climática será el siguiente:

Zona climática	$N_{ps, min}$	$N_{ps, max}$
A3 (Cádiz)	16	22
B4 (Sevilla)	16	22
C2 (Barcelona)	16	22
D3 (Madrid)	16	22
E1 (Burgos)	16	21

En cuanto al cálculo de paneles en paralelo se sigue el siguiente procedimiento:

$$N_{hp} \leq \frac{I_{max, inversor}}{I_{cc}}$$

Donde $I_{maxinversor}$ es un dato del inversor.

Por tanto, el número de hileras en paralelo es la misma para cada zona climática ya que $I_{maxinversor}$ e I_{cc} son valores fijos, no varían de una ubicación a otra:

Zona climática	Nhp
A3 (Cádiz)	23
B4 (Sevilla)	23
C2 (Barcelona)	23
D3 (Madrid)	23
E1 (Burgos)	23

Finalmente, la solución adoptada para el número de paneles en la cubierta del edificio es 380 paneles con una distribución de 20 paneles en serie y 19 hileras en paralelo.

Por tanto, la potencia del campo solar es de $P_{cs} = 96900W$.

- **Diseño de las bombas de circulación**

Para el cálculo del caudal se procede de la siguiente forma:

Se pasa la potencia de kW a kJ/h y, a continuación, se calcula el caudal conociendo el calor específico del agua y el incremento de temperatura.

$$Potencia \left(\frac{kJ}{h} \right) = Potencia (kW) * 3600$$

$$Caudal \left(\frac{kg}{h} \right) = \frac{Potencia \left(\frac{kJ}{h} \right)}{\Delta T * Cp}$$

Donde $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ y $Cp = 4.186 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

- **Análisis de resultados Convencional**

Gráficas de resultados anuales:

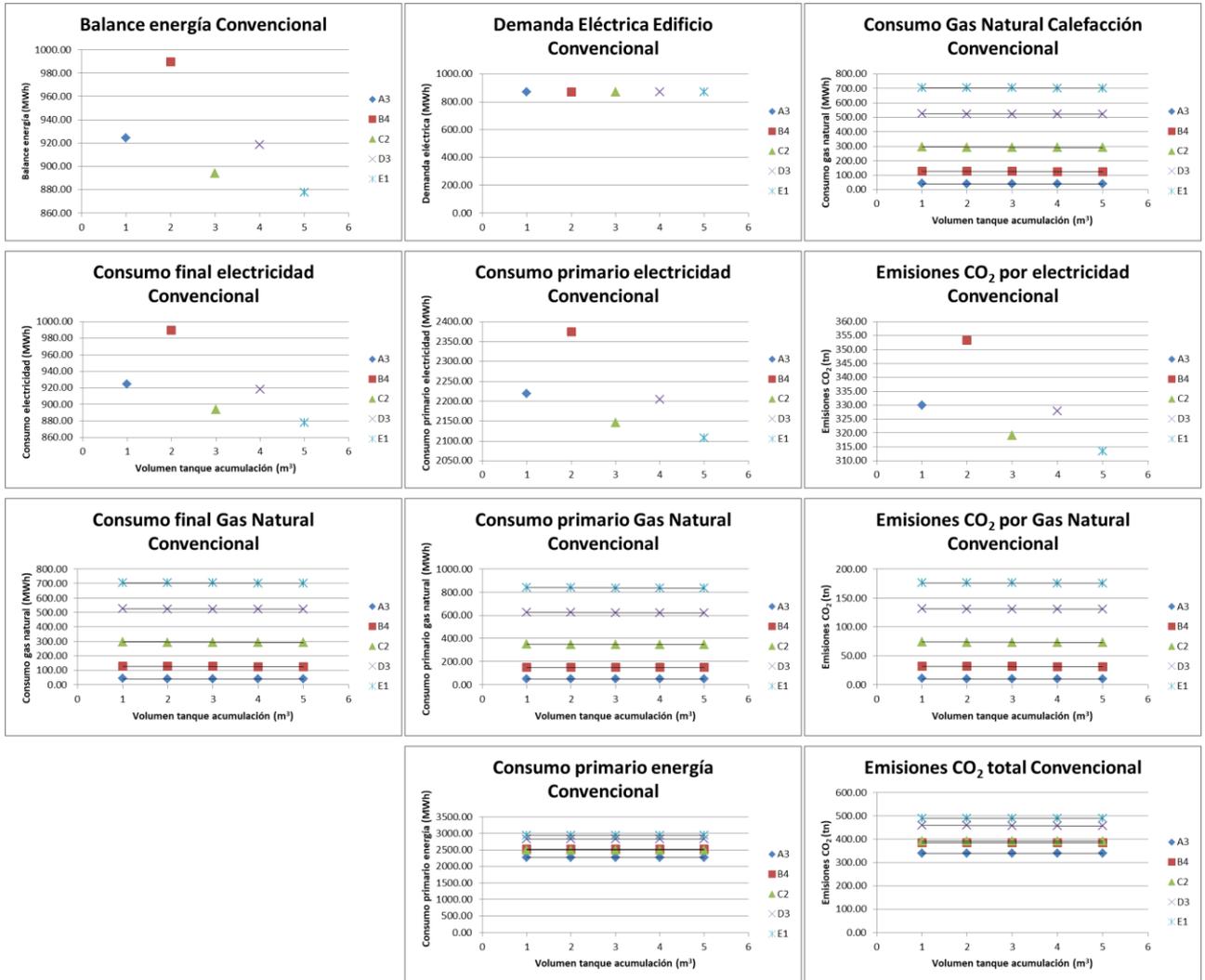


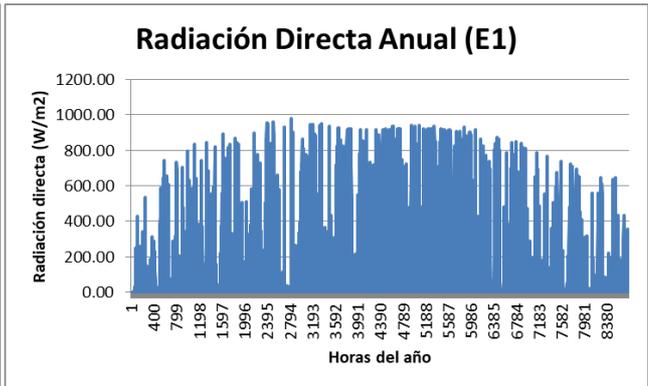
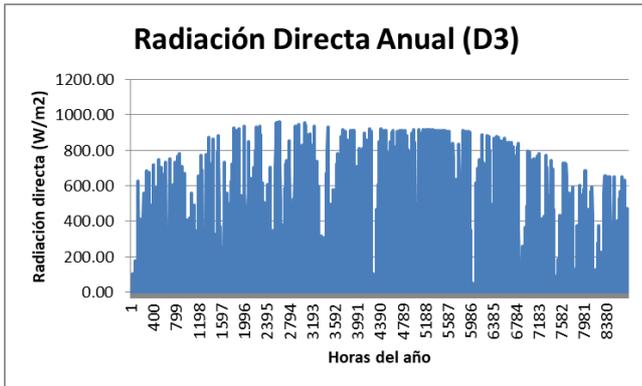
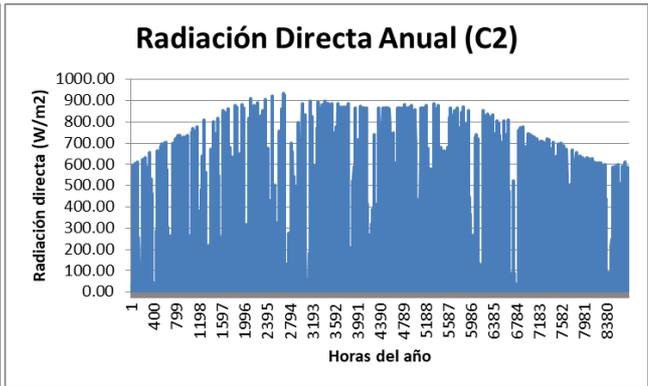
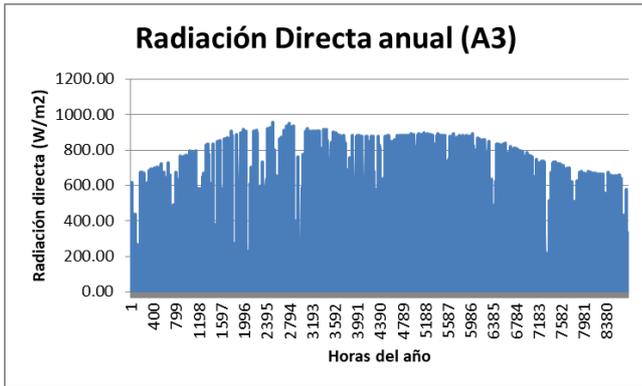
Tabla completa de resultados anuales para cada zona climática y volumen del depósito de acumulación:

Caso	Convencional					Convencional				
Zona	A3					B4				
Volumen tanque acumulación (m3)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Total Bal. Energía (MWh)	924.39	924.39	924.39	924.39	924.39	989.50	989.50	989.50	989.50	989.50
Total Cons. Refrigeración (MWh)	53.08	53.08	53.08	53.08	53.08	118.07	118.07	118.07	118.07	118.07
Total Cons. Calefacción (MWh)	41.92	41.51	41.41	41.46	41.61	127.31	126.70	126.20	125.81	125.55
	0.00%	-1.00%	-1.22%	-1.10%	-0.75%	0.00%	-0.49%	-0.87%	-1.18%	-1.39%
Total Cons. Bombas (MWh)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Total V_gn_calef (MWh)	41.92	41.51	41.41	41.46	41.61	127.31	126.70	126.20	125.81	125.55
	0.00%	-1.00%	-1.22%	-1.10%	-0.75%	0.00%	-0.49%	-0.87%	-1.18%	-1.39%
Total Dem. Eléctrica Edificio (MWh)	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21
Consumo final electricidad (MWh)	924.39	924.39	924.39	924.39	924.39	989.50	989.50	989.50	989.50	989.50
Consumo final gas natural (MWh)	41.92	41.51	41.41	41.46	41.61	127.31	126.70	126.20	125.81	125.55
Consumo final energía (MWh)	966.31	965.89	965.80	965.85	966.00	1116.82	1116.20	1115.71	1115.31	1115.05
Consumo final electricidad (kWh/m2)	139.44	139.44	139.44	139.44	139.44	149.26	149.26	149.26	149.26	149.26
Consumo final gas natural (kWh/m2)	6.32	6.26	6.25	6.25	6.28	19.20	19.11	19.04	18.98	18.94
Consumo final energía (kWh/m2)	145.76	145.70	145.68	145.69	145.71	168.46	168.37	168.30	168.24	168.20
Consumo primario electricidad (MWh)	2218.53	2218.53	2218.53	2218.53	2218.53	2374.81	2374.81	2374.81	2374.81	2374.81
Consumo primario gas natural (MWh)	49.89	49.39	49.28	49.34	49.52	151.50	150.77	150.18	149.71	149.40
Consumo primario energía (MWh)	2268.42	2267.92	2267.81	2267.87	2268.05	2526.31	2525.58	2524.99	2524.53	2524.21
Consumo primario electricidad (kWh/m2)	334.65	334.65	334.65	334.65	334.65	358.22	358.22	358.22	358.22	358.22
Consumo primario gas natural (kWh/m2)	7.53	7.45	7.43	7.44	7.47	22.85	22.74	22.65	22.58	22.54
Consumo primario energía (kWh/m2)	342.17	342.10	342.08	342.09	342.12	381.07	380.96	380.87	380.80	380.76
Emisiones CO2 por electricidad (tnCO2)	330.01	330.01	330.01	330.01	330.01	353.25	353.25	353.25	353.25	353.25
Emisiones CO2 por gas natural (tnCO2)	10.48	10.38	10.35	10.37	10.40	31.83	31.67	31.55	31.45	31.39
Emisiones CO2 energía (tnCO2)	340.49	340.38	340.36	340.37	340.41	385.08	384.93	384.80	384.71	384.64
Emisiones CO2 electricidad (kgCO2/m2)	49.78	49.78	49.78	49.78	49.78	53.29	53.29	53.29	53.29	53.29
Emisiones CO2 gas natural (kgCO2/m2)	1.58	1.57	1.56	1.56	1.57	4.80	4.78	4.76	4.74	4.73
Emisiones CO2 energía (kgCO2/m2)	51.36	51.34	51.34	51.34	51.35	58.09	58.06	58.04	58.03	58.02

Caso	Convencional					Convencional				
Zona	C2					D3				
Volumen tanque acumulación (m3)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Total Bal. Energía (MWh)	894.02	894.02	894.02	894.02	894.02	918.39	918.39	918.39	918.39	918.39
Total Cons. Refrigeración (MWh)	22.24	22.24	22.24	22.24	22.24	46.14	46.14	46.14	46.14	46.14
Total Cons. Calefacción (MWh)	294.29	293.14	292.21	291.33	290.52	524.76	523.88	523.10	522.31	521.61
	0.00%	-0.39%	-0.70%	-1.00%	-1.28%	0.00%	-0.17%	-0.32%	-0.47%	-0.60%
Total Cons. Bombas (MWh)	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
Total V_gn_calef (MWh)	294.29	293.14	292.21	291.33	290.52	524.76	523.88	523.10	522.31	521.61
	0.00%	-0.39%	-0.70%	-1.00%	-1.28%	0.00%	-0.17%	-0.32%	-0.47%	-0.60%
Total Dem. Eléctrica Edificio (MWh)	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21
Consumo final electricidad (MWh)	894.02	894.02	894.02	894.02	894.02	918.39	918.39	918.39	918.39	918.39
Consumo final gas natural (MWh)	294.29	293.14	292.21	291.33	290.52	524.76	523.88	523.10	522.31	521.61
Consumo final energía (MWh)	1188.30	1187.16	1186.23	1185.35	1184.54	1443.14	1442.27	1441.48	1440.70	1439.99
Consumo final electricidad (kWh/m2)	134.86	134.86	134.86	134.86	134.86	138.53	138.53	138.53	138.53	138.53
Consumo final gas natural (kWh/m2)	44.39	44.22	44.08	43.95	43.82	79.16	79.02	78.90	78.79	78.68
Consumo final energía (kWh/m2)	179.25	179.07	178.93	178.80	178.68	217.69	217.55	217.44	217.32	217.21
Consumo primario electricidad (MWh)	2145.64	2145.64	2145.64	2145.64	2145.64	2204.13	2204.13	2204.13	2204.13	2204.13
Consumo primario gas natural (MWh)	350.20	348.84	347.73	346.69	345.72	624.46	623.42	622.48	621.55	620.71
Consumo primario energía (MWh)	2495.84	2494.48	2493.37	2492.32	2491.36	2828.59	2827.54	2826.61	2825.67	2824.84
Consumo primario electricidad (kWh/m2)	323.65	323.65	323.65	323.65	323.65	332.47	332.47	332.47	332.47	332.47
Consumo primario gas natural (kWh/m2)	52.82	52.62	52.45	52.29	52.15	94.20	94.04	93.90	93.76	93.63
Consumo primario energía (kWh/m2)	376.48	376.27	376.10	375.95	375.80	426.67	426.51	426.37	426.23	426.10
Emisiones CO2 por electricidad (tnCO2)	319.16	319.16	319.16	319.16	319.16	327.86	327.86	327.86	327.86	327.86
Emisiones CO2 por gas natural (tnCO2)	73.57	73.29	73.05	72.83	72.63	131.19	130.97	130.77	130.58	130.40
Emisiones CO2 energía (tnCO2)	392.73	392.45	392.22	392.00	391.79	459.05	458.83	458.64	458.44	458.27
Emisiones CO2 electricidad (kgCO2/m2)	48.14	48.14	48.14	48.14	48.14	49.46	49.46	49.46	49.46	49.46
Emisiones CO2 gas natural (kgCO2/m2)	11.10	11.05	11.02	10.99	10.96	19.79	19.76	19.73	19.70	19.67
Emisiones CO2 energía (kgCO2/m2)	59.24	59.20	59.16	59.13	59.10	69.24	69.21	69.18	69.15	69.13

Caso	Convencional				
Zona	E1				
Volumen tanque acumulación (m3)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Total Bal. Energía (MWh)	877.83	877.83	877.83	877.83	877.83
Total Cons. Refrigeración (MWh)	5.28	5.28	5.28	5.28	5.28
Total Cons. Calefacción (MWh)	705.83	704.65	703.57	702.49	702.49
	0.00%	-0.17%	-0.32%	-0.47%	-0.47%
Total Cons. Bombas (MWh)	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
Total V_gn_calef (MWh)	705.83	704.65	703.57	702.49	702.49
	0.00%	-0.17%	-0.32%	-0.47%	-0.47%
Total Dem. Eléctrica Edificio (MWh)	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21
Consumo final electricidad (MWh)	877.83	877.83	877.83	877.83	877.83
Consumo final gas natural (MWh)	705.83	704.65	703.57	702.49	702.49
Consumo final energía (MWh)	1583.66	1582.48	1581.40	1580.32	1580.32
Consumo final electricidad (kWh/m2)	132.41	132.41	132.41	132.41	132.41
Consumo final gas natural (kWh/m2)	106.47	106.29	106.13	105.97	105.97
Consumo final energía (kWh/m2)	238.88	238.70	238.54	238.38	238.38
Consumo primario electricidad (MWh)	2106.78	2106.78	2106.78	2106.78	2106.78
Consumo primario gas natural (MWh)	839.94	838.54	837.25	835.97	835.97
Consumo primario energía (MWh)	2946.72	2945.32	2944.03	2942.75	2942.75
Consumo primario electricidad (kWh/m2)	317.79	317.79	317.79	317.79	317.79
Consumo primario gas natural (kWh/m2)	126.70	126.49	126.29	126.10	126.10
Consumo primario energía (kWh/m2)	444.49	444.28	444.08	443.89	443.89
Emisiones CO2 por electricidad (tnCO2)	313.38	313.38	313.38	313.38	313.38
Emisiones CO2 por gas natural (tnCO2)	176.46	176.16	175.89	175.62	175.62
Emisiones CO2 energía (tnCO2)	489.84	489.55	489.28	489.01	489.01
Emisiones CO2 electricidad (kgCO2/m2)	47.27	47.27	47.27	47.27	47.27
Emisiones CO2 gas natural (kgCO2/m2)	26.62	26.57	26.53	26.49	26.49
Emisiones CO2 energía (kgCO2/m2)	73.89	73.84	73.80	73.76	73.76

- **Perfiles de radiación directa anual para cada zona climática**



- **Análisis de resultados Convencional + FV**

Gráficas de resultados anuales:

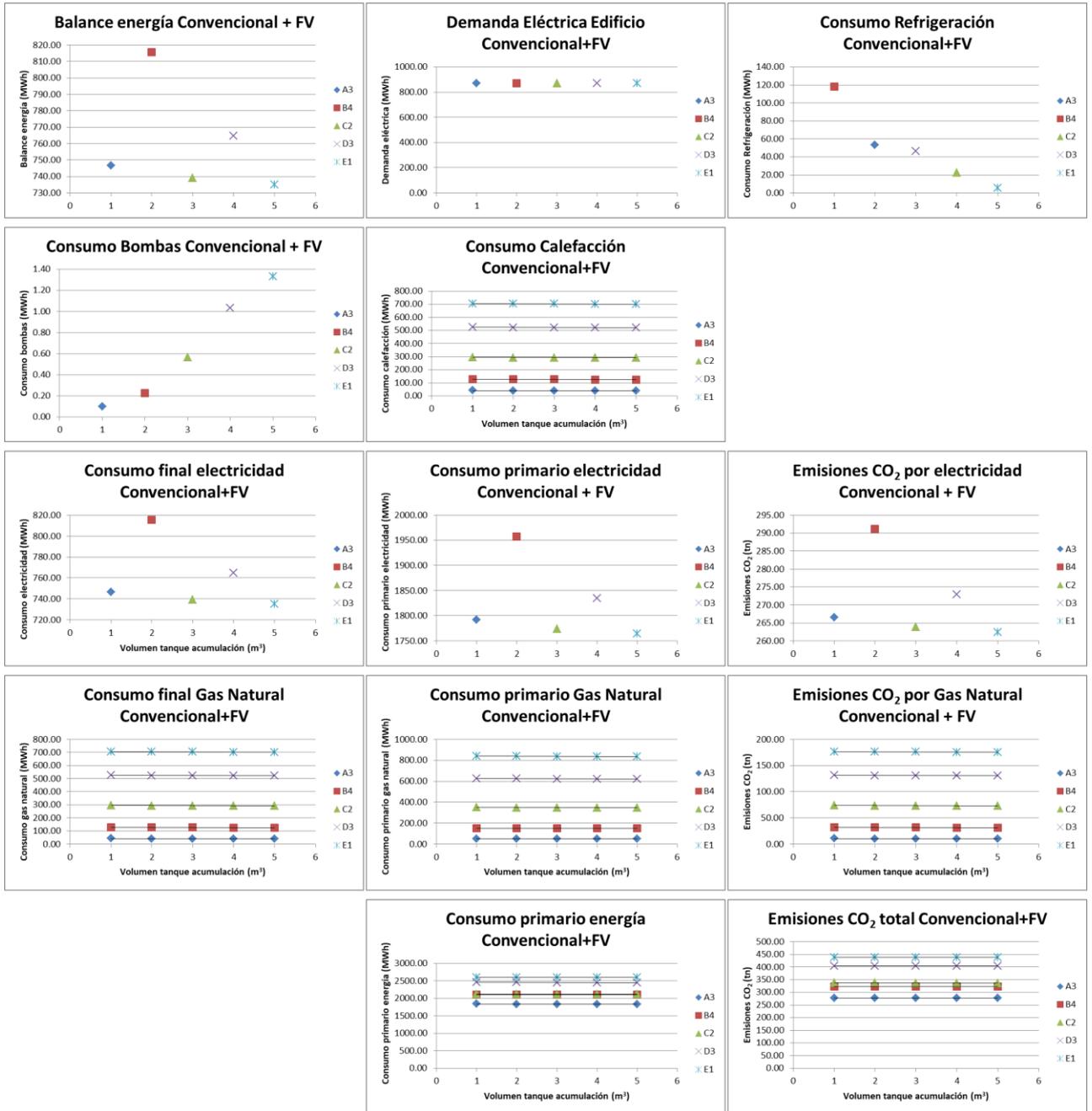


Tabla completa de resultados anuales para cada zona climática y volumen del depósito de acumulación:

Caso	Convencional + FV					Convencional + FV				
Zona	A3					B4				
Volumen tanque acumulación (m3)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Total Bal. Energía (MWh)	746.60	746.60	746.60	746.60	746.60	815.56	815.56	815.56	815.56	815.56
Total Cons. Refrigeración (MWh)	53.08	53.08	53.08	53.08	53.08	118.07	118.07	118.07	118.07	118.07
Total Cons. Calefacción (MWh)	41.92	41.51	41.41	41.46	41.61	127.31	126.70	126.20	125.81	125.55
	0.00%	-1.00%	-1.22%	-1.10%	-0.75%	0.00%	-0.49%	-0.87%	-1.18%	-1.39%
Total Cons. Bombas (MWh)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Total Prod. FV (MWh)	177.78	177.78	177.78	177.78	177.78	173.95	173.95	173.95	173.95	173.95
Autosuficiencia fotovoltaica (%)	19.23%	19.23%	19.23%	19.23%	19.23%	17.58%	17.58%	17.58%	17.58%	17.58%
Total V_gn_calef (MWh)	41.92	41.51	41.41	41.46	41.61	127.31	126.70	126.20	125.81	125.55
	0.00%	-1.00%	-1.22%	-1.10%	-0.75%	0.00%	-0.49%	-0.87%	-1.18%	-1.39%
Total Dem. Eléctrica Edificio (MWh)	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21
Consumo final electricidad (MWh)	746.60	746.60	746.60	746.60	746.60	815.56	815.56	815.56	815.56	815.56
Consumo final gas natural (MWh)	41.92	41.51	41.41	41.46	41.61	127.31	126.70	126.20	125.81	125.55
Consumo final energía (MWh)	788.53	788.11	788.02	788.07	788.22	942.87	942.25	941.76	941.37	941.10
Consumo final electricidad (kWh/m2)	112.62	112.62	112.62	112.62	112.62	123.02	123.02	123.02	123.02	123.02
Consumo final gas natural (kWh/m2)	6.32	6.26	6.25	6.25	6.28	19.20	19.11	19.04	18.98	18.94
Consumo final energía (kWh/m2)	118.94	118.88	118.87	118.87	118.90	142.22	142.13	142.06	142.00	141.96
Consumo primario electricidad (MWh)	1791.85	1791.85	1791.85	1791.85	1791.85	1957.34	1957.34	1957.34	1957.34	1957.34
Consumo primario gas natural (MWh)	49.89	49.39	49.28	49.34	49.52	151.50	150.77	150.18	149.71	149.40
Consumo primario energía (MWh)	1841.74	1841.24	1841.13	1841.19	1841.37	2108.84	2108.10	2107.52	2107.05	2106.74
Consumo primario electricidad (kWh/m2)	270.29	270.29	270.29	270.29	270.29	295.25	295.25	295.25	295.25	295.25
Consumo primario gas natural (kWh/m2)	7.53	7.45	7.43	7.44	7.47	22.85	22.74	22.65	22.58	22.54
Consumo primario energía (kWh/m2)	277.81	277.74	277.72	277.73	277.76	318.10	317.99	317.90	317.83	317.78
Emisiones CO2 por electricidad (tnCO2)	266.54	266.54	266.54	266.54	266.54	291.15	291.15	291.15	291.15	291.15
Emisiones CO2 por gas natural (tnCO2)	10.48	10.38	10.35	10.37	10.40	31.83	31.67	31.55	31.45	31.39
Emisiones CO2 energía (tnCO2)	277.02	276.91	276.89	276.90	276.94	322.98	322.83	322.70	322.61	322.54
Emisiones CO2 electricidad (kgCO2/m2)	40.21	40.21	40.21	40.21	40.21	43.92	43.92	43.92	43.92	43.92
Emisiones CO2 gas natural (kgCO2/m2)	1.58	1.57	1.56	1.56	1.57	4.80	4.78	4.76	4.74	4.73
Emisiones CO2 energía (kgCO2/m2)	41.79	41.77	41.77	41.77	41.77	48.72	48.70	48.68	48.66	48.65

Caso	Convencional + FV					Convencional + FV				
Zona	C2					D3				
Volumen tanque acumulación (m3)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Total Bal. Energía (MWh)	739.14	739.14	739.14	739.14	739.14	764.61	764.61	764.61	764.61	764.61
Total Cons. Refrigeración (MWh)	22.24	22.24	22.24	22.24	22.24	46.14	46.14	46.14	46.14	46.14
Total Cons. Calefacción (MWh)	294.29	293.14	292.21	291.33	290.52	524.76	523.88	523.10	522.31	521.61
	0.00%	-0.39%	-0.70%	-1.00%	-1.28%	0.00%	-0.17%	-0.32%	-0.47%	-0.60%
Total Cons. Bombas (MWh)	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
Total Prod. FV (MWh)	154.88	154.88	154.88	154.88	154.88	153.78	153.78	153.78	153.78	153.78
Autosuficiencia fotovoltaica (%)	17.32%	17.32%	17.32%	17.32%	17.32%	16.74%	16.74%	16.74%	16.74%	16.74%
Total V_gn_calef (MWh)	294.29	293.14	292.21	291.33	290.52	524.76	523.88	523.10	522.31	521.61
	0.00%	-0.39%	-0.70%	-1.00%	-1.28%	0.00%	-0.17%	-0.32%	-0.47%	-0.60%
Total Dem. Eléctrica Edificio (MWh)	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21
Consumo final electricidad (MWh)	739.14	739.14	739.14	739.14	739.14	764.61	764.61	764.61	764.61	764.61
Consumo final gas natural (MWh)	294.29	293.14	292.21	291.33	290.52	524.76	523.88	523.10	522.31	521.61
Consumo final energía (MWh)	1033.42	1032.28	1031.35	1030.47	1029.66	1289.37	1288.49	1287.70	1286.92	1286.21
Consumo final electricidad (kWh/m2)	111.49	111.49	111.49	111.49	111.49	115.33	115.33	115.33	115.33	115.33
Consumo final gas natural (kWh/m2)	44.39	44.22	44.08	43.95	43.82	79.16	79.02	78.90	78.79	78.68
Consumo final energía (kWh/m2)	155.88	155.71	155.57	155.44	155.32	194.49	194.36	194.24	194.12	194.02
Consumo primario electricidad (MWh)	1773.93	1773.93	1773.93	1773.93	1773.93	1835.06	1835.06	1835.06	1835.06	1835.06
Consumo primario gas natural (MWh)	350.20	348.84	347.73	346.69	345.72	624.46	623.42	622.48	621.55	620.71
Consumo primario energía (MWh)	2124.13	2122.77	2121.66	2120.61	2119.65	2459.52	2458.47	2457.54	2456.61	2455.77
Consumo primario electricidad (kWh/m2)	267.58	267.58	267.58	267.58	267.58	276.80	276.80	276.80	276.80	276.80
Consumo primario gas natural (kWh/m2)	52.82	52.62	52.45	52.29	52.15	94.20	94.04	93.90	93.76	93.63
Consumo primario energía (kWh/m2)	320.41	320.20	320.04	319.88	319.73	371.00	370.84	370.70	370.56	370.43
Emisiones CO2 por electricidad (tnCO2)	263.87	263.87	263.87	263.87	263.87	272.96	272.96	272.96	272.96	272.96
Emisiones CO2 por gas natural (tnCO2)	73.57	73.29	73.05	72.83	72.63	131.19	130.97	130.77	130.58	130.40
Emisiones CO2 energía (tnCO2)	337.44	337.16	336.92	336.70	336.50	404.15	403.93	403.74	403.54	403.37
Emisiones CO2 electricidad (kgCO2/m2)	39.80	39.80	39.80	39.80	39.80	41.17	41.17	41.17	41.17	41.17
Emisiones CO2 gas natural (kgCO2/m2)	11.10	11.05	11.02	10.99	10.96	19.79	19.76	19.73	19.70	19.67
Emisiones CO2 energía (kgCO2/m2)	50.90	50.86	50.82	50.79	50.76	60.96	60.93	60.90	60.87	60.84

Caso	Convencional + FV				
Zona	E1				
Volumen tanque acumulación (m3)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Total Bal. Energía (MWh)	735.12	735.12	735.12	735.12	735.12
Total Cons. Refrigeración (MWh)	5.28	5.28	5.28	5.28	5.28
Total Cons. Calefacción (MWh)	705.83	704.65	703.57	702.49	701.52
	0.00%	-0.17%	-0.32%	-0.47%	-0.61%
Total Cons. Bombas (MWh)	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
Total Prod. FV (MWh)	142.70	142.70	142.70	142.70	142.70
Autosuficiencia fotovoltaica (%)	16.26%	16.26%	16.26%	16.26%	16.26%
Total V_gn_calef (MWh)	705.83	704.65	703.57	702.49	701.52
	0.00%	-0.17%	-0.32%	-0.47%	-0.61%
Total Dem. Eléctrica Edificio (MWh)	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21
Consumo final electricidad (MWh)	735.12	735.12	735.12	735.12	735.12
Consumo final gas natural (MWh)	705.83	704.65	703.57	702.49	701.52
Consumo final energía (MWh)	1440.95	1439.78	1438.69	1437.62	1436.64
Consumo final electricidad (kWh/m2)	110.89	110.89	110.89	110.89	110.89
Consumo final gas natural (kWh/m2)	106.47	106.29	106.13	105.97	105.82
Consumo final energía (kWh/m2)	217.36	217.18	217.02	216.85	216.71
Consumo primario electricidad (MWh)	1764.29	1764.29	1764.29	1764.29	1764.29
Consumo primario gas natural (MWh)	839.94	838.54	837.25	835.97	834.81
Consumo primario energía (MWh)	2604.23	2602.83	2601.54	2600.26	2599.10
Consumo primario electricidad (kWh/m2)	266.13	266.13	266.13	266.13	266.13
Consumo primario gas natural (kWh/m2)	126.70	126.49	126.29	126.10	125.92
Consumo primario energía (kWh/m2)	392.83	392.62	392.42	392.23	392.05
Emisiones CO2 por electricidad (tnCO2)	262.44	262.44	262.44	262.44	262.44
Emisiones CO2 por gas natural (tnCO2)	176.46	176.16	175.89	175.62	175.38
Emisiones CO2 energía (tnCO2)	438.90	438.60	438.33	438.06	437.82
Emisiones CO2 electricidad (kgCO2/m2)	39.59	39.59	39.59	39.59	39.59
Emisiones CO2 gas natural (kgCO2/m2)	26.62	26.57	26.53	26.49	26.45
Emisiones CO2 energía (kgCO2/m2)	66.20	66.16	66.12	66.08	66.04

- **Análisis de resultados Completo**

En la siguiente tabla se muestran los porcentajes de producción fotovoltaica mensual y anual para cada zona climática:

Caso	Completo				
Zona climática	A3	B4	C2	D3	E1
% Autosuficiencia FV					
Enero	14.74%	14.90%	12.37%	10.91%	7.84%
Febrero	17.41%	17.45%	15.82%	14.09%	11.86%
Marzo	20.66%	20.17%	18.02%	17.55%	15.97%
Abril	22.62%	21.73%	20.23%	19.88%	17.73%
Mayo	23.00%	20.57%	21.02%	21.09%	20.31%
Junio	22.73%	17.85%	20.52%	19.43%	21.65%
Julio	20.15%	16.82%	19.96%	18.92%	23.00%
Agosto	20.61%	17.36%	19.94%	19.86%	23.69%
Septiembre	19.41%	17.27%	18.20%	18.99%	19.84%
Octubre	19.10%	17.26%	16.39%	16.17%	14.82%
Noviembre	15.75%	15.96%	12.96%	12.07%	10.33%
Diciembre	13.80%	13.73%	11.61%	10.06%	7.13%
Anual	19.23%	17.58%	17.31%	16.73%	16.23%

Gráficas de resultados anuales:

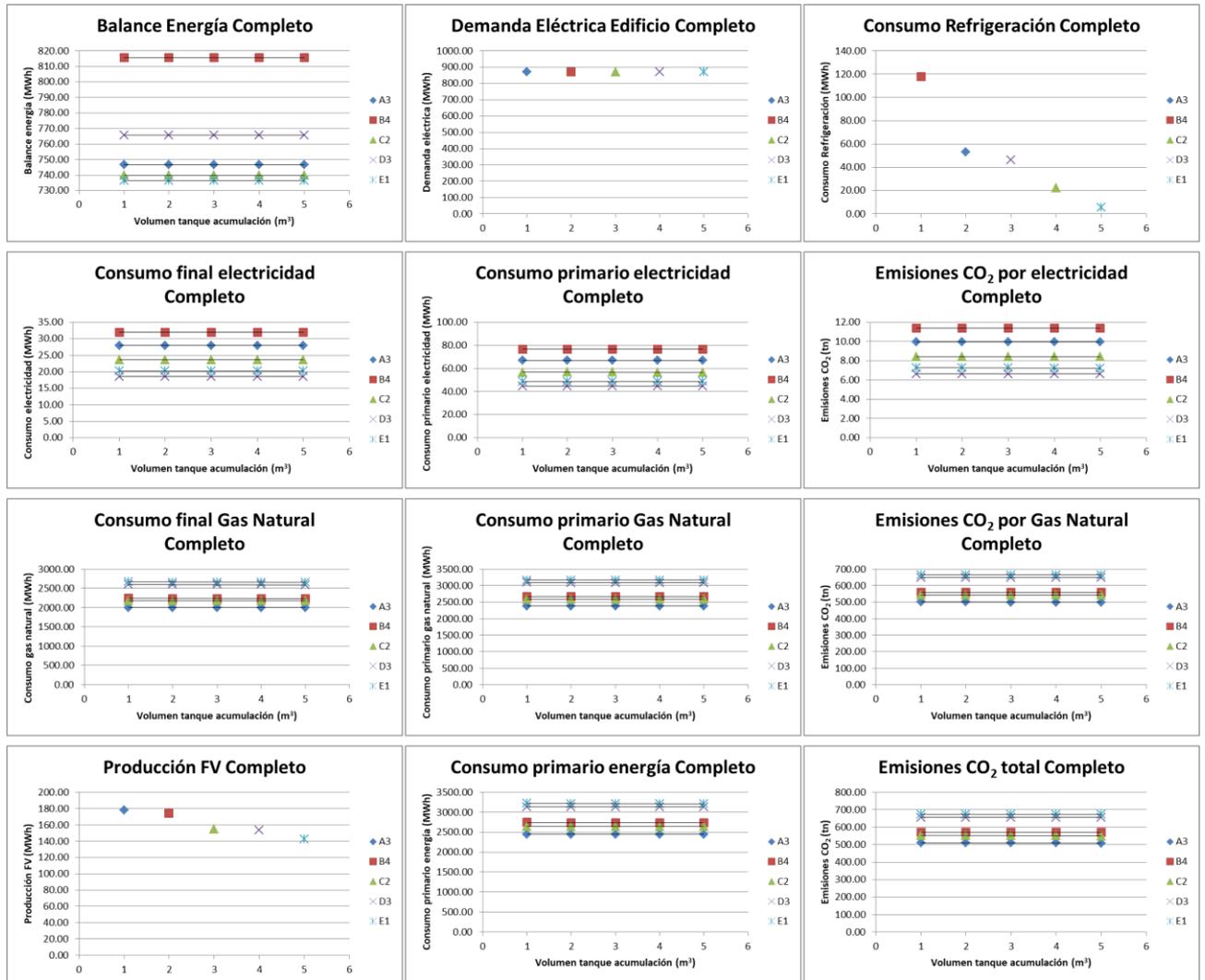


Tabla completa de resultados anuales para cada zona climática y volumen del depósito de acumulación:

Caso	Completo					Completo				
Zona	A3					B4				
Volumen tanque acumulación (m3)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Total Bal. Energía (MWh)	746.68	746.68	746.68	746.69	746.69	815.77	815.77	815.78	815.78	815.78
	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Total Cons. Refrigeración (MWh)	53.08	53.08	53.08	53.08	53.08	118.07	118.07	118.07	118.07	118.07
Total Cons. Calefacción (MWh)	17.97	15.90	14.38	12.54	10.98	73.91	72.38	71.59	71.26	71.29
	0.00%	-11.49%	-19.96%	-30.20%	-38.91%	0.00%	-2.07%	-3.14%	-3.58%	-3.54%
Total Cons. Bombas (MWh)	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	0.44	0.44	0.44	0.45	0.45
	0.00%	0.16%	0.74%	2.41%	3.26%	0.00%	-0.24%	0.57%	1.41%	1.60%
Total Prod. FV (MWh)	177.78	177.78	177.78	177.78	177.78	173.95	173.95	173.95	173.95	173.95
Autosuficiencia fotovoltaica (%)	19.23%	19.23%	19.23%	19.23%	19.23%	17.58%	17.58%	17.58%	17.58%	17.58%
Total Pot. Motores (MWh)	718.76	718.76	718.76	718.76	718.76	783.89	783.89	783.89	783.89	783.89
	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Total Dem. Red (MWh)	27.82	27.82	27.82	27.82	27.82	31.79	31.79	31.79	31.79	31.79
	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%
Total V_gn_calef (MWh)	17.97	15.90	14.38	12.54	10.98	73.91	72.38	71.59	71.26	71.29
	0.00%	-11.49%	-19.96%	-30.20%	-38.91%	0.00%	-2.07%	-3.14%	-3.58%	-3.54%
Total V_gn_motores (MWh)	1984.87	1984.87	1984.87	1984.88	1984.89	2166.43	2166.43	2166.43	2166.44	2166.44
	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Total Dem. Eléctrica Edificio (MWh)	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21
Consumo final electricidad (MWh)	27.93	27.93	27.93	27.93	27.92	31.89	31.89	31.89	31.89	31.89
Consumo final gas natural (MWh)	2002.84	2000.77	1999.25	1997.42	1995.86	2240.34	2238.81	2238.02	2237.70	2237.74
Consumo final energía (MWh)	2030.76	2028.70	2027.18	2025.35	2023.79	2272.23	2270.69	2269.91	2269.59	2269.62
Consumo final electricidad (kWh/m2)	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81
Consumo final gas natural (kWh/m2)	302.11	301.80	301.57	301.29	301.06	337.94	337.71	337.59	337.54	337.54
Consumo final energía (kWh/m2)	306.32	306.01	305.78	305.51	305.27	342.75	342.52	342.40	342.35	342.35
Consumo primario electricidad (MWh)	67.02	67.02	67.03	67.03	67.02	76.53	76.53	76.53	76.53	76.53
Consumo primario gas natural (MWh)	2383.37	2380.92	2379.11	2376.93	2375.08	2666.01	2664.18	2663.25	2662.87	2662.91
Consumo primario energía (MWh)	2450.40	2447.94	2446.13	2443.95	2442.10	2742.53	2740.71	2739.78	2739.40	2739.43
Consumo primario electricidad (kWh/m2)	10.11	10.11	10.11	10.11	10.11	11.54	11.54	11.54	11.54	11.54
Consumo primario gas natural (kWh/m2)	359.51	359.14	358.87	358.54	358.26	402.15	401.87	401.73	401.67	401.68
Consumo primario energía (kWh/m2)	369.62	369.25	368.98	368.65	368.37	413.69	413.41	413.27	413.22	413.22
Emissiones CO2 por electricidad (tnCO2)	9.97	9.97	9.97	9.97	9.97	11.38	11.38	11.38	11.38	11.38
Emissiones CO2 por gas natural (tnCO2)	500.71	500.19	499.81	499.35	498.97	560.09	559.70	559.51	559.43	559.43
Emissiones CO2 energía (tnCO2)	510.68	510.16	509.78	509.32	508.94	571.47	571.09	570.89	570.81	570.82
Emissiones CO2 electricidad (kgCO2/m2)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72
Emissiones CO2 gas natural (kgCO2/m2)	75.53	75.45	75.39	75.32	75.26	84.48	84.43	84.40	84.38	84.39
Emissiones CO2 energía (kgCO2/m2)	77.03	76.95	76.90	76.83	76.77	86.20	86.14	86.11	86.10	86.10

Caso	Completo					Completo				
Zona	C2					D3				
Volumen tanque acumulación (m3)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Total Bal. Energía (MWh)	739.71	739.71	739.71	739.71	739.72	765.63	765.62	765.62	765.63	765.63
	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Total Cons. Refrigeración (MWh)	22.24	22.24	22.24	22.24	22.24	46.14	46.14	46.14	46.14	46.14
Total Cons. Calefacción (MWh)	201.07	198.94	198.44	198.51	198.00	461.03	459.48	459.32	458.90	458.48
	0.00%	-1.06%	-1.31%	-1.27%	-1.53%	0.00%	-0.34%	-0.37%	-0.46%	-0.55%
Total Cons. Bombas (MWh)	1.14	1.13	1.14	1.14	1.14	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05
	0.00%	-0.07%	0.05%	0.46%	0.85%	0.00%	-0.24%	-0.03%	0.05%	0.15%
Total Prod. FV (MWh)	154.88	154.88	154.88	154.88	154.88	153.78	153.78	153.78	153.78	153.78
Autosuficiencia fotovoltaica (%)	17.31%	17.31%	17.31%	17.31%	17.31%	16.73%	16.73%	16.73%	16.73%	16.73%
Total Pot. Motores (MWh)	716.05	716.01	716.01	716.05	716.06	747.04	747.04	747.04	747.04	747.05
	0.00%	-0.01%	-0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Total Dem. Red (MWh)	23.56	23.60	23.60	23.56	23.56	18.48	18.48	18.48	18.48	18.48
	0.00%	0.17%	0.17%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Total V_gn_calef (MWh)	201.07	198.94	198.44	198.51	198.00	461.03	459.48	459.32	458.90	458.48
	0.00%	-1.06%	-1.31%	-1.27%	-1.53%	0.00%	-0.34%	-0.37%	-0.46%	-0.55%
Total V_gn_motores (MWh)	1973.00	1972.86	1972.86	1973.01	1973.02	2137.10	2136.84	2136.75	2136.51	2136.12
	0.00%	-0.01%	-0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	-0.01%	-0.02%	-0.03%	-0.05%
Total Dem. Eléctrica Edificio (MWh)	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21
Consumo final electricidad (MWh)	23.66	23.70	23.70	23.66	23.66	18.58	18.58	18.58	18.58	18.58
Consumo final gas natural (MWh)	2174.07	2171.80	2171.30	2171.52	2171.02	2598.13	2596.32	2596.07	2595.41	2594.60
Consumo final energía (MWh)	2197.73	2195.50	2195.00	2195.18	2194.68	2616.71	2614.91	2614.66	2613.99	2613.18
Consumo final electricidad (kWh/m2)	3.57	3.58	3.58	3.57	3.57	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
Consumo final gas natural (kWh/m2)	327.94	327.60	327.52	327.56	327.48	391.91	391.63	391.60	391.50	391.37
Consumo final energía (kWh/m2)	331.51	331.17	331.10	331.12	331.05	394.71	394.44	394.40	394.30	394.18
Consumo primario electricidad (MWh)	56.78	56.88	56.88	56.79	56.79	44.60	44.60	44.60	44.60	44.60
Consumo primario gas natural (MWh)	2587.14	2584.44	2583.84	2584.10	2583.51	3091.77	3089.63	3089.33	3088.54	3087.57
Consumo primario energía (MWh)	2643.92	2641.32	2640.72	2640.89	2640.29	3136.37	3134.22	3133.93	3133.14	3132.17
Consumo primario electricidad (kWh/m2)	8.57	8.58	8.58	8.57	8.57	6.73	6.73	6.73	6.73	6.73
Consumo primario gas natural (kWh/m2)	390.25	389.84	389.75	389.79	389.70	466.37	466.05	466.00	465.88	465.74
Consumo primario energía (kWh/m2)	398.81	398.42	398.33	398.36	398.27	473.10	472.77	472.73	472.61	472.46
Emissiones CO2 por electricidad (tnCO2)	8.45	8.46	8.46	8.45	8.45	6.63	6.63	6.63	6.63	6.63
Emissiones CO2 por gas natural (tnCO2)	543.52	542.95	542.82	542.88	542.75	649.53	649.08	649.02	648.85	648.65
Emissiones CO2 energía (tnCO2)	551.96	551.41	551.29	551.33	551.20	656.17	655.72	655.65	655.49	655.28
Emissiones CO2 electricidad (kgCO2/m2)	1.27	1.28	1.28	1.27	1.27	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Emissiones CO2 gas natural (kgCO2/m2)	81.99	81.90	81.88	81.89	81.87	97.98	97.91	97.90	97.87	97.84
Emissiones CO2 energía (kgCO2/m2)	83.26	83.18	83.16	83.16	83.14	98.98	98.91	98.90	98.87	98.84

Caso	Completo				
Zona	E1				
Volumen tanque acumulación (m3)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Total Bal. Energía (MWh)	736.44	736.43	736.43	736.43	736.44
	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Total Cons. Refrigeración (MWh)	5.28	5.28	5.28	5.28	5.28
Total Cons. Calefacción (MWh)	607.93	604.40	605.36	604.44	603.86
	0.00%	-0.58%	-0.42%	-0.57%	-0.67%
Total Cons. Bombas (MWh)	2.65	2.64	2.64	2.64	2.65
	0.00%	-0.27%	-0.22%	-0.21%	-0.08%
Total Prod. FV (MWh)	142.70	142.70	142.70	142.70	142.70
Autosuficiencia fotovoltaica (%)	16.23%	16.23%	16.23%	16.23%	16.23%
Total Pot. Motores (MWh)	716.09	716.08	716.08	716.13	716.13
	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
Total Dem. Red (MWh)	20.25	20.25	20.25	20.21	20.21
	0.00%	0.00%	0.01%	-0.20%	-0.20%
Total V_gn_calef (MWh)	607.93	604.40	605.36	604.44	603.86
	0.00%	-0.58%	-0.42%	-0.57%	-0.67%
Total V_gn_motores (MWh)	2056.82	2056.71	2056.51	2056.46	2056.32
	0.00%	-0.01%	-0.02%	-0.02%	-0.02%
Total Dem. Eléctrica Edificio (MWh)	871.21	871.21	871.21	871.21	871.21
Consumo final electricidad (MWh)	20.35	20.35	20.35	20.31	20.31
Consumo final gas natural (MWh)	2664.75	2661.11	2661.87	2660.89	2660.18
Consumo final energía (MWh)	2685.10	2681.45	2682.22	2681.20	2680.48
Consumo final electricidad (kWh/m2)	3.07	3.07	3.07	3.06	3.06
Consumo final gas natural (kWh/m2)	401.96	401.41	401.52	401.37	401.27
Consumo final energía (kWh/m2)	405.03	404.48	404.59	404.44	404.33
Consumo primario electricidad (MWh)	48.84	48.83	48.84	48.74	48.74
Consumo primario gas natural (MWh)	3171.05	3166.72	3167.63	3166.46	3165.61
Consumo primario energía (MWh)	3219.89	3215.55	3216.46	3215.20	3214.35
Consumo primario electricidad (kWh/m2)	7.37	7.37	7.37	7.35	7.35
Consumo primario gas natural (kWh/m2)	478.33	477.67	477.81	477.64	477.51
Consumo primario energía (kWh/m2)	485.69	485.04	485.18	484.99	484.86
Emissiones CO2 por electricidad (tnCO2)	7.26	7.26	7.26	7.25	7.25
Emissiones CO2 por gas natural (tnCO2)	666.19	665.28	665.47	665.22	665.04
Emissiones CO2 energía (tnCO2)	673.45	672.54	672.73	672.47	672.29
Emissiones CO2 electricidad (kgCO2/m2)	1.10	1.10	1.10	1.09	1.09
Emissiones CO2 gas natural (kgCO2/m2)	100.49	100.35	100.38	100.34	100.32
Emissiones CO2 energía (kgCO2/m2)	101.58	101.45	101.48	101.44	101.41

• Cálculo del Coste del Ciclo de Vida

Tablas completas de los costes de operación y el LCC para cada zona climática y volumen del depósito de acumulación en cada una de las tres estrategias de operación:

Caso	Convencional					Convencional				
Zona	A3					B4				
Volumen tanque acumulación (m3)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Costes de inversión (€)										
Costes de reemplazo (€)	37800.00	37800.00	37800.00	37800.00	37800.00	43600.00	43600.00	43600.00	43600.00	43600.00
Costes de operación (€)	196047.85	196019.40	196012.96	196016.37	196026.59	215463.76	215421.77	215388.25	215361.59	215343.66
Costes de mantenimiento (€)										
LCC (€/m2)	585.33	585.25	585.23	585.24	585.27	643.61	643.49	643.39	643.31	643.25
LCC (€)	3880424.42	3879866.67	3879740.50	3879807.31	3880007.66	4266784.83	4265961.79	4265304.71	4264782.20	4264430.81
	0.00%	-0.01%	-0.02%	-0.02%	-0.01%	0.00%	-0.02%	-0.03%	-0.05%	-0.06%

Caso	Convencional					Convencional				
Zona	C2					D3				
Volumen tanque acumulación (m3)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Costes de inversión (€)										
Costes de reemplazo (€)	26900.00	26900.00	26900.00	26900.00	26900.00	32600.00	32600.00	32600.00	32600.00	32600.00
Costes de operación (€)	206860.66	206782.84	206719.70	206659.87	206604.70	227626.24	227566.51	227513.13	227459.73	227411.96
Costes de mantenimiento (€)										
LCC (€/m2)	615.66	615.43	615.24	615.06	614.90	677.91	677.73	677.58	677.42	677.28
LCC (€)	4081460.28	4079934.85	4078697.44	4077524.75	4076443.34	4494174.80	4493004.05	4491957.76	4490911.15	4489974.78
	0.00%	-0.04%	-0.07%	-0.10%	-0.12%	0.00%	-0.03%	-0.05%	-0.07%	-0.09%

Caso	Convencional				
Zona	E1				
Volumen tanque acumulación (m3)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Costes de inversión (€)					
Costes de reemplazo (€)	19083.00	19083.00	19083.00	19083.00	19083.00
Costes de operación (€)	231462.20	231382.11	231308.36	231235.25	231235.25
Costes de mantenimiento (€)					
LCC (€/m2)	687.21	686.98	686.76	686.54	686.54
LCC (€)	4555844.26	4554274.42	4552828.93	4551395.90	4551395.90
	0.00%	-0.03%	-0.07%	-0.10%	-0.10%

Caso	Convencional + FV					Convencional + FV				
Zona	A3					B4				
Volumen tanque acumulación (m3)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Costes de inversión (€)	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00
Costes de reemplazo (€)	154900.00	154900.00	154900.00	154900.00	154900.00	160700.00	160700.00	160700.00	160700.00	160700.00
Costes de operación (€)	158891.24	158862.78	158856.34	158859.75	158869.98	179108.69	179066.70	179033.17	179006.51	178988.59
Costes de mantenimiento (€)	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00
LCC (€/m2)	521.19	521.10	521.08	521.10	521.13	581.84	581.71	581.61	581.54	581.48
LCC (€)	3455194.75	3454636.99	3454510.82	3454577.63	3454777.98	3857265.65	3856442.60	3855785.53	3855263.02	3854911.63
	0.00%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.01%	0.00%	-0.02%	-0.04%	-0.05%	-0.06%

Caso	Convencional + FV					Convencional + FV				
Zona	C2					D3				
Volumen tanque acumulación (m3)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Costes de inversión (€)	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00
Costes de reemplazo (€)	144000.00	144000.00	144000.00	144000.00	144000.00	149700.00	149700.00	149700.00	149700.00	149700.00
Costes de operación (€)	174491.01	174413.18	174350.05	174290.22	174235.05	195486.47	195426.74	195373.36	195319.96	195272.19
Costes de mantenimiento (€)	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00
LCC (€/m2)	565.67	565.44	565.25	565.07	564.91	628.60	628.42	628.27	628.11	627.97
LCC (€)	3750057.09	3748531.66	3747294.25	3746121.56	3745040.15	4167277.44	4166106.68	4165060.39	4164013.78	4163077.41
	0.00%	-0.04%	-0.07%	-0.10%	-0.13%	0.00%	-0.03%	-0.05%	-0.08%	-0.10%

Caso	Convencional + FV				
Zona	E1				
Volumen tanque acumulación (m3)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Costes de inversión (€)	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00
Costes de reemplazo (€)	136183.00	136183.00	136183.00	136183.00	136183.00
Costes de operación (€)	201637.21	201557.12	201483.37	201410.26	201343.93
Costes de mantenimiento (€)	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00
LCC (€/m2)	644.75	644.51	644.29	644.08	643.88
LCC (€)	4274317.65	4272747.81	4271302.32	4269869.30	4268569.16
	0.00%	-0.04%	-0.07%	-0.10%	-0.13%

Caso	Completo					Completo				
Zona	A3					B4				
Volumen tanque acumulación (m3)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Costes de inversión (€)	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00
Costes de reemplazo (€)	154900.00	154900.00	154900.00	154900.00	154900.00	160700.00	160700.00	160700.00	160700.00	160700.00
Costes de operación (€)	142029.51	141889.19	141785.85	141661.24	141554.96	159007.44	158903.18	158850.02	158828.48	158830.46
Costes de mantenimiento (€)	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00
LCC (€/m2)	615.06	614.64	614.34	613.97	613.66	666.13	665.82	665.66	665.60	665.61
LCC (€)	4077505.29	4074755.00	4072729.54	4070287.16	4068203.94	4416080.31	4414036.70	4412994.79	4412572.63	4412611.33
	0.00%	-0.07%	-0.12%	-0.18%	-0.23%	0.00%	-0.05%	-0.07%	-0.08%	-0.08%

Caso	Completo					Completo				
Zona	C2					D3				
Volumen tanque acumulación (m3)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Costes de inversión (€)	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00
Costes de reemplazo (€)	144000.00	144000.00	144000.00	144000.00	144000.00	149700.00	149700.00	149700.00	149700.00	149700.00
Costes de operación (€)	152781.45	152635.87	152601.57	152608.34	152574.19	180556.58	180433.88	180416.83	180371.60	180316.50
Costes de mantenimiento (€)	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00
LCC (€/m2)	645.20	644.77	644.67	644.69	644.59	728.18	727.82	727.77	727.64	727.47
LCC (€)	4277348.06	4274494.66	4273822.36	4273955.15	4273285.68	4827453.03	4825047.95	4824713.74	4823827.18	4822747.30
	0.00%	-0.07%	-0.08%	-0.08%	-0.09%	0.00%	-0.05%	-0.06%	-0.08%	-0.10%

Caso	Completo				
Zona	E1				
Volumen tanque acumulación (m3)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Costes de inversión (€)	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00
Costes de reemplazo (€)	136183.00	136183.00	136183.00	136183.00	136183.00
Costes de operación (€)	185455.81	185207.97	185260.17	185185.08	185136.15
Costes de mantenimiento (€)	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00
LCC (€/m2)	740.63	739.90	740.05	739.83	739.68
LCC (€)	4909962.98	4905105.16	4906128.42	4904656.61	4903697.62
	0.00%	-0.10%	-0.08%	-0.11%	-0.13%

- **Comparación entre horarios de funcionamiento**

Tablas de las necesidades energéticas del edificio para los tres horarios de funcionamiento en las zonas climáticas A3, C2 y D3:

Zona	A3		
Demandas	Refrigeración (KWh/m²)	Calefacción (KWh/m²)	Eléctrica (KWh/m²)
Funcionamiento de 8 horas	43.59	4.78	60.08
Funcionamiento de 12 horas	76.38	6.30	75.74
Funcionamiento de 24 horas	89.19	21.68	131.40

Zona	C2		
Demandas	Refrigeración (KWh/m²)	Calefacción (KWh/m²)	Eléctrica (KWh/m²)
Funcionamiento de 8 horas	20.38	27.96	60.08
Funcionamiento de 12 horas	41.38	31.97	75.74
Funcionamiento de 24 horas	52.18	57.62	131.40

Zona	D3		
Demandas	Refrigeración (KWh/m²)	Calefacción (KWh/m²)	Eléctrica (KWh/m²)
Funcionamiento de 8 horas	29.07	44.34	60.08
Funcionamiento de 12 horas	51.36	51.46	75.74
Funcionamiento de 24 horas	68.68	87.93	131.40

Tabla completa de resultados anuales, en Convencional, para cada zona climática y horario de funcionamiento:

Caso	Convencional			Convencional			Convencional		
Zona	A3			B4			C2		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00
Total Bal. Energía (MWh)	424.96	542.11	924.39	456.30	591.96	989.50	409.80	518.92	894.02
Total Cons. Refrigeración (MWh)	26.58	39.90	53.08	57.86	89.68	118.07	11.21	16.47	22.24
Total Cons. Calefacción (MWh)	13.24	15.95	41.41	39.11	46.26	126.20	118.49	140.55	292.21
Total Cons. Bombas (kWh)	41.51	45.01	101.92	99.60	111.24	225.00	242.60	292.80	565.00
Total V_gn_calef (MWh)	13.24	15.95	41.41	39.11	46.26	126.20	118.49	140.55	292.21
Total Dem. Eléctrica (MWh)	398.34	502.16	871.21	398.34	502.16	871.21	398.34	502.16	871.21
Consumo final electricidad (MWh)	424.96	542.11	924.39	456.30	591.96	989.50	409.80	518.92	894.02
Consumo final gas natural (MWh)	13.24	15.95	41.41	39.11	46.26	126.20	118.49	140.55	292.21
Consumo final energía (MWh)	438.20	558.06	965.80	495.42	638.21	1115.71	528.29	659.47	1186.23
Consumo final electricidad (kWh/m2)	64.10	81.77	139.44	68.83	89.29	149.26	61.81	78.28	134.86
Consumo final gas natural (kWh/m2)	2.00	2.41	6.25	5.90	6.98	19.04	17.87	21.20	44.08
Consumo final energía (kWh/m2)	66.10	84.18	145.68	74.73	96.27	168.30	79.69	99.48	178.93
Consumo primario electricidad (MWh)	1019.91	1301.06	2218.53	1095.12	1420.69	2374.81	983.51	1245.42	2145.64
Consumo primario gas natural (MWh)	15.75	18.98	49.28	46.55	55.05	150.18	141.01	167.25	347.73
Consumo primario energía (MWh)	1035.66	1320.05	2267.81	1141.67	1475.74	2524.99	1124.52	1412.67	2493.37
Consumo primario electricidad (kWh/m2)	153.84	196.25	334.65	165.19	214.30	358.22	148.35	187.86	323.65
Consumo primario gas natural (kWh/m2)	2.38	2.86	7.43	7.02	8.30	22.65	21.27	25.23	52.45
Consumo primario energía (kWh/m2)	156.22	199.12	342.08	172.21	222.60	380.87	169.62	213.09	376.10
Emisiones CO2 por electricidad (tnCO2)	151.71	193.53	330.01	162.90	211.33	353.25	146.30	185.26	319.16
Emisiones CO2 por gas natural (tnCO2)	3.31	3.99	10.35	9.78	11.56	31.55	29.62	35.14	73.05
Emisiones CO2 energía (tnCO2)	155.02	197.52	340.36	172.68	222.89	384.80	175.92	220.39	392.22
Emisiones CO2 electricidad (kgCO2/m2)	22.88	29.19	49.78	24.57	31.88	53.29	22.07	27.94	48.14
Emisiones CO2 gas natural (kgCO2/m2)	0.50	0.60	1.56	1.48	1.74	4.76	4.47	5.30	11.02
Emisiones CO2 energía (kgCO2/m2)	23.38	29.79	51.34	26.05	33.62	58.04	26.54	33.24	59.16

Caso	Convencional			Convencional		
Zona	D3			E1		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00
Total Bal. Energía (MWh)	421.57	537.55	918.39	401.40	506.01	877.83
Total Cons. Refrigeración (MWh)	22.79	34.85	46.14	2.49	3.15	5.28
Total Cons. Calefacción (MWh)	206.14	251.00	523.10	294.47	363.88	703.57
Total Cons. Bombas (kWh)	430.28	537.85	1031.68	556.58	698.36	1331.78
Total V_gn_calef (MWh)	206.14	251.00	523.10	294.47	363.88	703.57
Total Dem. Eléctrica (MWh)	398.34	502.16	871.21	398.34	502.16	871.21
Consumo final electricidad (MWh)	421.57	537.55	918.39	401.40	506.01	877.83
Consumo final gas natural (MWh)	206.14	251.00	523.10	294.47	363.88	703.57
Consumo final energía (MWh)	627.70	788.54	1441.48	695.87	869.89	1581.40
Consumo final electricidad (kWh/m2)	63.59	81.08	138.53	60.55	76.33	132.41
Consumo final gas natural (kWh/m2)	31.09	37.86	78.90	44.42	54.89	106.13
Consumo final energía (kWh/m2)	94.68	118.95	217.44	104.97	131.22	238.54
Consumo primario electricidad (MWh)	1011.76	1290.11	2204.13	963.35	1214.42	2106.78
Consumo primario gas natural (MWh)	245.30	298.69	622.48	350.42	433.02	837.25
Consumo primario energía (MWh)	1257.06	1588.80	2826.61	1313.77	1647.43	2944.03
Consumo primario electricidad (kWh/m2)	152.62	194.60	332.47	145.31	183.18	317.79
Consumo primario gas natural (kWh/m2)	37.00	45.05	93.90	52.86	65.32	126.29
Consumo primario energía (kWh/m2)	189.62	239.66	426.37	198.17	248.50	444.08
Emisiones CO2 por electricidad (tnCO2)	150.50	191.90	327.86	143.30	180.64	313.38
Emisiones CO2 por gas natural (tnCO2)	51.53	62.75	130.77	73.62	90.97	175.89
Emisiones CO2 energía (tnCO2)	202.03	254.65	458.64	216.92	271.61	489.28
Emisiones CO2 electricidad (kgCO2/m2)	22.70	28.95	49.46	21.62	27.25	47.27
Emisiones CO2 gas natural (kgCO2/m2)	7.77	9.47	19.73	11.10	13.72	26.53
Emisiones CO2 energía (kgCO2/m2)	30.48	38.41	69.18	32.72	40.97	73.80

Tabla completa de costes y LCC, en Convencional, para cada zona climática y horario de funcionamiento:

Caso	Convencional			Convencional		
Zona climática	B4			C2		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión (€)	-	-	-	-	-	-
Costes de reemplazo (€)	43600.00	43600.00	43600.00	26900.00	26900.00	26900.00
Costes de operación (€)	98026.75	126864.24	215388.25	93705.10	118012.15	206719.70
Costes de mantenimiento (€)	-	-	-	-	-	-
LCC (€/m ²)	296.40	381.66	643.39	281.10	352.97	615.24
LCC (€)	1964967.63	2530195.05	4265304.71	1863561.30	2339990.31	4078697.44

Caso	Convencional			Convencional		
Zona climática	D3			E1		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión (€)	-	-	-	-	-	-
Costes de reemplazo (€)	32600.00	32600.00	32600.00	19083.00	19083.00	19083.00
Costes de operación (€)	102124.85	129414.76	227513.13	103915.86	130499.21	231308.36
Costes de mantenimiento (€)	-	-	-	-	-	-
LCC (€/m ²)	306.86	387.54	677.58	310.11	388.71	686.76
LCC (€)	2034292.22	2569186.42	4491957.76	2055879.64	2576925.04	4552828.93

Tabla completa de porcentajes de reducción del LCC sin venta de electricidad al LCC con venta de electricidad, en Convencional, para cada zona climática y horario de funcionamiento:

Caso	Convencional			Convencional		
Zona climática	B4			C2		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión	-	-	-	-	-	-
Costes de reemplazo	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Costes de operación	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Costes de mantenimiento	-	-	-	-	-	-
LCC	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Caso	Convencional			Convencional		
Zona climática	D3			E1		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión	-	-	-	-	-	-
Costes de reemplazo	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Costes de operación	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Costes de mantenimiento	-	-	-	-	-	-
LCC	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Gráficas de resultados anuales para el caso Convencional:

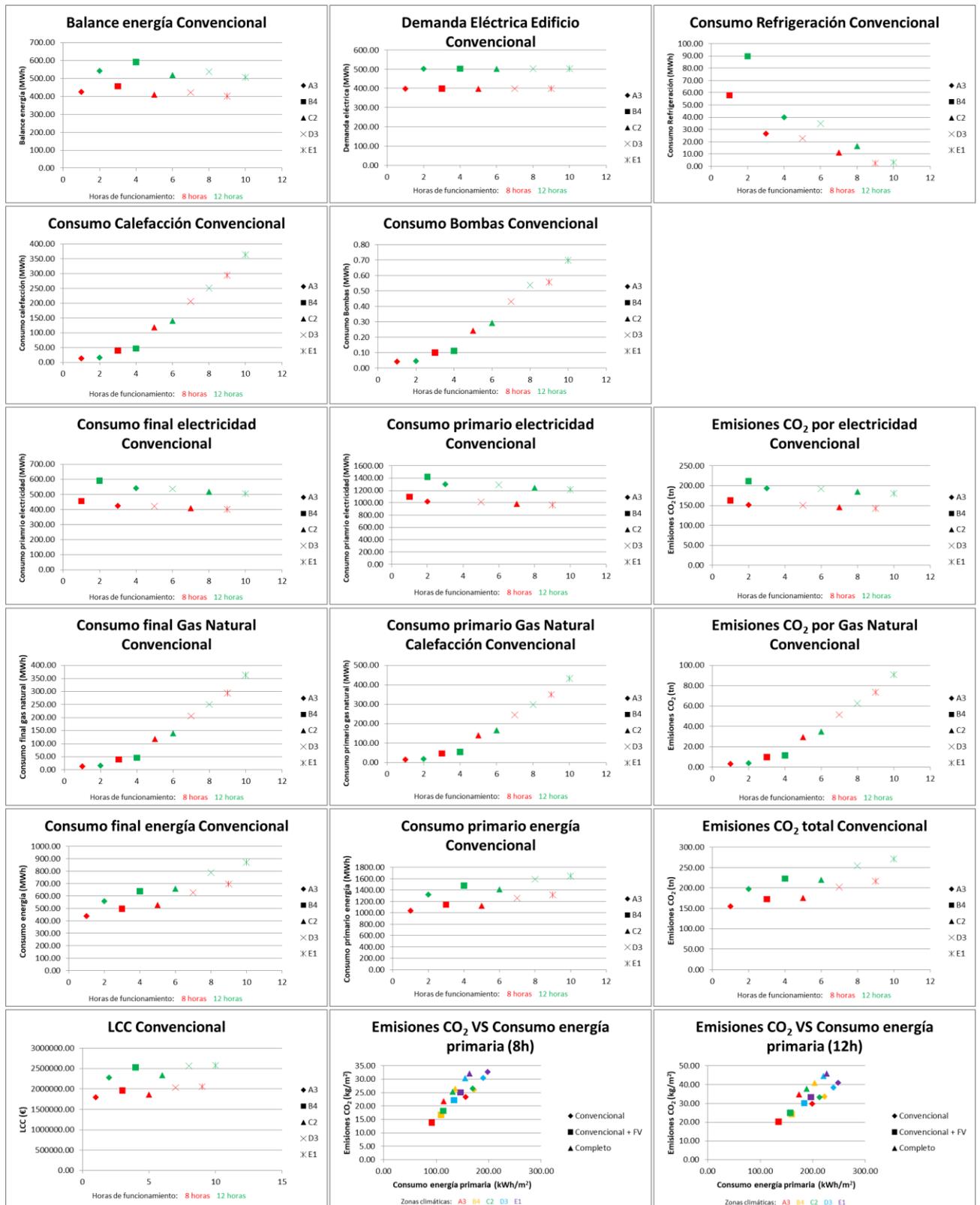


Tabla completa de resultados anuales, en Convencional + FV, para cada zona climática y horario de funcionamiento:

Caso	Convencional + FV			Convencional + FV			Convencional + FV		
Zona	A3			B4			C2		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00
Total Bal. Energía (MWh)	247.18	364.33	746.60	282.35	418.01	815.56	254.92	364.04	739.14
Total Cons. Refrigeración (MWh)	26.58	39.90	53.08	57.86	89.68	118.07	11.21	16.47	22.24
Total Cons. Calefacción (MWh)	13.24	15.95	41.41	39.11	46.26	126.20	118.49	140.55	292.21
Total Cons. Bombas (kWh)	41.51	45.01	101.92	99.60	111.24	225.00	242.60	292.80	565.00
Total Prod. FV (MWh)	177.78	177.78	177.78	173.95	173.95	173.95	154.88	154.88	154.88
Total Dem. Red (MWh)	269.59	386.06	746.60	303.39	438.42	815.56	272.36	380.95	739.14
Total V_gn_calef (MWh)	13.24	15.95	41.41	39.11	46.26	126.20	118.49	140.55	292.21
Total Dem. Eléctrica (MWh)	398.34	502.16	871.21	398.34	502.16	871.21	398.34	502.16	871.21
Total Exced_elec (MWh)	22.41	21.74	0.00	21.03	20.42	0.00	17.45	16.91	0.00
Consumo final electricidad (MWh)	247.18	364.33	746.60	282.35	418.01	815.56	254.92	364.04	739.14
Consumo final gas natural (MWh)	13.24	15.95	41.41	39.11	46.26	126.20	118.49	140.55	292.21
Consumo final energía (MWh)	260.41	380.28	788.02	321.47	464.26	941.76	373.41	504.59	1031.35
Consumo final electricidad (kWh/m2)	37.28	54.96	112.62	42.59	63.05	123.02	38.45	54.91	111.49
Consumo final gas natural (kWh/m2)	2.00	2.41	6.25	5.90	6.98	19.04	17.87	21.20	44.08
Consumo final energía (kWh/m2)	39.28	57.36	118.87	48.49	70.03	142.06	56.33	76.11	155.57
Consumo primario electricidad (MWh)	593.23	874.39	1791.85	677.65	1003.22	1957.34	611.80	873.71	1773.93
Consumo primario gas natural (MWh)	15.75	18.98	49.28	46.55	55.05	150.18	141.01	167.25	347.73
Consumo primario energía (MWh)	608.98	893.37	1841.13	724.19	1058.27	2107.52	752.81	1040.96	2121.66
Consumo primario electricidad (kWh/m2)	89.48	131.89	270.29	102.22	151.33	295.25	92.29	131.79	267.58
Consumo primario gas natural (kWh/m2)	2.38	2.86	7.43	7.02	8.30	22.65	21.27	25.23	52.45
Consumo primario energía (kWh/m2)	91.86	134.76	277.72	109.24	159.63	317.90	113.56	157.02	320.04
Emissiones CO2 por electricidad (tnCO2)	88.24	130.06	266.54	100.80	149.23	291.15	91.01	129.96	263.87
Emissiones CO2 por gas natural (tnCO2)	3.31	3.99	10.35	9.78	11.56	31.55	29.62	35.14	73.05
Emissiones CO2 energía (tnCO2)	91.55	134.05	276.89	110.58	160.79	322.70	120.63	165.10	336.92
Emissiones CO2 electricidad (kgCO2/m2)	13.31	19.62	40.21	15.20	22.51	43.92	13.73	19.60	39.80
Emissiones CO2 gas natural (kgCO2/m2)	0.50	0.60	1.56	1.48	1.74	4.76	4.47	5.30	11.02
Emissiones CO2 energía (kgCO2/m2)	13.81	20.22	41.77	16.68	24.25	48.68	18.20	24.90	50.82

Caso	Convencional + FV			Convencional + FV		
Zona	D3			E1		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00
Total Bal. Energía (MWh)	267.79	383.77	764.61	258.69	363.30	735.12
Total Cons. Refrigeración (MWh)	22.79	34.85	46.14	2.49	3.15	5.28
Total Cons. Calefacción (MWh)	206.14	251.00	523.10	294.47	363.88	703.57
Total Cons. Bombas (kWh)	430.28	537.85	1031.68	556.58	698.36	1331.78
Total Prod. FV (MWh)	153.78	153.78	153.78	142.70	142.70	142.70
Total Dem. Red (MWh)	284.46	399.69	764.61	275.74	379.67	735.12
Total V_gn_calef (MWh)	206.14	251.00	523.10	294.47	363.88	703.57
Total Dem. Eléctrica (MWh)	398.34	502.16	871.21	398.34	502.16	871.21
Total Exced_elec (MWh)	16.67	15.93	0.00	17.05	16.37	0.00
Consumo final electricidad (MWh)	267.79	383.77	764.61	258.69	363.30	735.12
Consumo final gas natural (MWh)	206.14	251.00	523.10	294.47	363.88	703.57
Consumo final energía (MWh)	473.92	634.76	1287.70	553.17	727.18	1438.69
Consumo final electricidad (kWh/m2)	40.39	57.89	115.33	39.02	54.80	110.89
Consumo final gas natural (kWh/m2)	31.09	37.86	78.90	44.42	54.89	106.13
Consumo final energía (kWh/m2)	71.49	95.75	194.24	83.44	109.69	217.02
Consumo primario electricidad (MWh)	642.69	921.04	1835.06	620.86	871.93	1764.29
Consumo primario gas natural (MWh)	245.30	298.69	622.48	350.42	433.02	837.25
Consumo primario energía (MWh)	887.99	1219.73	2457.54	971.28	1304.94	2601.54
Consumo primario electricidad (kWh/m2)	96.95	138.93	276.80	93.65	131.52	266.13
Consumo primario gas natural (kWh/m2)	37.00	45.05	93.90	52.86	65.32	126.29
Consumo primario energía (kWh/m2)	133.95	183.99	370.70	146.51	196.84	392.42
Emissiones CO2 por electricidad (tnCO2)	95.60	137.00	272.96	92.35	129.70	262.44
Emissiones CO2 por gas natural (tnCO2)	51.53	62.75	130.77	73.62	90.97	175.89
Emissiones CO2 energía (tnCO2)	147.13	199.75	403.74	165.97	220.67	438.33
Emissiones CO2 electricidad (kgCO2/m2)	14.42	20.67	41.17	13.93	19.56	39.59
Emissiones CO2 gas natural (kgCO2/m2)	7.77	9.47	19.73	11.10	13.72	26.53
Emissiones CO2 energía (kgCO2/m2)	22.19	30.13	60.90	25.04	33.29	66.12

Tabla completa de costes y LCC, en Convencional + FV, para cada zona climática y horario de funcionamiento:

Caso	Convencional + FV			Convencional + FV		
Zona climática	B4			C2		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión (€)	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00
Costes de reemplazo (€)	160700.00	160700.00	160700.00	144000.00	144000.00	144000.00
Costes de operación (€)	59082.65	87995.96	179033.17	59187.77	83561.07	174350.05
Costes de mantenimiento	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00
LCC (€/m ²)	226.97	312.46	581.61	224.76	296.83	565.25
LCC (€)	1504702.30	2071415.95	3855785.53	1490062.68	1967790.11	3747294.25

Caso	Convencional + FV			Convencional + FV		
Zona climática	D3			E1		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión (€)	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00	117100.00
Costes de reemplazo (€)	149700.00	149700.00	149700.00	136183.00	136183.00	136183.00
Costes de operación (€)	67932.41	95314.24	195373.36	71991.70	98659.49	201483.37
Costes de mantenimiento (€)	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00	3513.00
LCC (€/m ²)	251.48	332.43	628.27	261.44	340.29	644.29
LCC (€)	1667161.50	2203857.45	4165060.39	1733208.36	2255908.93	4271302.32

Tabla completa de porcentajes de reducción del LCC sin venta de electricidad al LCC con venta de electricidad, en Convencional + FV, para cada zona climática y horario de funcionamiento:

Caso	Convencional + FV			Convencional + FV		
Zona climática	B4			C2		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Costes de reemplazo	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Costes de operación	4.20%	2.78%	0.00%	3.50%	2.43%	0.00%
Costes de mantenimiento	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
LCC	3.26%	2.32%	0.00%	2.75%	2.03%	0.00%

Caso	Convencional + FV			Convencional + FV		
Zona climática	D3			E1		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Costes de reemplazo	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Costes de operación	2.93%	2.02%	0.00%	2.83%	2.00%	0.00%
Costes de mantenimiento	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
LCC	2.36%	1.71%	0.00%	2.32%	1.72%	0.00%

Gráficas de resultados anuales para el caso Convencional + FV:

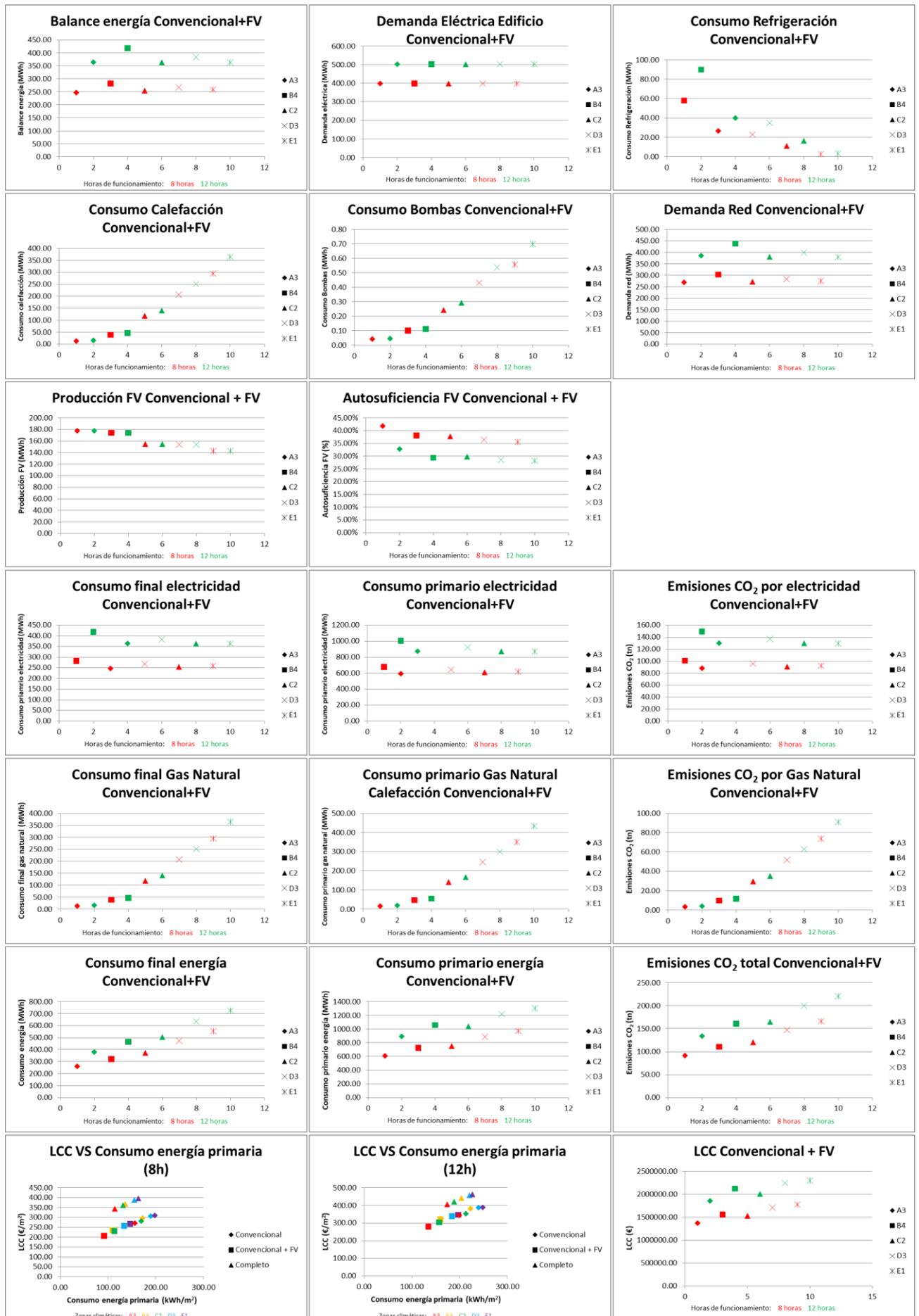


Tabla completa de resultados anuales, en Completo, para cada zona climática y horario de funcionamiento:

Caso	Completo			Completo			Completo		
	Zona	A3		B4			C2		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00
Total Bal. Energía (MWh)	247.28	364.41	746.68	282.55	418.17	815.78	255.64	364.64	739.71
Total Cons. Refrigeración (MWh)	26.58	39.90	53.08	57.86	89.68	118.07	11.21	16.47	22.24
Total Cons. Calefacción (MWh)	4.71	5.05	14.38	23.19	24.43	71.59	84.38	89.84	198.44
Total Cons. Bombas (kWh)	142.94	125.58	181.44	292.08	276.72	444.48	959.80	887.60	1135.60
Total Prod. FV (MWh)	177.78	177.78	177.78	173.95	173.95	173.95	154.88	154.88	154.88
Total Pot. Motores (MWh)	148.69	286.27	718.76	187.02	334.35	783.89	154.22	284.31	716.01
Total Dem. Red (MWh)	121.00	99.86	27.82	116.55	104.23	31.79	118.82	97.19	23.60
Total V_gn_calef (MWh)	4.71	5.05	14.38	23.19	24.43	71.59	84.38	89.84	198.44
Total V_gn_motores (MWh)	433.40	806.53	1984.87	543.01	941.70	2166.43	443.42	798.38	1972.86
Total Exced_elec (MWh)	22.41	21.73	0.00	21.02	20.41	0.00	17.40	16.87	0.00
Total Dem. Eléctrica (MWh)	398.34	502.16	871.21	398.34	502.16	871.21	398.34	502.16	871.21
Consumo final electricidad (MWh)	98.59	78.14	27.93	95.53	83.82	31.89	101.42	80.33	23.70
Consumo final gas natural (MWh)	438.11	811.57	1999.25	566.20	966.12	2238.02	527.80	888.22	2171.30
Consumo final energía (MWh)	536.70	889.71	2027.18	661.73	1049.95	2269.91	629.22	968.55	2195.00
Consumo final electricidad (kWh/m2)	14.87	11.79	4.21	14.41	12.64	4.81	15.30	12.12	3.58
Consumo final gas natural (kWh/m2)	66.08	122.42	301.57	85.41	145.73	337.59	79.61	133.98	327.52
Consumo final energía (kWh/m2)	80.96	134.21	305.78	99.82	158.38	342.40	94.91	146.10	331.10
Consumo primario electricidad (MWh)	236.62	187.53	67.03	229.26	201.18	76.53	243.40	192.79	56.88
Consumo primario gas natural (MWh)	521.35	965.77	2379.11	673.78	1149.69	2663.25	628.08	1056.98	2583.84
Consumo primario energía (MWh)	757.97	1153.30	2446.13	903.05	1350.86	2739.78	871.48	1249.77	2640.72
Consumo primario electricidad (kWh/m2)	35.69	28.29	10.11	34.58	30.35	11.54	36.71	29.08	8.58
Consumo primario gas natural (kWh/m2)	78.64	145.68	358.87	101.63	173.42	401.73	94.74	159.44	389.75
Consumo primario energía (kWh/m2)	114.33	173.97	368.98	136.22	203.77	413.27	131.46	188.52	398.33
Emisiones CO2 por electricidad (tnCO2)	35.20	27.89	9.97	34.10	29.93	11.38	36.21	28.68	8.46
Emisiones CO2 por gas natural (tnCO2)	109.53	202.89	499.81	141.55	241.53	559.51	131.95	222.05	542.82
Emisiones CO2 energía (tnCO2)	144.72	230.79	509.78	175.65	271.46	570.89	168.16	250.73	551.29
Emisiones CO2 electricidad (kgCO2/m2)	5.31	4.21	1.50	5.14	4.51	1.72	5.46	4.33	1.28
Emisiones CO2 gas natural (kgCO2/m2)	16.52	30.60	75.39	21.35	36.43	84.40	19.90	33.50	81.88
Emisiones CO2 energía (kgCO2/m2)	21.83	34.81	76.90	26.50	40.95	86.11	25.36	37.82	83.16

Caso	Completo			Completo		
	Zona	D3		E1		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00
Total Bal. Energía (MWh)	268.89	384.76	765.62	260.10	364.62	736.43
Total Cons. Refrigeración (MWh)	22.79	34.85	46.14	2.49	3.15	5.28
Total Cons. Calefacción (MWh)	174.40	197.37	459.32	247.57	287.88	605.36
Total Cons. Bombas (kWh)	1531.09	1529.85	2049.41	1960.78	2013.48	2642.48
Total Prod. FV (MWh)	153.78	153.78	153.78	142.70	142.70	142.70
Total Pot. Motores (MWh)	169.80	306.66	747.04	159.55	285.38	716.08
Total Dem. Red (MWh)	115.70	93.97	18.48	117.53	95.54	20.25
Total V_gn_calef (MWh)	174.40	197.37	459.32	247.57	287.88	605.36
Total V_gn_motores (MWh)	490.63	874.45	2136.75	461.15	815.76	2056.51
Total Exced_elec (MWh)	16.61	15.87	0.00	16.98	16.30	0.00
Total Dem. Eléctrica (MWh)	398.34	502.16	871.21	398.34	502.16	871.21
Consumo final electricidad (MWh)	99.09	78.10	18.58	100.55	79.24	20.35
Consumo final gas natural (MWh)	665.03	1071.82	2596.07	708.72	1103.64	2661.87
Consumo final energía (MWh)	764.12	1149.92	2614.66	809.27	1182.89	2682.22
Consumo final electricidad (kWh/m2)	14.95	11.78	2.80	15.17	11.95	3.07
Consumo final gas natural (kWh/m2)	100.31	161.68	391.60	106.91	166.48	401.52
Consumo final energía (kWh/m2)	115.26	173.46	394.40	122.07	178.43	404.59
Consumo primario electricidad (MWh)	237.81	187.44	44.60	241.31	190.18	48.84
Consumo primario gas natural (MWh)	791.39	1275.47	3089.33	843.38	1313.34	3167.63
Consumo primario energía (MWh)	1029.19	1462.91	3133.93	1084.69	1503.52	3216.46
Consumo primario electricidad (kWh/m2)	35.87	28.27	6.73	36.40	28.69	7.37
Consumo primario gas natural (kWh/m2)	119.37	192.39	466.00	127.22	198.11	477.81
Consumo primario energía (kWh/m2)	155.25	220.67	472.73	163.62	226.79	485.18
Emisiones CO2 por electricidad (tnCO2)	35.37	27.88	6.63	35.90	28.29	7.26
Emisiones CO2 por gas natural (tnCO2)	166.26	267.95	649.02	177.18	275.91	665.47
Emisiones CO2 energía (tnCO2)	201.63	295.84	655.65	213.08	304.20	672.73
Emisiones CO2 electricidad (kgCO2/m2)	5.34	4.21	1.00	5.41	4.27	1.10
Emisiones CO2 gas natural (kgCO2/m2)	25.08	40.42	97.90	26.73	41.62	100.38
Emisiones CO2 energía (kgCO2/m2)	30.41	44.62	98.90	32.14	45.89	101.48

Tabla completa de costes y LCC, en Completo, para cada zona climática y horario de funcionamiento:

Caso	Completo			Completo		
Zona	B4			C2		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión (€)	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00
Costes de reemplazo (€)	160700.00	160700.00	160700.00	144000.00	144000.00	144000.00
Costes de operación (€)	55879.24	80703.65	158850.02	54944.19	75111.24	152601.57
Costes de mantenimiento (€)	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00
LCC (€/m ²)	361.22	434.62	665.66	355.94	415.57	644.67
LCC (€)	2394722.12	2881291.43	4412994.79	2359694.71	2754977.80	4273822.36

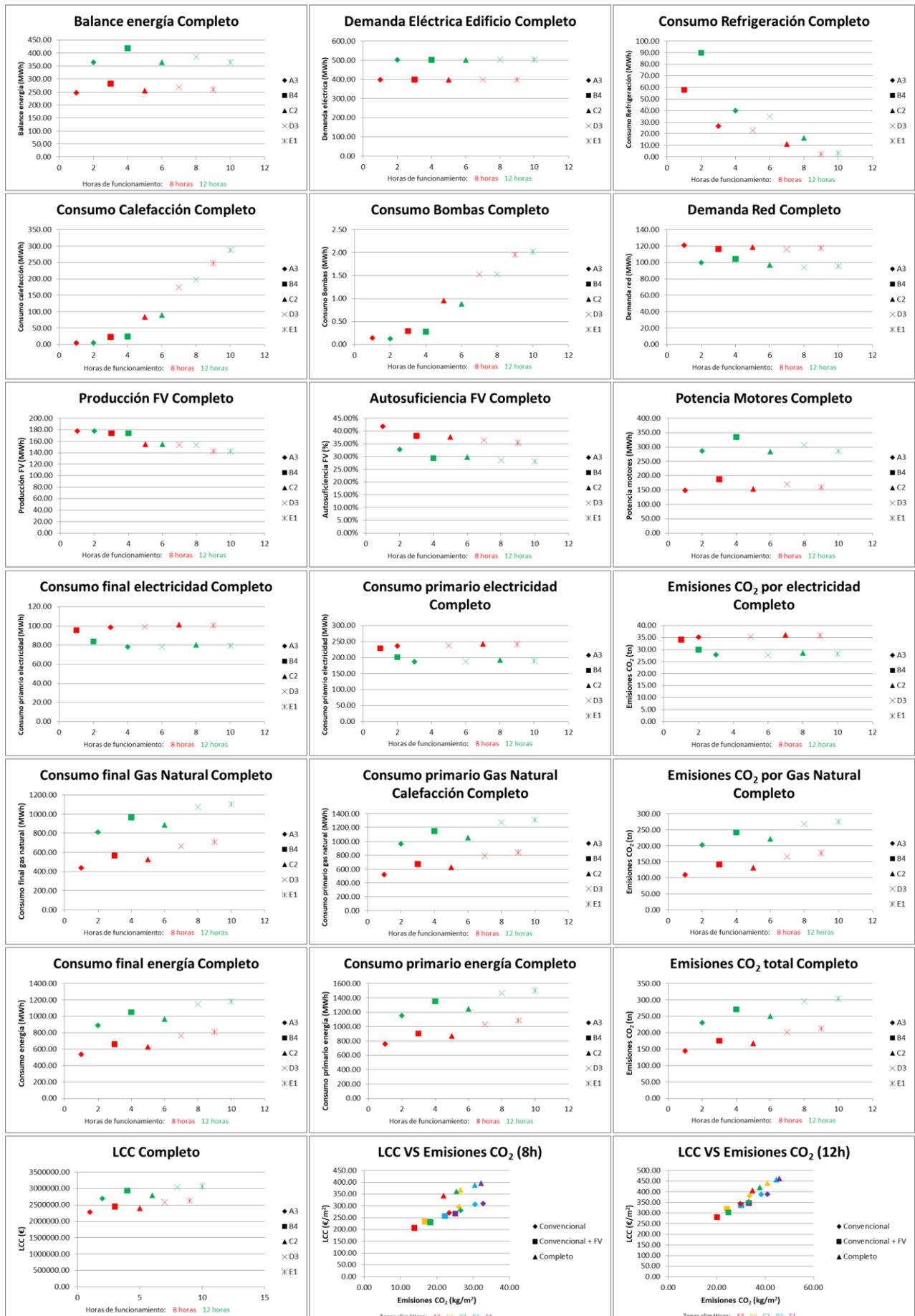
Caso	Completo			Completo		
Zona	D3			E1		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión (€)	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00	717100.00
Costes de reemplazo (€)	149700.00	149700.00	149700.00	136183.00	136183.00	136183.00
Costes de operación (€)	63886.38	87253.33	180416.83	67117.68	89602.87	185260.17
Costes de mantenimiento (€)	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00	21513.00
LCC (€/m ²)	383.24	452.32	727.77	390.75	457.23	740.05
LCC (€)	2540665.59	2998668.04	4824713.74	2590483.45	3031203.05	4906128.42

Tabla completa de porcentajes de reducción del LCC sin venta de electricidad al LCC con venta de electricidad, en Completo, para cada zona climática y horario de funcionamiento:

Caso	Completo			Completo		
Zona climática	B4			C2		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Costes de reemplazo	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Costes de operación	4.43%	3.02%	0.00%	3.75%	2.69%	0.00%
Costes de mantenimiento	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
LCC	2.07%	1.68%	0.00%	1.75%	1.46%	0.00%

Caso	Completo			Completo		
Zona climática	D3			E1		
Horas de funcionamiento	8.00	12.00	24.00	8.00	12.00	24.00
Costes de inversión	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Costes de reemplazo	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Costes de operación	3.10%	2.19%	0.00%	3.02%	2.19%	0.00%
Costes de mantenimiento	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
LCC	1.55%	1.26%	0.00%	1.56%	1.28%	0.00%

Gráficas de resultados anuales para el caso Completo:



- **Gráficas de resultados del análisis de sensibilidad**

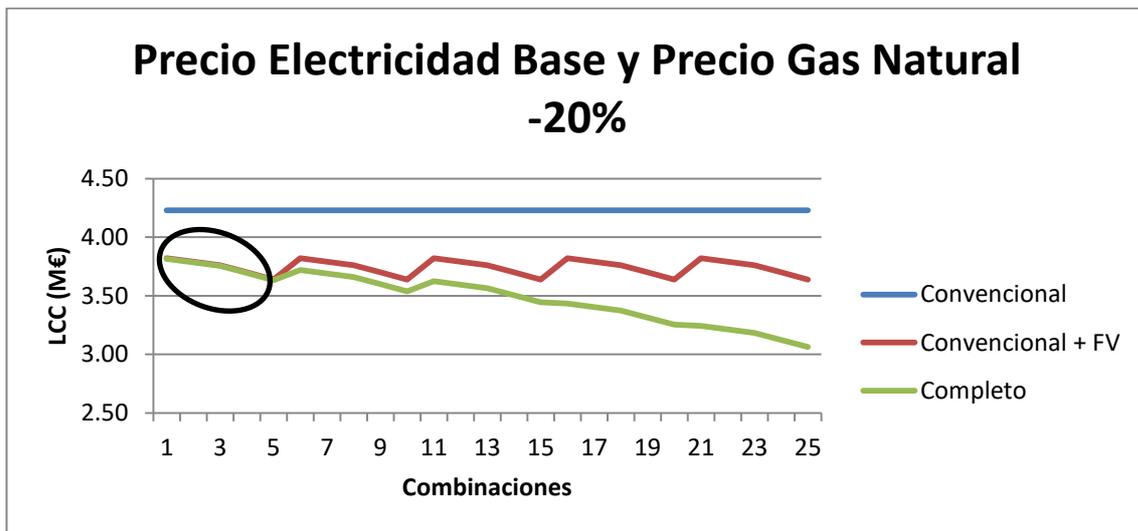
- **Zona climática B4:**

A continuación se analiza para cada precio fijo de electricidad que es lo que ocurre cuando se varía el precio de gas natural. Se comparan los resultados para el caso Convencional + FV y Completo.

Las curvas de los tres casos de estudios son muy parecidas entre B4 y A3 por lo que para cada precio de electricidad ocurre lo mismo que en A3. Lo único que varía son algunos puntos críticos, los cuales se corresponden para otro precio del motor de gas natural. Por tanto, sólo se comentan los puntos críticos:

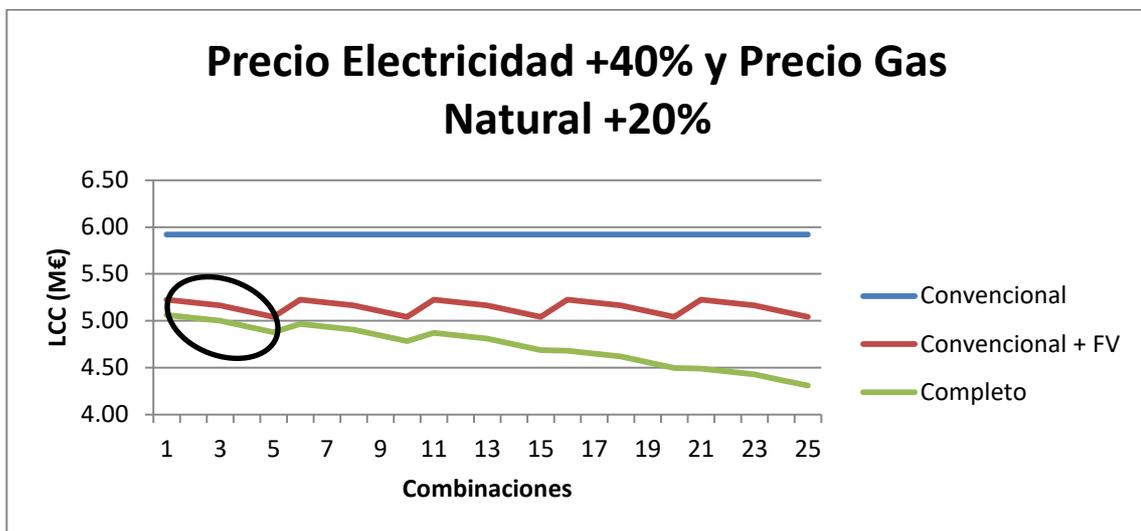
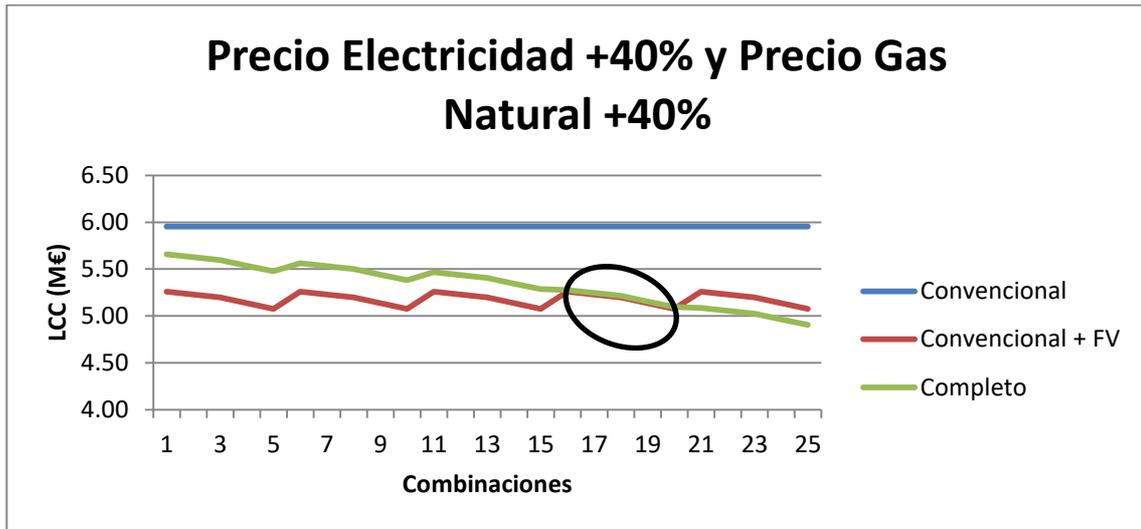
- Electricidad (base)

Para este precio de la electricidad, al igual que ocurría en A3, hay un punto crítico cuando el precio del gas natural disminuye un 20%. En este caso este punto crítico se alcanza para el precio de los motores de gas natural base (señalización en gráfica), donde Convencional + FV y Completo tienen prácticamente el mismo LCC. En A3, el punto crítico tiene lugar para el precio de los motores de gas natural -10%, es decir, ahora se alcanza el punto crítico para un precio mayor de los motores debido a que la curva del LCC en Convencional + FV está desplazada hacia arriba con respecto a A3 al tener un mayor consumo eléctrico de la red, por tanto, se necesita un precio mayor motores para igualar ambas curvas. En resumen, en este caso el LCC es mayor en Completo para precios del gas natural base, +40% y +20% mientras que es menor para precios del gas natural -20% y -40%.



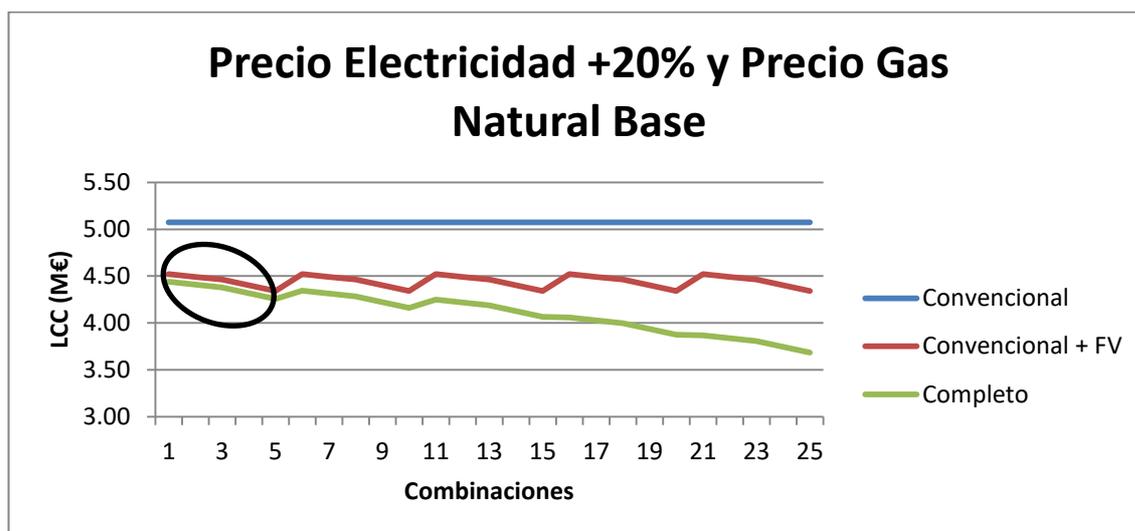
- Electricidad (+40%)

Para este precio de la electricidad, como ocurre en A3, hay puntos críticos cuando el precio del gas natural aumenta respecto al caso base (+40% y +20%). La primera gráfica muestra los valores del LCC cuando el precio del gas natural aumenta un 40%, en este caso el LCC mayor es en Completo que en Convencional + FV para todos los precios de los motores de gas natural excepto cuando éste disminuye un 40% (tienen aproximadamente el mismo LCC) y un 60% (es mayor en Convencional + FV). Los valores del LCC cuando el precio del gas natural aumenta 20% (segunda gráfica) son siempre mayores en Convencional + FV que en Completo aunque para el caso base se obtienen resultados muy parecidos (hay una diferencia mayor del LCC entre Convencional + FV y Completo en B4 que en A3 por lo que la criticidad es menor). Debido a que la curva del LCC en Convencional + FV está desplazada hacia arriba respecto a la zona climática A3 y la curva Completo apenas cambia, hace que haya más criticidad para el precio del gas natural +40% y menos criticidad para precio del gas natural +20%. Por tanto, el LCC es mayor en Convencional + FV para precios del gas natural base, -20%, -40%, +20% y +40% (para precios de los motores menor al punto crítico).



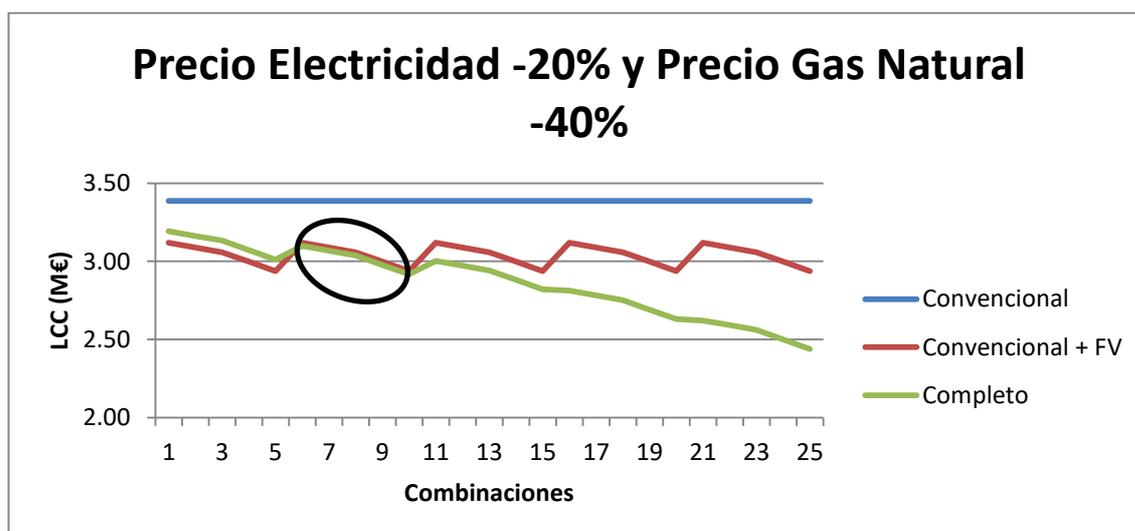
- Electricidad (+20%)

Hay criticidad para el precio del gas natural base. En la zona climática B4 esta criticidad es menor que en A3 ya que en A3 se obtenían unos valores del LCC muy parecidos entre Convencional + FV y Completo mientras que ahora es claramente inferior en Completo. Por tanto, el LCC es menor en Completo para todos los precios de motores de gas natural mientras que en A3 era mayor en Completo para el precio base de los motores. En B4, el LCC es mayor en Convencional + FV para precios del gas natural base, -20% y -40% mientras que es menor para +20% y +40%.



- Electricidad (-20%)

Hay un punto crítico cuando el precio de gas natural es -40% y el de los motores de micro-cogeneración es -10% (señalización en gráfica). Para el precio base de los motores el LCC es mayor en Completo que en Convencional + FV mientras que para el resto de precios es menor en Completo. En A3 este punto crítico se alcanzaba para el precio de los motores -20%, es decir, un precio de motores menor. Por tanto, el LCC es menor en Convencional + FV para precios del gas natural base, +40%, +20%, -20% y -40% (a partir del punto crítico).



- Electricidad (-40%)

Ocurre lo mismo que en A3, el LCC es mayor en Completo para todos los valores del precio de gas natural. No hay puntos críticos en este caso.

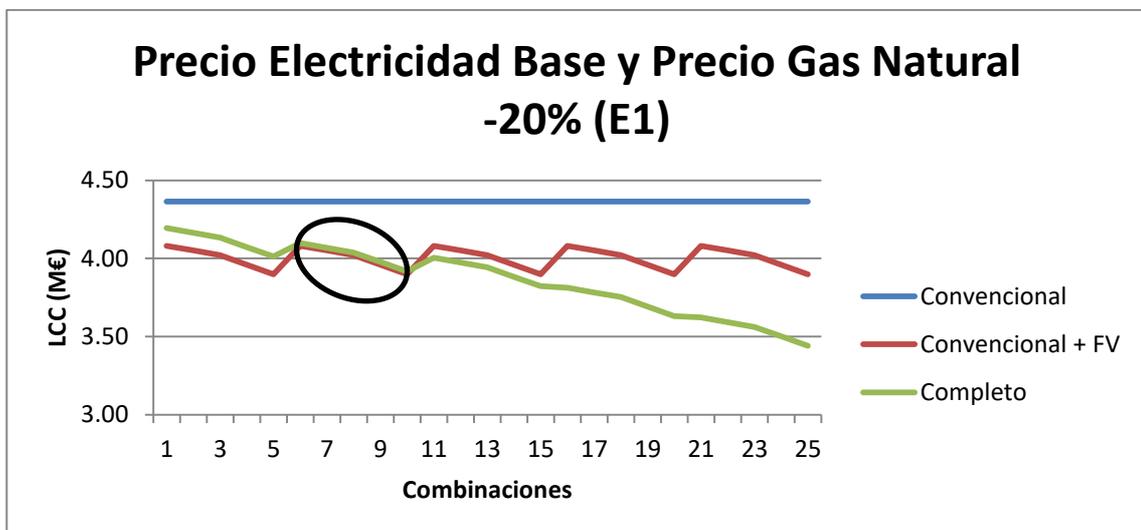
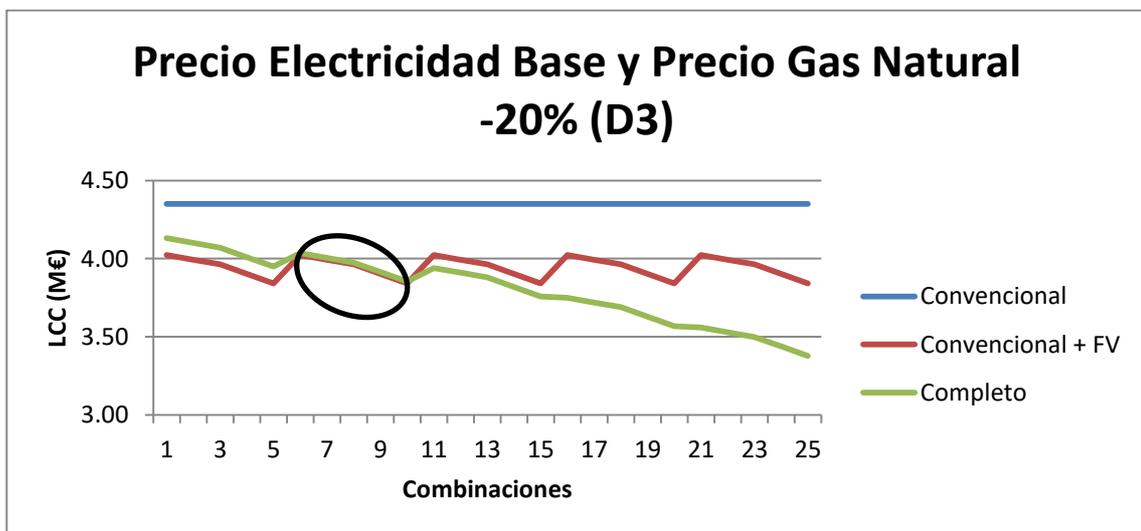
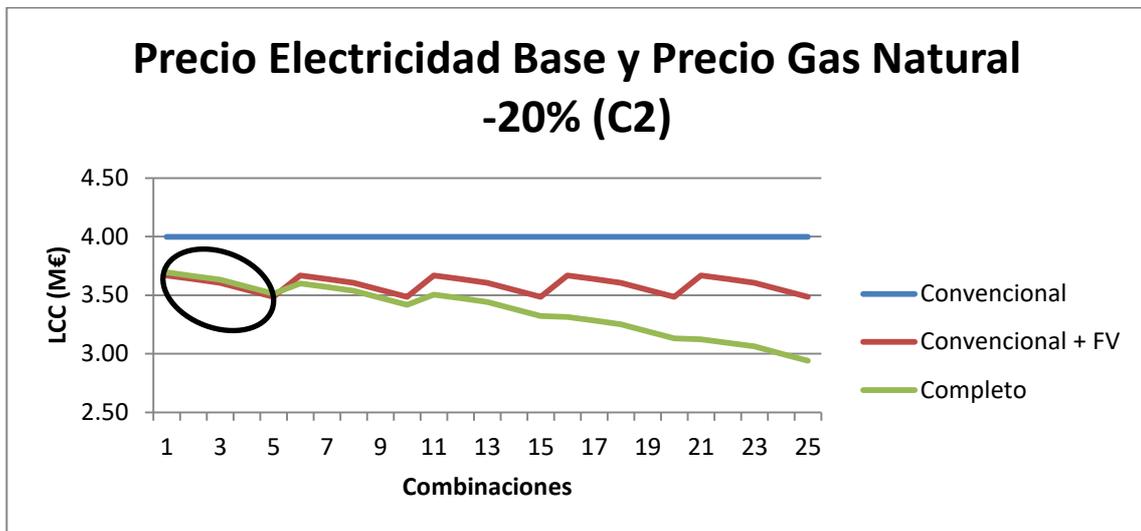
- **Zonas climáticas C2, D3 y E1:**

A continuación se analiza para cada precio fijo de electricidad que es lo que ocurre cuando se varía el precio de gas natural. Se comparan los resultados para el caso Convencional + FV y Completo.

- Electricidad (base)

Los puntos críticos en cada zona se alcanzan para precios de los motores de gas natural diferente. En C2 se alcanza para el precio base de los motores (al igual que ocurre en B4) donde el LCC es un poco mayor para Completo y, para los demás precios de los motores es mayor en Convencional + FV. En las zonas D3 y E1 la criticidad se sitúa para un precio de los motores 10% menor que el caso base (al igual que en A3), es decir,

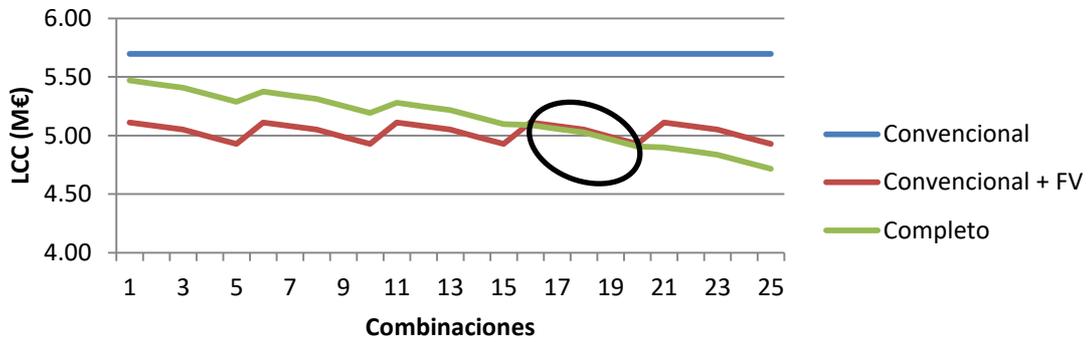
para un precio menor de los motores que en C2. Esto es debido a que en estos casos el consumo de gas natural se eleva ya que son las dos zonas climáticas de más demanda de calefacción, por tanto, la curva del LCC en Completo se desplaza hacia arriba y hace que la criticidad se dé para un precio menor de los motores. Para precios de motores menores al 10% el LCC es mayor en Convencional + FV que en Completo.



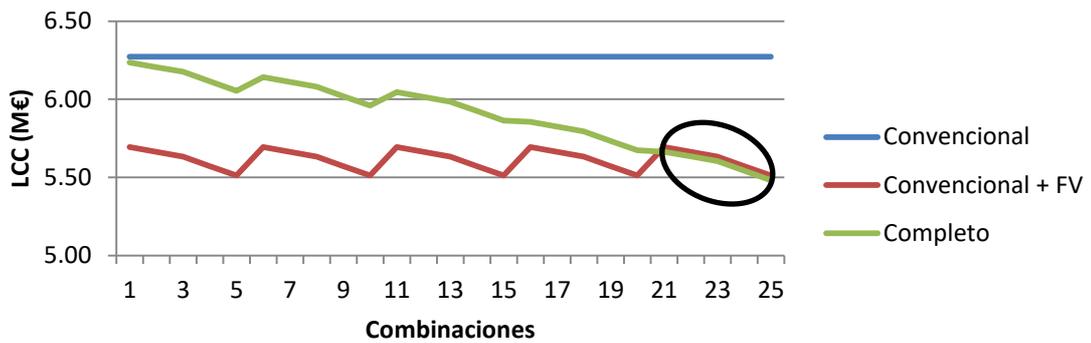
- Electricidad (+40%)

En este caso hay dos puntos críticos, ambos corresponden cuando el precio del gas natural aumenta respecto al precio base (+40% y +20%). Por un lado se comentan los resultados recogido en C2 y por otro los de D3 y E1 ya que se obtienen gráficas muy parecidas. Cuando el precio del gas natural aumenta un 40%, en C2 el punto crítico se sitúa en un precio de los motores un 40% menor que el precio base (señalización en gráfica) mientras que en D3 y E1 se alcanza para un precio un 60% menor (señalización en gráfica). Antes del punto crítico, el LCC es mayor en Completo y para el punto crítico y precios menores el LCC es mayor en Convencional + FV. En C2, los valores del LCC en el punto crítico son muy próximos para ambos casos. La diferencia entre D3 y E1 es que para el punto crítico, en D3 los valores del LCC son más parecidos. C2, como ocurría en el caso anterior, presenta curvas muy parecidas a la zona climática B4, por consiguiente, tiene el punto crítico para el mismo precio de los motores de gas natural. En cambio, D3 y E1 presentan la criticidad para un precio de los motores menor como ocurre cuando la electricidad se eleva un 20%, y hay una gran diferencia entre los valores de LCC de Convencional + FV y Completo debido al alto consumo de gas natural en el caso Completo. Cuando el precio del gas natural aumenta un 20%, en las tres zonas se alcanza el punto crítico para el precio base de los motores de gas natural (señalización en gráfica). A partir de esta criticidad el LCC es mayor en Convencional + FV. La zona climática C2 se diferencia de D3 y E1 en el punto crítico ya que en D3 y E1 el LCC es prácticamente igual en los dos casos de estudio mientras que en C2 es claramente mayor en Convencional + FV. Esta diferencia se debe a que D3 y E1 presentan una curva de Completo más alta que C2 al consumir una cantidad de gas natural mayor, por tanto, hace que las curvas Convencional + FV y Completo estén más próximas.

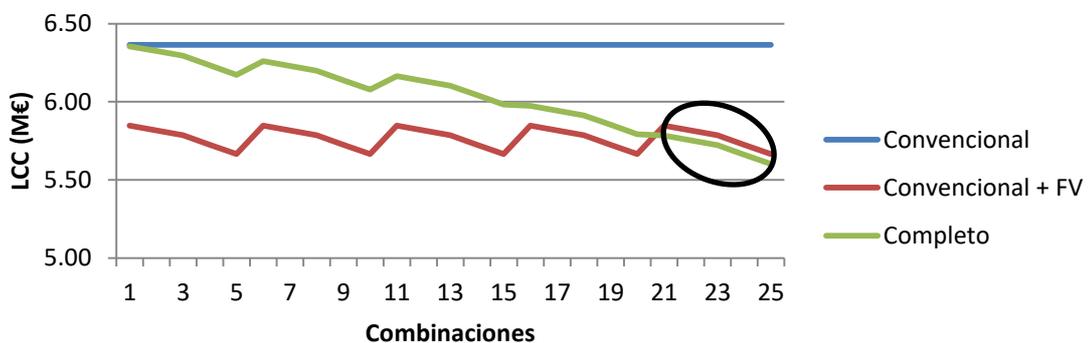
Precio Electricidad +40% y Precio Gas Natural +40% (C2)

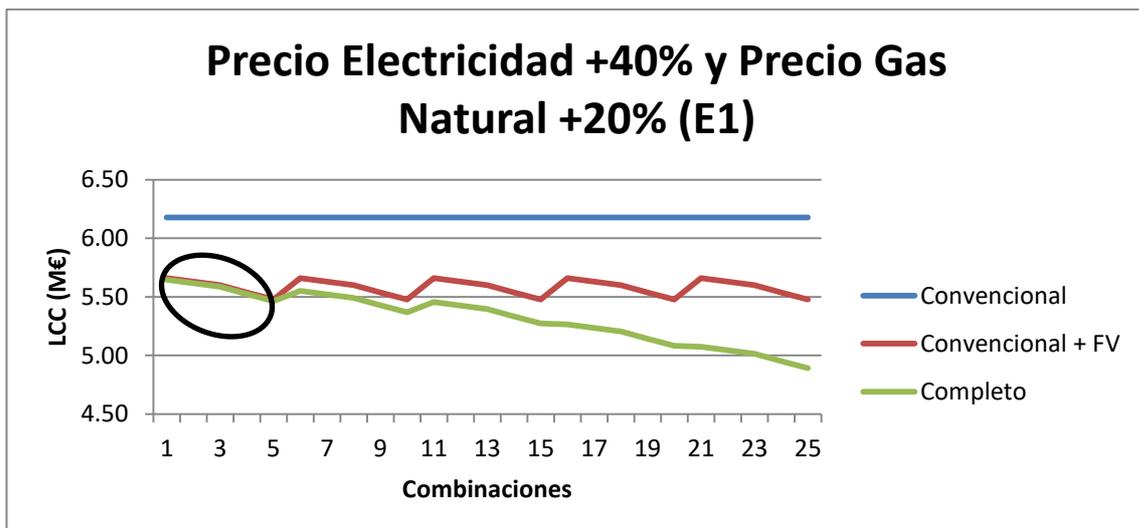
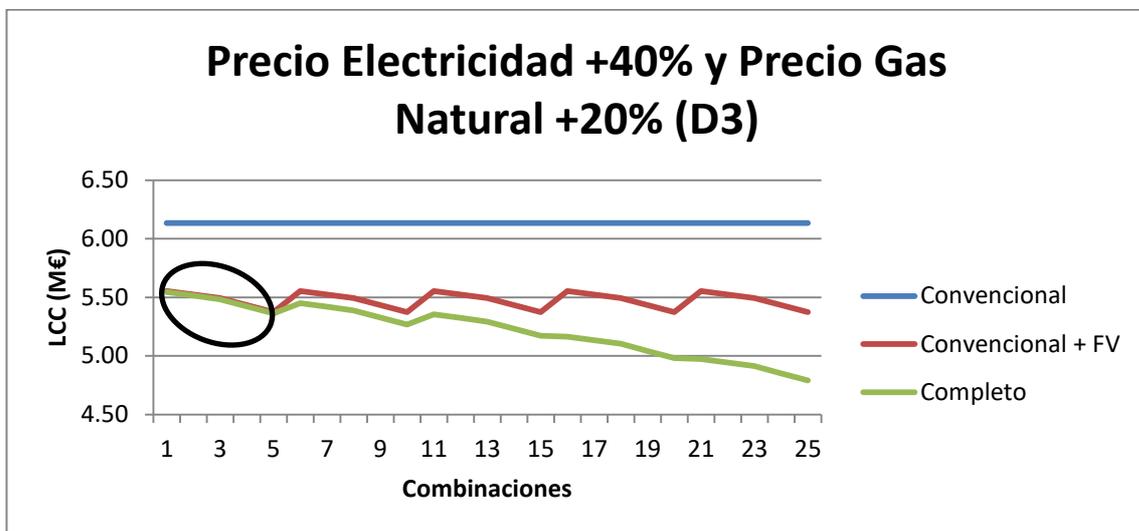
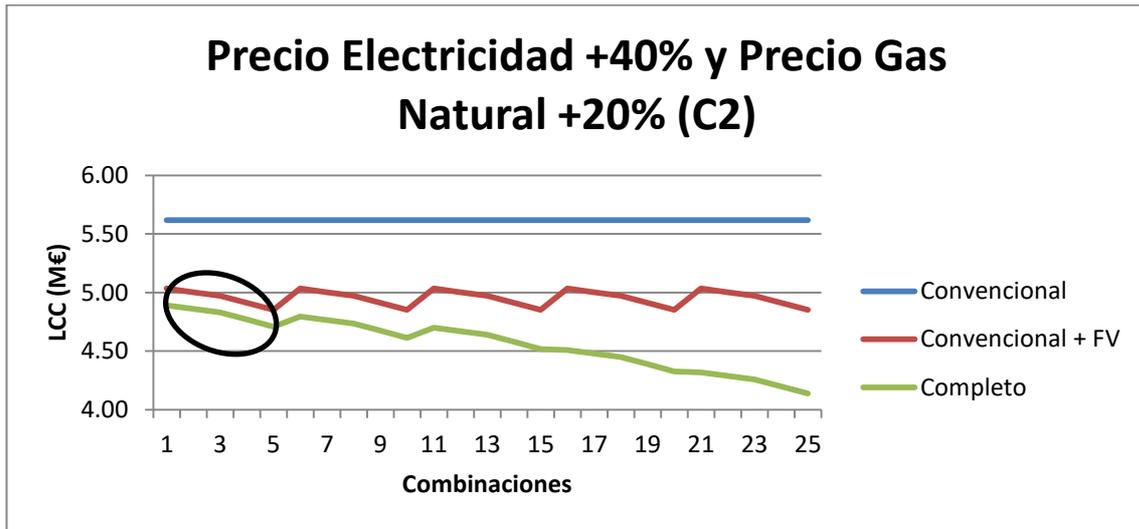


Precio Electricidad +40% y Precio Gas Natural +40% (D3)



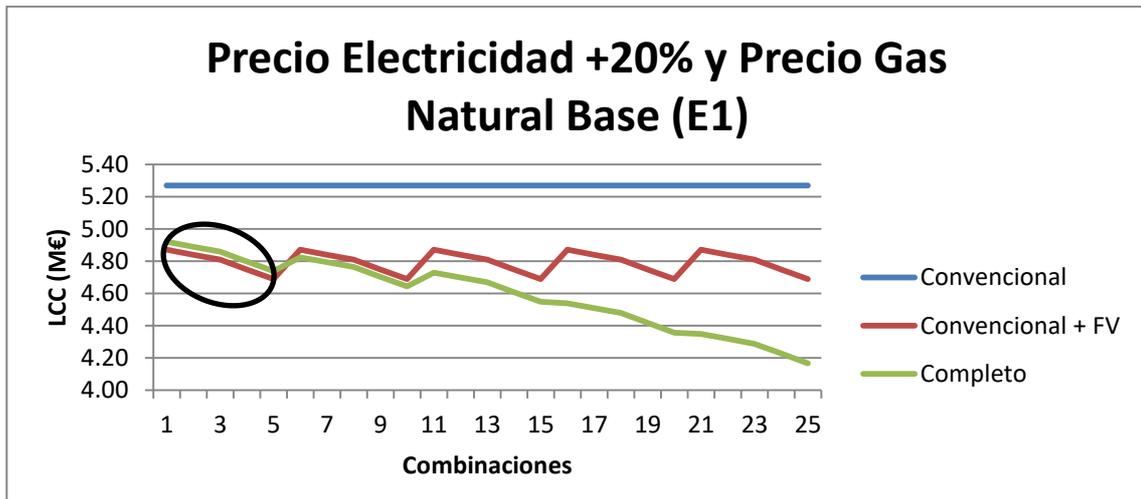
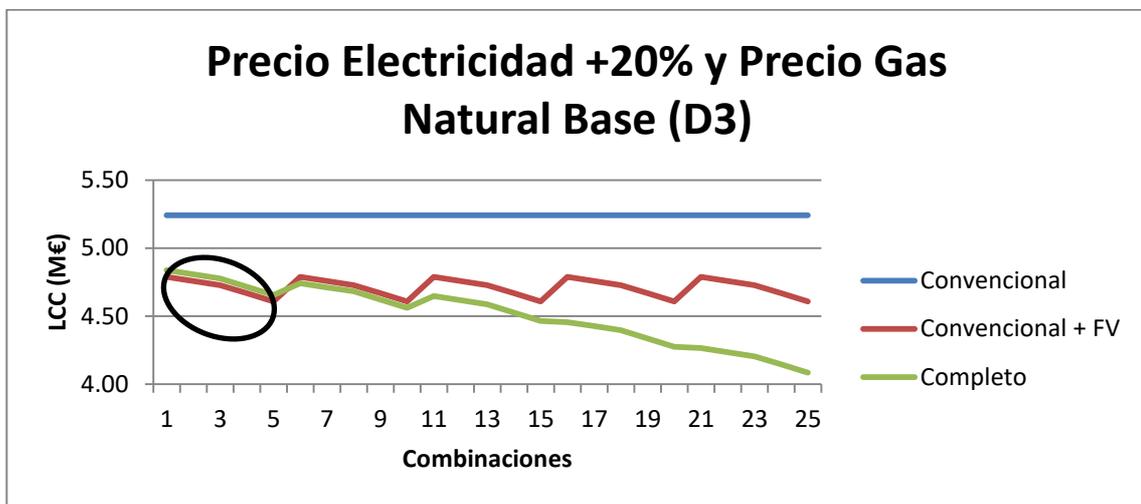
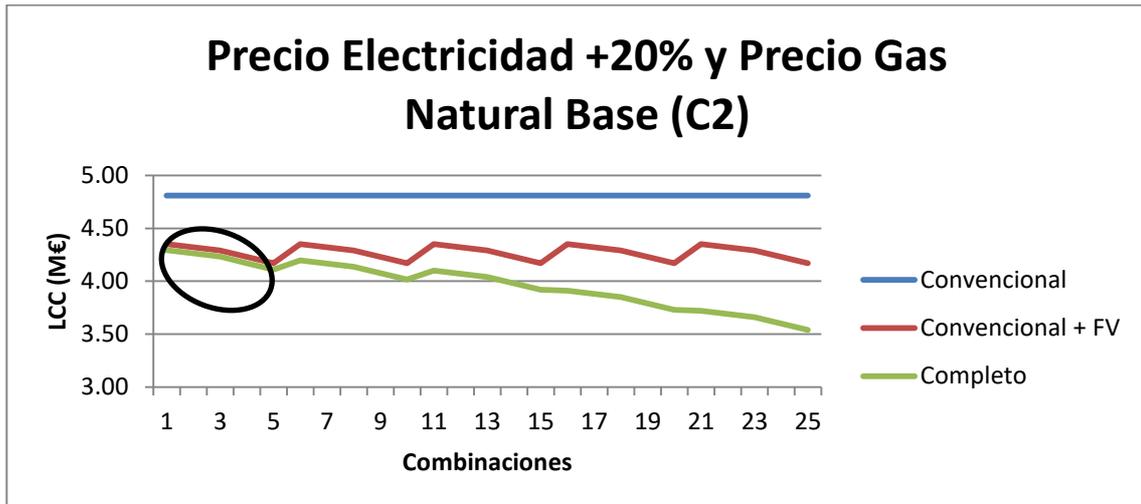
Precio Electricidad +40% y Precio Gas Natural +40% (E1)





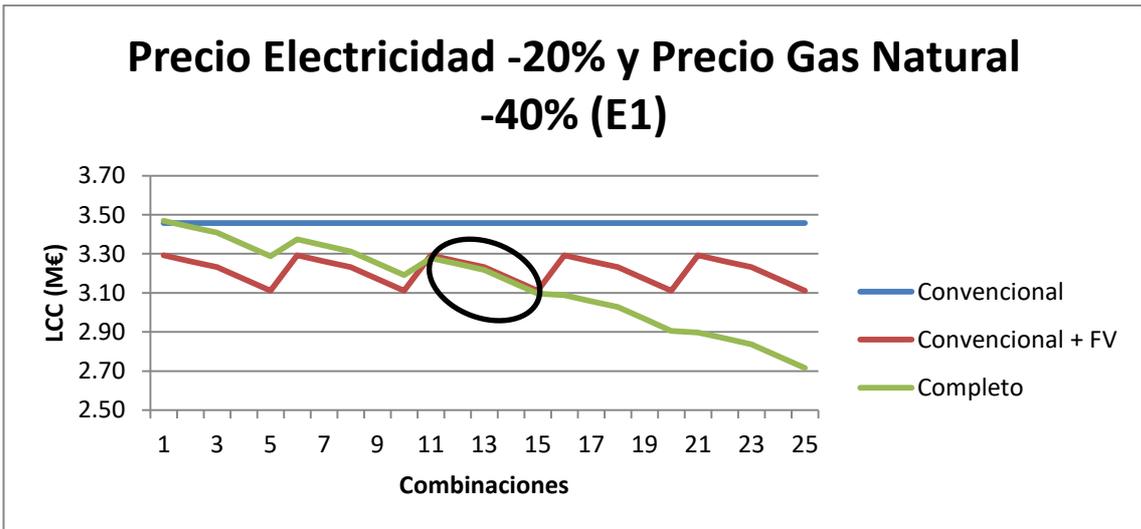
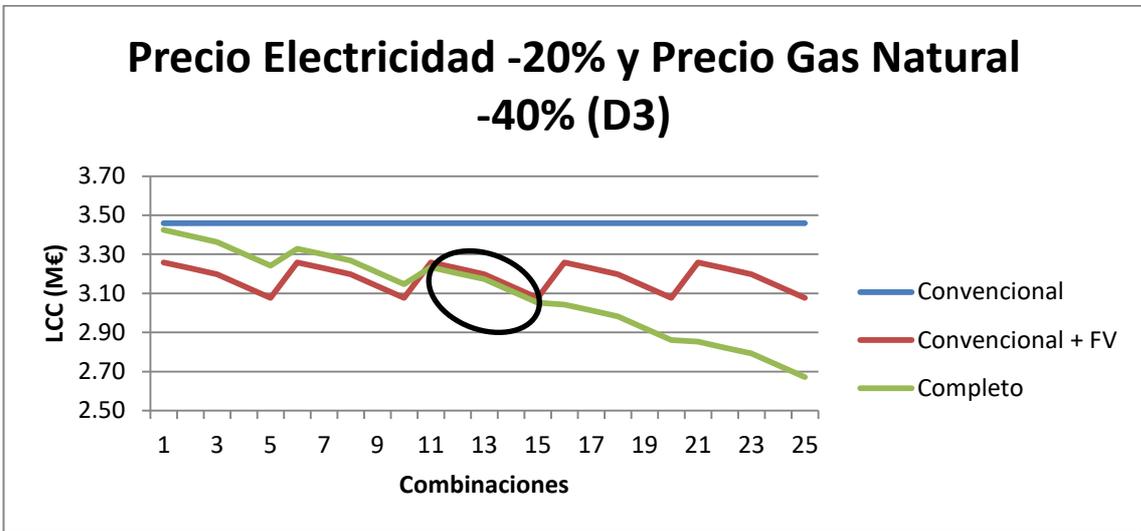
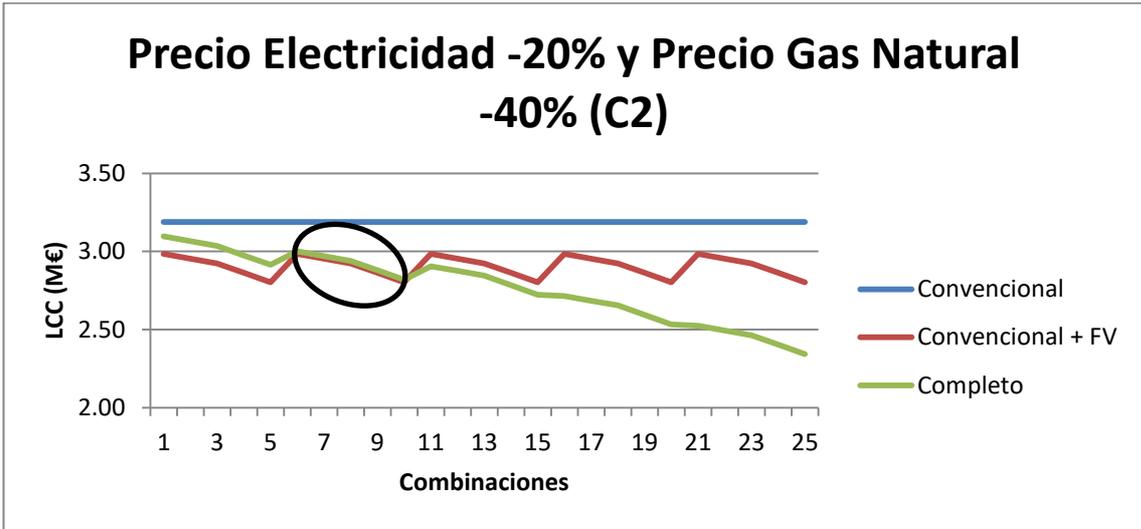
- Electricidad (+20%)

El punto crítico tiene lugar para el precio base de gas natural y precio base de los motores de gas natural en las tres zonas (señalización en gráfica). En C2, en el punto crítico y el resto de precios de los motores el LCC es mayor en Convencional + FV mientras que en D3 y E1, el LCC es mayor en Completo en el punto crítico y menor en el resto de precios de los motores. Las gráficas de D3 y E1 son prácticamente iguales.



- Electricidad (-20%)

Los puntos críticos en las tres zonas se alcanzan para un precio del gas natural 40% menor que el precio base aunque varía en el precio de los motores de gas natural. En C2 se alcanza para un precio de los motores 10% menor que el base (señalización en gráfica) mientras que en D3 y E1 se alcanza para un precio un 20% menor que el base (señalización en gráfica). En las tres zonas climáticas, antes del punto crítico el LCC es mayor en Completo y después del punto crítico es mayor en Convencional + FV. En cuanto al punto crítico, el LCC es mayor en Completo que en Convencional + FV para C2 mientras que es menor en Convencional + FV para D3 y E1.



- Electricidad (-40%)

En este caso ocurre lo mismo que en A3 y B4, es decir, el LCC es mayor en Completo que en Convencional + FV para todos los precios del gas natural debido al bajo precio de la electricidad.

