

8. Análisis de resultados

8.1. Simulaciones

Debido a la gran cantidad de posibilidades que TRNSYS ofrece, donde se pueden variar un gran número de parámetros así como la configuración de los equipos, ha sido necesario acotar las simulaciones que se han realizado.

En lugar de variar parámetros que, aunque influirían en los resultados no lo harían de forma significativa (se han incluido en el apartado de posibles trabajos futuros), se ha optado por analizar los siguientes casos para cada una de las 5 zonas climáticas, por lo que habrá un total de 25 simulaciones.

Energía convencional

Se ha simulado la que sería la instalación basada exclusivamente en energía convencional. Las demandas de ACS y calefacción se cubren mediante calderas auxiliares de gas natural, y las demandas eléctrica y de refrigeración tomando energía eléctrica de la red.

Motores de cogeneración

Se analizarán los resultados obtenidos al incluir motores de cogeneración en la instalación, que generarán la energía eléctrica requerida salvo en casos de muy baja demanda, como ya se comentó, en cuyo caso se obtendrá la energía de la red eléctrica (lo cual ocurre sólo en momentos puntuales). Además se aprovechará la energía térmica producida para reducir la energía que tendrá que proporcionar la caldera de calefacción. Se incluirá un depósito de agua para calefacción de 2000 litros. La bomba 3 funcionará durante los meses de invierno.

Motores de cogeneración y paneles fotovoltaicos

Es el mismo caso anterior, pero incluyendo además 14 paneles fotovoltaicos que reducirán la necesidad de producción de energía eléctrica de los motores de cogeneración.

Motores de cogeneración y paneles solares térmicos

Se emplearán motores de cogeneración, además de 12 paneles solares térmicos que reducirán la necesidad de producción de energía de la caldera de ACS. Se incluirá además un depósito de acumulación de ACS de 2000 litros.

Motores de cogeneración, paneles fotovoltaicos y paneles térmicos

Se implementaran a la vez todas las soluciones mencionadas:

-14 paneles fotovoltaicos.

-Número máximo de motores: 4. El resto de la energía necesaria será comprada a la red eléctrica.

-12 paneles solares térmicos.

-Volumen de acumulación de ACS: 2000 litros.

-Volumen de acumulación de calefacción: 2000 litros.

-Bomba 3 funcionando durante los meses de invierno.

8.2. Resultados

8.2.1. Datos necesarios

Para poder proceder al cálculo de energía primaria, emisiones y costes de operación de cada uno de los casos a analizar, ha sido necesario obtener para cada hora los siguientes datos de salida en cada una de las simulaciones:

-Consumo caldera ACS.

-Consumo caldera calefacción.

-Consumo de electricidad en el edificio.

-Consumo de electricidad para refrigeración.

-Gasto de combustible de la caldera de ACS.

-Gasto de combustible de la caldera de calefacción.

-Demanda de electricidad de la red.

-Potencia eléctrica suministrada por los motores de cogeneración.

-Gasto de combustible de los motores de cogeneración.

-Consumo eléctrico de las bombas.

Posteriormente, se han sumado los valores obtenidos durante todo el año para calcular los valores anuales totales.

8.2.1.1. Demanda energética del edificio:

En la siguiente tabla se muestran los datos de demanda energética en función de la zona climática que ya se mostraron anteriormente, pero incluyendo ahora también la demanda de electricidad del edificio:

Zona Climática	Demanda de la Instalación en electricidad [kWh/m ²] ($DEM_{Elec.}$)	Demanda de la Instalación en Calefacción [kWh/m ²] ($DEM_{Calef.}$)	Demanda de ACS [kWh/m ²] ($DEM_{ACS.}$)	Demanda de Refrigeración [kWh/m ²] (DEM_{Refrig})
A3	24.25	2.54	12.87	14.89
B4	24.25	4.86	13.66	27.86
C2	24.25	12.57	12.84	8.28
D3	24.25	19.62	13.15	19.51
E1	24.25	29.48	13.85	2.30

Tabla 8.1 : Demandas de electricidad, calefacción, ACS y refrigeración.

8.2.1.2. Coeficientes empleados

Para calcular los costes de operación, emisiones, y convertir la energía final a primaria se han utilizado los siguientes coeficientes de paso, sacados del documento de “Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER”:

-Coeficiente de paso de energía final a primaria para el gas natural [kWh/kWh]: 1.07

-Coeficiente de paso de energía final a primaria para la electricidad de la red [kWh/kWh]: 2.35

-Factor de emisiones de CO_2 para el gas natural: 0.204 kgCO₂/kWh

-Factor de emisiones de CO_2 para la electricidad de la red: 0.649 kgCO₂/kWh

El precio de los combustibles empleados ha sido también de un documento oficial:

-Gas natural: 0.068 €/kWh

-Electricidad: 0.209 €/kWh

8.2.2. Cálculo de consumos de energía primaria

En la situación inicial el consumo de energía primaria tiene varias fuentes:

- Energía eléctrica:

+Consumo en las viviendas.

+Consumo de las bombas del circuito de calefacción.

+Consumo de la enfriadora.

-Combustibles:

+Combustible (gas natural) consumido por la caldera de calefacción.

+Combustible (gas natural) consumido por la caldera de ACS.

En el resto de casos a analizar, cuando se introduce alguno o todos los nuevos elementos (motores de micro-cogeneración, sistema solar térmico o sistema fotovoltaico), el consumo de energía primaria tendrá los siguientes componentes:

- Energía eléctrica:

+Consumo de energía de la red eléctrica.

-Combustibles:

+Combustible (gas natural) consumido por la caldera de calefacción.

+Combustible (gas natural) consumido por la caldera de ACS.

+Combustible (gas natural) consumido por los motores de cogeneración.

Por medio de TRNSYS ha sido posible determinar todos los consumos en cualquiera de las situaciones.

El cálculo de energía primaria para los componentes señalados se efectúa de la siguiente forma:

-Consumo de primaria para ACS: Por medio de TRNSYS hemos obtenido el consumo de combustible de la caldera de ACS (CON_{ACS}). El consumo de energía primaria para ACS ($CON_{PrimACS}$) se calcula, en base a los resultados anteriores mediante la fórmula:

$$CON_{PrimACS} = CON_{ACS} \cdot 1.07$$

-Consumo de primaria para la Calefacción: Por medio de TRNSYS hemos obtenido el consumo de combustible de la caldera de calefacción ($CON_{PrimCalef.}$). El consumo de energía primaria para calefacción ($CON_{Calef.}$) se calcula, en base a los resultados anteriores, mediante la fórmula:

$$CON_{PrimCalef} = CON_{Calef} \cdot 1.07$$

-Consumo de energía primaria para la refrigeración ($CON_{PrimRefrig}$): se calcula con TRNSYS el consumo anual de la enfriadora (electricidad).

En el caso convencional, se le aplicará el coeficiente de paso de la electricidad a energía primaria:

$$CON_{PrimRefrig} = CON_{Refrig} \cdot 2.35$$

Para el resto de casos no tendremos en cuenta este consumo, pues se englobará posteriormente en el consumo de los motores de cogeneración.

-Consumo de energía primaria de los motores ($CON_{PrimMotores}$): se obtiene calculando por medio de TRNSYS el consumo de combustible de los motores ($CON_{motores.}$). El consumo de energía primaria de los motores se obtiene por la fórmula:

$$CON_{PrimMotores.} = CON_{motores} \cdot 1.07$$

dónde:

$$CON_{motores} = V_{GNmotores} \cdot PCI_{GN}$$

dónde $V_{GNmotores}$ es el consumo de combustible de los motores, y $PCI_{GN} = 9400 \frac{kcal}{m^3}$

En el caso inicial, obviamente, el consumo de combustible de los motores es nulo.

-Consumo de primaria de la electricidad consumida de la red:

En el caso inicial sería la suma toda la electricidad consumida en el edificio, además de las bombas:

$$CON_{PrimElec} = (CON_{edificio} + CON_{bombas}) \cdot 2.35$$

En el resto de casos será la electricidad que no sean capaces de dar los motores, y que será obtenida de la red eléctrica en su lugar:

$$CON_{PrimElec} = CON_{Red} \cdot 2.35$$

-Consumo total de energía primaria:

Finalmente, el consumo total de energía primaria (CON_{Prim}) se obtiene sumando las cantidades correspondientes en cada situación.

Caso convencional:

$$CON_{Prim} = CON_{PrimCalef} + CON_{PrimACS} + CON_{PrimRefrig} + CON_{PrimElec}$$

Resto de casos:

$$CON_{Prim} = CON_{PrimCalef} + CON_{PrimACS} + CON_{PrimElec} + CON_{PrimMotores}$$

8.2.3. Cálculo de los costes de operación anuales

Todos los consumos indicados en el apartado anterior, son para el primer año. En este apartado, pasamos a calcular los costes de operación del primer año una vez conocemos los consumos. Más adelante veremos como corregimos los valores al analizar los costes de ciclo de vida.

Caso convencional

Costes de operación del gas natural consumido:

$$Costes_{GN}[\text{€}] = (CON_{ACS} + CON_{Calef})[kWh] \cdot Precio_{GN}\left[\frac{\text{€}}{kWh}\right]$$

Costes de operación de la energía eléctrica tomada de la red:

$$Costes_{Elect}[\text{€}] = (CON_{edificio} + CON_{bombas} + CON_{Ref})[kWh] \cdot Precio_{Elect}\left[\frac{\text{€}}{kWh}\right]$$

Coste total de operación:

$$Costes_{Operacion}[\text{€}] = Costes_{GN} + Costes_{Elect}$$

Resto de casos

Costes de operación del gas natural consumido:

$$Costes_{GN}[\text{€}] = (CON_{ACS} + CON_{calef} + CON_{Motores})[kWh] \cdot Precio_{GN}\left[\frac{\text{€}}{kWh}\right]$$

Costes de operación de la energía eléctrica tomada de la red:

$$Costes_{Elect}[\text{€}] = (CON_{Red})[kWh] \cdot Precio_{Elect}\left[\frac{\text{€}}{kWh}\right]$$

Coste total de operación:

$$Costes_{Operacion}[\text{€}] = Costes_{GN} + Costes_{Elect}$$

8.2.4. Cálculo de emisiones

Caso convencional

Calefacción:

$$Em_{calef}[kgCO_2] = CON_{calef}[kWh] \cdot Coef_{GN}\left[\frac{kgCO_2}{kWh}\right]$$

ACS:

$$Em_{ACS}[kgCO_2] = CON_{ACS}[kWh] \cdot Coef_{GN}\left[\frac{kgCO_2}{kWh}\right]$$

Refrigeración:

$$Em_{Refrig}[kgCO_2] = CON_{Refrig}[kWh] \cdot Coef_{Elect}\left[\frac{kgCO_2}{kWh}\right]$$

Electricidad de la red:

$$Em_{Elect}[kgCO_2] = CON_{Elect}[kWh] \cdot Coef_{Elect}\left[\frac{kgCO_2}{kWh}\right]$$

Emisiones totales:

$$Em_{totales}[kgCO_2] = Em_{calef} + Em_{ACS} + Em_{Refrig} + Em_{Elect}$$

Resto de casos

Calefacción:

$$Em_{calef}[kgCO_2] = CON_{calef}[kWh] \cdot Coef_{GN}\left[\frac{kgCO_2}{kWh}\right]$$

ACS:

$$Em_{ACS}[kgCO_2] = CON_{ACS}[kWh] \cdot Coef_{GN} \left[\frac{kgCO_2}{kWh} \right]$$

Electricidad de la red:

$$Em_{Red}[kgCO_2] = CON_{Red}[kWh] \cdot Coef_{Elect} \left[\frac{kgCO_2}{kWh} \right]$$

Motores de cogeneración:

$$Em_{Motores}[kgCO_2] = CON_{Motores}[kWh] \cdot Coef_{Elect} \left[\frac{kgCO_2}{kWh} \right]$$

Emisiones totales:

$$Em_{totales}[kgCO_2] = Em_{Calef} + Em_{ACS} + Em_{Red} + Em_{Motores}$$

8.2.5. Ejemplo de resultados obtenidos en cada simulación

A modo de ejemplo, se muestran las tablas obtenidas para el caso de la instalación con motores, paneles fotovoltaicos y paneles térmicos, para la zona climática A3.

Consumos totales obtenidos de las simulaciones:

	CONSUMOS TOTALES
ACS [kWh]	5899.36
CAL [kWh]	2066.08
ELEC [kWh]	31618.29
REF [kWh]	5922.90
BOMBAS [kWh]	295.55
En _{MOTORES} [kWh]	29832.92
DEM _{RED} [kWh]	2436.16
V _{GNACS} [m ³]	539.63
V _{GNCAL} [m ³]	188.99
V _{GNMOTORES} [m ³]	8361.19

Tabla 8.2: Consumos totales zona climática A3

Consumos de energía primaria calculados con las ecuaciones expuestas anteriormente:

	CONSUMOS EN. PRIMARIA [kWh]
ACS [kWh]	6312.33
CAL [kWh]	2210.71
ELEC _{RED} [kWh]	5724.98
MOTORES [kWh]	97804.65
TOTAL [kWh]	112052.67

Tabla 8.3: Consumos energía primaria zona climática A3

	CONSUMOS EN. PRIMARIA [kWh/m ²]
ACS [kWh/m ²]	4.84
CAL [kWh/m ²]	1.70
ELEC _{RED} [kWh/m ²]	4.39
ELEC _{MOTORES} [kWh/m ²]	75.00
TOTAL [kWh/m ²]	85.93

Tabla 8.4: Consumos energía primaria por unidad de superficie zona climática A3

Costes de operación calculados con las ecuaciones del apartado anterior:

	COSTES Y PRECIOS DE OPERACIÓN
Precio GN [€/kWh]	0.068
V _{totalGN} [m ³]	9089.81
En _{totalGN} [kWh]	99371.67
Costes GN [€]	6757.27
Precio Elect. [€/kWh]	0.209
En. Red [kWh]	2436.16
Coste Elec. [€]	509.15
Coste total [€/año]	7266.43

Tabla 8.5: Costes y precios de operación zona A3

8.2.6. Consumo de energía primaria, costes de operación y emisiones

También se han obtenido, para cada caso a analizar, las tablas resumen de los consumos de energía primaria, emisiones y costes de operación para las diferentes zonas climáticas. A modo de ejemplo, las tablas obtenidas para el caso convencional se muestran a continuación.

Consumo de energía primaria por unidad de superficie:

CONSUMOS ANUALES EN. PRIMARIA [kWh/m ²]	A3	B4	C2	D3	E1
CALEFACCIÓN	2.95	5.66	14.62	22.83	34.30
REFRIGERACIÓN	10.67	19.36	6.13	12.96	2.30
ACS	14.97	15.90	14.95	15.30	16.11
ELECTRICIDAD	57.04	57.07	57.14	57.16	57.21
TOTAL	85.64	97.98	92.83	108.26	109.92

Tabla 8.6: Consumos anuales de energía primaria caso convencional

Costes de operación:

COSTES OPERACIÓN	A3	B4	C2	D3	E1
Precio GN [€/kWh]	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068
Vtotal GN [m ³]	1998.35	2402.78	3295.95	4250.68	5619.63
En _{totalGN} [kWh]	21846.45	26267.69	36031.98	46469.37	61434.94
Costes GN [€]	1485.55	1786.20	2450.17	3159.917	4177.57
Precio Elect. [€/kWh]	0.209	0.209	0.209	0.209	0.209
En. Red [kWh]	37571.53	42411.01	35107.02	38911.95	33019.87
Coste Elec. [€]	7852.45	8863.90	7337.36	8132.59	6901.15
Coste total [€/año]	9338.01	10650.10	9787.542	11292.51	11078.73

Tabla 8.7: Costes de operación caso convencional

Emisiones:

EMISIONES CO ₂ [kgCO ₂]	A3	B4	C2	D3	E1
CALEFACCIÓN [kgCO ₂]	734.39	1406.77	3634.90	5676.36	8526.89
REFRIGERACIÓN [kgCO ₂]	3843.97	6973.48	2207.95	4668.27	827.51
ACS [kgCO ₂]	3722.29	3951.84	3715.62	3803.40	4005.84
ELECTRICIDAD [kgCO ₂]	20539.96	20551.27	20576.51	20585.59	20602.39
TOTAL [kgCO ₂]	28840.60	32883.36	30134.98	34733.61	33962.63

Tabla 8.8: Emisiones anuales caso convencional

8.2.7. Resumen de consumos de energía primaria, costes de operación y emisiones para todos los casos

Por último, las siguientes tablas han sido creadas como resumen de los resultados anuales para todos los casos analizados.

Costes de operación:

COSTES OPERACIÓN [€]	A3	B4	C2	D3	E1
CASO CONVENCIONAL	9338.01	10650.11	9787.54	11292.52	11078.73
MOTORES	9209.38	10352.08	9552.49	10996.32	10873.82
MOTORES + FV	8081.24	9238.64	8558.39	9989.36	9949.71
MOTORES + TERMICOS	8398.17	9500.22	8840.45	10253.89	10144.75
MOTORES +FV+ TERMICOS	7266.43	8395.24	7878.65	9282.96	9267.74

Tabla 8.9: Costes de operación de todos los casos analizados

Consumo de energía primaria:

CONSUMO ENERGÍA PRIMARIA [kWh/m ²]	A3	B4	C2	D3	E1
CASO CONVENCIONAL	85.64	97.98	92.83	108.26	109.92
MOTORES	110.22	123.73	114.36	131.78	130.31
MOTORES + FV	95.76	109.69	101.44	118.79	118.18
MOTORES + TERMICOS	100.47	113.51	105.83	122.88	121.60
MOTORES +FV+ TERMICOS	85.93	99.49	93.23	110.25	109.93

Tabla 8.10: Consumos de energía primaria anual de todos los casos analizados

Emisiones:

EMISIONES [kgCO ₂ /m ²]	A3	B4	C2	D3	E1
CASO CONVENCIONAL	22.12	25.22	23.11	26.64	26.04
MOTORES	21.21	23.84	22.00	25.32	25.04
MOTORES + FV	18.63	21.30	19.73	23.02	22.93
MOTORES + TERMICOS	19.34	21.88	20.36	23.61	23.36
MOTORES +FV+ TERMICOS	16.76	19.36	18.17	21.40	21.37

Tabla 8.11: Emisiones anuales de todos los casos analizados

Una vez obtenidos los datos de las simulaciones, se ha procedido a hacer el cálculo de los costes, para posteriormente confeccionar las gráficas necesarias para extraer las conclusiones del presente proyecto.

8.3. Cálculos de costes de ciclo de vida

El cálculo de coste global del ciclo de vida de una instalación se realiza a través de diversas etapas que se desglosan a continuación.

8.3.1. Cálculo de los costes de inversión inicial

Dado que partimos de una situación inicial en que el edificio opera con normalidad, la posible ampliación de instalaciones necesitaría inversión fundamentalmente en tres apartados:

-Sistema de micro-cogeneración, con su correspondiente sistema de aprovechamiento térmico conectado al sistema de calefacción.

-Sistema solar térmico. Se aprovechará el circuito de ACS existente y habrá que invertir en lo correspondiente al circuito primario y la circulación en el secundario.

-Sistema fotovoltaico. En el sistema no se ha contemplado la inclusión de baterías. La inversión corresponde a paneles fotovoltaicos (con sus soportes), inversor y sistemas de control.

Dado que parte de las nuevas instalaciones tendrán que ser sustituidas a lo largo de la vida del proyecto, indicaremos a continuación el coste de la inversión inicial y el coste de sustitución de las partes que lo requieran. Todos los precios tendrán el IVA incluido.

Inversión en sistema de micro-cogeneración

Se contempla la adquisición de cuatro motores y del correspondiente sistema de control, junto con la instalación del circuito de aprovechamiento térmico. La inversión en este apartado sería aproximadamente de:

$$INV_{motores} = 96575 \text{ €}.$$

Como se estima que la vida útil de los motores de micro-generación es de unos 30 años, no contemplamos coste de sustitución alguno en este apartado.

Inversión en el sistema solar térmico

Se incluye la adquisición de captadores solares, estructura soporte, circuito primario, intercambiador, acumulador, el sistema de regulación y control y parte del circuito secundario. El precio total de la inversión será de $INV_{SolarTerm} = 16403\text{€}$.

Al cabo de 15 años, aproximadamente, habría que sustituir el sistema de captación (7814.5€).

Inversión en el sistema fotovoltaico

Se incluye en este apartado la adquisición de paneles fotovoltaicos, estructuras soporte, regulador, inversor, cableado, protecciones eléctricas y diversos accesorios. El coste total de la inversión es de aproximadamente $INV_{SolarFV} = 16708\text{€}$.

No contemplamos coste de sustitución en este apartado porque la vida útil de las células de silicio poli-cristalino es de unos 30 años.

Costes de inversión

Finalmente, la inversión inicial se denota por $INV_{inicial}$ y se calcula como:

$$INV_{inicial} = INV_{motores} + INV_{SolarTerm} + INV_{SolarFV}$$

A continuación se muestra la tabla resumen de todos los costes de inversión inicial en los distintos casos de estudio:

CASO	$INV_{motores}$ (€)	$INV_{SolarTerm}$ (€)	$INV_{SolarFV}$ (€)	$INV_{inicial}$ (€)
CASO CONVENCIONAL	0	0	0	0
MOTORES	96575	0	0	96575
MOTORES + FV	96575	0	16708	113283
MOTORES + TÉRMICOS	96575	16403	0	112978
MOTORES + FV + TÉRMICOS	96575	16403	16708	129686

Tabla 8.12: Costes de inversión inicial

8.3.2. Cálculo de costes de operación

En este apartado se presentan los costes de los consumos de energía descritos anteriormente. Globalmente los costes de operación se basan exclusivamente en los gastos de combustible y de electricidad, que ya se expuso como se calcularon, y se muestran en la tabla siguiente para las distintas configuraciones de equipos:

COSTES OPERACIÓN [€/año]	A3	B4	C2	D3	E1
CASO CONVENCIONAL	9338.01	10650.10	9787.54	11292.51	11078.73
MOTORES	9209.38	10352.08	9552.49	10996.31	10873.81
MOTORES + FV	8081.24	9238.63	8558.39	9989.36	9949.71
MOTORES + TERMICOS	8398.16	9500.22	8840.44	10253.88	10144.75
MOTORES +FV+ TERMICOS	7266.43	8395.24	7878.65	9282.96	9267.73

Tabla 8.13: Costes de operación primer año

8.3.3. Cálculo del coste de mantenimiento

Se considerará un factor de mantenimiento del 3% para los sistemas de energía solar térmica y fotovoltaica, y para los motores de cogeneración.

Coste del mantenimiento de los motores $CM_{motores}$:

$$CM_{motores} = INV_{motores} \cdot 0.03$$

Para el coste de mantenimiento de los sistemas de energía solar térmica y fotovoltaica utilizaremos fórmulas similares:

$$CM_{SolarTerm} = INV_{SolarTerm} \cdot 0.03$$

$$CM_{SolarFV} = INV_{SolarFV} \cdot 0.03$$

Finalmente, el coste de mantenimiento global se obtendría como la suma algebraica de los costes de mantenimiento anteriores.

$$Coste_{Mantenimiento} = CM_{Motores} + CM_{SolarTerm} + CM_{SolarFV}$$

No se han tenido en cuenta los costes de mantenimiento de la calefacción y refrigeración, puesto que las instalaciones ya están disponibles en el caso base y no influyen a la hora de analizar las diferencias respecto a los nuevos casos.

COSTES MANTENIMIENTO [€/año]	Solar		Solar FV	Total
	Motores	Térmica		
CASO CONVENCIONAL	0	0	0	0
MOTORES	2897.25	0	0	2897.25
MOTORES + FV	2897.25	0	501.24	3398.49
MOTORES + TERMICOS	2897.25	492.09	0	3389.34
MOTORES +FV+ TERMICOS	2897.25	492.09	501.24	3890.58

Tabla 8.14: Costes de mantenimiento anual

8.3.4. Cálculo del coste de reposición

En el caso en que los elementos del sistema tengan una vida útil inferior a 30 años (el ciclo de vida que hemos aceptado al ser el ciclo de vida del motor y de la mayoría de los componentes) tendríamos que sustituir las correspondientes piezas. En este proyecto hemos considerado que las únicas piezas a sustituir (al cabo de 15 años) corresponden al sistema de refrigeración, y a los captadores solares del sistema solar térmico.

En el caso de las enfriadoras, los modelos empleados son distintos según la zona climática, por lo que se indican a continuación los costes de reposición para cada una de ellas:

Zona Climática	$Coste_{sustEnfr}$ (€)
A3	14379
B4	18504
C2	14379
D3	16930
E1	14076

Tabla 8.15: Costes de sustitución de las enfriadoras para cada zona climática

El coste de reposición del sistema solar térmico para aquellos casos donde sea necesario, será el correspondiente a sólo los captadores, cuyo coste total es de:

$$Coste_{sustSolarTerm} = 7814.5€$$

8.3.5. Cálculo del coste del ciclo de vida

Una vez calculada la inversión inicial, el coste de sustitución, el coste de operación y el coste de mantenimiento, hay que tener en cuenta que los dos primeros costes se producen sólo una vez, mientras que los dos últimos costes se producen cada año.

Cabe recordar, que en el presente estudio no se han tenido en cuenta los costes de las instalaciones ya existentes en el edificio, tanto en el caso convencional como en el resto de los casos.

Se va a analizar el coste del ciclo de vida (€) a 30 años, por lo que los cálculos se harían como se detalla a continuación, para cada caso y cada zona climática.

$$CCV = INV_{inicial} + Coste_{sustitucion} + (Coste_{operacion} + Coste_{mantenimiento}) \cdot \sum_{t=1}^{30} \frac{1}{(1+r)^t}$$

En dicha fórmula, "r" corresponde a la tasa de actualización del dinero, puesto que las cantidades variarán conforme pasen los años. Se va a considerar una tasa de actualización del 3%. El valor del coste de ciclo de vida obtenido representará el valor actual de los gastos que se van a realizar a lo largo de 30 años.

8.3.6. Resultados de los costes del ciclo de vida para cada caso y zona climática

Los resultados obtenidos para cada una de las zonas climáticas y cada caso han sido los siguientes:

CCV [€]	A3	B4	C2	D3	E1
CASO CONVENCIONAL	197408.12	227250.77	206219.16	238268.28	231224.01
MOTORES	348249.30	374771.75	354974.43	385825.03	380569.96
MOTORES + FV	352669.83	379480.32	362022.19	392620.86	388989.68
MOTORES + TERMICOS	366211.87	391937.59	374880.71	405135.77	400142.65
MOTORES +FV+ TERMICOS	370561.86	396812.07	382561.61	412637.73	409485.31

Tabla 8.16: Costes totales del Ciclo de Vida para cada caso

Los mismos resultados pero calculados por unidad de superficie:

CCV [€/m ²]	A3	B4	C2	D3	E1
CASO CONVENCIONAL	151.39	174.27	158.14	182.72	177.32
MOTORES	267.06	287.40	272.22	295.88	291.85
MOTORES + FV	270.45	291.01	277.62	301.09	298.30
MOTORES + TERMICOS	280.84	300.57	287.49	310.69	306.86
MOTORES +FV+ TERMICOS	284.17	304.30	293.38	316.44	314.02

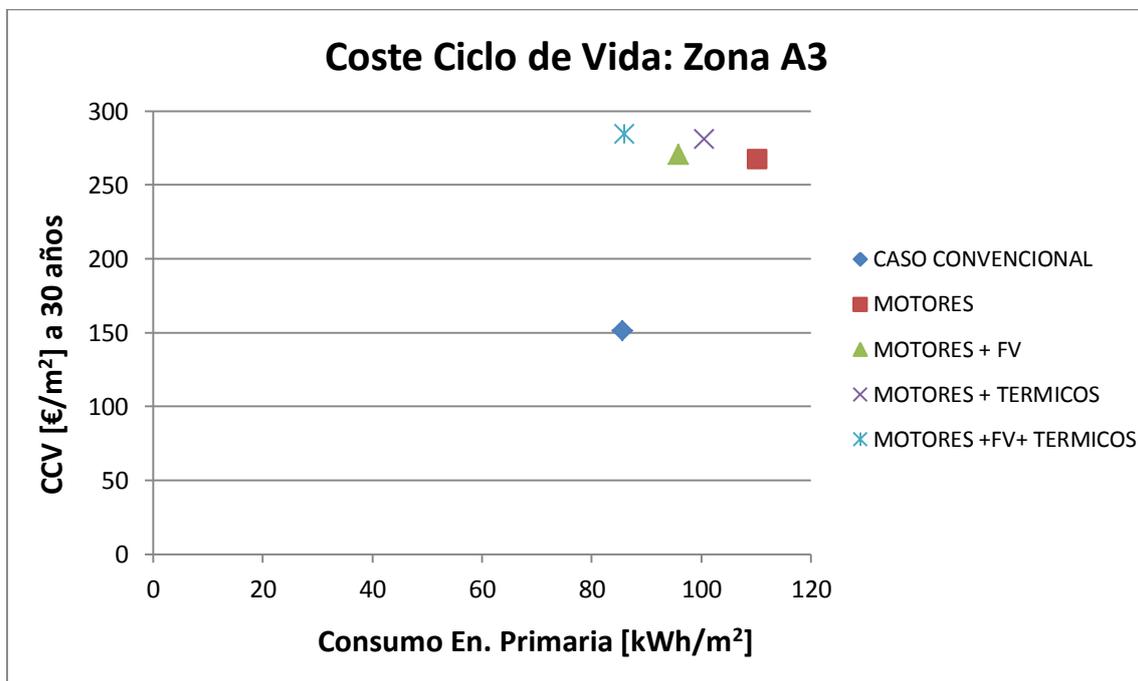
Tabla 8.17: Costes totales del Ciclo de Vida para cada caso por unidad de superficie

8.3.7. Gráficas resumen

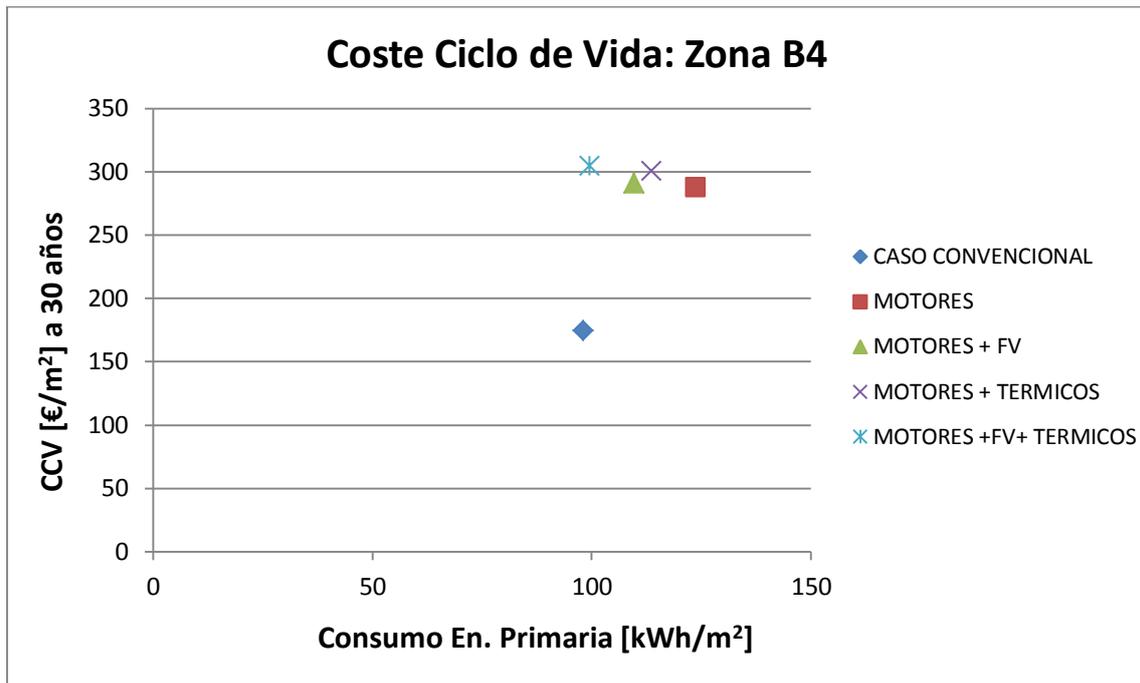
A continuación vamos a proceder a mostrar una serie de graficas comparativas entre el caso convencional y las soluciones estudiadas, para cada una de las zonas climáticas. De ellas podremos obtener las conclusiones del siguiente capítulo.

8.3.7.1. Gráficas de coste de ciclo de vida

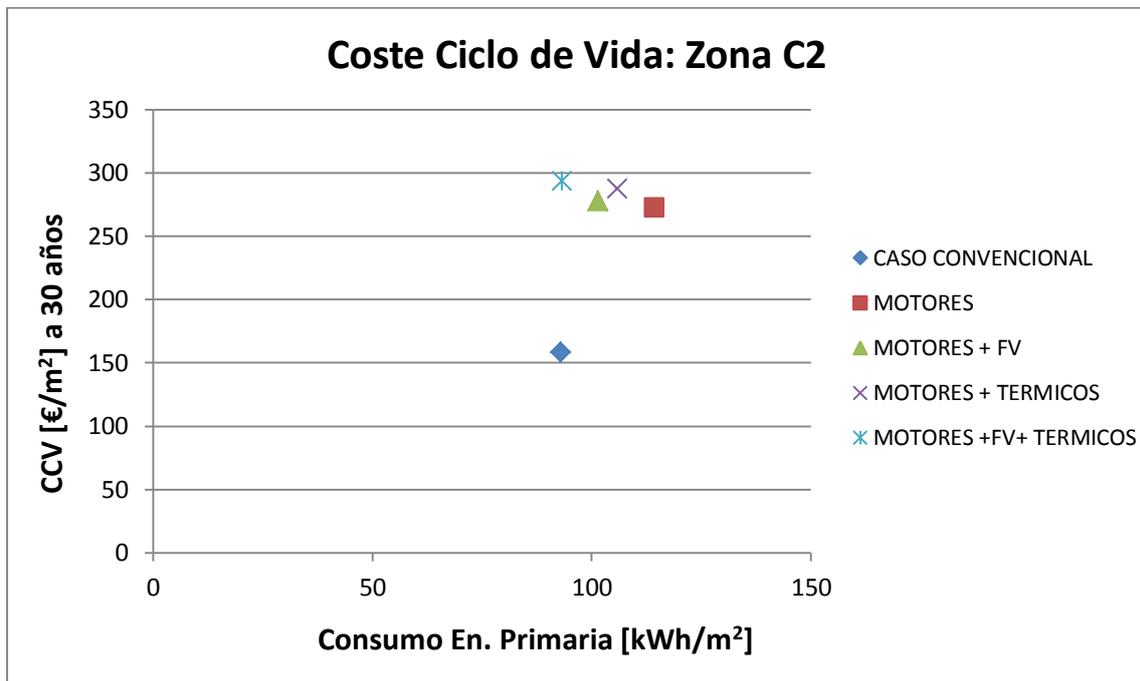
Zona A3



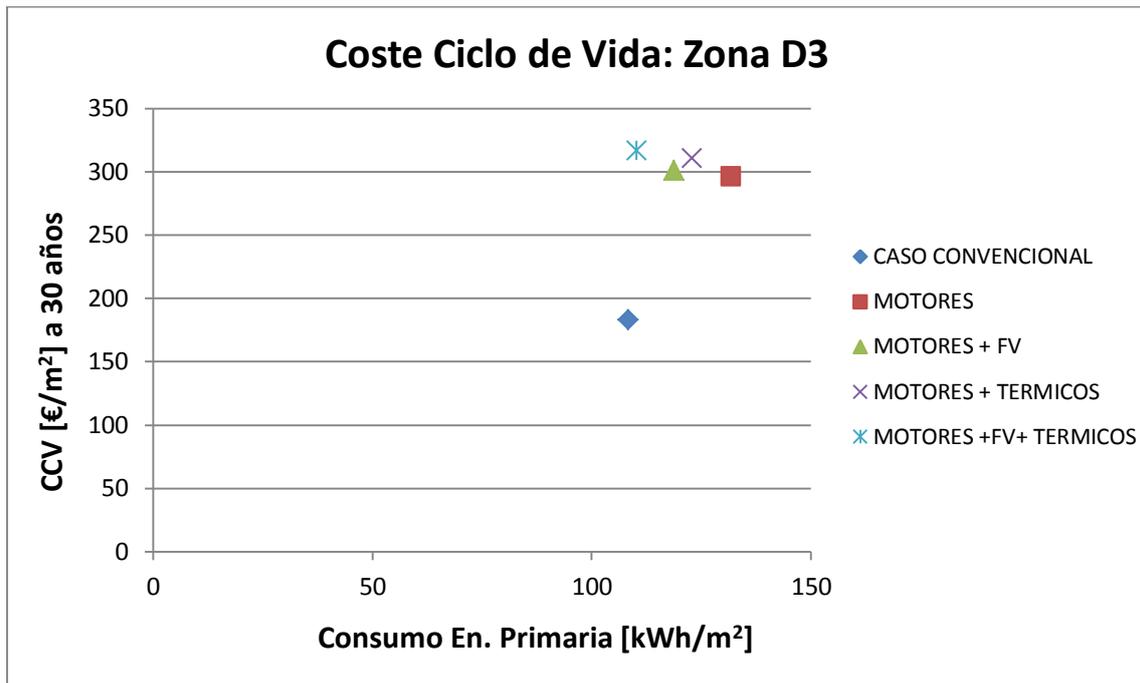
Zona B4



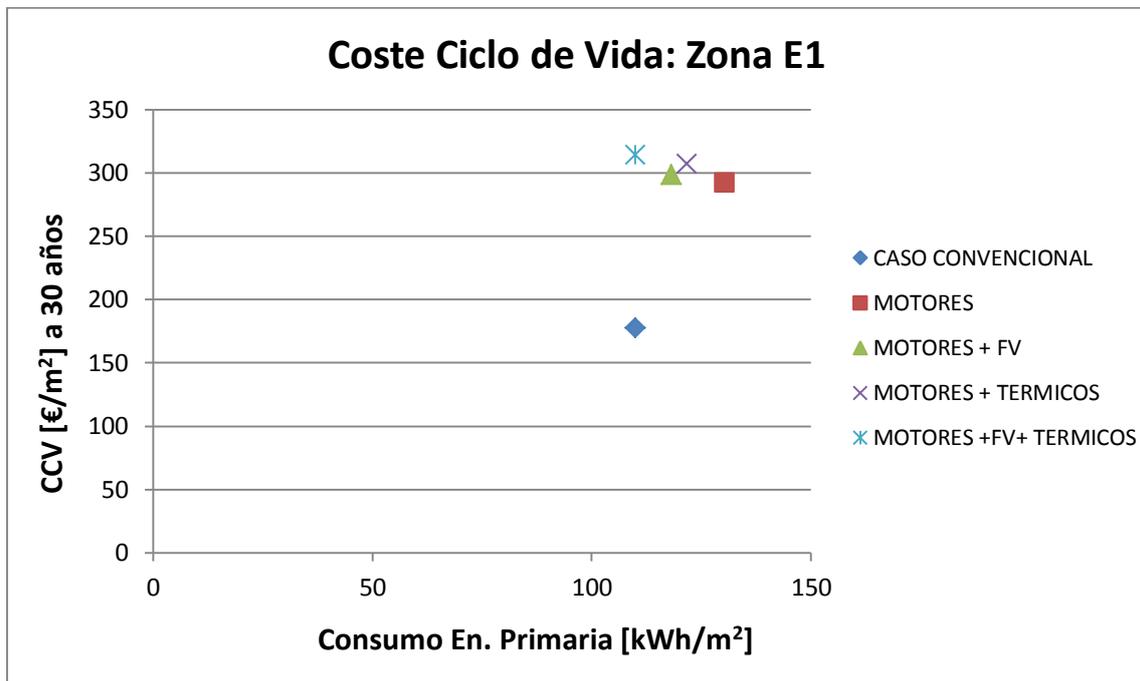
ZONA C2



ZONA D3

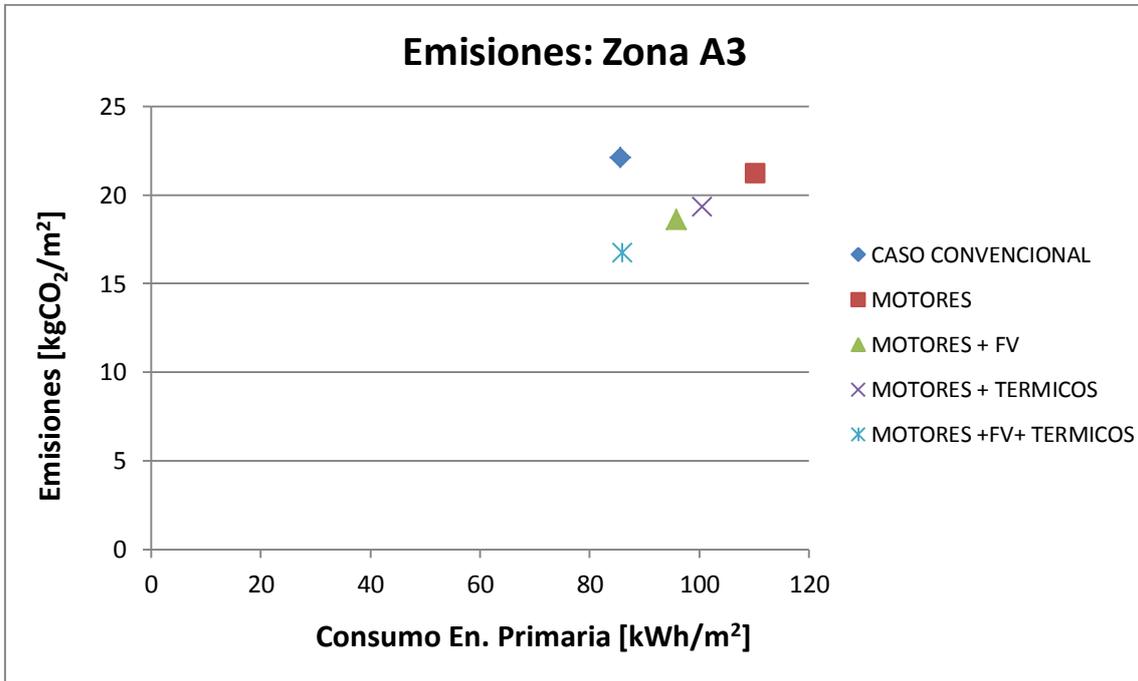


ZONA E1

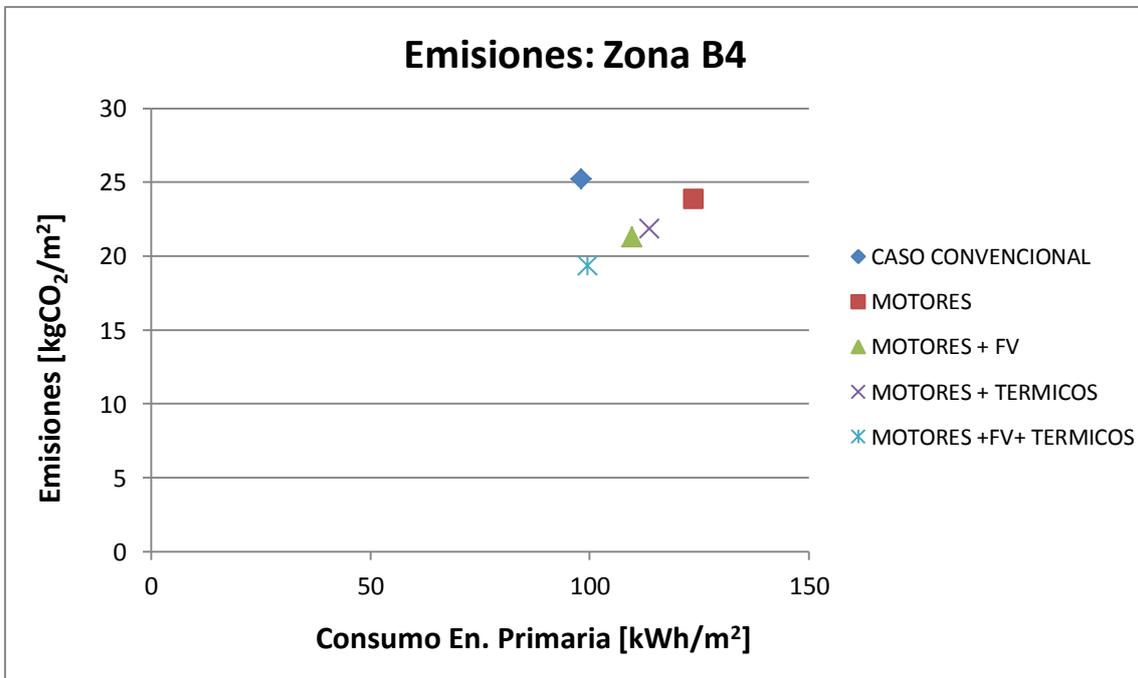


8.3.7.2. Gráficas de emisiones

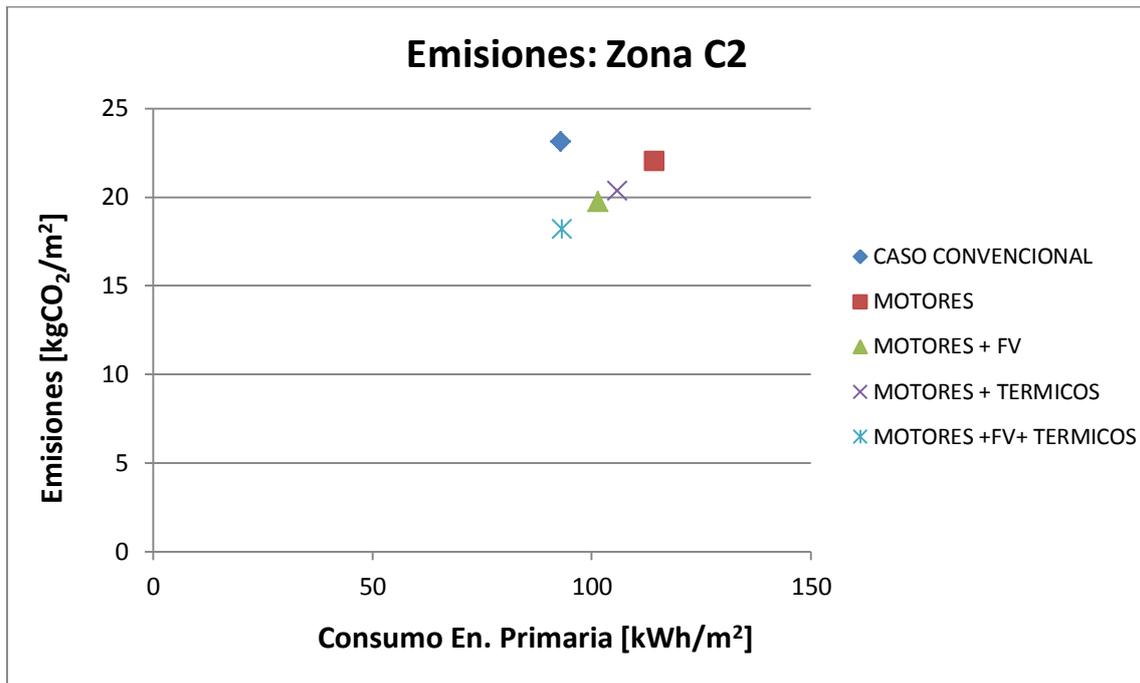
ZONA A3



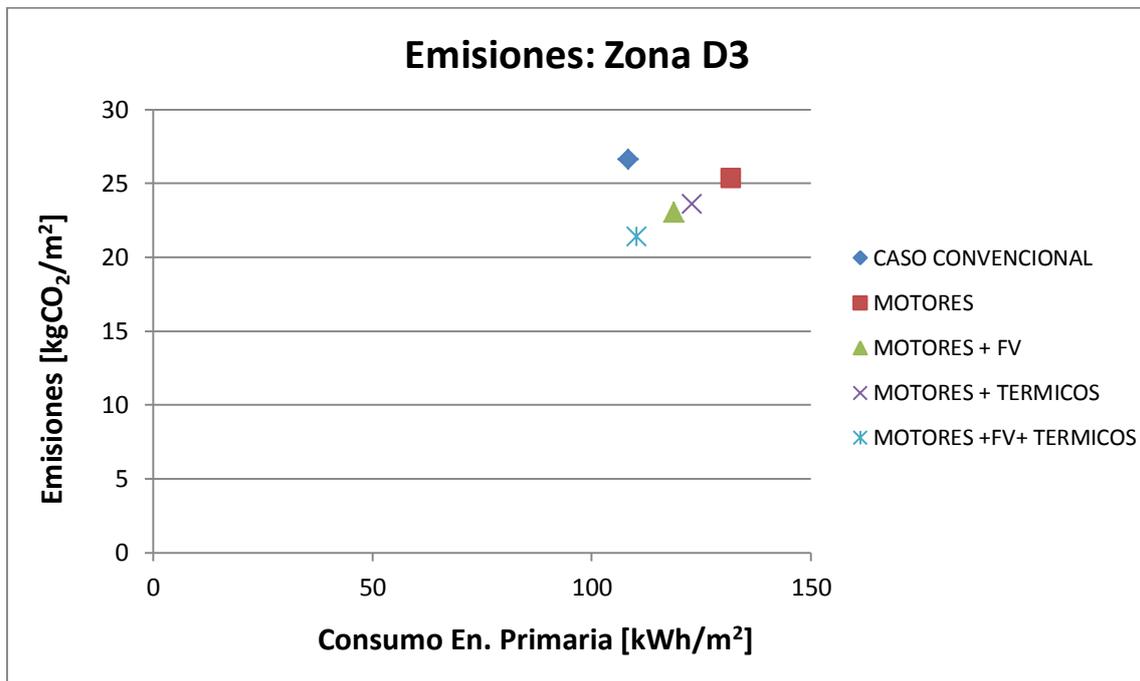
ZONA B4



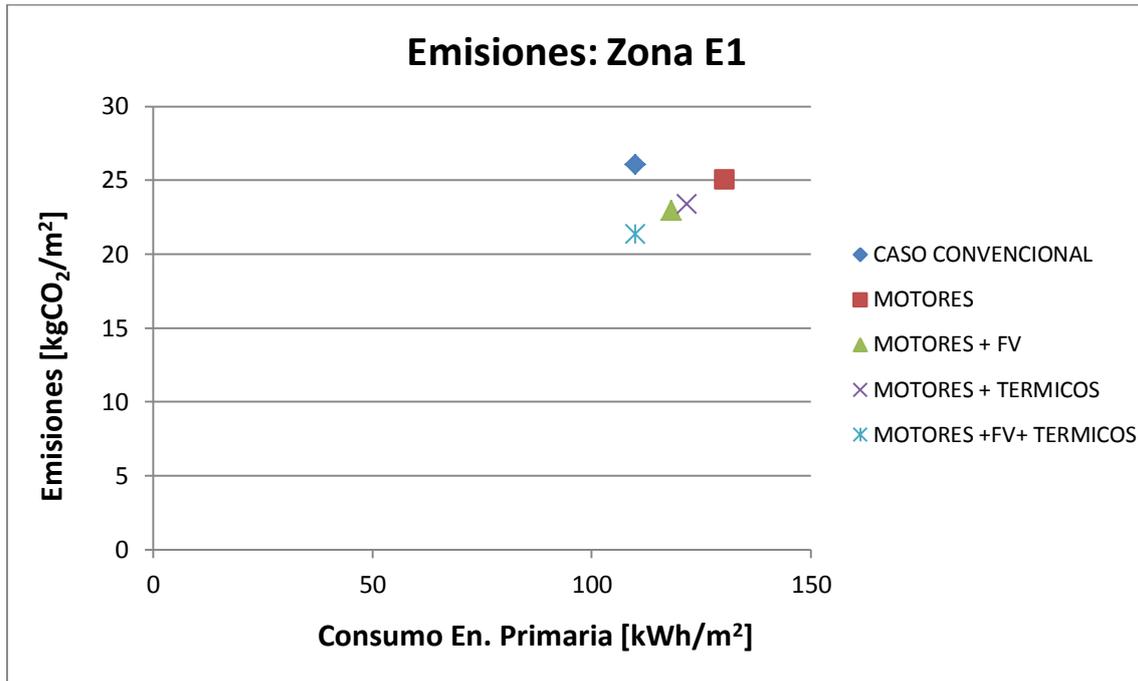
ZONA C2



ZONA D3



ZONA E1



8.3.8. Valoración de las gráficas

Como se puede observar en las gráficas, tras representar el coste del ciclo de vida de los casos analizados en función del consumo de energía primaria (ambos por unidad de superficie), el caso convencional tiene mejores resultados, en todas las zonas climáticas analizadas.

Coste de Ciclo de Vida

En primer lugar, su coste a lo largo del ciclo de vida es siempre menor que en el resto de soluciones propuestas. Ello se debe principalmente a los altos costes de inversión necesarios para la implementación de los equipos, cuyos ahorros energéticos no compensan los sobrecostes. Además, los gastos de mantenimiento son cuantiosos. Los motores de micro-cogeneración están en fase de investigación todavía y están empezando a implementarse, pero todavía no son una tecnología rentable económicamente. En un futuro no muy lejano, es posible que se produzca una disminución en sus costes de fabricación debido a la producción a gran escala, lo que cambiaría totalmente el panorama de cara a su implementación de forma viable.

Otra posibilidad que habría que contemplar es la de vender los excedentes de energía eléctrica, que para este diseño no se ha considerado pues eran muy bajos. Sin embargo, podría preverse la posibilidad de incluir un mayor número de paneles fotovoltaicos, cuyos excedentes contribuirían a disminuir el coste de ciclo de vida.

Un estudio que podría llevarse a cabo consistiría en comparar el coste del ciclo de vida de la situación actual, con otras que puedan darse en el futuro dónde se haya producido un gran aumento en los costes de la energía eléctrica de la red. Ello aumentaría enormemente los costes de operación del caso convencional, que toma la energía de la red para abastecer el edificio y las enfriadoras de refrigeración, y podría disminuir las diferencias existentes actualmente.

Por último, mencionar que en determinados casos y zonas climáticas se ha observado que podría considerarse la posibilidad de utilizar únicamente 3 motores de micro-cogeneración, puesto que el tercer motor actúa durante pocas horas al año. Ello abarataría considerablemente los costes del ciclo de vida, acercándose más a los costes del caso convencional.

Consumo de energía primaria

Por otro lado, también se ha observado que el caso convencional es el que menos consumo de energía primaria tiene, si bien el caso con motores de cogeneración, paneles solares térmicos y fotovoltaicos tiene un consumo muy parecido en todas las zonas climáticas. Ello se debe probablemente al bajo rendimiento del equipo de micro-cogeneración, que requiere un gran consumo de combustible pese a que se aproveche posteriormente la energía térmica residual que produce. También podrían estudiarse medidas para un mejor aprovechamiento de dicha energía.

Emisiones

En contraste con los resultados anteriores, se puede comprobar que, para todas las zonas climáticas, el caso convencional es el que más emisiones produce. Ello se debe principalmente a la gran cantidad de energía de la red eléctrica que toma, cuyas emisiones de CO₂ son altas.

De entre los casos analizados, el que incluye todos los elementos propuestos es el que menos emisiones produce. Este resultado refuerza la teoría de que rentabilidad y emisiones todavía no van de la mano, pues conseguir mejorar una de las dos irá en detrimento de la otra generalmente. Se espera que con la economía de escala la situación se invierta en el futuro.

