

Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de las Tecnologías  
Industriales

Obtención de líneas base: Aplicación a edificios de  
oficinas y sedes judiciales

Autor: María del Carmen Pavón Moreno

Tutor: Servando Álvarez Domínguez

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

Sevilla, 2016





Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

# **Obtención de líneas base: Aplicación a edificios de oficinas y sedes judiciales**

Autor:

María del Carmen Pavón Moreno

Tutor:

Servando Álvarez Domínguez

Catedrático

Director:

José Sánchez Ramos

Profesor

Dep. de Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2016



Trabajo Fin de Grado: Obtención de líneas base: Aplicación a edificios de oficinas y sedes judiciales

Autor: María del Carmen Pavón Moreno

Tutor: Servando Álvarez Domínguez

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal



*A mis padres, hermanas y familia*



## Agradecimientos

---

A mi tutor, Servando Álvarez, por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto, sin olvidarme de José Sánchez, por su apoyo y ayuda incondicional.

En especial a mi familia, por darme fuerza, por su confianza y por enseñarme la virtud del esfuerzo y hacerme entender desde muy pequeña que con dedicación todo se consigue.

Por último, no menos importante, a mi segunda familia estos años, a mis amigos de esta etapa de la Escuela, por tantos momentos vividos y por más que nos quedan por vivir.

Muchas gracias a todos.

*María del Carmen Pavón Moreno*  
*Graduada en Ingeniería de las Tecnologías Industriales*  
*Sevilla, 2016*



## Resumen

---

El objetivo de este proyecto es desarrollar una propuesta de caracterización inversa de consumos energéticos a partir de consumos proporcionados, esta propuesta permite obtener modelos útiles para gestión energética y verificación de ahorros; en este caso, tanto en edificios de oficinas como sede judicial.

Para ello, se realiza un procedimiento que permita obtener las Líneas Base en dichos edificios en el año de referencia 2014 y después son aplicadas en 2015, incluyendo las diferentes alternativas de Bandas de Error creadas para el análisis de datos.

La memoria presenta una estructura clara, donde aparece un capítulo 1 de introducción, capítulo 2 de fundamentos de la modelización desarrollada, capítulo 3 donde esos fundamentos explicados previamente se aplican a nuestros edificios, proporcionando toda la base teórica suficiente de nuestra metodología, y los siguientes con las aplicaciones de propuesta de la caracterización.

Se concluye con la verificación de estas Líneas Bases y las diferentes alternativas mostradas en función de los datos de partidas y características del edificio.



# Índice

<b>Agradecimientos</b> .....	<b>9</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>11</b>
<b>Índice</b> .....	<b>13</b>
Índice de Tablas .....	<b>15</b>
Índice de Figuras .....	<b>17</b>
<b>Índice de Ecuaciones</b> .....	<b>21</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>23</b>
1.1 <i>PROBLEMÁTICA Y CONTEXTO</i> .....	23
1.1.1 H2020 .....	24
1.1.2 Directiva EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) .....	26
1.1.3 IEA .....	28
1.1.4 Normativa Española .....	28
1.1.5 Retos y visión de futuro.....	29
1.2 <i>EDIFICIOS EXISTENTES- HOJA DE RUTA</i> .....	30
1.2.1 ISO 50001 .....	30
1.2.2 ISO 50006 .....	32
1.2.3 Hoja de ruta de la eficiencia energética en edificios existentes.....	33
1.3 <i>CARACTERIZACIÓN INVERSA</i> .....	35
1.3.1 Modelo de Caracterización Simplificado .....	36
1.3.1.1 Parámetros dinámicos.....	37
1.3.1.2 Parámetros cuasiestáticos .....	37
1.3.1.3 Parámetros estáticos.....	37
1.4 <i>OBJETIVO DEL PROYECTO</i> .....	38
<b>2 Modelo Simplificado de caracterización inversa integrado</b> .....	<b>39</b>
2.1 <i>CONSUMO DE CLIMATIZACIÓN</i> .....	40
2.2 <i>NIVELES DE CARACTERIZACIÓN</i> .....	41
2.3 <i>ALGORITMO DE CARACTERIZACIÓN CONSUMO CLIMATIZACIÓN</i> .....	43
<b>3 Aplicación del modelo simplificado de caracterización inversa integrado a nuestros edificios</b> .....	<b>45</b>
3.1 <i>DESCRIPCIÓN DE EDIFICIOS</i> .....	45
3.1.1 Edificio de la Agencia Andaluza de la Energía .....	45
3.1.2 Sede judicial .....	46
3.1.2.1 Audiencia Provincial.....	46
3.1.2.2 Juzgados .....	47
3.2 <i>APLICACIÓN DE MCS</i> .....	49
3.2.1 Análisis de datos de partidas .....	50
3.2.2 Desglose de consumo.....	50
3.2.3 Caracterización de estaciones .....	52

3.2.4	Estimaciones .....	53
3.2.5	Bandas de Error .....	54
<b>4</b>	<b>OBTENCIÓN DE LÍNEAS BASE EN OFICINAS Y SEDE JUDICIAL .....</b>	<b>57</b>
4.1	<i>EDIFICIO AGENCIA ANDALUZA DE LA ENERGÍA .....</i>	<i>57</i>
4.1.1	Estudio 1.....	57
4.1.2	Estudio 2.....	60
4.1.2.1	Calefacción .....	61
4.1.2.2	Mínimo Clima.....	65
4.1.2.3	Refrigeración.....	67
4.1.2.4	Transición .....	69
4.1.2.5	Resumen y conclusiones .....	70
4.1.3	Estudio 3.....	71
4.1.3.1	Tipificación de días .....	72
4.1.3.2	Calefacción .....	73
4.1.3.3	Mínimo Clima.....	76
4.1.3.4	Refrigeración.....	78
4.1.3.5	Transición .....	80
4.1.3.6	Resumen y conclusiones .....	82
4.2	<i>AUDIENCIA PROVINCIAL .....</i>	<i>83</i>
4.2.1	Estudio 4.....	83
4.2.2	Estudio 5.....	84
4.2.2.1	Tipificación de días .....	84
4.2.2.2	Calefacción .....	85
4.2.2.3	Mínimo Clima.....	87
4.2.2.4	Refrigeración.....	88
4.2.2.5	Resumen y conclusiones .....	89
4.3	<i>JUZGADOS.....</i>	<i>90</i>
4.3.1	Estudio 6.....	90
<b>5</b>	<b>APLICACIÓN DE LAS LÍNEAS BASE OBTENIDAS .....</b>	<b>93</b>
5.1	<i>AGENCIA ANDALUZA DE LA ENERGÍA.....</i>	<i>93</i>
5.1.1	Referida al Estudio 2.....	93
5.1.2	Referida al Estudio 3.....	97
5.1.3	Resultados y conclusiones .....	100
5.2	<i>AUDIENCIA PROVINCIAL .....</i>	<i>101</i>
5.2.1	Estudio 5.....	101
5.2.1.1	Calefacción .....	101
5.2.1.2	Mínimo Clima y transición .....	102
5.2.1.3	Refrigeración.....	103
5.3	<i>JUZGADOS.....</i>	<i>104</i>
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS .....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>109</b>
ANEXO I.	<i>ESTUDIO 2. Edificio Agencia Andaluza de la Energía.....</i>	<i>109</i>
ANEXO II.	<i>ESTUDIO 3. Agencia Andaluza de la Energía.....</i>	<i>115</i>
ANEXO III.	<i>ESTUDIO 5. Audiencia Provincial.....</i>	<i>120</i>
ANEXO IV.	<i>ESTUDIO 6. Juzgados .....</i>	<i>129</i>
ANEXO V.	<i>APLICACIÓN LÍNEAS BASES AL EDIFICIO DE LA AGENCIA ANDALUZA DE LA ENERGÍA. ESTUDIO 2 .....</i>	<i>141</i>
ANEXO VI.	<i>APLICACIÓN DE LÍNEAS BASES AUDIENCIA PROVINCIAL .....</i>	<i>145</i>
ANEXO VII.	<i>APLICACIÓN DE LA LÍNEA BASE JUZGADOS .....</i>	<i>150</i>
<b>REFERENCIAS.....</b>		<b>155</b>

## Índice de Tablas

---

<i>Tabla 1. Distribución consumos desglosados</i>	59
<i>Tabla 2. Coeficientes estación calefacción, Estudio 2</i>	63
<i>Tabla 3. Coeficientes estación Mínimo Clima, Estudio 2</i>	67
<i>Tabla 4. Coeficientes Refrigeración Estudio 2</i>	68
<i>Tabla 5. Coeficientes estación Transición, Estudio 2</i>	70
<i>Tabla 6. Resumen Estudio 2</i>	70
<i>Tabla 7. Coeficientes Calefacción, Estudio 3</i>	75
<i>Tabla 8. Coeficientes Mínimo Clima, Estudio 3</i>	77
<i>Tabla 9. Coeficientes Refrigeración, Estudio 3</i>	79
<i>Tabla 10. Resumen Estudio 3</i>	83
<i>Tabla 11. Coeficientes calefacción. Estudio 5</i>	87
<i>Tabla 12. Coeficientes Mínimo Clima. Estudio 5</i>	88
<i>Tabla 13. Coeficientes Refrigeración. Estudio 5</i>	89
<i>Tabla 14. Resumen Estudio 5</i>	90
<i>Tabla 15. Resumen Estudio 6</i>	91
<i>Tabla 16. Resumen Aplicación Línea Base, Estudio 2</i>	94
<i>Tabla 17. Resumen Aplicación LB Estudio 3</i>	97
<i>Tabla 18. Resumen aplicación LB Audiencia Provincial</i>	101
<i>Tabla 19. Resumen Aplicación LB Juzgados</i>	104



# Índice de Figuras

<i>Figura 1-1. Distribución del consumo de energía en sectores</i>	23
<i>Figura 1-2. Transformación del sistema energético, Horizonte 2020</i>	25
<i>Figura 1-3. Hoja de ruta a seguir con las Normas ISO</i>	30
<i>Figura 1-4. Diagrama Norma ISO-50001</i>	31
<i>Figura 1-5. Proceso de planificación Energética ISO 50001</i>	32
<i>Figura 1-6. ISO 50006. Concepto de Baseline y EnPIs</i>	33
<i>Figura 1-7. Etapa verificación de ahorro</i>	34
<i>Figura 1-8. Concepto de Caracterización</i>	35
<i>Figura 1-9. Metodología transformación de un modelo detallado a uno simplificado</i>	35
<i>Figura 1-10. Excitación y respuesta sobre el elemento a estudio</i>	36
<i>Figura 2-1. Diagrama de bloques del modelo integrado de consumo</i>	39
<i>Figura 2-2. Representación esquemática de aplicación del tercer nivel</i>	41
<i>Figura 2-3. Representación esquemática de aplicación del segundo nivel</i>	42
<i>Figura 2-4. Representación esquemática de aplicación del nivel 1</i>	42
<i>Figura 2-5. Representación esquemática de aplicación del nivel 0</i>	42
<i>Figura 3-1. Edificio de la Agencia Andaluza de la Energía</i>	45
<i>Figura 3-2. Localización del edificio AAE</i>	46
<i>Figura 3-3. Ubicación edificios de la Sede Judicial</i>	46
<i>Figura 3-4. Fachada edificio Audiencia Provincial</i>	47
<i>Figura 3-5. Edificio Juzgados</i>	47
<i>Figura 3-6. Diagrama de Flujo procedimiento a seguir</i>	49
<i>Figura 3-7. Análisis mensual consumo, ejemplo.</i>	51
<i>Figura 3-8. Análisis mes de Mínimo Clima</i>	51
<i>Figura 3-9. Caracterización de estaciones</i>	52
<i>Figura 3-10. Tipificación de días</i>	53
<i>Figura 3-11. Mapa tipificación de días</i>	53
<i>Figura 4-1. Análisis mensual AAE</i>	57
<i>Figura 4-2. Distribución estaciones AAE 2014</i>	58
<i>Figura 4-3. Comprobación distribución estaciones AAE 2014</i>	58
<i>Figura 4-4. Consumo de otros anual AAE 2014</i>	59
<i>Figura 4-5. Consumo de otros en horas, días de no operación AAE 2014</i>	59
<i>Figura 4-6. Distribución consumos desglosados</i>	60

<i>Figura 4-9. Representación cal 1 consumos y estimaciones, estudio 2</i>	61
<i>Figura 4-10. Representación semana representativa 1 calefacción</i>	61
<i>Figura 4-7. Gráfico Estimación 2 Vs Consumo</i>	61
<i>Figura 4-8. Gráfico Estimación 1 Vs Consumo</i>	61
<i>Figura 4-11. Representación cal 2, estudio 2</i>	62
<i>Figura 4-12. Período representativo 2 calefacción, estudio 2</i>	62
<i>Figura 4-13. Banda 1, promedio porcentaje Diciembre, Enero. Estudio 2</i>	63
<i>Figura 4-14. Banda 1, promedio porcentaje Febrero, marzo. Estudio 2</i>	64
<i>Figura 4-15. Banda 1, desviaciones. Diciembre, enero. Estudio 2</i>	64
<i>Figura 4-16. Banda 1, desviaciones. Febrero, marzo. Estudio 2</i>	64
<i>Figura 4-17. Estimación 1 Vs Consumo. MC, Estudio 2</i>	65
<i>Figura 4-18. Estimación 2 Vs Consumo. MC, Estudio 2</i>	65
<i>Figura 4-19. Octubre, Estudio 2</i>	65
<i>Figura 4-20. Abril, Estudio 2</i>	65
<i>Figura 4-21. Banda 1, porcentaje Abril, Estudio 2</i>	66
<i>Figura 4-22. Banda 1, desviaciones Abril, Estudio 2</i>	66
<i>Figura 4-24. Estimación 2, refrigeración E2</i>	67
<i>Figura 4-25. Representación Junio, julio Estudio 2</i>	67
<i>Figura 4-23. Estimación 1, refrigeración E2</i>	67
<i>Figura 4-26. Representación Agosto, septiembre Estudio 2</i>	68
<i>Figura 4-27. Estimación 1,2 vs Consumo, mínimo clima. Estudio 2</i>	69
<i>Figura 4-29. Mayo, Estudio 2</i>	69
<i>Figura 4-30. Banda 1, Transición. Estudio 2</i>	69
<i>Figura 4-28. Noviembre, Estudio 2</i>	69
<i>Figura 4-31. Comparación Estimación 1 Vs Estimación 2, Estudio 2</i>	71
<i>Figura 4-32. Consumo de otros estacionales, Estudio 3</i>	72
<i>Figura 4-33. Propuesta tipificación de días AAE</i>	72
<i>Figura 4-34. Mapa tipificación de días AAE, Estudio 3</i>	73
<i>Figura 4-35. Estudio 3, calefacción</i>	73
<i>Figura 4-36. Representación Diciembre, enero. Estudio 3</i>	73
<i>Figura 4-37. Semana representativa 1 calefacción. Estudio 3</i>	74
<i>Figura 4-38. Representación Febrero, marzo. Estudio 3</i>	74
<i>Figura 4-39. Semana representativa 2 calefacción. Estudio 3</i>	74
<i>Figura 4-40. Banda 2, opción 1. Calefacción, Estudio 2</i>	76
<i>Figura 4-41. Estimación Vs Consumo, Mínimo Clima. Estudio 3</i>	76
<i>Figura 4-43. Abril, Estudio 3</i>	76
<i>Figura 4-42. Octubre, Estudio 3</i>	76
<i>Figura 4-44. Banda 2 opción 1, Mínimo clima. Estudio 3</i>	77

<i>Figura 4-45. Estimación Vs Consumo Refrigeración. Estudio 3</i>	78
<i>Figura 4-46. Representación Junio, julio. Estudio 3</i>	78
<i>Figura 4-47. Representación Agosto, septiembre. Estudio 3</i>	78
<i>Figura 4-48. Banda 2, opción 2. Refrigeración, Estudio 3</i>	79
<i>Figura 4-49. Estimación Vs Consumo Transición. Estudio 3</i>	80
<i>Figura 4-50. Noviembre, Estudio 3</i>	80
<i>Figura 4-51. Mayo, Estudio 3</i>	80
<i>Figura 4-52. Banda 2 opción 1. Mayo, estudio 3</i>	81
<i>Figura 4-53. Banda 2 opc 1. Noviembre, estudio 3</i>	81
<i>Figura 4-55. Banda 2 opción 2, mayo. Estudio 3</i>	82
<i>Figura 4-54. Banda 2 opción 2, noviembre. Estudio 3</i>	82
<i>Figura 4-56. Evolución del consumo fin de semana y festivos. Estudio 4</i>	83
<i>Figura 4-57. Consumo de otros estacionales, Estudio 4</i>	84
<i>Figura 4-58. Tipificación días, Sede Judicial</i>	85
<i>Figura 4-59. Mapa tipificación de días, Estudio5</i>	85
<i>Figura 4-60. Semana representativa 1 calefacción. Estudio 5</i>	85
<i>Figura 4-61. Semana representativa 2 calefacción. Estudio 5</i>	86
<i>Figura 4-62. Banda 1, porcentaje. Calefacción, estudio 5</i>	86
<i>Figura 4-63. Banda 2, opción 1. Calefacción, estudio 5</i>	86
<i>Figura 4-67. Abril. Estudio 5</i>	87
<i>Figura 4-66. Octubre. Estudio 5</i>	87
<i>Figura 4-65. Banda 1 Abril, Estudio 5</i>	87
<i>Figura 4-64. Banda 1 Octubre. Estudio 5</i>	87
<i>Figura 4-68. Banda 2, opción 1. Junio, julio. Estudio 5</i>	88
<i>Figura 4-69. Banda 2 opción2. Agosto, septiembre. Estudio 5</i>	89
<i>Figura 5-1. Distribución estaciones AAE 2015</i>	93
<i>Figura 5-2. Aplicación LB Diciembre, enero. Estudio 2</i>	94
<i>Figura 5-3. Aplicación LB Febrero, marzo. Estudio 2</i>	94
<i>Figura 5-4. Banda 1. Calefacción aplicación LB. Estudio 2</i>	95
<i>Figura 5-5. Banda 2. Calefacción aplicación LB. Estudio 2</i>	95
<i>Figura 5-6. Aplicación LB Octubre. Estudio 2</i>	95
<i>Figura 5-7. Aplicación LB Abril. Estudio 2</i>	95
<i>Figura 5-10. Banda 1. Aplicación LB refrigeración. Estudio 2</i>	96
<i>Figura 5-11. Período Aplicación LB, refrigeración. Estudio 2</i>	96
<i>Figura 5-8. Banda Error. Aplicación Estudio 2</i>	96
<i>Figura 5-9. Banda Error. Aplicación Octubre E2</i>	96
<i>Figura 5-12. Tipificación días AAE 2015</i>	97
<i>Figura 5-13. Banda 1. Aplicación LB Calefacción. Estudio 3</i>	98

<i>Figura 5-14. Aplicación LB Diciembre, enero. Estudio 3</i>	98
<i>Figura 5-15. Aplicación LB Octubre. Estudio 3 P</i>	98
<i>Figura 5-16. Aplicación LB Abril. Estudio 3</i>	98
<i>Figura 5-17. Aplicación LB Junio, julio. Estudio 3</i>	99
<i>Figura 5-18. Aplicación LB Agosto, septiembre. Estudio 3</i>	99
<i>Figura 5-19. Aplicación LB Noviembre. Estudio 3</i>	99
<i>Figura 5-20. Aplicación calefacción LB E2</i>	100
<i>Figura 5-21. Aplicación calefacción LB E3</i>	100
<i>Figura 5-22. Aplicación LB Julio E3</i>	100
<i>Figura 5-23. Aplicación LB Julio E2</i>	100
<i>Figura 5-24. Aplicación LB marzo. Estudio 5</i>	101
<i>Figura 5-25. Banda 1. Calefacción, Estudio 5</i>	102
<i>Figura 5-28. Aplicación LB Abril. Estudio 5</i>	102
<i>Figura 5-26. Banda 1, Aplicación Mayo. Estudio 5</i>	102
<i>Figura 5-27. Banda 1, Aplicación Abril. Estudio 5</i>	102
<i>Figura 5-29. Período representativo aplicación LB refrigeración. Estudio 5</i>	103
<i>Figura 5-30. Banda 2 opción 1. Aplicación LB refrigeración. Estudio 5</i>	103
<i>Figura 5-31. Banda 2 opción 2. Aplicación LB refrigeración. Estudio 5</i>	103
<i>Figura 5-32. Banda 1. Aplicación LB Abril. Estudio 6</i>	104
<i>Figura 5-33. Banda 1, aplicación LB Mayo. Estudio 6</i>	105
<i>Figura 5-34. Banda 1, aplicación LB calefacción. Estudio 6</i>	105
<i>Figura 5-35. Aplicación LB Junio, julio. Estudio 6</i>	105
<i>Figura 5-37. Semana representativa 1, Estudio 6</i>	106
<i>Figura 5-36. Semana representativa 2, Estudio 6</i>	106

# ÍNDICE DE ECUACIONES

---

<i>Ecuación 1. Definición del modelo de caracterización simplificado</i>	36
<i>Ecuación 2. Consumo de climatización</i>	40
<i>Ecuación 3. Modelo para el perfil de climatización</i>	40
<i>Ecuación 4. Modelo para el cálculo del consumo integrado durante el periodo <math>z</math></i>	40
<i>Ecuación 5. Modelo de la temperatura interior promedio durante el periodo <math>z</math> de no climatización</i>	40
<i>Ecuación 6. Modelo de la temperatura interior promedio durante el periodo <math>z</math> de climatización</i>	40
<i>Ecuación 7. Fórmula desglose de consumo</i>	50
<i>Ecuación 8. Modelo de caracterización consumo de climatización</i>	54
<i>Ecuación 9. Cálculo desviación error</i>	54
<i>Ecuación 10. Desarrollo Taylor Error</i>	55
<i>Ecuación 11. Aplicación Desarrollo d Taylor a nuestro modelo</i>	55
<i>Ecuación 12. Fórmula adaptada Consumo Usueli</i>	60



# 1 INTRODUCCIÓN

*Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa.*

*- Mahatma Gandhi -*

## 1.1 PROBLEMÁTICA Y CONTEXTO

**E**n nuestra vida diaria somos usuarios de más de un edificio: nuestra propia residencia y el lugar de trabajo, para empezar, pero también somos usuarios de otros, como los que prestan servicios docentes, sanitarios, culturales, etc. [1] En cada uno de ellos se consume energía para satisfacer las necesidades de calefacción, refrigeración, disponibilidad de agua caliente sanitaria, ventilación, iluminación, lavado, conservación de los alimentos, ofimática, etc. En general, en el uso del propio edificio.

Por tanto, el uso de energía en ellos es responsable del 40%, aproximadamente, del consumo total de energía final de la UE y del 36% de las emisiones totales comunitarias de CO<sub>2</sub>. [2] Mediante la reducción de este consumo, se disminuirá su dependencia energética y las emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual permitirá avanzar hacia el objetivo de la Unión Europea de recortar el consumo energético total en un 20% para 2020. El potencial de ahorro de energía es importante en el sector de los edificios, puede llegar a utilizarse un 30 % menos de energía, lo cual equivale a una reducción del 12% en el uso de la energía final de la UE.

Teniendo en cuenta el marco actual de crisis económica mundial y de concienciación sobre el impacto ambiental de la acción humana, se antoja vital reducir los costes asociados al suministro energético, mediante un óptimo uso de la energía y el uso de energías renovables.

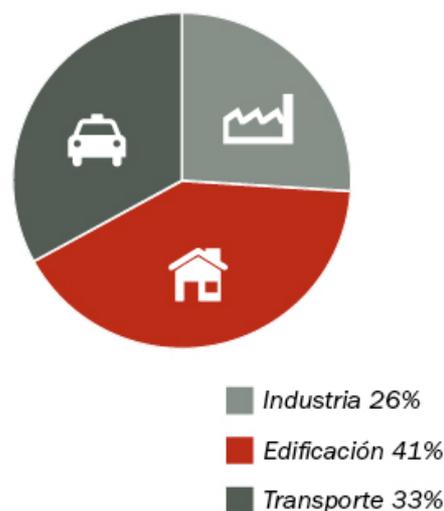


Figura 1-1. Distribución del consumo de energía en sectores

Por tanto, los edificios pueden llegar a ser uno de los principales puntos de batalla en la lucha por un mejor uso de la energía y contra el Cambio Climático. Es importante añadir que se trata de una incidencia a largo plazo, ya que el producto en cuestión presenta una gran durabilidad.

Como se ha comentado anteriormente, en la Unión Europea se ha dado el primer paso con el siguiente compromiso “Eficiencia energética: alcanzar el objetivo del 20%”. Las autoridades europeas se comprometieron a reducir para 2020 el consumo de energía primaria en un 20 % respecto a las proyecciones previstas. Aumentar la eficiencia energética es la forma más rentable de reducir el consumo de energía manteniendo a la vez un nivel equivalente de actividad económica.

Este compromiso se traduce en un cambio en la legislación comunitaria sobre eficiencia energética, con el objetivo de mejorar considerablemente la eficiencia energética de sectores clave consumidores de energía. Sin embargo, la legislación vigente al respecto no va a provocar por sí sola un ahorro de energía suficiente para alcanzar este objetivo del 20 % de reducción. Entre los principales obstáculos que se oponen a la mejora de la eficiencia energética pueden citarse: la deficiente aplicación de la legislación vigente, la falta de concienciación de los consumidores, y la ausencia de estructuras adecuadas que lleven a inversiones fundamentales en edificios, productos y servicios eficientes energéticamente, así como a la aceptación comercial de estos.

El objetivo de la Unión Europea de reducir el consumo de energía en un 20% para 2020 requiere una significativa inversión en eficiencia energética, sobre todo en los próximos años, además de significativa tiene que ser ágil. Por estos motivos, el crecimiento de las compañías de servicios energéticos en edificios jugará un papel fundamental, al favorecer la competencia de entidades privadas en el aumento de la eficiencia energética, no por obligatoriedad si no por el ahorro energético, traducido a ganancias monetarias, acercando la meta del 20% comunitario.

A día de hoy, el concepto de edificio de consumo de energía casi nula en España aún es objeto de debate y todavía no se ha definido con exactitud. Aunque se están implantando estrategias para conseguir este tipo de edificios sin definir del todo, como la primera modificación en 2013 del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación (CTE), España debe empezar a trabajar más a fondo en la realización de un edificio de referencia de alta eficiencia energética.

La Directiva 2010/31 es muy clara: los Estados miembros deben tomar las medidas necesarias para asegurar que los edificios nuevos cumplan los requerimientos mínimos de eficiencia de energía. Antes de que se inicie la construcción, se debe tener en cuenta la viabilidad técnica, medioambiental y económica de instalaciones alternativas de alta eficiencia. Además se han impuesto dos obligaciones:

- Para 2018 todos los edificios ocupados y que sean propiedad de autoridades públicas de nueva construcción deben ser edificios de consumo de energía casi nula.
- Para 2020 todos los edificios de nueva construcción deben ser edificios de energía casi nula.

A falta de dos años para que se cumpla el primer plazo, aún queda un largo camino por recorrer. Es por eso que se desarrolla este estudio.

### **1.1.1 H2020**

El *Horizonte 2020* (H2020) [3] se trata de un Programa Marco de investigación e innovación de la Unión Europea para el período 2014-2020. Cuenta con un presupuesto total de 77.028 M€ para financiar iniciativas y proyectos de investigación, desarrollo tecnológico, demostración e innovación. El programa se centra en tres pilares:

- ✓ *Ciencia Excelente*, para reforzar la excelencia científica de la Unión a nivel mundial.
- ✓ *Liderazgo industrial*, el desarrollo de tecnologías y aplicaciones para conseguir una Europa más competitiva industrialmente.
- ✓ *Retos sociales*, para aportar una respuesta directa a las prioridades políticas y los retos identificados en la estrategia Europa 2020, tales como la seguridad, la energía, el transporte, el cambio climático y el

uso eficaz de los recursos, la salud y el envejecimiento, los métodos de producción respetuosos del medio ambiente y la gestión del territorio.

Dentro de este último objetivo, se especifican los temas a tratar, entre los que se encuentra la “Energía segura, limpia y eficiente”. Se persigue el paso a un sistema energético posible, seguro, competitivo, que sea aceptado por la población y que se pueda mantener. Con ello, se pretende conseguir una reducción de la dependencia actual de los combustibles fósiles, pues cada vez hay una mayor carencia de recursos con el aumento de las necesidades energéticas y del cambio climático.

Las líneas de actuación de este reto social se centran en:

1. *Suministrar electricidad a bajo coste*: se pretende desarrollar el potencial de la energía eólica y de sistemas de energía solar competitivos y seguros para el medio ambiente. Además se busca la evolución de otras formas de energía renovable como la geotérmica.
2. *Lograr una red eléctrica única en Europa*: se persigue una red que responda a la creación de un mercado para todo el continente, en el que se integren las fuentes de energía renovables y en la que las interacciones entre todos los usuarios (clientes y proveedores de energía) estén bien gestionadas.
3. *Emplear combustibles alternativos y fuentes de energía móviles*: además de apostar por otro tipo de combustibles, se trabaja por la sostenibilidad y competitividad de la bioenergía, así como facilitar el comercio de pilas de combustible y tecnologías que trabajan con hidrógeno.
4. *Promover nuevas tecnologías y conocimientos*: se debe realizar una investigación en varias disciplinas relacionadas con la energía, que permita el avance de tecnologías y la competitividad y sostenibilidad de éstas.
5. *Tomar decisiones con firmeza y conseguir el compromiso público*: se facilita a los responsables de las políticas un análisis contrastado que se basa en el conocimiento de servicios, infraestructuras, tecnologías y mercados energéticos y en el comportamiento de los consumidores.
6. *Conseguir la absorción de las innovaciones en cuanto a energía por el mercado*: se trata de crear unas condiciones favorables de mercado en cuanto a normas, administración y financiación, para soluciones renovables y eficientes.
7. *Reducir el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>*: se busca un uso inteligente de la energía y un aprovechamiento del potencial de los sistemas eficientes y renovables de refrigeración y calefacción.

En esta materia de reducción del consumo de energía y emisiones, los objetivos que se pretenden conseguir para 2020 son la reducción en un 20% del consumo energético, fomentando la eficiencia energética y vinculando la energía procedente de fuentes renovables, de modo que ésta suponga un 20% del consumo energético total de la Unión para ese año y, por tanto, consiguiendo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20%.



Figura 1-2. Transformación del sistema energético, Horizonte 2020

### **1.1.2 Directiva EPBD (Energy Performance of Buildings Directive)**

La Directiva de eficiencia energética en edificios (EPBD) [4] es la principal norma europea dirigida a garantizar el cumplimiento de los objetivos de la UE, respecto a la edificación, en lo referente a contención de emisiones de gases de efecto invernadero, del consumo energético y eficiencia energética y de generación de energía a partir de fuentes renovables.

Se trata de la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética de edificios (refundición). Dados los nuevos objetivos y exigencias europeos, se hace necesaria la modificación y refundición de la directiva anterior. Como se dijo anteriormente, para el 2020 debe producirse una reducción del 20% del consumo de energía y de emisiones de gases efecto invernadero y que un 20% de ésta energía sea procedente de fuentes energéticas renovables.

La energía que consumen los edificios en la Unión Europea supone el 40% del consumo total de energía. Además, éste sector sigue expandiéndose, por lo que su correspondiente consumo seguirá aumentando. Es por eso que si se reduce la energía consumida por los edificios y se introduce el uso de energías que proceden de fuentes renovables en éstos, supondrá una mejora relevante en el camino hacia cumplir los objetivos de reducción de emisiones de gases efecto invernadero y de disminución de la dependencia energética de la Unión con respecto a combustibles fósiles.

La Directiva introduce el concepto de Edificio de Consumo Energético Casi Nulo, como aquel edificio “[...] con un nivel de eficiencia energética muy alto [...]. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno” y establece sendas fechas, el 31 de Diciembre de 2018 y de 2020, para su aplicación a todos los nuevos edificios propiedad y ocupados por autoridades públicas, y para todos los edificios nuevos, respectivamente.

Es importante recalcar que las medidas que se adopten no sólo permiten alcanzar los objetivos marcados para los países miembros en 2020, sino que también poseen un papel decisivo en el fomento de la seguridad de abastecimiento energético y del desarrollo tecnológico, haciendo posible la generación de empleo y el desarrollo regional.

La metodología empleada para el cálculo de eficiencia en el edificio puede variar entre naciones y regiones. Ésta debe cubrir los resultados de eficiencia de todo un año, no sólo de las estaciones en las que es necesario el uso de refrigeración o calefacción. En su cálculo, deben incluirse factores como la utilización de energía que procede de fuentes renovables, sistemas de calefacción y refrigeración, la adecuada iluminación natural y calidad del aire interior y el diseño del edificio y se deben tener en cuenta las normas europeas en vigor.

Los Estados miembros de la Unión Europea son los responsables exclusivos de establecer requisitos mínimos de dicha eficiencia energética de los edificios y de sus elementos, teniendo en cuenta las condiciones climáticas y las peculiaridades de cada localidad. Estos requisitos deben ser sostenibles y rentables, lo que significa que debe alcanzarse un equilibrio óptimo entre lo que se invierte y el ahorro energético que se produce durante el ciclo de vida del edificio. Estos requerimientos suponen un indicador mínimo pero no máximo. Esto quiere decir que los países miembros pueden establecer unos mínimos que sean más eficientes energéticamente que los niveles considerados óptimos en cuanto a eficiencia de energía. Es necesaria una revisión periódica de estos mínimos para seguir progresando técnicamente.

1. La aplicación de estas condiciones mínimas de eficiencia energética de los edificios se realiza tanto a edificios nuevos o nuevas unidades de éstos como a edificios ya existentes objeto de reformas relevantes o elementos de éstos cuando se instalen o se mejoren.

2. Creación de un marco común general de una metodología de cálculo de la eficiencia energética de edificios o unidades de éstos La Comisión debe establecerse un marco comparativo para el cálculo de los niveles óptimos de rentabilidad de los requerimientos mínimos de eficiencia de energía de los edificios. Los países miembros han de utilizarlo con el objeto de comparar los requisitos mínimos de eficiencia energética adoptados por cada uno de ellos. Si existen discrepancias, entre los niveles óptimos de rentabilidad calculados y las condiciones mínimas de eficiencia de energía en vigor, que superen el 15%, los Estados miembros están obligados a justificar dicha discrepancia o promover las medidas necesarias para reducirla. Además, los países

deben determinar el ciclo de vida útil del edificio o de sus elementos en función de la experiencia y la práctica. Los resultados que se obtengan de esta comparación y los datos empleados para llegar a ellos han de comunicarse a la Comisión cada ciertos periodos de tiempo, de manera que ésta pueda evaluar cómo progresa cada país en su objetivo hacia unos niveles inmejorables de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia de energía en los edificios.

3. Definir planes nacionales destinados a conseguir un aumento del número de los edificios de consumo de energía casi nulo .

Los Estados miembros deben asegurarse de que:

El 31 de diciembre de 2020, como muy tarde, todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo, pues el sector público debe servir de ejemplo.

A partir del 31 de diciembre de 2018, los edificios nuevos que estén ocupados y que sean propiedad de autoridades públicas sean edificios de consumo de energía casi nulo.

4. La certificación energética de los edificios o de sus unidades

Al posible comprador o arrendatario de un edificio se le debe proporcionar la información correcta acerca de su eficiencia energética, en el certificado de eficiencia energética. Además, este debe incluir consejos prácticos sobre cómo mejorarla. Las campañas de información pueden servir de motivación a propietarios y arrendatarios para mejorar la eficiencia energética de sus edificios o de unidades de estos. El certificado de eficiencia energética también ha de dar información sobre el impacto real de la calefacción y la refrigeración en las necesidades de energía del edificio, de su consumo de energía primaria y de sus emisiones de dióxido de carbono.

Con el objeto de aumentar la transparencia de la eficiencia energética en el mercado de la propiedad no residencial en la Unión Europea, se han de fijar unas condiciones comunes para la certificación de la eficiencia energética de los edificios no residenciales. Las autoridades públicas deben dar ejemplo y procurar aplicar las recomendaciones contenidas en los certificados de eficiencia energética.

5. La inspección periódica de las instalaciones de aire acondicionado y calefacción de edificios

La inspección periódica y mantenimiento de las instalaciones de aire acondicionado y calefacción ayudan a que éstas se ajusten a las especificaciones de los equipos, de manera que se asegure su rendimiento óptimo desde el punto de vista de la seguridad, de la energía y del medio ambiente. Conviene, además, realizar una evaluación independiente de toda la instalación de calefacción y aire acondicionado periódicamente durante su ciclo de vida y, sobre todo, antes de su sustitución o mejora.

6. Los sistemas de control independiente de los certificados de eficiencia energética y de los informes de inspección.

Así mismo, el 25 de Octubre de 2012 se aprueba la directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del congreso relativa a la Eficiencia Energética (DEE), la cual establece objetivos adicionales de ahorro acumulado para el período 2014-2020. En la cual se destacan los siguientes requisitos:

- *Renovación de edificios*: Cada país establecerá una estrategia a largo plazo para movilizar inversiones en la renovación de su parque nacional de edificios residenciales y comerciales, en el ámbito público y privado.
- *Adquisiciones por organismos públicos*: Se garantizará que las administraciones centrales adquieran solamente productos, servicios y edificios que tengan un alto rendimiento energético, en la medida en que ello sea coherente con la rentabilidad, la viabilidad económica, la sostenibilidad en un sentido más amplio, la idoneidad técnica, así como una competencia suficiente.
- *Auditorías energéticas y sistemas de gestión*: Todas las empresas no PYMES tendrán que someterse a una auditoría energética realizada por expertos cualificados y/o acreditados a más tardar el 5 de diciembre de 2015, y como mínimo cada cuatro años a partir de la fecha de la auditoría energética anterior.
- *Contadores*: Siempre que sea técnicamente posible, financieramente razonable y proporcionado en relación con el ahorro potencial de energía, los Estados miembros velarán por que los clientes finales de electricidad, gas natural, calefacción urbana, refrigeración urbana y agua caliente sanitaria reciban contadores individuales a un precio competitivo, que reflejen exactamente el consumo real de energía del cliente final y que

proporcionen información sobre el tiempo real de uso.

- *Información sobre la factura:* Para ayudar a los clientes a ahorrar energía, los proveedores tendrán que garantizar, antes del 1 de enero de 2015, que la información de facturación es correcta y se basa en el consumo real.
- *Promoción de la eficiencia en calefacción y refrigeración:* Los Estados miembros tendrán que llevar a cabo y comunicarán a la Comisión una "evaluación exhaustiva", para diciembre de 2015, del ámbito de aplicación de la cogeneración de alta eficiencia y la calefacción y refrigeración urbana eficientes. A los efectos de esta evaluación, los Estados miembros tendrían que llevar a cabo un análisis de costo-beneficio - una propuesta presentada por los diputados - que cubre su territorio sobre la base de las condiciones climáticas, la viabilidad económica y la idoneidad técnica.
- *Servicios Energéticos:* Los Estados miembros fomentarán el mercado de los servicios energéticos y facilitarán el acceso de las PYMES al mismo.

El ritmo de renovación de edificios tiene que aumentar ya que el parque inmobiliario existente constituye el sector con mayor potencial de ahorro de energía.

### **1.1.3 IEA**

La Agencia Internacional de la Energía (IEA) [5], por su parte, establece en este escenario que hasta un 36% de esta reducción se conseguiría con la mejora de la eficiencia en el uso de la energía, por delante del 24% asociado a la eficiencia en la generación, el 21% relativo al uso de energías renovables y el 19% mediante captura de CO<sub>2</sub>. En términos anuales, entre 2005 y 2050 sería necesaria una mejora sostenida de la eficiencia energética del 1,7% anual para alcanzar dicho objetivo (Perspectivas sobre tecnología energética, AIE, septiembre de 2008). En este artículo referenciado anteriormente se introduce que “Un suministro de energía seguro, fiable y asequible es fundamental para la estabilidad y el desarrollo económico”.

### **1.1.4 Normativa Española**

En España la transposición de la Directiva EPBD es responsabilidad del Ministerio de Industria, Energía y Turismo y del Ministerio de obras Públicas y transporte. Los documentos normativos en vigor actualmente que rigen la Eficiencia Energética en la edificación son los siguientes:

- ✓ *Código Técnico de la Edificación (CTE)* [6]: Aprobado por el Real Decreto 314/2006 del 17 de marzo, y modificado en el Real Decreto 238/2013 del 13 de abril. Este documento establece los requerimientos mínimo que deben tener los nuevos edificios (residencial, no residenciales, públicos y edificios privados), así como los edificios existentes que lleven a cabo una rehabilitación de más de un 25% de su superficie. Dentro del apartado de habitabilidad el Código Técnico de la Edificación, incluye el documento básico DB HE Energía, donde se establecen las exigencias en Eficiencia Energética y energías renovables que deberán cumplir los nuevos edificios y los que sufran rehabilitación.
  - HE-1: Limitación de la demanda energética.
  - HE-2: Rendimiento de las instalaciones térmicas.
  - HE-3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.
  - HE-4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
  - HE-5: Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.

- ✓ *Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2011-2020* [7], aprobado por Acuerdo de Consejo de Ministros de fecha 29 de julio de 2011, constituye el segundo Plan Nacional de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética, de acuerdo con el artículo 14 de la Directiva 2006/32/CE, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos. Este Plan presenta un conjunto de medidas actuaciones coherentes con los escenarios de consumo de energía final y primaria incorporados en otros instrumentos de planificación en materia de energías renovables. De esta forma, conduce al objetivo de mejora de la intensidad final del 2% interanual en el período 2010-2020. El Plan de Acción propone medidas a varios niveles sobre el sector de los edificios existentes, entre las que se destacan:
  - Rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios existentes, incluyendo sistemas convencionales y sistemas pasivos (para calefacción y refrigeración).
  - Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas y eléctricas de los edificios existentes mediante la sustitución de los equipos y la mejora del funcionamiento de las instalaciones implantando sistemas de monitorización y control de la energía.
  - Los sistemas inteligentes de monitorización y control de energía también contribuirán a una mejora de la seguridad y a un mejor aprovechamiento y del mantenimiento de las instalaciones. Estos sistemas (incluyendo contadores inteligentes y sistemas de visualización avanzada) recogen, de manera continua, datos de lo que está ocurriendo en el edificio y de cómo están operando sus instalaciones, alimentando a un sistema de control que optimiza el consumo energético.
  
- ✓ *Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE)* [8], inicialmente aprobado por el Real Decreto 1027/2007 de 20 de julio, y modificado por el Real Decreto 1826/2009 del 27 de Noviembre para definir las exigencias de las inspecciones periódicas de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios.
- ✓ *Actualización de la normativa de Aislamiento Térmico NBE:CT-79*
- ✓ *Procedimiento de certificación energética de edificios*, aprobado por el Real Decreto 47/2007 del 19 de Enero; y modificado por el Real Decreto 235/2013 del 13 de Abril, para tener en cuenta la certificación energética de los edificios existentes y la actualización de la Directiva 2010/31/UE
- ✓ *Real Decreto-Ley 6/2010*, de medidas para el impulso de la recuperación económica y de empleo que incluye, en el ámbito energético medidas para impulsar las Empresas de Servicios Energéticos.
- ✓ *Proyecto de Ley de Economía Sostenible* que, en el artículo 33 establece que las empresas públicas adaptarán sus planes estratégicos para optimizar el consumo energético de sus instalaciones mediante la celebración de contratos de servicios energéticos.

Es necesario mencionar que los organismos autonómicos pueden endurecer las normativas nacionales [9].

### **1.1.5 Retos y visión de futuro**

Podemos considerar que el futuro del consumo energético en edificios es la reconstrucción energética de estos, la eficiencia energética de los edificios existentes es una gran oportunidad de caminar hacia un futuro más sostenible.

Teniendo en cuenta que la gran mayoría de los edificios hoy, existirán dentro de unos años y que tan solo un

5% de los proyectos en obra civil se destinan a edificios nuevos, se puede afirmar que la rehabilitación energética es necesaria. De hecho, se estima que en Europa, los edificios actualmente existentes consumirán en el año 2050 alrededor de los dos tercios de todo lo que consumirá el sector de la edificación. Existen numerosos programas vigentes para la mejora y rehabilitación energética de edificios, tanto a nivel nacional, europeo como autonómico.

Por tanto, para poder cumplir con todos los objetivos acordados nos queda un duro trabajo, la administración está apostando por reformar energéticamente el parque edificatorio existente. Como ya hemos comentado anteriormente, se trata de una incidencia a largo plazo, pues el producto en cuestión presenta una gran durabilidad.

El objetivo de la Unión Europea de reducir el consumo energético en un 20% para 2020 requiere una significativa inversión en eficiencia energética, sobre todo en los próximos años, que además de significativa tiene que ser ágil. Por estos motivos, el crecimiento de las compañías de servicios energéticos jugará un papel fundamental, al favorecer la competencia de entidades privadas en el aumento de la eficiencia energética, por el ahorro energético en sí mismo y el beneficio económico asociado, ayudando a conseguir nuestro objetivo.

## 1.2 EDIFICIOS EXISTENTES- HOJA DE RUTA

A partir de las normas siguientes, podemos definir nuestra hoja de ruta que nos lleven al objetivo final de este proyecto, desarrollar una propuesta de caracterización inversa del consumo energético de edificios, a partir de medidas, con la definición de Líneas Base de Edificios, en este caso en concreto de Edificios de Oficinas.

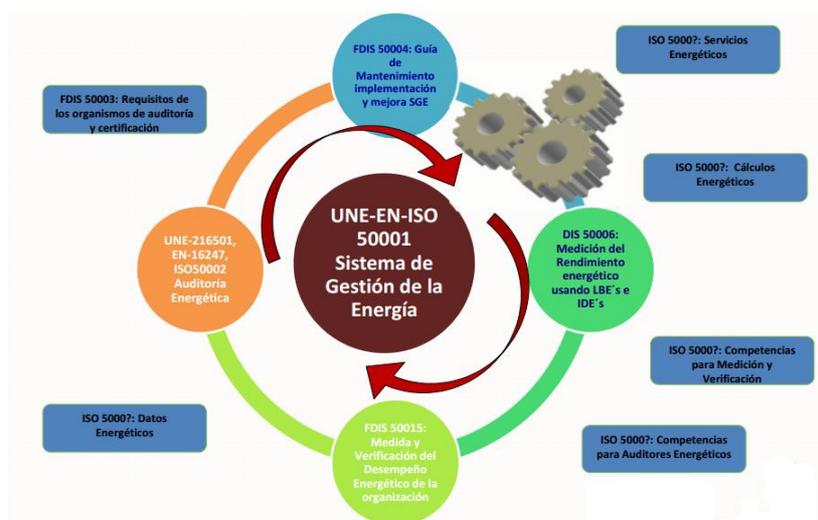


Figura 1-3. Hoja de ruta a seguir con las Normas ISO

### 1.2.1 ISO 50001

La norma ISO 50001, que hoy en día estandariza a nivel internacional la metodología de los Sistemas de Gestión de la Energía, procede de la conjugación de las normas que se estaban utilizando en diferentes partes del mundo para la gestión de la energía en las organizaciones.

El propósito de esta Norma es facilitar a las organizaciones establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética y el uso y consumo de la energía. Se pretende conducir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros impactos ambientales relacionados, así como los costos de la energía a través de una gestión sistemática de la energía.

Establece los requisitos que debe tener un Sistema de Gestión de la Energía (en adelante, SGE) en una

organización para mejorar su desempeño energético, aumentar la eficiencia energética y reducir los impactos ambientales, incrementando las ventajas competitivas.

El estándar ISO 50001 se basa en la metodología Plan-Do-Check-Act (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar), también conocido como PDCA o Círculo de Deming.

Los principales hitos de esta metodología aplicados a la Norma ISO 50001:

- **Planificar**

Llevar a cabo la revisión energética y establecer la línea de base, los indicadores de desempeño energético (IDEn), los objetivos, las metas y los planes de acción necesarios para lograr los resultados que mejorará el desempeño energético de acuerdo con la política energética de la organización.

- **Hacer**

Implementar los planes de acción de gestión de la energía.

- **Verificar**

Realizar el seguimiento y la medición de los procesos y de las características claves de las operaciones que determina el desempeño energético en relación a las políticas y objetivos energéticos e informar sobre los resultados.

- **Actuar:**

Tomar acciones para mejorar en forma continua el desempeño energético y el Sistema de Gestión de la Energía.

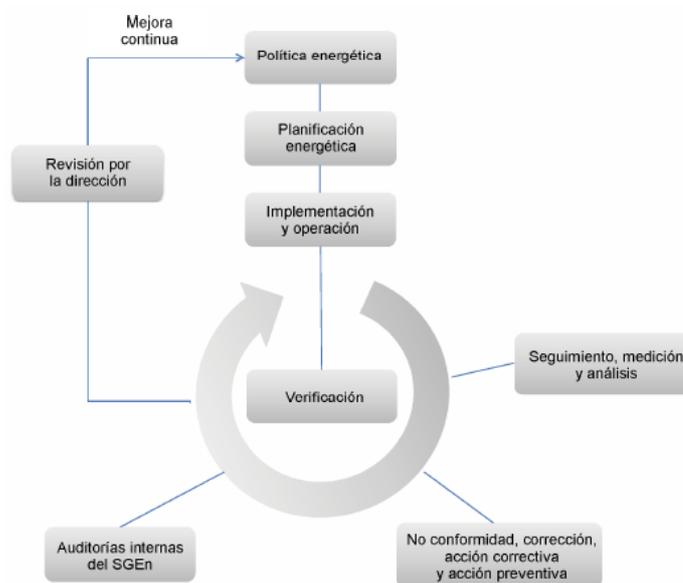


Figura I-4. Diagrama Norma ISO-50001

Dentro de la planificación aparece el objetivo para el cual existe este proyecto, la Línea Base. Así como todos los puntos que necesitamos para llegar a ella.



Figura 1-5. Proceso de planificación Energética ISO 50001

Según la Norma ISO 50001, la organización debe establecer unas líneas de base energética utilizando la información de la revisión energética inicial y considerando un período para la recolección de datos adecuado al uso y al consumo de energía de la organización. Los cambios en el desempeño energético deben medirse en relación a la línea de base energética.

Deben realizarse ajustes en las líneas base cuando se den una o más de las siguientes situaciones:

- Los IDEn ya no reflejan el uso y el consumo de energía de la organización
- Se hayan realizado cambios importantes en los procesos, patrones de operación, o sistemas de energía.

Las líneas de base energética deben mantenerse y registrarse.

Según estudios realizados por la Energy Information Administration en el año 2010, estimaron que al implementar esta norma internacional, podría influir en un ahorro del 60% del consumo de energía mundial. El mero hecho de implantar un sistema de gestión energética supone una disminución del consumo energético.

### 1.2.2 ISO 50006

Esta norma internacional proporciona a las organizaciones una guía práctica sobre cómo cumplir con los requisitos de la ISO 50001, comentada anteriormente, relacionados con el establecimiento, uso y mantenimiento de los indicadores de eficiencia energética (EnPIs) y líneas base de energía (EnBs), actuaciones principales relacionadas con el rendimiento energético y la eficiencia energética. EnPIs y EnBs son dos elementos clave que permiten la medición y por lo tanto la gestión de la eficiencia energética en una organización.

Con el fin de gestionar de forma eficaz la eficiencia energética de sus instalaciones, sistemas, procesos y equipos, las organizaciones necesitan saber cómo se utiliza la energía y la cantidad que se consume en el tiempo.

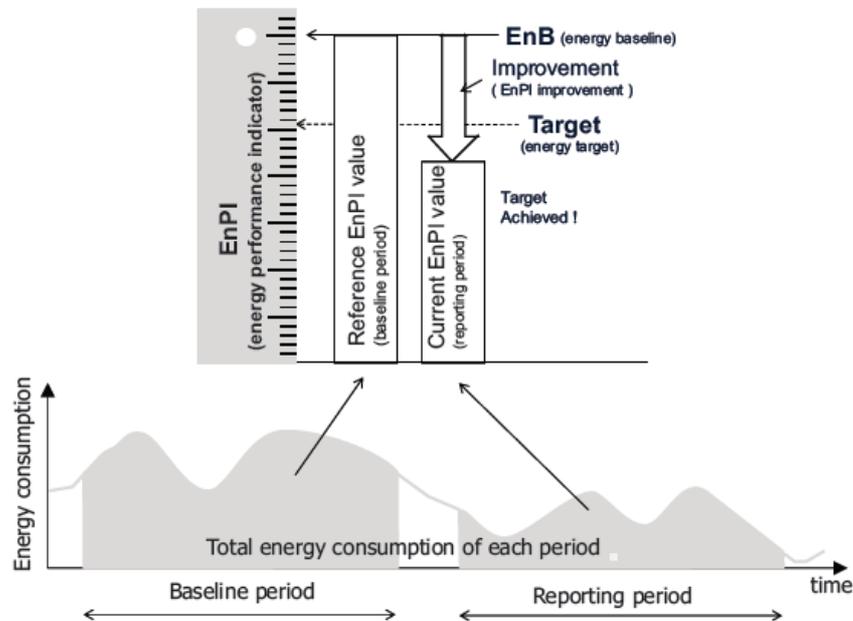


Figura 1-6. ISO 50006. Concepto de Baseline y EnPIs

En lo referente a las Líneas Base, esta norma incluye que es una referencia que caracteriza y cuantifica el rendimiento energético durante un período de tiempo especificado, permite evaluar cambios en el rendimiento energético, así como el cálculo de ahorro de energía. Este junto con los EnPIs se pueden utilizar para ilustrar el progreso hacia el cumplimiento de los objetivos energéticos. Para establecer una EnB se debe determinar un período de datos adecuado, recopilar datos, por último, determinar y probar la Línea Base.

### 1.2.3 Hoja de ruta de la eficiencia energética en edificios existentes

Con todo lo expuesto en las normas anteriores, podemos llegar a una hoja de ruta de edificios existentes, donde encontramos las siguientes etapas a seguir:

#### 1. Monitorización de consumo energético

La actualidad de la energética edificatoria pasa, en cierta medida, por la integración de la monitorización y de los sistemas de gestión energética en los estudios de eficiencia energética de los mismos. Esto nos permite conseguir evaluaciones energéticas más realistas en las que se tenga en cuenta el usuario real. Es importante que las necesidades de monitorización sean coherentes con los fines objetivados y deseables.

En general, la idea es medir-ahorrar-medir-garantizar; que significa mido para ver cómo puedo ahorrar, actúo e instalo una monitorización adecuada, y garantizo los ahorros que he predicho. Medición es entendida como la monitorización de las variables energéticas necesarias.

Una vez que tenemos toda la información tanto del consumo energético como de las características térmicas del edificio, es importante el análisis de esta información así como el desglose de este, que nos ayudará como veremos posteriormente a la construcción de Líneas Base de aquel consumo energético que verdaderamente nos llevaría al ahorro buscado.

Haciendo un zoom, medición es entendida como la monitorización de las variables energéticas necesarias, como para predecir, controlar y diagnosticar; más el tratamiento y análisis de los datos.

## 2. Diagnóstico

Esta etapa hace referencia a la norma ISO 50006, relacionada con el establecimiento, uso y mantenimiento de los indicadores de eficiencia energética y líneas base de energía, actuaciones principales que nos ayudan a analizar el consumo energético, el rendimiento y la eficiencia energética.

Con el fin de gestionar de forma eficaz la eficiencia energética de sus instalaciones, sistemas, procesos y equipos, las organizaciones necesitan saber cómo se utiliza la energía y la cantidad que se consume en el tiempo.

Esta etapa es la que realmente explotaremos en este proyecto, con la obtención de Líneas Bases de edificios de oficinas.

## 3. Tratamiento

Una vez que tenemos los indicadores comentado anteriormente, que nos permiten analizar el consumo de energía, podemos empezar a estudiar alternativas que permitan reducir dicho consumo, alcanzando el mínimo posible.

Dentro de este punto encontramos las Herramientas de Simulación energética de edificios, la optimización de las Medidas de Ahorro de Energía (MAES) con criterios de viabilidad económica, como el ciclo de vida.

## 4. Seguimiento

En esta última etapa se analiza el funcionamiento, para ver si se está realizando como se esperaba, posibles opciones de mejorarlo. Así como la determinación del ahorro que se produce al hacer una mejora en un sistema, y por último la gestión energética.

El ahorro vinculado a la mayoría de las medidas de mejora de la eficiencia energética no puede medirse de forma directa, sino que requiere la medición energética de ese periodo y la creación de una línea base para ese período junto con un posible ajuste. Es decir, se compara la situación mejorada con la que ya no existe (línea base obtenida previamente).

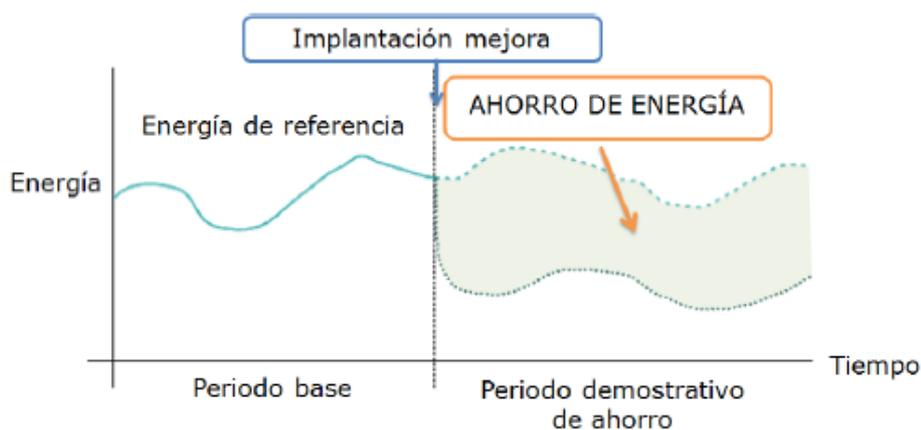


Figura 1-7. Etapa verificación de ahorro

### 1.3 CARACTERIZACIÓN INVERSA

Se entiende por caracterización [10] el proceso integrado completo con el que se obtiene un modelo identificado. Es decir, en algún momento el proceso se alimenta de datos experimentales y se calibra/deduce un modelo o sus parámetros.

Por tanto, de la caracterización se obtiene un modelo simplificado o detallado cuyos parámetros tienen valores elegidos a través de mediciones, de forma directa o indirecta. Dichos modelos se pueden definir como una representación de un sistema.

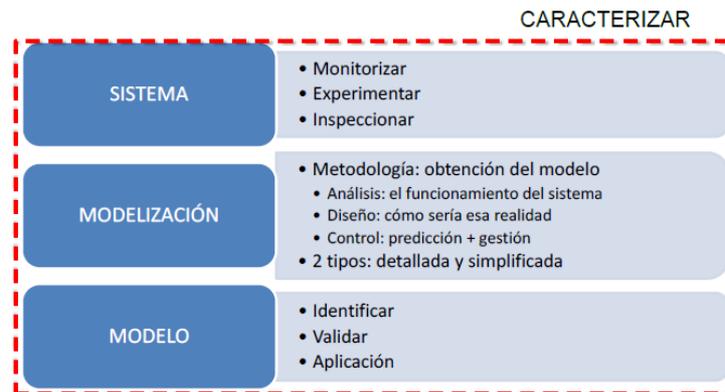


Figura 1-8. Concepto de Caracterización

Con una metodología apropiada podemos pasar de un modelo detallado a uno reducido, de manera que tenga las mismas propiedades que el modelo detallado, dando una buena aproximación en la respuesta, pero siendo lo más reducido posible.

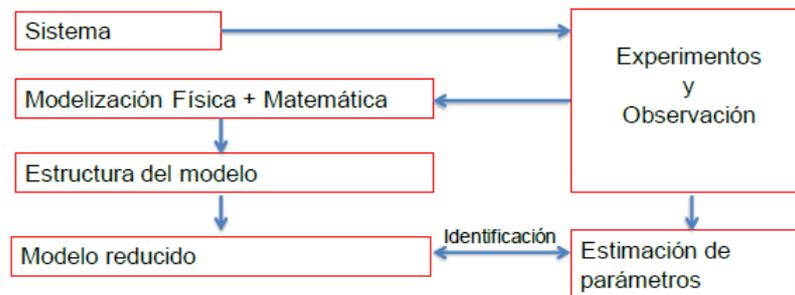


Figura 1-9. Metodología transformación de un modelo detallado a uno simplificado

En la actualidad, la monitorización de parámetros térmicos de edificios se utiliza fundamentalmente para tres fines:

-La evaluación energética del mismo, donde podemos incluir objetivos normativos como la certificación energética.

-La diagnosis del edificio, donde podemos incluir objetivos de reducción de consumo energético debido a fallos en la operación de los sistemas –consignas inadecuadas, errores de operación, fallos de dispositivos de control...-, o de la epidermis –p.ej. ventilación contraproducente por apertura de ventanas-.

-El control de los sistemas en tiempo real, donde se pueden incluir tanto el control de los sistemas de climatización propiamente dichos, como el control del edificio como conjunto –sistemas de iluminación (apagado/encendido de luces), apertura o cierre automático de ventanas...-

Estos fines principales no son independientes, sino que a menudo se interrelacionan entre sí.

### 1.3.1 Modelo de Caracterización Simplificado

El fundamento de este modelo viene precedido por la aplicación de las funciones de transferencia en la edificación. Las cuales se definen como la relación existente entre las respuestas de un instante dado y los valores de la excitación en ese instante y en los precedentes. En estos modelos el objetivo es relacionar dos o más series temporales elaborando modelos causales de predicción. Se considera que existe una serie temporal denominada respuesta relacionable como función de una u otras series temporales (excitaciones), variables independientes.

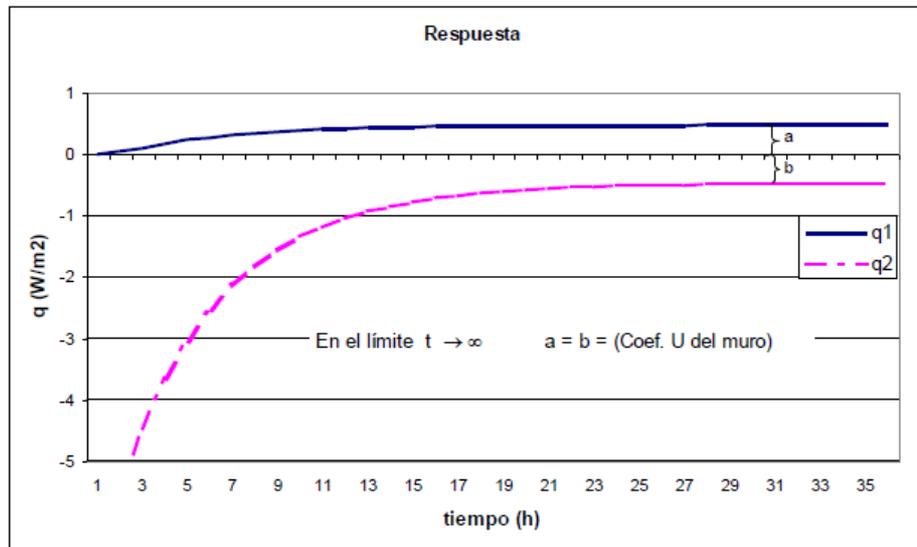


Figura 1-10. Excitación y respuesta sobre el elemento a estudio

Los modelos basados en funciones de transferencia son utilizados en todos los campos científicos para evaluar respuestas dinámicas. En edificación, el efecto de la inercia térmica se traduce en un desfase de tiempo, entre la excitación y la respuesta, y un amortiguamiento entre las ganancias instantáneas y las cargas reales sobre el equipo de climatización. Es decir, que además de un retraso los efectos dinámicos suponen un amortiguamiento. Estos retardos, en sistemas térmicos, están ligados a la inercia del sistema, y por ello los modelos de caracterización que se persiguen deben ser dinámicos.

Asimilando las funciones de transferencia y aplicando su fundamento, el modelo resultante para la caracterización térmica inversa queda de la siguiente forma:

$$f(t) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=0}^n a_{ij} Y_i(t-j) - \sum_{k=1}^d d_k f(t-j)$$

Ecuación 1. Definición del modelo de caracterización simplificado

Donde:

$f(t)$  es la variable objetivo

$Y_i$  son las variables independientes o excitaciones ( $i=1:m$ )

$a_{ij}$  son los coeficientes de ajuste de cada variable  $Y_i$

$d_k$  son los denominadores o dependencias con la variable objetivo con el pasado

Estas variables excitadores deben elegirse de acuerdo al sistema a caracterizar y a la influencia de las mismas.

Por ejemplo se suele relacionar las cargas térmicas de un edificio con las siguientes variables:

- Temperatura del aire exterior
- Radiación
- Fuentes internas: ocupación, iluminación, equipos,..
- Temperatura del aire interior

Nosotros para nuestro modelo como veremos posteriormente, tendremos en cuenta las tres primeras. Sin embargo, la última la consideraremos teniendo en cuenta el estado de climatización en el que nos encontremos.

#### *1.3.1.1 Parámetros dinámicos*

Los parámetros dinámicos están ligados a los denominadores del modelo, y hacen referencia al efecto de la inercia del sistema a caracterizar. Estos parámetros permanecen constantes para el modelo. Por tanto, los parámetros dinámicos característicos del sistema son las constantes de tiempo, estas constantes caracterizan el sistema a analizar.

La constante de tiempo es el parámetro que caracteriza la respuesta a una entrada de paso de primer orden, el sistema invariante en el tiempo lineal. Es habitual que la respuesta del sistema pueda modelarse como la suma de funciones exponenciales, donde una de ellas sea la dominante. Son estos casos los que se están usando para poner de manifiesto las implicaciones de la constante de tiempo en el modelo.

En el modelo de caracterización simplificado, MCS, la elección del número de constantes de tiempo significativas en función del paso de tiempo elegido juega un papel importante, ya que supone caracterizar con suficiente calidad los efectos dinámicos del sistema.

#### *1.3.1.2 Parámetros cuasiestáticos*

Los parámetros cuasiestáticos aparecen como una relación entre ciertos numeradores y los denominadores del modelo. Esta naturaleza cuasiestática está justificada por estar referidos a variables independientes generadas a partir de la concentración de excitaciones variables en el tiempo. Es decir, la variable independiente incorporada al modelo es una función de las excitaciones reales que sufre el sistema, y los coeficientes de esta función varían en el tiempo.

#### *1.3.1.3 Parámetros estáticos*

Los parámetros estáticos son aquellos, que aunque variantes con el tiempo, se pueden suponer constantes ya que el error cometido con esta hipótesis está dentro del rango de incertidumbre permitido.

Por ejemplo, se consideran parámetros estáticos:

- Fuentes internas como la densidad de calor entregada al aire interior por la ocupación, iluminación y/o equipos existentes en el edificio.

Por tanto, si particularizamos el modelo definido anteriormente, llegamos al “Modelo integrado de consumo”, que busca la caracterización en el mayor paso de tiempo posible del consumo energético de edificios. Este modelo combina una parte determinista con una parte estocástica o estadística, es una combinación de dos modelos. Usamos una base temporal mayor, bien mensual o estacional. Y por último, los efectos de la inercia están bastante atenuados y los parámetros del modelo aparecen de manera explícita vinculados con las características térmicas del edificio. Dicho modelo lo describiremos en el apartado siguiente, con el seguimiento de los edificios analizados en este proyecto.

## ***1.4 OBJETIVO DEL PROYECTO***

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar una propuesta de caracterización inversa de consumos energéticos a partir de medidas en edificios de oficinas. Esta propuesta permite obtener modelos de caracterización de consumos útiles, por medio de las Líneas Base, herramienta que nos ayuda a conocer el progreso del consumo energético, así como para el cálculo del ahorro energético.

La predicción del consumo de energía tiene un papel importante en la optimización del uso y operación de forma eficiente de la energía. La estimación del consumo de energía eléctrica permite una optimización de secuencias de control, con el fin de reducir la demanda pico en algunos puntos; que puede ayudar a identificar los períodos de consumo excesivos y proponer posibles estrategias de operación. Por tanto, un conocimiento lo más exacto posible de la evolución del consumo permite reducir al máximo las pérdidas. Esta predicción tiene gran importancia en la optimización de la gestión energética.

Existen múltiples métodos para el desarrollo de este trabajo; sin embargo, no existe una vía de modelización única. Nosotros vamos a llegar a nuestro objetivo por medio del Modelo Simplificado de Caracterización Inversa (MCS) [10], dentro del cual nos decantaremos por el Modelo Integrado, que nos permite obtener un modelo que nos ayude a llegar a la Línea Base de la situación de referencia para verificar ahorros o un modelo capaz de aprender del pasado para servir de herramienta de predicción de consumos. Nosotros vamos a desarrollar una metodología propia dentro del MCS que permita llevarnos a lograr nuestro objetivo, teniendo en cuenta todas las alternativas posibles.

## 2 MODELO SIMPLIFICADO DE CARACTERIZACIÓN INVERSA INTEGRADO

---

El MCS, comentado anteriormente, aparece en un entorno destinado a la caracterización de consumos térmicos o eléctricos. El objetivo es obtener un modelo que permita llegar a una línea base de la situación de referencia para verificar ahorros o un modelo capaz de aprender del pasado para servir de herramienta de predicción de consumos.

En estos consumo puede existir una parte debida a excitaciones medibles  $u(t)$ , y otra no medible  $v(t)$ , perturbación. La componente medible debe ser dominante en la variable objetivo, ya que encerrará toda la esencia física y cierta del sistema a caracterizar, Es por esto que la perturbación debe limitarse, se debe caracterizar el control auto aprendizaje del modelo con el tiempo, debe ser capaz de corregirse él mismo.

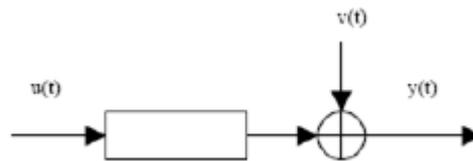


Figura 2-1. Diagrama de bloques del modelo integrado de consumo

Donde:

- $U(t)$  excitaciones medibles con incertidumbre
- $V(t)$  perturbaciones: excitaciones no medibles, sucesos no explicables...
- $Y(t)$  variable objetivo medible

Ahora bien, no todos los consumos responden a una realidad física caracterizable, sino que en muchos casos son implicaciones del comportamiento humano. Pero en el caso del consumo de climatización, en edificios terciarios, sí depende principalmente de las condiciones climáticas y las fuentes internas. Es decir el consumo de climatización si suele estar ligado a las cargas térmicas del edificio. Es por este motivo que el objetivo del modelo integrado es caracterizar el consumo de climatización (información vinculada a las cargas térmicas del edificio), en un modelo de mayor base de tiempo posible para eliminar la incertidumbre asociados a los términos de inercia.

Dicho esto, se comienza por desarrollar los fundamentos matemáticos de la modelización del consumo de climatización.

## 2.1 CONSUMO DE CLIMATIZACIÓN

La formula básica quedaría:

$$C_{EST-CLIMA}(t) = P_{CLIMA}(t) + D_{CLIMA}(t)$$

*Ecuación 2. Consumo de climatización*

Donde:

- $C_{EST-CLIMA}(t)$  es la estimación en el instante  $t$  para el consumo de climatización
- $P_{CLIMA}(t)$  es el valor calculado a partir de la componente determinista, que en este caso denotaremos como perfil de climatización.
- $D_{CLIMA}(t)$  es la dispersión que en el instante  $t$  se suma o resta al valor calculado por el perfil.

Así mismo, el perfil de climatización resulta:

$$P_{CLIMA}(t) = CI(Z) \cdot PAc(t)$$

*Ecuación 3. Modelo para el perfil de climatización*

Donde:

- $CI(Z)$  es el consumo de climatización integrado en el periodo de tiempo máximo elegido como máximo divisor de 1 día.
- $PAc(t)$  es el patrón de consumos que permite pasar del consumo integrado en el periodo  $z$ , al consumo en la base horaria.

No obstante, cabe mencionar que el modelo  $CI(Z)$  encierra la doble caracterización de consumos y temperaturas, es decir, en los periodos de parada la variable objetivo es la temperatura y en los periodos de operación el consumo. Tal y como figura en la siguiente formulación.

$$CI(Z) = \sum_{i=0}^m a_i \cdot T_{EXT}(z-i) + \sum_{i=1}^m b_i \cdot T_{INT}(z-i) + \sum_{i=1}^m c_i \cdot GI(z-1) + \sum_{i=1}^n d_i \cdot CI(z-i)$$

*Ecuación 4. Modelo para el cálculo del consumo integrado durante el periodo  $z$*

$$T_{INT}(Z) = \sum_{i=0}^m e_i \cdot T_{EXT}(z-i) + \sum_{i=1}^m f_i \cdot GI(z-i) + \sum_{i=1}^n d_i \cdot T_{INT}(z-i)$$

*Ecuación 5. Modelo de la temperatura interior promedio durante el periodo  $z$  de no climatización*

$$T_{INT}(Z) = \sum_{i=0}^m g_i \cdot T_{SA}(z-i) + \sum_{i=0}^m h_i \cdot CI(z-i) + \sum_{i=1}^n d_i \cdot T_{INT}(z-i)$$

*Ecuación 6. Modelo de la temperatura interior promedio durante el periodo  $z$  de climatización*

Donde:

- $T_{INT}(Z)$  es la temperatura promedio del aire interior de las zonas climatizadas [°C].
- $GI(z)$  es el término de ganancias internas típico del edificio [W/m<sup>2</sup>]
- $T_{EXT}(z)$  es la temperatura exterior[°C].
- $a_i$ ,  $b_i$  y  $c_i$  son los numeradores (coeficientes constantes) del modelo de consumo a identificar mediante datos experimentales.
- $e_i$  y  $f_i$  son los numeradores (coeficientes constantes) del modelo de temperatura interior en parada.
- $g_i$  y  $h_i$  son los numeradores (coeficientes constantes) del modelo de temperatura interior en funcionamiento.
- $d_i$  son los denominadores del sistema, y quedan ligados a las constantes de tiempo del mismo.

De forma análoga se tratan los consumos del edificio que son de no climatización, tipo iluminación, fuerza u otros, que dependen exclusivamente del comportamiento del usuario y prestaciones del edificio

## 2.2 NIVELES DE CARACTERIZACIÓN

Se han desarrollado cuatro niveles de modelización para el consumo de climatización de forma que el modelo se adapte a la calidad y cantidad de datos medidos disponibles.

Para ello el siguiente epígrafe muestra las decisiones a tomar para elegir el nivel de modelización correcto en función de calidad y cantidad de datos experimentales.

### ✚ Nivel 3

Es el nivel óptimo para la caracterización del consumo de climatización. Este nivel contiene un modelo determinista con bastante detalle por lo que, si los datos experimentales con los que se hace la identificación son de calidad, permite su explotación robusta a largo plazo.



Figura 2-2. Representación esquemática de aplicación del tercer nivel

### ✚ Nivel 2

Con respecto al nivel anterior se elimina el uso de la radiación. Tal y como se ha dicho antes, el tratamiento de la radiación requiere un etapa previa de cierta complejidad. Por este motivo se ha diseñado un nivel que solventa esta dificultad.



Figura 2-3. Representación esquemática de aplicación del segundo nivel

### ✚ Nivel 1

El último nivel físico a analizar será el nivel 1, cuyos resultados mostraremos a continuación. En este caso se abre la posibilidad de eliminar el clima de las dependencias del modelo, o introducirlo como parte de una entrada combinada con las condiciones térmicas interiores.



Figura 2-4. Representación esquemática de aplicación del nivel 1

### ✚ Nivel 0

Nivel óptimo para consumos del tipo no climatización o para el caso de que se tenga demasiada incertidumbre en los datos experimentales.



Figura 2-5. Representación esquemática de aplicación del nivel 0

## **2.3 ALGORITMO DE CARACTERIZACIÓN CONSUMO CLIMATIZACIÓN**

El algoritmo que se ha probado para la obtención y validación de un modelo integrado de consumo es el siguiente.

1. Analizar qué datos medidos se disponen. Puede haber datos climáticos ya que se pueden obtener de bases meteorológicas públicas, pero hay que analizar su validez para el edificio en cuestión. A su vez puede o no haber mediciones de la temperatura representativa del aire interior.
2. Analizados los datos, si la variable objetivo es el consumo de climatización, conviene evaluar si la evolución de la temperatura interior está relacionada con el consumo: relación temporal entre los gradientes de ambas variables, periodos de parada y variaciones de temperatura, evolución del consumo y horario de operación definido etc...
3. Tras los puntos anteriores se elige el nivel al que se puede llegar, recomendando el nivel 3 como el modelo óptimo para predicción a largo plazo.

El capítulo que le precede complementa a este apartado, aplicando todos estos pasos a nuestros edificios e incluyendo algunas alternativas nuevas.



# 3 APLICACIÓN DEL MODELO SIMPLIFICADO DE CARACTERIZACIÓN INVERSA INTEGRADO A NUESTROS EDIFICIOS

Este apartado en su conjunto lo tomamos como una aplicación teórico-práctico del modelo comentado en el punto anterior, donde incluimos la metodología concreta usada en nuestro proyecto.

## 3.1 DESCRIPCIÓN DE EDIFICIOS

Como ya hemos comentado anteriormente nuestro estudio se centra en edificios de oficinas, donde vamos a considerar dos tipos principales, uno de ellos propiamente de oficinas y los otros dos combinan labor de oficinas junto con otras actividades especiales, que como veremos posteriormente dificultará un poco el procedimiento seguido. A continuación, describimos cada uno de los edificios, información que puede ser muy útil a la hora de elegir variables características del mismo.

### 3.1.1 Edificio de la Agencia Andaluza de la Energía

Edificio de la Agencia Andaluza de la Energía (AAE, en adelante), es una agencia pública empresarial de la Administración de la Junta de Andalucía, y está adscrita a la Consejería de Empleo, Empresa y Comercio, surgió con la finalidad de ser una herramienta puesta al servicio del tejido social, empresarial e institucional andaluz para impulsar el desarrollo energético sostenible de nuestra Comunidad.



Figura 3-1. Edificio de la Agencia Andaluza de la Energía

Se trata de un edificio que consta de oficinas y despachos, se puede decir que es un edificio típicamente de oficinas. Con un horario cerrado de 9:00 a 14:00, el tener un horario fijo y con una ocupación media, muy similar entre días, estas propiedades ayuda a caracterizar el consumo de este tipo de edificios.

El edificio está situado en c/Isaac Newton, Isla de la Cartuja, Sevilla



Figura 3-2. Localización del edificio AAE

### 3.1.2 Sede judicial

La Sede Judicial de Sevilla se compone de dos edificios, Audiencia Provincial y Juzgados, ambos de características constructivas y localización muy similares, situados junto al Prado de San Sebastián, Sevilla. Sin embargo, al tener actividades diferentes los trataremos de forma independiente.



Figura 3-3. Ubicación edificios de la Sede Judicial

#### 3.1.2.1 Audiencia Provincial

Las Audiencias Provinciales son órganos jurisdiccionales colegiados, de demarcación provincial y con sede en la capital de la provincia, en este caso Sevilla, con competencia en los órdenes jurisdiccionales civil y penal.

La superficie construida total es de 12000 m<sup>2</sup>, distribuida en las siguientes dependencias:

- Sótano: Donde se encuentran los calabozos, sala de calderas, archivos y despacho de investigadores y archivero.
- Plantas de la primera a la sexta: Distintas secretarías, despachos de presidente, magistrados, jueces, fiscales, secretarios, salas de plenos, de vistas,...

- Planta séptima: Viviendas del presidente y del fiscal de la audiencia.

La dotación personal es del orden de 350 personas.

Como podemos observar al tener múltiples actividades dentro de su competencia, no tiene un horario ni una ocupación diaria fijos, esto no ayudará a la caracterización del consumo.



*Figura 3-4. Fachada edificio Audiencia Provincial*

### 3.1.2.2 Juzgados

Los Juzgados ofrecen la primera respuesta a los ciudadanos en los conflictos que pudieran suscitarse, tanto civil como penal.

La superficie construida del edificio es de 9700 m<sup>2</sup>. Donde las primeras estancias son las siguientes:

- Sótano: En ella se encuentran los archivos, consultas de médicos, local sindical, calabozos, cuarto del cuadro eléctrico y aseos.
- Planta baja: Juzgados de incidencias, despacho de fiscal, juez, secretarios, oficina y despacho del Sr. Juez de vigilancia penitenciaria, despachos de Sres. Secretarios, dormitorios, registro general, registro civil, sección gubernativa y sus dependencias, decano, policía judicial, archivos y peritos, averiguaciones patrimoniales, aseos, estanco y oficina de correos.
- Planta primera, segunda y tercera: Secretarías civiles, secretarías criminales, despachos de Sres. jueces, fiscales, Sres. Magistrados, Sres. secretarios, salas de vistas, mutualidad, agentes, pequeños archivos y aseos.



*Figura 3-5. Edificio Juzgados*

La dotación del personal es de aproximadamente 500 personas.

El centro funciona de 8 a 15 horas todos los días del año, excepto fines de semana y festivos. Por la tarde, los juzgados de guardia, dentro de su horario de 24 horas, y el servicio de limpieza de 14 a 22 horas.

Como podemos observar este tipo de edificios no representa uno típicamente de oficinas, no tiene un horario fijo y lo que es más destacado la ocupación no es constante, es muy variable, dependiendo de casos excepcionales. Es difícil poder llegar a caracterizar correctamente el consumo en estos casos.

Por eso hemos trabajado con dos tipos de edificios muy diferentes, que dicho contraste nos puede ayudar a encontrar situaciones distintas en el proyecto.

### 3.2 APLICACIÓN DE MCS

Como ya hemos comentado en numerosas ocasiones en este documento el consumo energético en edificios es casi un tercio del total, dentro de este prácticamente la mitad se corresponde con el consumo propio de climatización, de ahí que es una batalla que tenemos que librar con dicho consumo. ¿Pero cómo llegamos a reducir el consumo de climatización en los edificios?

Hemos llegado al inicio de nuestra hoja de ruta para conseguir el objetivo de este proyecto, que después desembocará en el objetivo de todos, reducir el consumo energético.

Para la obtención y validación de un modelo integrado de consumo es necesario seguir el algoritmo planteado en el epígrafe anterior 2.3, complementado con el Diagrama de Flujo propuesto a continuación.

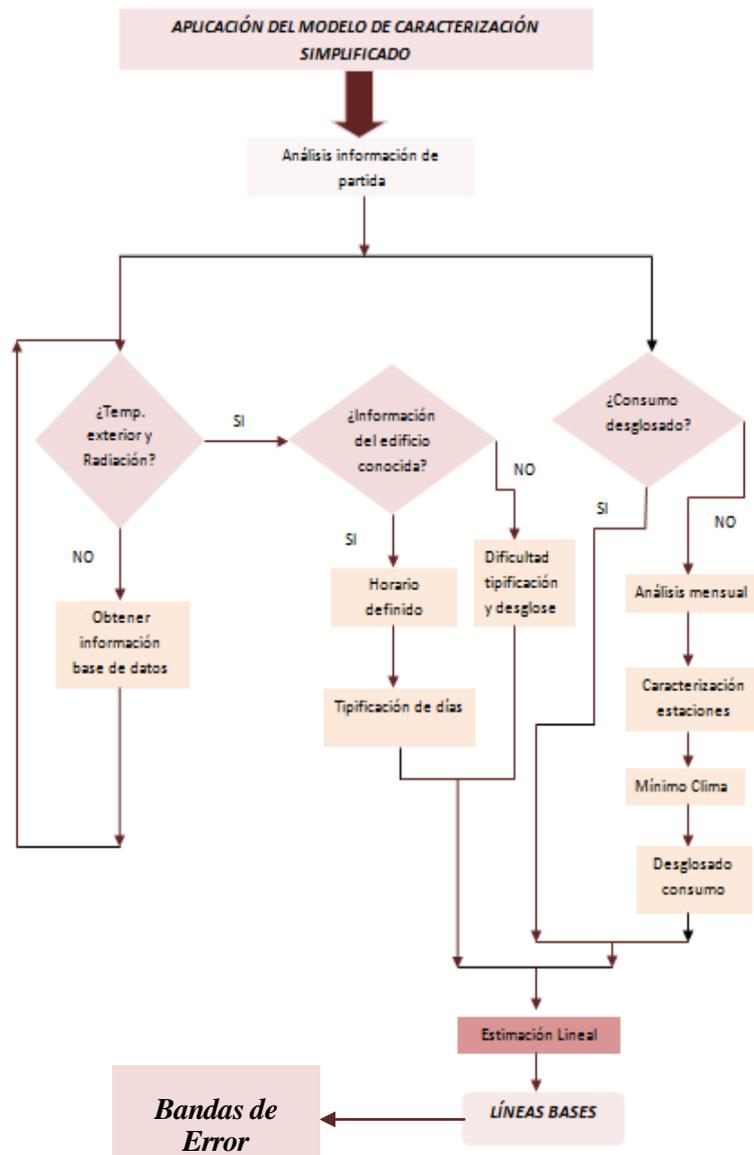


Figura 3-6. Diagrama de Flujo procedimiento a seguir

### 3.2.1 *Análisis de datos de partidas*

En primer lugar es necesario analizar toda la información de la que se dispone, tanto del edificio como de consumo y datos meteorológicos. Así como la validez de esta información, la cantidad de información no es equivalente a información útil.

En nuestro proyecto disponemos de datos de consumo procedentes de facturación con un intervalo de 15 min, que nosotros pasaremos a una base diaria [11].

En lo que respecta a datos meteorológicos proceden de SIAR [12], Sistema de Información Agroclimática para el Regadío, aplicación que el Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente pone a disposición de los usuarios toda la información, tanto como para la consulta como la descarga de datos meteorológicos horarios, diarios, semanales y mensuales.

### 3.2.2 *Desglose de consumo*

La información procedente de la facturación se trata de un consumo energético total; por tanto, como nuestra finalidad es llegar a obtener Líneas Base del consumo de climatización que nos permitan verificar ahorros energéticos, una parte muy importante del proyecto, es el desglose de consumos.

Estudio difícil que se podría ahorrar si esa monitorización y posterior presentación de datos ya estuviese desglosada, además se eliminarían parte de los errores que se cometen al suponer ciertas hipótesis, como veremos posteriormente.

En primer lugar, hemos supuesto un desglose del consumo total en tres tipos:

- ✓ *Consumo de otros:* Se corresponde con el consumo fijo en un edificio, no está relacionado con la operación del mismo. Se puede deber a salas de ordenador permanentes, refrigeración de éstas,..
- ✓ *Consumo de iluminación y usuario:* Totalmente relacionado con la actividad laboral de los usuarios y la propia operación del edificio, ya sea por iluminación, ordenadores, ascensores, consumo eléctrico en enchufes,..
- ✓ *Consumo de climatización:* Vinculado al uso o no de climatización, consumo cuyo objetivo es conocer, para poder llevar a cabo con este el MCS.

$$C_{TOTAL} = C_{OTROS} + C_{ILUM,USU} + C_{CLIMA}$$

*Ecuación 7. Fórmula desglose de consumo*

Para poder realizar este desglose, es trascendental jugar con las bases temporales.

- ✚ En primer lugar, nos fijamos en la base mensual, obtenida integrando la base diaria original, nos permite analizar el consumo mensual durante un año, de manera que podemos presenciar los cambios de estación, el mes de menor consumo se considerará mes de “Mínimo clima”.

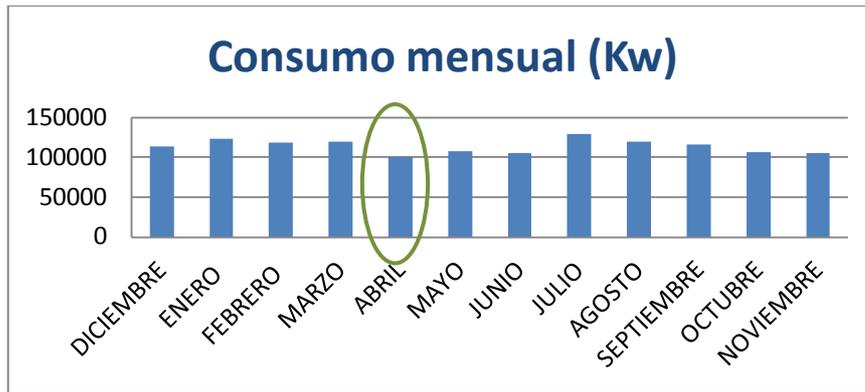


Figura 3-7. Análisis mensual consumo, ejemplo.

- Con este mes, nos fijamos en la base diaria, observando aquellos días de menor consumo, que se corresponderán con aquellos días de menor o incluso no operación, de esta forma se puede determinar el llamado  $C_{OTROS}$

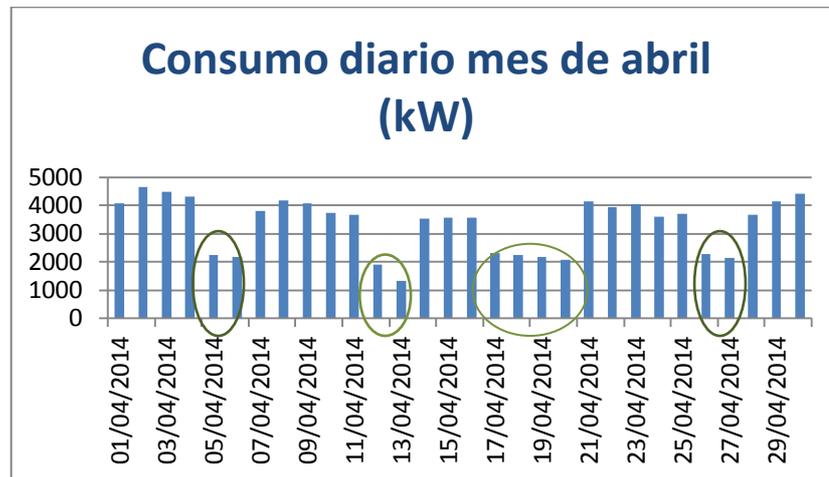


Figura 3-8. Análisis mes de Mínimo Clima

- Una vez que tenemos el  $C_{OTROS}$ , al considerar que en el mes en concreto en estudio no habría climatización y que el  $C_{OTROS}$  sería prácticamente constante, podemos determinar por diferencia el consumo de iluminación y usuario,  $C_{ILUM,USU}$ . Este consumo se calcula para días tipos que nos permitan caracterizar a cada uno de ellos, se extrapolará para el resto de días del año del mismo tipo, suponiendo que la operación de esos días es uniforme.
- Por último, conocemos todos los consumos, excepto el de climatización, que usando la Ecuación 7, se puede determinar.

Con esto habríamos acabado con nuestro desglose; sin embargo, es necesario verificar las hipótesis que hemos tomado a lo largo del proceso:

- Los meses de menor consumo denominado de “Mínimo clima”, que se toman de referencia, no existe una climatización importante.
- El  $C_{OTROS}$  se considera constante a lo largo de todo el año.

- $C_{LUM,USU}$  no cambia en esos días tipos que hemos tomado.

Posteriormente, en nuestro estudio, veremos qué ocurre si no se cumplen estas hipótesis.

Una vez que tenemos desglosados los consumo podemos proceder a la siguiente fase.

### 3.2.3 Caracterización de estaciones

A partir de los meses de Mínimo Clima, podemos delimitar las diferentes estaciones climatológicas, que nos ayudan a caracterizar los períodos.

Distinguimos 4 tipos de estaciones a la hora de representar los consumos:

- ✓ *Calefacción*: Aquellos meses donde se produce un consumo considerable en climatización, que además se corresponde con un período de baja temperatura.
- ✓ *Refrigeración*: Período donde como en caso anterior se tiene un consumo elevado, pero ahora se corresponde con temperaturas elevadas.
- ✓ *Transición*: Meses de paso de una estación a otra, normalmente se suele corresponder con aquel mes que permite el paso de la estación de Mínimo Clima a una de las otras dos anteriores.
- ✓ *Mínimo Clima*: Como ya hemos comentado anteriormente se corresponde con aquellos meses donde el consumo es menor.

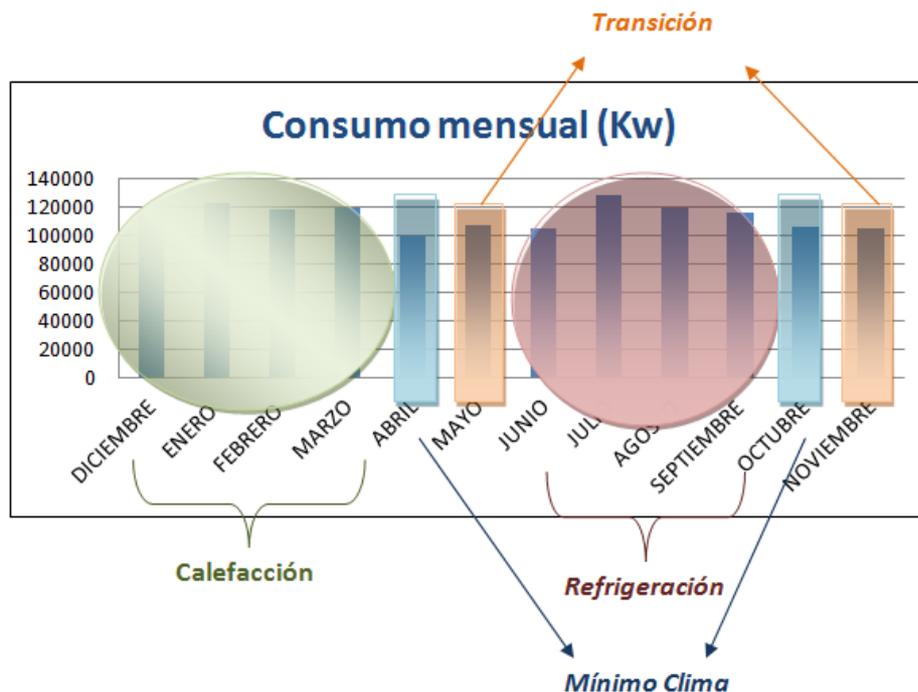


Figura 3-9. Caracterización de estaciones

### 3.2.4 Estimaciones

Una vez que ya tenemos delimitada los períodos de estudio y desglosados los consumo podemos proceder a nuestro objetivo de partida, obtener las líneas base de estos edificios. Para ello vamos a realizar una de cada estación, por medio de la función ESTIMACIÓN.LINEAL de Excel, donde las variables conocidas de entrada serán las siguientes:

- *Datos meteorológicos:* Se introduce la información meteorológica, temperatura exterior y radiación, del día en cuestión y del anterior. Datos procedentes, como ya comentamos anteriormente, de SiAR.
- *Consumo:* Vamos a meter en nuestra función el consumo del día anterior, una forma de tener en cuenta la inercia del edificio, junto a la del día en cuestión, cuando creamos la Línea Base en el año de referencia, en nuestro caso 2014; sin embargo, en la Línea Base en el año en cuestión solo se tiene en cuenta, como es de imaginar, el consumo del día anterior.
- *Tipificación de días:* Por último, y una de las variables más importantes, es la tipificación de días. Al principio, solo distinguíamos día de operación o de no, pero no contenía todos los cambios dentro de la operación del edificio. Entonces, se pensó una tipificación más completa, teniendo en cuenta los percentiles del consumo, utilizada especialmente para los edificios de la Sede Judicial, donde de un día a otro cambia considerablemente el consumo.

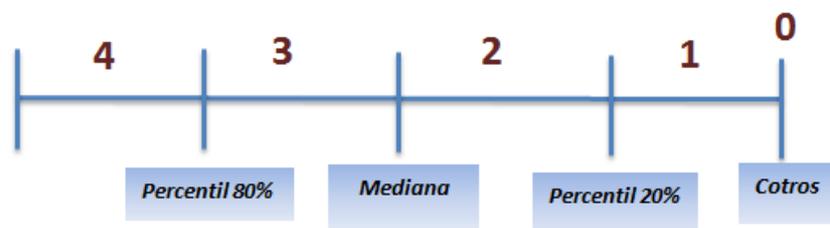


Figura 3-10. Tipificación de días

Distinguimos, por tanto, 5 ó 4 tipos de días, según el caso, esto nos permite dibujar un mapa de tipificación de días, que nos ayuda a visualizar la operación del edificio.

	2014												2013
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	
1	0	0	0	0	0	0	2	1	4	0	0	0	0
2	0	0	0	1	2	2	1	0	4	1	0	4	0
3	2	4	3	0	0	3	1	0	4	3	2	3	0
4	0	4	2	0	0	1	2	3	3	0	3	3	0
5	0	2	2	0	3	1	0	2	3	0	4	2	0
6	0	2	2	0	2	1	0	3	0	3	3	0	0
7	4	2	2	2	2	0	2	3	0	3	1	0	0
8	4	0	0	3	2	0	3	3	3	3	0	0	0
9	2	0	0	3	1	2	4	0	3	2	0	0	0
10	2	4	3	2	0	2	3	0	3	1	4	1	0
11	0	4	2	2	0	4	3	3	2	0	2	4	0
12	0	3	2	0	4	4	0	2	2	0	3	2	0
13	3	2	2	0	4	0	0	2	0	0	1	2	0
14	2	2	2	1	4	0	4	2	0	0	1	0	0
15	2	0	0	1	3	0	4	0	3	2	0	0	0
16	2	0	0	1	2	4	4	0	3	2	0	4	0
17	3	4	3	0	0	3	4	0	3	1	4	4	0
18	0	3	2	0	0	2	3	3	1	0	4	3	0
19	0	3	2	0	2	0	0	2	0	1	4	2	0
20	4	3	2	0	2	1	0	1	0	0	3	2	0
21	3	2	2	3	2	0	3	2	0	0	1	0	0
22	2	0	0	2	1	0	3	2	1	0	0	0	0
23	2	0	0	2	1	2	4	0	2	1	0	0	0
24	3	3	4	2	0	1	3	0	2	1	3	0	0
25	0	3	3	2	0	1	3	3	1	0	3	0	0
26	0	3	3	0	2	2	0	3	1	0	3	3	0
27	3	2	2	0	3	2	0	4	0	3	3	2	0
28	3	0	3	2	2	0	2	4	0	2	3	0	0
29	3	0	0	1	0	1	4	4	2	0	0	0	0
30	2	0	0	0	4	2	0	2	1	0	4	0	0
31	2	0	3	0	0	4	1	0	1	0	0	0	0

Figura 3-11. Mapa tipificación de días

Ya tenemos las variables de entradas, ahora solo nos queda proceder a aplicar la función comentada anteriormente, que nos permite obtener los coeficientes, que nos caracteriza el consumo.

$$CI(Z) = \sum_{i=0}^m a_i \cdot T_{EXT}(z-i) + \sum_{i=0}^m b_i \cdot Rad(z-i) + \sum_{i=0}^m c_i \cdot Td(z-1) + \sum_{i=1}^n d_i \cdot CI(z-i)$$

*Ecuación 8. Modelo de caracterización consumo de climatización*

Una vez conocidos dichos coeficientes, ya podemos caracterizar el consumo en cada estación. En nuestros estudios tomaremos como año base 2014, y aplicaremos los resultados en 2015.

De manera que para comprobar la efectividad del proceso será necesario determinar unas bandas de error que nos indiquen rangos de datos con los que nos encontramos cómodos.

### 3.2.5 Bandas de Error

Es el último punto que vamos a abordar en nuestro diagrama de flujo representado anteriormente, que nos permite realizar una evaluación de la validez de nuestros resultados, tanto de la estimación previa como posterior aplicación de la Línea de Base. En función de puntos fuera de la diferentes bandas de error podemos calificar un estudio como satisfactorio o no, al mismo tiempo que nos va a permitir llegar a conclusiones sobre operativas que han podido cambiar en el edificio, así como instalaciones, en general, alternativas que no se tienen en cuenta en nuestras variables del modelo.

Las bandas de error se van a realizar por estaciones.

Vamos a llevar a cabo esta tarea por dos vías, una va a tener una banda constante a lo largo de toda la estación y otras van a ir variando. A continuación explicamos cada una de ellas.

#### ✓ Banda 1

En este primer caso la banda será siempre constante a lo largo de toda la estación, dentro de esta tenemos dos alternativas diferentes:

- Como un promedio del error relativo dentro de cada estación, que será la banda que posteriormente le aplicaremos.
- A partir de una desviación entre el error máximo encontrado y el mínimo.

$$\delta = \frac{Error_{max} - Error_{min}}{2}$$

*Ecuación 9. Cálculo desviación error*

✓ **Banda 2**

Consiste en un desarrollo en serie de Taylor, este método propone identificar las variables de afectadas por algún error y decir que:

$$Err(f(x, y)) = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| \cdot \sigma(x) + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right| \cdot \sigma(y)$$

Ecuación 10. Desarrollo Taylor Error

Donde:

$\sigma(x)$ : es la incertidumbre típica asociada a la variable x.

$\sigma(y)$ : es la incertidumbre típica asociada a la variable y.

De manera, que si traspasamos esta teoría a nuestro modelo, obtenemos:

$$\Delta C = x_1 * \Delta T_{ext} + x_2 * \Delta R_{ad} + x_3 * \Delta T_{ipodia}$$

$$x_n = \frac{a_0 + a_1 + \dots}{1 - d_1}$$

Ecuación 11. Aplicación Desarrollo d Taylor a nuestro modelo

Donde:

$x_n$  :se corresponde a la relación entre los diferentes coeficiente obtenidos.

$\Delta T_{ext}$ ,  $\Delta R_{ad}$ ,  $\Delta T_{ipodia}$  : Se corresponde con el error de medida, respeto a estas variables vamos a plantear varias opciones.

- Opción 1:

Esas desviaciones las vamos a suponer constante en todo el año.

$$\Delta T_{ext} = 1^{\circ}C$$

$$\Delta R_{ad} = 50 * t,$$

t depende de la estación tomando valores de 8 para calefacción y 10 para refrigeración, el punto medio para el resto de estaciones

$$\Delta T_{ipodia} = 1$$

- Opción 2:

Vamos a realizar una desviación entre los valores máximos y los mínimos, de todas esas variables. Sin embargo, para reducir la complejidad, las desviaciones obtenidas en el año 2014 se mantendrán en el año 2015 para cada una de esas estaciones.



## 4 OBTENCIÓN DE LÍNEAS BASE EN OFICINAS Y SEDE JUDICIAL

En primer lugar, y para los tres edificios en los que se centra este proyecto, tomaremos un año de referencia, el 2014, que nos permite obtener una Línea Base, que después se aplicará en el año 2015, teniendo en cuenta las bandas de error comentado en el apartado anterior. Es importante considerar que entre ambos años de estudio no se haya producido ningún cambio relevante en estos edificios, ni en lo que respecta a operación ni instalación, ya que estas modificaciones no se puede predecir con las líneas base, considerando que solo cambian información meteorológica y efecto inercial del edificio. En este apartado, explicaremos el método seguido basándonos en el edificio de la Agencia Andaluza de la Energía, mientras que de los otros dos casos sólo mostraremos resultados finales, quedando totalmente explicado en los anexos respectivos.

### 4.1 EDIFICIO AGENCIA ANDALUZA DE LA ENERGÍA

#### 4.1.1 Estudio 1

En este primer estudio seguimos el algoritmo explicado en el apartado anterior, y nos empezamos a encontrar las primeras dificultades en lo que respecta a las hipótesis tomadas.

La información de partida, como en todos los casos que nos seguirán, es la misma que se comentó en el Apartado 3.2.1, consumos totales y datos meteorológicos. En primer lugar, es necesario desglosar el consumo total, para ello seguiremos el procedimiento definido.

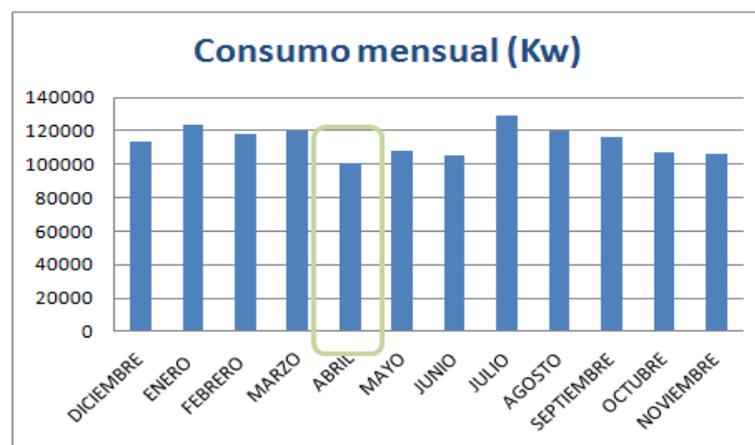


Figura 4-1. Análisis mensual AAE

A partir del mes Mínimo Clima podemos determinar la distribución de las estaciones.

Como ya explicamos de forma general, distinguiremos 4 estaciones diferentes: refrigeración, calefacción, mínimo clima, transición, en función de los consumos totales en primer lugar, posteriormente se pueden comprobar con la distribución de temperaturas y dichos consumos.

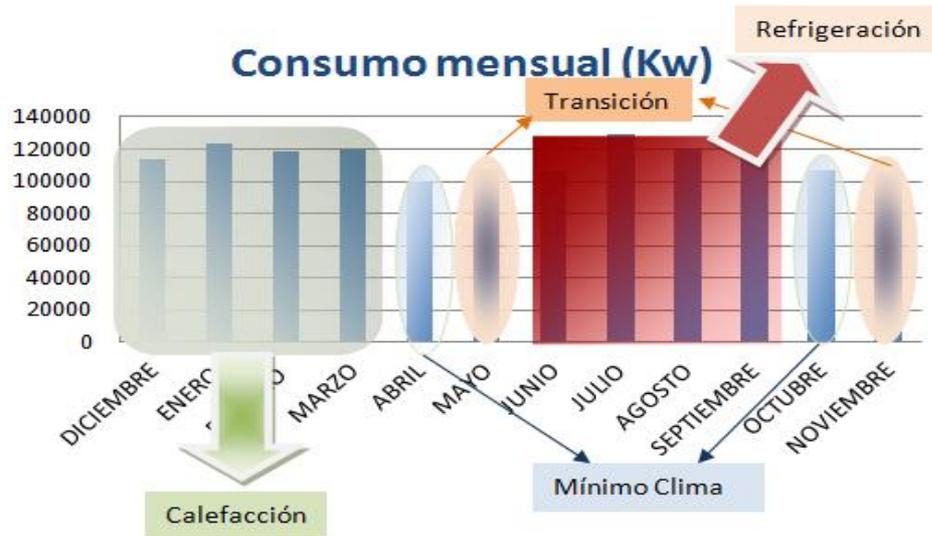


Figura 4-2. Distribución estaciones AAE 2014

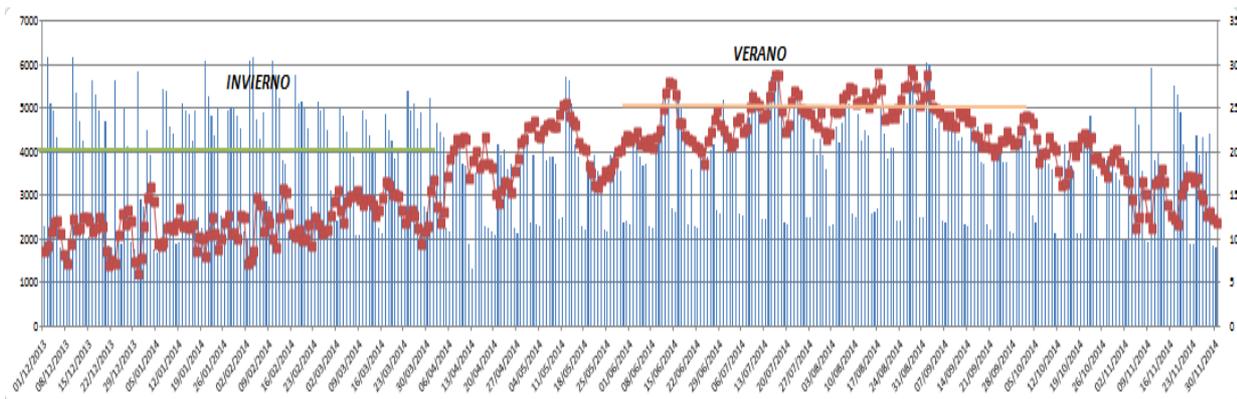


Figura 4-3. Comprobación distribución estaciones AAE 2014

Para comprobar la distribución de estaciones propuestas originalmente, representamos en un gráfico el consumo total y condiciones meteorológicas, en concreto, la temperatura, ya que su peso respecto la climatización es más importante que la radiación. En dicho gráfico ponemos de temperatura de consigna en verano en torno a 25 °C e invierno 20 °C, observamos que en aquellos puntos donde la temperatura está por debajo de la de consigna y el consumo es elevado, tenemos calefacción, y en períodos con temperaturas por encima de la de consigna y consumos elevados hablamos de refrigeración. Las otras dos estaciones al ser más irregulares es más difícil distinguirlas por temperaturas.

Una vez que teneos caracterizadas cada una de las estaciones del año, nos centramos en uno de los meses de menor consumo, en este caso Abril, que nos permite obtener el consumo de otros. Consumo definido como aquel que existe siempre, esté el edificio en operación o no, lo calculamos como un promedio del consumo en fines de de semana y festivos en ese mes.

Una de las hipótesis tomadas era que este consumo se consideraban constantes en el resto del año, lo comprobamos en nuestro primer edificio y se obtiene un error medio de un 10%, se considera

aceptable, hay puntos que salen de esa banda pero nos los consideramos representativos, al ser casos puntuales, podemos continuar nuestra ruta.

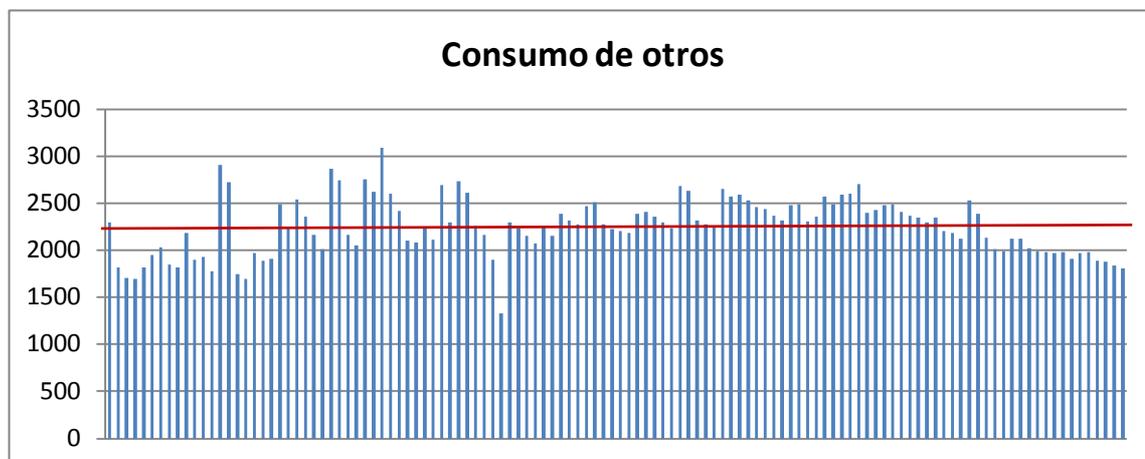


Figura 4-4. Consumo de otros anual AAE 2014

Para comprobarlo se hace un estudio del consumo por horas, llegando a una conclusión igual de satisfactoria, donde se observa la regularidad por horas del consumo en días de no operación.

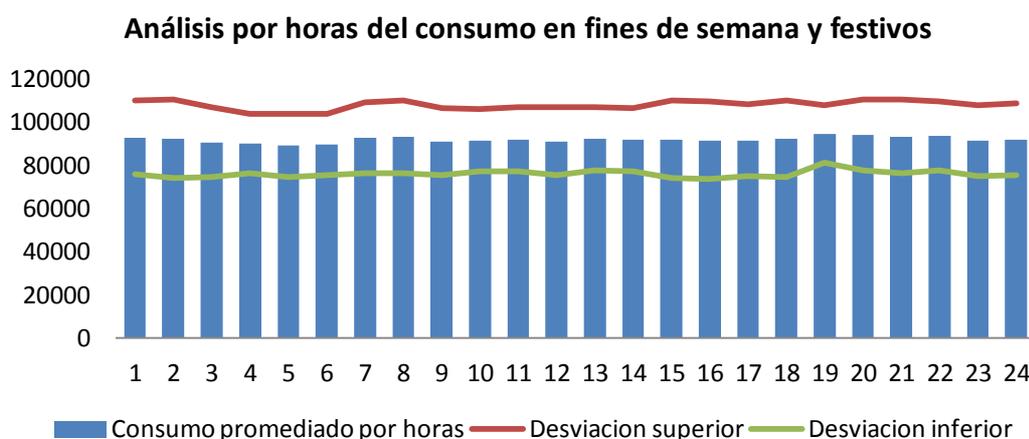


Figura 4-5. Consumo de otros en horas, días de no operación AAE 2014

Una vez que tenemos definido el consumo de otros, calculamos el consumo de iluminación y usuario para cada uno de los días tipos de la semana, como un promedio de esos días de abril, suponemos constante en el resto de meses. Llegando al final del desglose, donde solo queda aplicar la Ecuación 7, para obtener el consumo de climatización en el año de estudio.

Sin embargo, al tener todos los consumos desglosados, llegamos a un punto donde podemos analizar el peso de cada uno de estos y obtenemos lo siguiente:

	CLIMA	OTROS	ILUM/USU	TOTAL
<b>Consumos</b>	148839	806143	412750	<b>1367732</b>
<b>Porcentaje</b>	10,88 %	58,94%	30,18 %	

Tabla 1. Distribución consumos desglosados

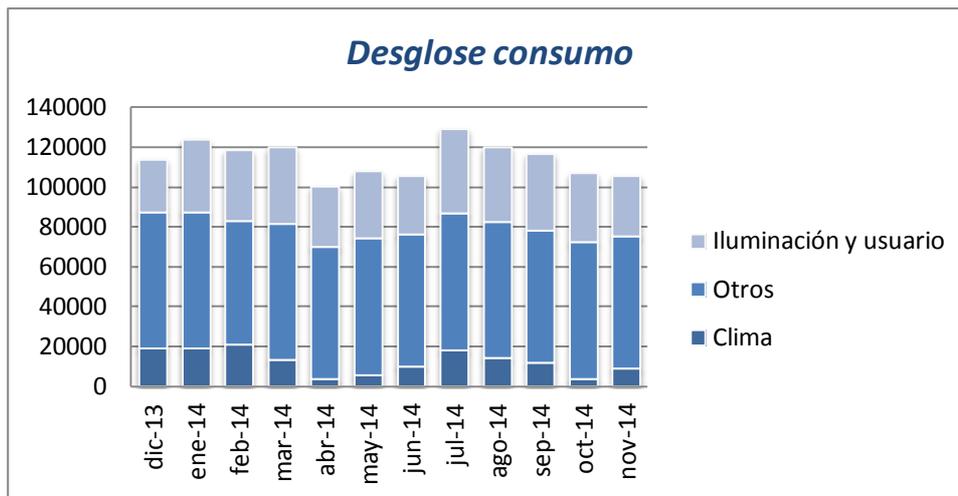


Figura 4-6. Distribución consumos desglosados

Es decir, solo representaría el 10% el consumo de climatización, resultado que no se esperaba. Por tanto, nos planteamos si las hipótesis tomadas para este desglose son correctas, en este punto abandonamos el desglose hecho hasta ahora e unimos el consumo de iluminación y usuario, con el de climatización, un consumo relacionado directamente con la operación del propio edificio.

#### 4.1.2 Estudio 2

En este estudio partimos de la conclusión final a la que hemos llegado en el caso anterior, unificamos los consumo de iluminación y usuario con el de climatización, al cual denominaremos consumo de usuclima,  $C_{USU,CLIMA}$ . Partimos del consumo de otros como lo habíamos calculado previamente, al darnos un error medio de un 10%, hemos supuesto que podemos continuar a partir de este punto.

Adaptando la Ecuación 7, a nuestro caso en concreto, que nos permite obtener el consumo de partida para la obtención de la línea base.

$$C_{TOTAL} = C_{OTROS} + C_{USU,CLIMA}$$

Ecuación 12. Fórmula adaptada Consumo Usucli

Procedemos a las estimaciones, para el cálculo de líneas bases, estos cálculos se harán de forma independiente para cada una de las estaciones distinguidas previamente.

Para la obtención de estas líneas bases, usaremos la función ESTIMACIÓN.LINEAL de Excel, explicado en puntos anteriores, con variables de entradas el consumo de días anteriores, información meteorológicas de días anteriores y del mismo en cuestión, y la tipología de días incluidos. En este estudio vamos a tener en cuenta en primer caso solo el efecto de la inercia de un día antes, y después de dos días antes, compararemos resultados y nos quedaremos con la mejor opción para el resto de estudios. Además al tener una operación muy rutinaria, nos permite utilizar una tipología de días simple, donde tendremos un 0 en aquellos días de no operación (festivos y fin de semana) y un 1, días de operación.

Una vez tengamos la línea base en el año 2014, la aplicaremos en el año 2015.

En este estudio vamos a incluir las bandas de error denominadas previamente como Banda 1, quedando reflejadas en el Anexo I todos los tipos.

### 4.1.2.1 Calefacción

Como ya hemos comentado anteriormente en esta sección, estudiaremos la evolución del consumo en los meses desde diciembre hasta marzo, ambos incluidos.

Teniendo en cuenta las variables de entradas mostradas en el apartado que le precede, obtenemos los siguientes resultados.

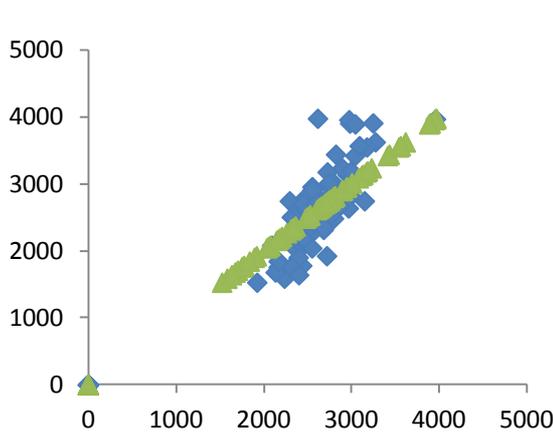


Figura 4-7. Gráfico Estimación 2 Vs Consumo

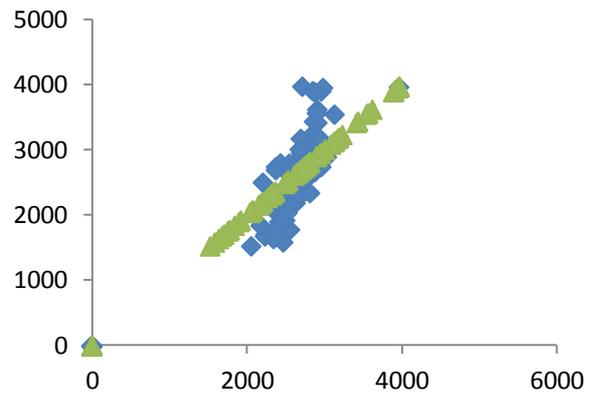


Figura 4-8. Gráfico Estimación 1Vs Consumo

Si representamos en ambos casos el consumo y lo comparamos con el obtenido realmente, llegamos a:

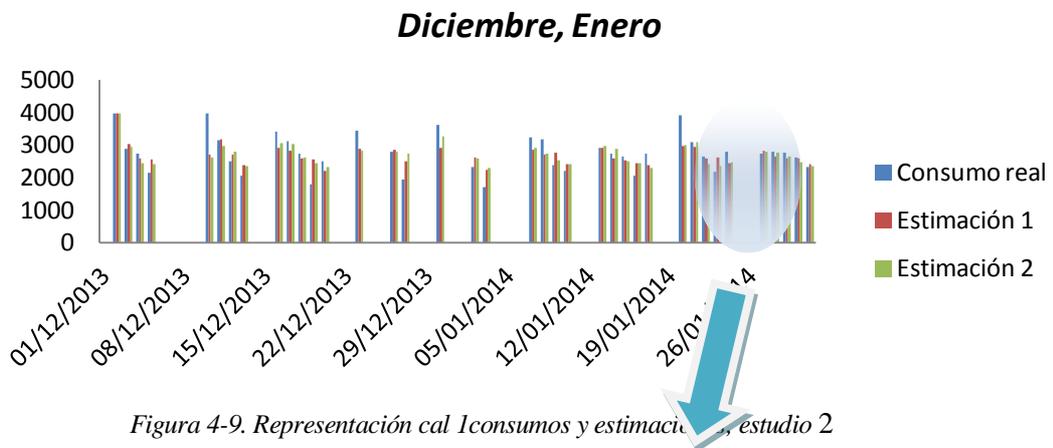


Figura 4-9. Representación cal 1 consumos y estimación 1, estudio 2

Analizamos esa semana en concreto, ya que en el mes de diciembre y principios de enero es muy difícil encontrar una semana representativa, al estar ocupada prácticamente en su totalidad con días de puentes y festivos por Navidad.

### Semana representativa 1 calefacción

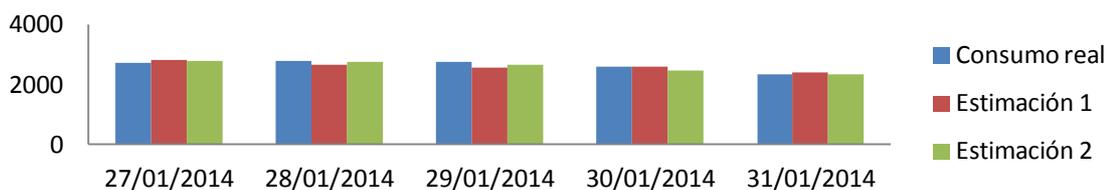


Figura 4-10. Representación semana representativa 1 calefacción

Observamos que ambas estimaciones responden perfectamente a los cambios dentro de la operación del edificio. Ahora hacemos lo mismo con la otra parte de la estación de calefacción (se han separado para que las gráficas se vean sin problemas).

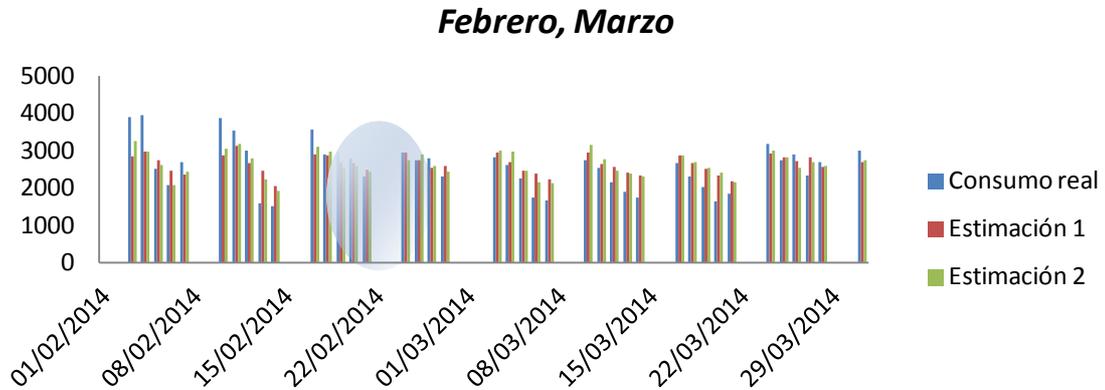


Figura 4-11. Representación cal 2, estudio 2

A continuación vamos a analizar un periodo que coge con un pequeño puente entre medios, para ver cómo responde nuestro sistema.

Como apreciamos en la figura 4-12, el sistema es capaz de responder incluso cuando tenemos unos días de no operación.

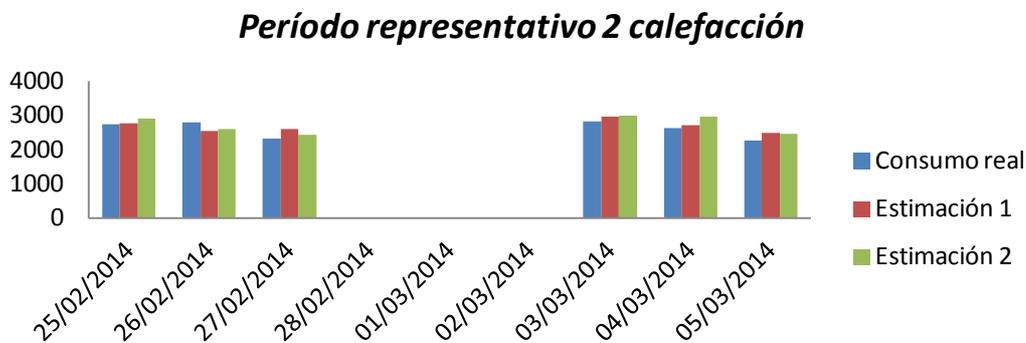


Figura 4-12. Período representativo 2 calefacción, estudio 2

En general, podemos ver que la estimación obtenida responde bastante bien a los cambios, existen semanas donde prácticamente no hay diferencias; sin embargo, hay picos que no responden a lo esperado, es difícil poder llegar a estimar estos puntos, por eso aplicamos el concepto de banda de error. De manera que aquellos puntos dentro de dicha banda lo podemos considerar de confianza y los que están fuera no, por tanto no podrá ser caracterizados por nuestra estimación propuesta.

Los coeficientes obtenidos de nuestra fórmula de consumo usucli serán los siguientes:

		ESTIMACIÓN	Estimación teniendo en cuenta el día en cuestión y un día antes ( <i>Estimación 1</i> )	Estimación teniendo en cuenta hasta dos días antes ( <i>Estimación 2</i> )
COEFICIENTES	DÍA	<i>Temperatura ext</i>	-48,01527	-36,2735494
		<i>Radiación</i>	7,685691	-9,6823832
		<i>Tipo de día</i>	2729,043	2646,896
	DÍA ANTES	<i>Consumo</i>	0,4383488	0,3428629
		<i>Temperatura ext</i>	49,437871	-20,092231
		<i>Radiación</i>	29,59996	-8,8123361
		<i>Tipo de día</i>	-1488,5085	-1198,8056
	DOS DÍAS ANTES	<i>Consumo</i>		0,0758902
		<i>Temperatura ext</i>		80,809506
		<i>Radiación</i>		26,364666
		<i>Tipo de día</i>		-420,32267

Tabla 2. Coeficientes estación calefacción, Estudio 2

Por último vamos a proceder a determinar las bandas de error para este período, como hemos comentado al principio, solo incluiremos banda 1, dejando para los posteriores estudios las siguientes.

- **Promedio del error:** Será aplicada a la Estimación 1, como en este caso obtenemos un error medio del 10 %, será el porcentaje que le apliquemos a la banda.

Podemos observar aquellos puntos donde se aleja la estimación de la realidad, son solo picos puntuales, como ya comentábamos en la parte superior.

### Banda Promedio Error Diciembre, enero

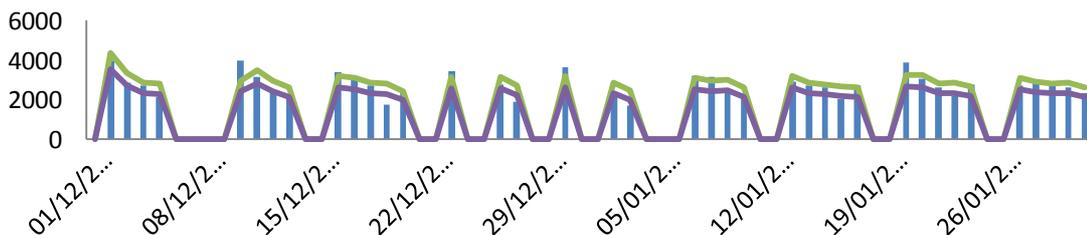


Figura 4-13. Banda 1, promedio porcentaje Diciembre, Enero. Estudio 2

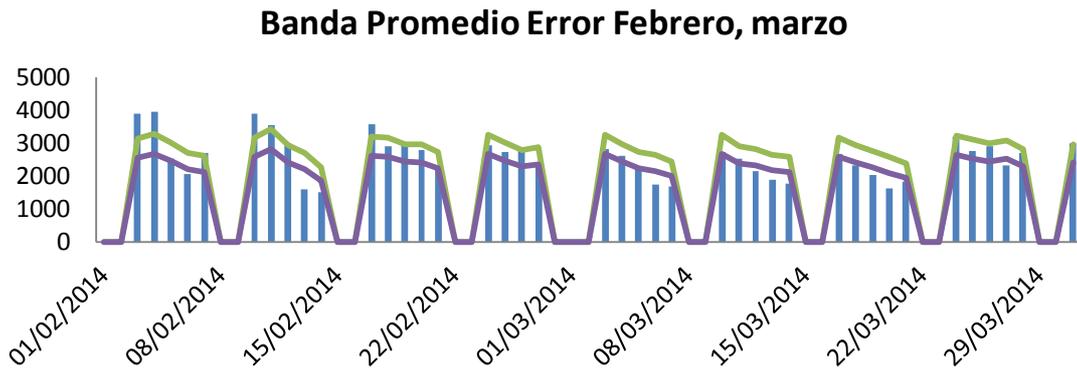


Figura 4-14. Banda 1, promedio porcentaje Febrero, marzo. Estudio 2

- **Desviación:** Aplicamos esta banda a la estimación 2, con la Ecuación 9, obtenemos una desviación de 672.

$$\delta = \frac{Error_{max} - Error_{min}}{2} = \frac{1355 - 10,3}{2} = 672,35$$

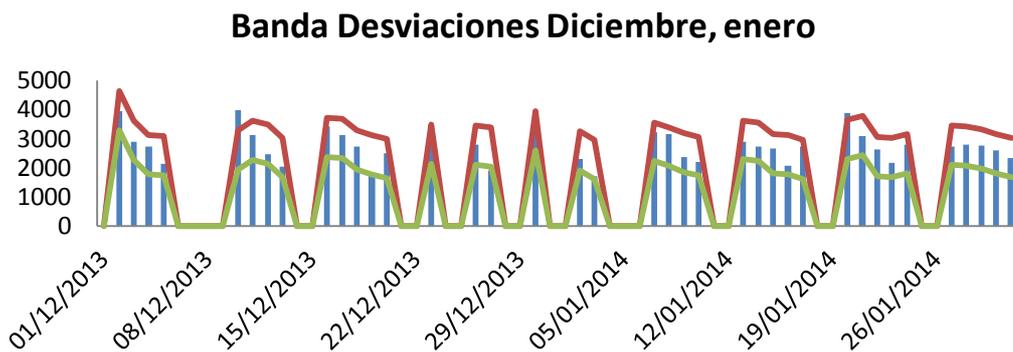


Figura 4-15. Banda 1, desviaciones. Diciembre, enero. Estudio 2

En estas bandas al ser más amplias, los puntos que salen de ellas son aún menor, en todo el período estudiado son solo 4 días donde el consumo real se aleja de la banda propuesta.

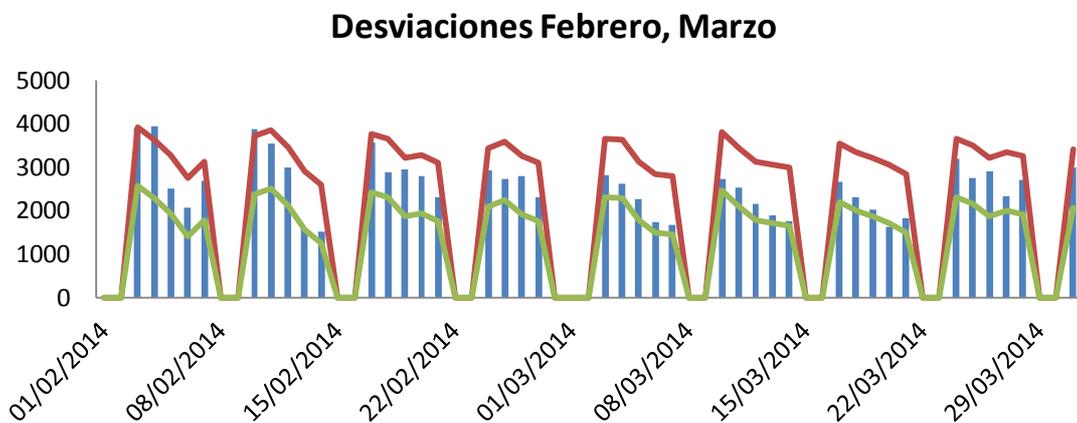


Figura 4-16. Banda 1, desviaciones. Febrero, marzo. Estudio 2

Por tanto, usando como método de análisis las bandas de error, la estimación obtenida se corresponde con una muy buena aproximación.

#### 4.1.2.2 Mínimo Clima

Vamos a llevar a cabo la misma tarea que en el punto anterior.

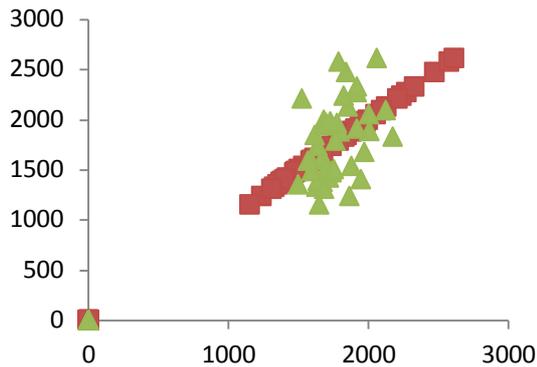


Figura 4-18. Estimación 2 Vs Consumo. MC, Estudio 2

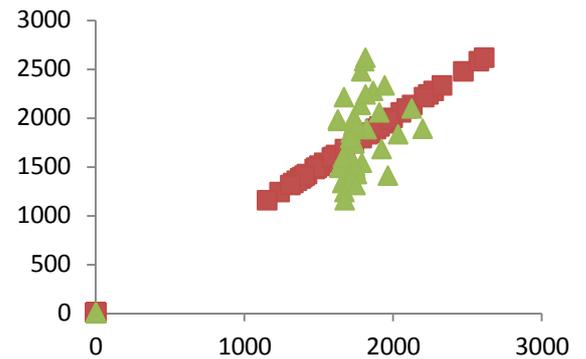


Figura 4-17. Estimación 1 Vs Consumo. MC, Estudio 2

En el mes de abril, prácticamente, todos los días las estimaciones cuadra con el consumo real, era de esperar, ya que en este mes el consumo de climatización es mínimo, que es el que descuadra las estimaciones. Lo mismo ocurre con octubre a excepción de dos datos puntuales, que son picos, podríamos plantearnos la posibilidad de que es un fallo de nuestro modelo, pero como hay semanas donde la estimación es correcta, esos picos nos hace pensar que son cosas puntuales, fuera de la normalidad de operación del edificio. En ambos meses al observarse una distribución muy uniforme, no realizamos un análisis específico de semanas en concretos, pero es importante señalar como nuestro modelo es capaz de recomponerse de un pico y dar el consumo esperado en los próximos días.

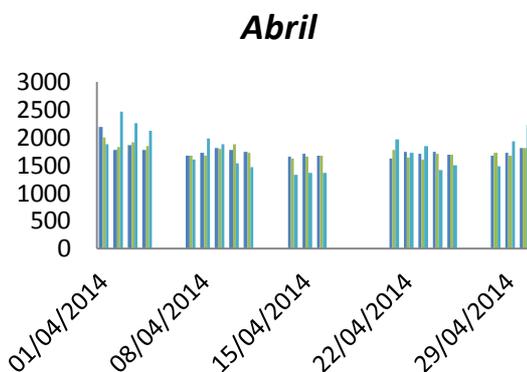


Figura 4-20. Abril, Estudio 2

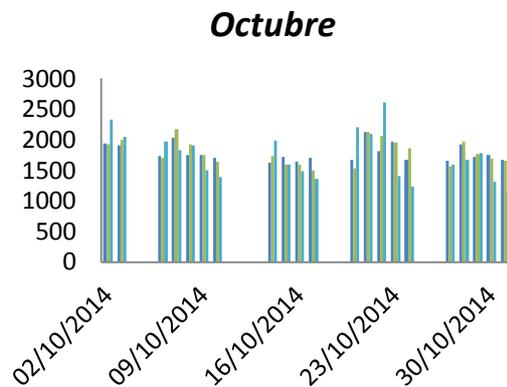


Figura 4-19. Octubre, Estudio 2

Corroboramos estos resultados con las bandas de error, usaremos la Banda 1, también con un porcentaje del 10%, estando el resto explicadas y detalladas en el *Anexo I*. Esos puntos que sobresalen de las bandas, se solucionan en su mayoría con la opción de la banda con desviación.

### Banda porcentaje error medio. Abril

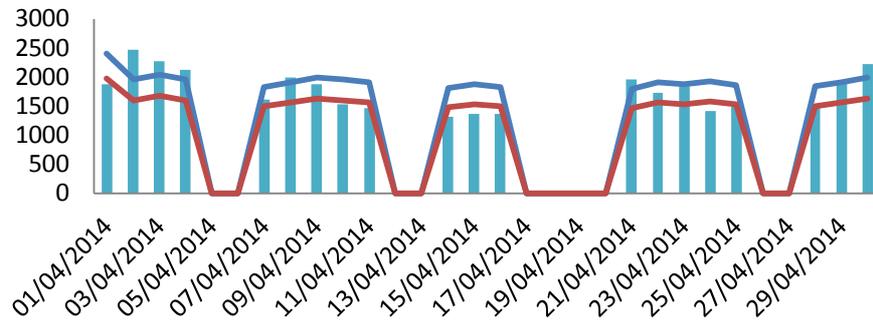


Figura 4-21. Banda 1, porcentaje Abril, Estudio 2

### Banda desviación media. Abril

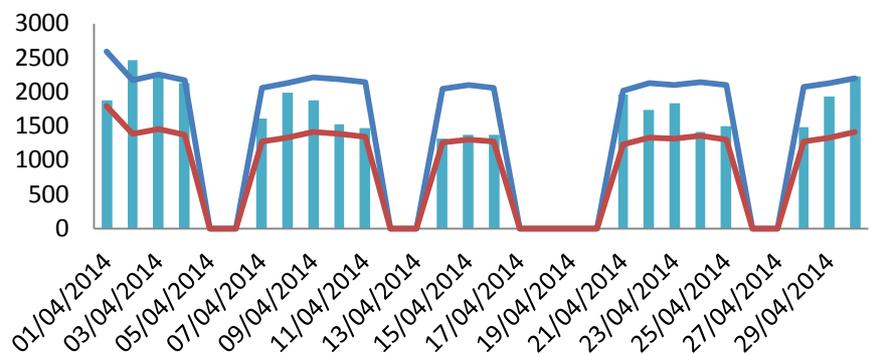


Figura 4-22. Banda 1, desviaciones Abril, Estudio 2

Los coeficientes obtenidos de nuestra fórmula de consumo usucli serán los siguientes:

		ESTIMACIÓN	Estimación teniendo en cuenta el día en cuestión y un día antes (Estimación 1)	Estimación teniendo en cuenta hasta dos días antes (Estimación 2)
COEFICIENTES	DÍA	<i>Temperatura ext</i>	-14,867063	-10,109395
		<i>Radiación</i>	9,9687047	6,0559361
		<i>Tipo de día</i>	1460,3952	1306,738
	DÍA ANTES	<i>Consumo</i>	0,1935476	0,1734826
		<i>Temperatura ext</i>	22,63512	-14,748988
		<i>Radiación</i>	2,6523491	3,8024384

	<b>Tipo de día</b>	-262,16554	-352,46664
<b>DOS DÍAS ANTES</b>	<b>Consumo</b>		0,1259141
	<b>Temperatura ext</b>		39,45527
	<b>Radiación</b>		21,542403
	<b>Tipo de día</b>		-172,50841

Tabla 3. Coeficientes estación Mínimo Clima, Estudio 2

### 4.1.2.3 Refrigeración

Ahora pasamos a la estación más importante para nuestro edificios, debido al clima típico de la ciudad en la que se sitúan, Sevilla. La distribución a la hora de presentar los datos sigue el mismo modelo que las anteriores.

Figura 4-24. Estimación 2, refrigeración E2

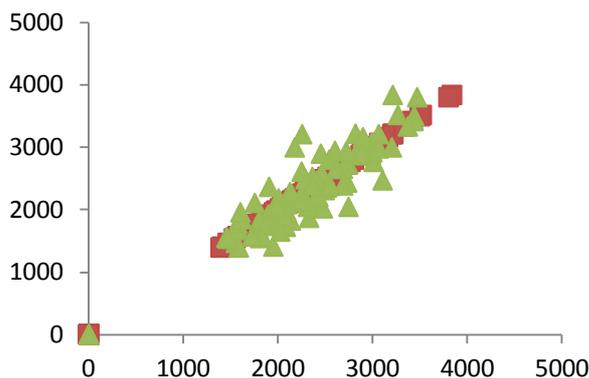
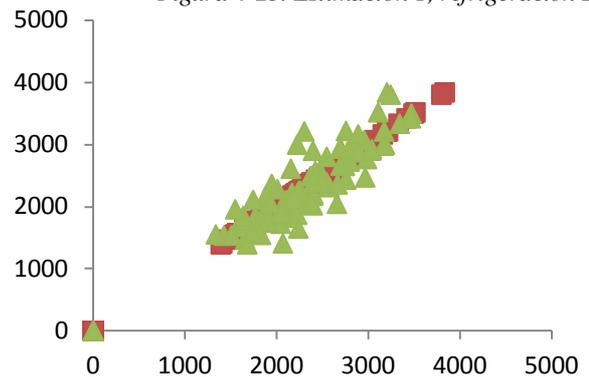


Figura 4-23. Estimación 1, refrigeración E2



Ambas estimaciones responden de forma correcta a nuestro sistema, pasamos a observar el comportamiento ante el consumo diario de los meses elegidos de la estación.

### Junio, Julio

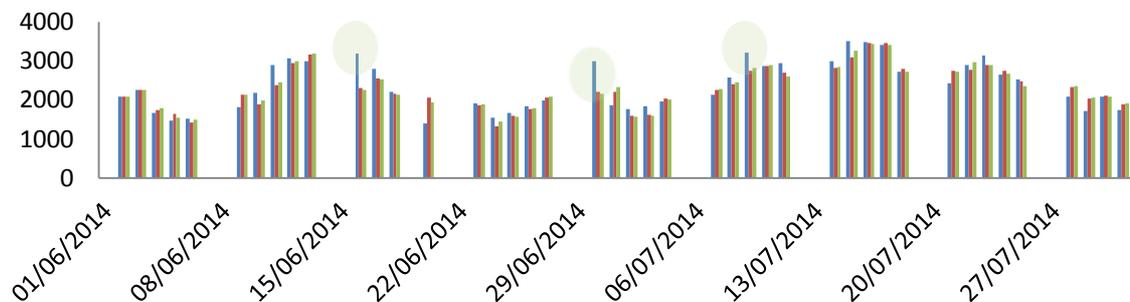


Figura 4-25. Representación Junio, julio Estudio 2

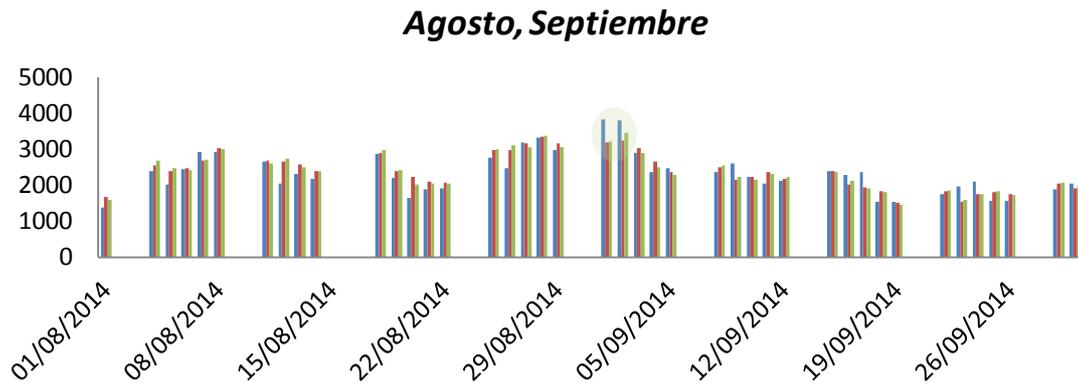


Figura 4-26. Representación Agosto, septiembre Estudio 2

En esta estación, ante el correcto funcionamiento de nuestro modelo, solo cabe destacar la existencia de datos puntuales, que no es capaz de dar, ya sea por semanas incompletas, como ocurre en junio, o los primeros días de septiembre, al coincidir con el fin de vacaciones, vuelta a la operación con normalidad, que el sistema se tiene que acostumbrar, venía del mes de agosto de menor consumo. Pero que podemos comprobar que aún así esos datos puntuales pueden estar dentro de alguna de las bandas de error definidas, mostradas en el *Anexo I*.

Procedemos a presentar los coeficientes obtenidos:

		ESTIMACIÓN	Estimación teniendo en cuenta el día en cuestión y un día antes ( <i>Estimación 1</i> )	Estimación teniendo en cuenta hasta dos días antes ( <i>Estimación 2</i> )
<b>COEFICIENTES</b>	<b>DÍA</b>	<i>Temperatura ext</i>	161,529	151,23377
		<i>Radiación</i>	-9,889934	-4,0195649
		<i>Tipo de día</i>	-979,92819	-674,69903
	<b>DÍA ANTES</b>	<i>Consumo</i>	0,4134804	0,4454436
		<i>Temperatura ext</i>	-17,617974	28,514248
		<i>Radiación</i>	5,5124766	-29,5166
		<i>Tipo de día</i>	-1138,6403	-1143,1426
	<b>DOS DÍAS ANTES</b>	<i>Consumo</i>		-0,0290609
		<i>Temperatura ext</i>		-48,209267
		<i>Radiación</i>		30,345109
		<i>Tipo de día</i>		-55,831486

Tabla 4. Coeficientes Refrigeración Estudio 2

4.1.2.4 Transición

Este período como ya se especificó anteriormente se corresponderá a aquellos meses donde hay una transformación de un mes de menor clima a algunas de las estaciones fuertes de climatización, como un mes de aclimatación a la estación que precede.

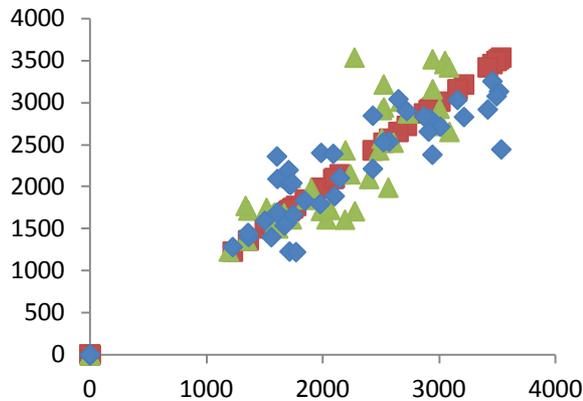


Figura 4-27. Estimación 1,2 vs Consumo, mínimo clima. Estudio 2

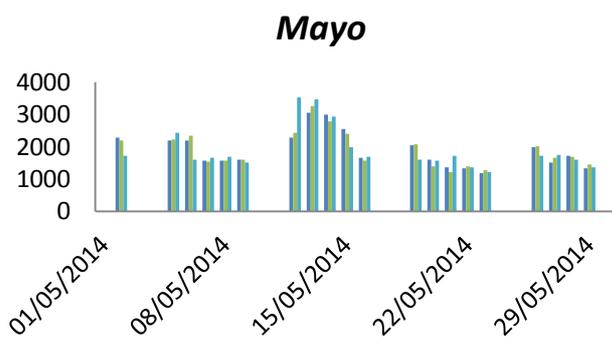


Figura 4-29. Mayo, Estudio 2

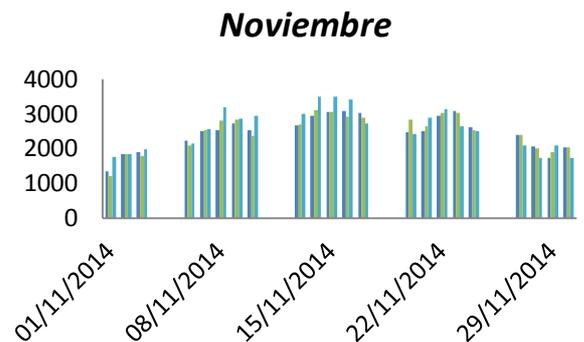


Figura 4-28. Noviembre, Estudio 2

En este período a excepción de algunos puntos, nuestro modelo queda bastante bien definido. Como podemos comprobar con alguna de las bandas de error representadas a continuación.

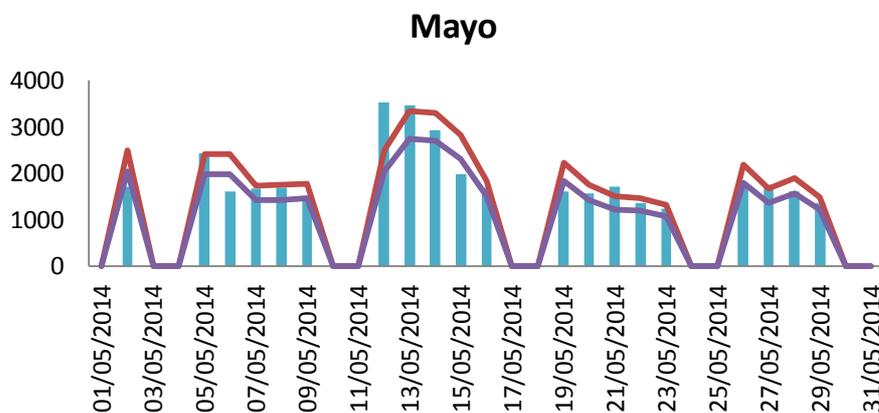


Figura 4-30. Banda 1, Transición. Estudio 2

Los coeficientes que determinan esta evolución son los siguientes:

		ESTIMACIÓN	Estimación teniendo en cuenta el día en cuestión y un día antes ( <i>Estimación 1</i> )	Estimación teniendo en cuenta hasta dos días antes ( <i>Estimación 2</i> )
COEFICIENTES	DÍA	<i>Temperatura ext</i>	63,2091603	40,0378847
		<i>Radiación</i>	-104,181403	-63,8889607
		<i>Tipo de día</i>	2142,73048	2320,82487
	DÍA ANTES	<i>Consumo</i>	0,80854064	0,87095678
		<i>Temperatura ext</i>	-29,8178878	83,2584391
		<i>Radiación</i>	10,5832223	42,307702
		<i>Tipo de día</i>	-1981,14551	-2073,94757
	DOS DÍAS ANTES	<i>Consumo</i>		-0,10347153
		<i>Temperatura ext</i>		-96,7875066
		<i>Radiación</i>		-68,7871404
		<i>Tipo de día</i>		119,327546

Tabla 5. Coeficientes estación Transición, Estudio 2

#### 4.1.2.5 Resumen y conclusiones

Una vez que tenemos definido todo nuestro modelo para el año base, nos queda para cerrar este estudio ver resultados globales, así como el análisis de ambas propuestas que hemos realizado en las estimaciones, que nos ayuden a elegir una de ellas para la aplicación en el año siguiente (Estimación 1 o Estimación 2)

Estación	Consumo usucli (kW)	Estimación 1(kW)	Estimación 2 (kW)	Error1 (%)	Error2 (%)
<b>Calefacción</b>	208544	208544	208544	0	0
<b>Mínimo Clima</b>	74488	74488	74488	0	0
<b>Refrigeración</b>	200696	200960	200873	0,13	0,1
<b>Transición</b>	94984	92404	92929	2,7	2,2
<b>TOTAL</b>	<b>578712</b>	<b>576396</b>	<b>576834</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>

Tabla 6. Resumen Estudio 2

A la vista de los resultados, hemos obtenido una estimación más que satisfactoria, donde podemos comprobar algunas de las hipótesis propuestas a lo largo del proceso:

- ✓ La clasificación de estaciones cumple lo esperado, con dos de ellas con un peso importante en el consumo, calefacción y refrigeración, mínimo clima es la de menor consumo seguido de transición.
- ✓ La tipificación de los días en este caso es suficiente con la distinción entre días de operación o no. Una opción de mejora si la aplicación en 2015 no es correcta, es incluir la tipificación de días como se comentó en el apartado 2.2.4.

Por último, para cerrar este estudio nos queda analizar las dos propuestas de estimaciones, teniendo en cuenta los efectos hasta dos días atrás (Estimación 2) o solo mirando un día atrás (Estimación 1). Analizando los resultado globales, la diferencia entra ambas alternativas es mínima, y si nos centramos en estimaciones diarias, tampoco se observa diferencias y lo que es más importante, esos puntos de picos o donde se aleja la estimación del consumo real, tampoco una de ellas es la predominante hacia el pico.

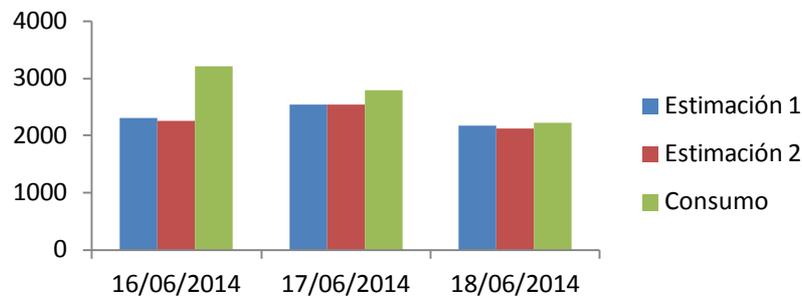


Figura 4-31. Comparación Estimación 1 Vs Estimación 2, Estudio 2

Por tanto, en los posteriores estudios, nos limitamos a tener en cuenta únicamente las condiciones y características del día en cuestión y un día antes.

### 4.1.3 Estudio 3

En este estudio partimos de la conclusión final a la que hemos llegado en el *Apartado 4.1.1*, unificamos los consumo de iluminación y usuario con el de climatización, al cual denominaremos consumo de usuclima,  $C_{USU,CLIMA}$ .

Partimos del consumo de otros, con la diferencia que incorporamos un consumo de otros característico de cada estación, con el objetivo de reducir ese error medio que nos daba del 10%, llegando al 8% con este nuevo cambio.

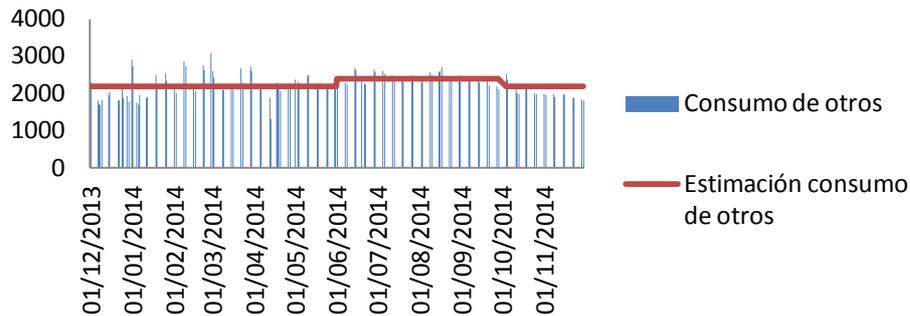


Figura 4-32. Consumo de otros estacionales, Estudio 3

Haciendo uso de la *Ecuación 12*, podemos obtener el consumo buscado.

Procedemos a las estimaciones, para el cálculo de líneas base, estos cálculos se harán de forma independiente para cada una de las estaciones distinguidas previamente. En este estudio vamos a tener en cuenta solo el efecto de la inercia de un día antes e incluiremos la tipificación de días, que se explotará especialmente en los edificios de Sede Judiciales.

Este caso lo vamos a tomar como ejemplo para mostrar el procedimiento de determinación de bandas de error según el desarrollo de Taylor, llamado Bandas 2, mostraremos algunas de ellas, en el *Anexo II* aparece cada una de ellas.

#### 4.1.3.1 Tipificación de días

Teniendo en cuenta la tipificación de días más compleja, propuesta en apartados anteriores, que nos permite caracterizar los días en función del consumo, haciendo uso de los percentiles, de la siguiente forma:



Figura 4-33. Propuesta tipificación de días AAE

Esto nos permite obtener un mapa de la tipificación de días, que nos ayuda a visualizar la operación del edificio.

Una vez que tenemos tipificados los días, podemos proceder a obtener las Líneas Bases de este edificio siguiendo el mismo modelo del *Apartado 4.1.2*, realizando cada una de ellas por estaciones.

	2014											2013
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
1	0	0	0	3	0	0	2	1	4	0	0	0
2	2	0	0	2	2	2	1	0	4	0	4	0
3	2	4	3	2	0	3	1	0	4	3	2	3
4	0	4	2	0	0	1	2	3	3	0	3	3
5	0	2	2	0	3	1	0	2	3	0	4	2
6	0	2	2	0	2	1	0	3	0	3	3	0
7	4	2	2	0	0	0	2	3	0	3	1	0
8	4	0	0	3	2	0	3	3	3	3	0	0
9	2	0	0	3	1	2	4	0	3	2	0	0
10	2	4	3	2	0	2	3	0	3	1	4	4
11	0	4	2	2	0	4	3	3	2	0	2	4
12	0	3	2	0	4	4	0	2	2	0	3	2
13	3	2	2	0	4	4	0	2	0	0	1	2
14	2	2	2	1	4	0	4	2	0	3	1	0
15	2	0	0	1	3	0	4	0	3	2	0	0
16	2	0	0	1	2	4	4	0	3	2	0	4
17	3	4	3	0	0	3	4	0	3	1	4	4
18	0	3	2	0	0	2	3	3	1	0	4	3
19	0	3	2	0	2	0	0	2	1	0	4	2
20	4	3	2	0	2	1	0	1	0	1	3	2
21	3	2	2	3	2	0	3	2	0	1	1	0
22	2	0	0	2	1	0	3	2	1	1	0	0
23	2	0	0	3	1	2	4	0	2	1	0	4
24	3	3	4	2	0	1	3	0	2	1	3	0
25	0	3	3	2	0	1	3	3	1	0	3	0
26	0	3	3	0	2	2	0	3	1	0	3	3
27	3	2	2	0	3	2	0	4	0	2	3	2
28	3	0	3	2	2	0	2	1	0	2	3	0
29	3	0	3	1	0	1	4	0	2	3	0	0
30	2	0	0	3	0	4	2	0	2	1	0	4
31	2	0	3	0	0	1	0	0	1	0	0	0

Figura 4-34. Mapa tipificación de días AAE, Estudio 3

### 4.1.3.2 Calefacción

Como ya hemos comentado anteriormente en esta sección, estudiaremos la evolución del consumo en los meses desde diciembre hasta marzo, ambos incluidos.

Teniendo en cuenta las variables de entradas mostradas en el apartado que le precede, obtenemos los siguientes resultados:

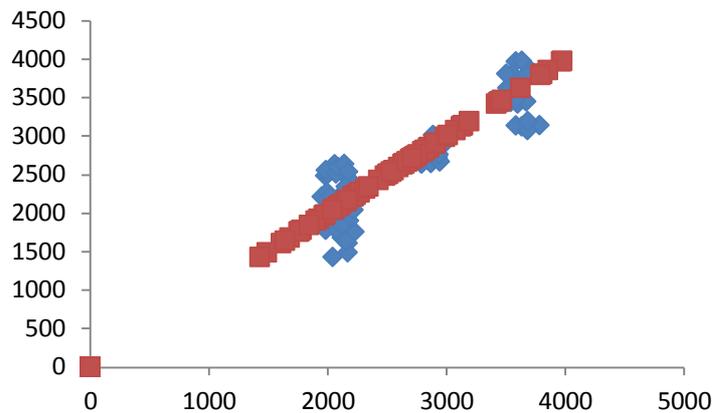


Figura 4-35. Estudio 3, calefacción

Si representamos en ambos casos el consumo y lo comparamos con el obtenido realmente, llegamos a:

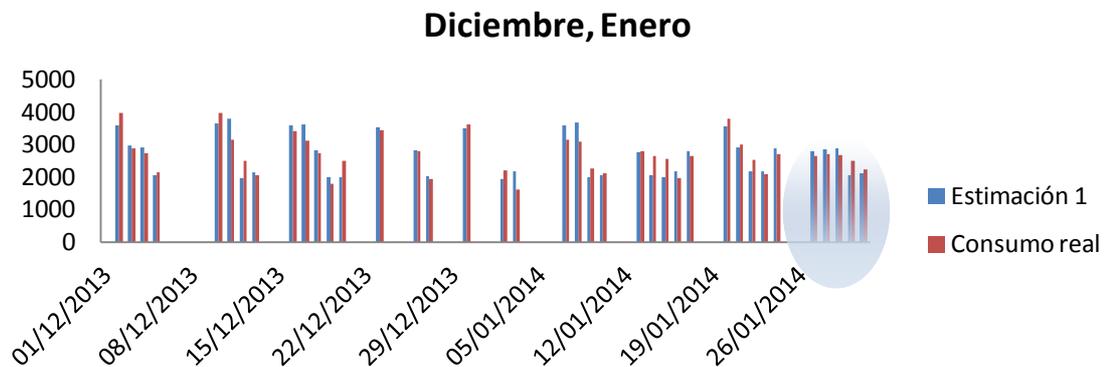


Figura 4-36. Representación Diciembre, enero. Estudio 3

Con este nuevo estudio, llegamos a determinar aquellos puntos que antes eran picos puntuales.

Analizamos esa semana en concreto, la misma que estudiamos en el estudio 2, para ver cómo ha evolucionado nuestro modelo.

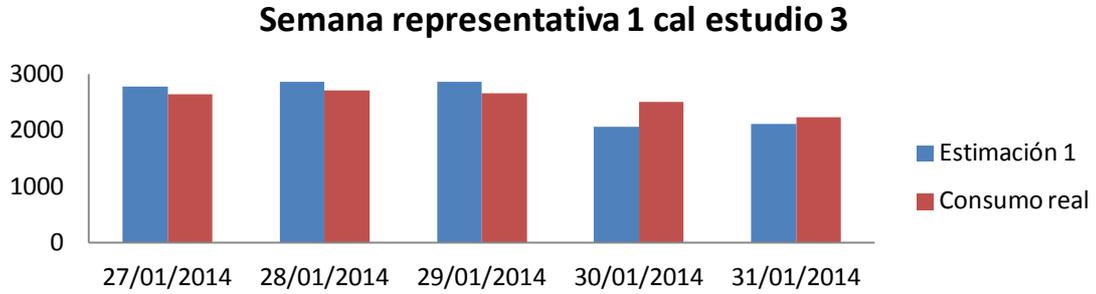


Figura 4-37. Semana representativa 1 calefacción. Estudio 3

Observamos que ambas estimaciones responden perfectamente a los cambios dentro de la operación del edificio. Ahora hacemos lo mismo con la otra parte de la estación de calefacción.

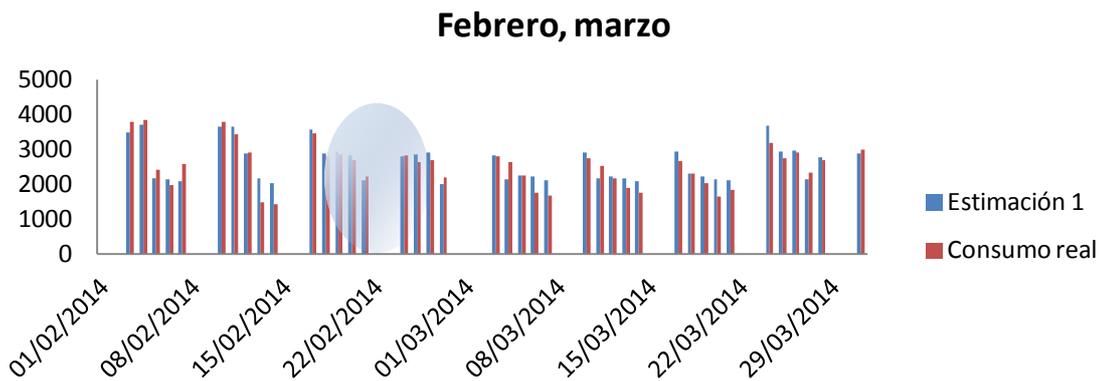


Figura 4-38. Representación Febrero, marzo. Estudio 3

Volvemos a analizar la misma semana que hicimos en el Estudio 2, se correspondía con período pequeño que coge un puente entre medios.

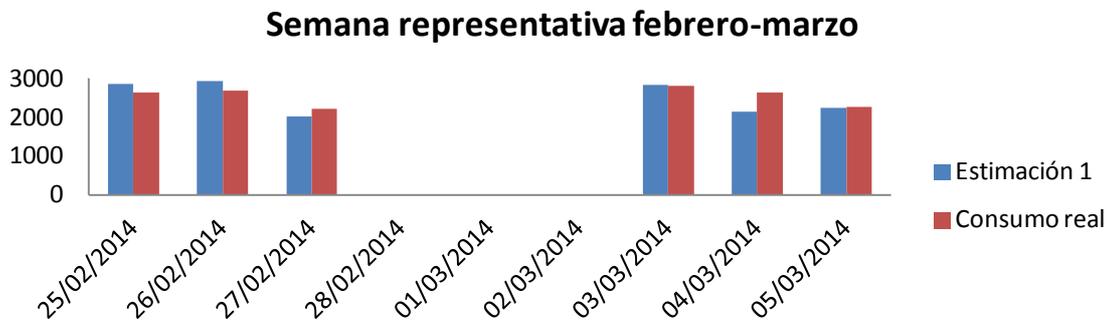


Figura 4-39. Semana representativa 2 calefacción. Estudio 3

En general, podemos comprobar que la estimación obtenida responde bastante bien a los cambios, existe semanas donde prácticamente no hay diferencias; y con este nuevo modelo podemos llegar a determinar la mayoría de los picos.

Por último vamos a proceder a determinar las bandas de error para este período, como hemos comentado al principio, solo incluiremos banda 2 y en concreto la opción 1, donde las desviaciones se consideran constantes.

$$\Delta C = x_1 * \Delta T_{ext} + x_2 * \Delta Rad + x_3 * \Delta Tipodia$$

$$x_n = \frac{a_0 + a_1 + \dots}{1 - d_1}$$

Donde:

$$\begin{aligned} \Delta T_{ext} &= 1 \\ \Delta Rad &= 0,2 \\ \Delta Tipodia &= 1 \end{aligned}$$

Los coeficientes obtenidos de nuestra fórmula de consumo usucli serán los siguientes:

		ESTIMACIÓN	Estimación teniendo en cuenta el día en cuestión y un día antes (Estimación 1)
COEFICIENTES	DÍA	<i>Temperatura ext</i>	17,9885234
		<i>Radiación</i>	37,299418
		<i>Tipo de día</i>	836,54843
	DÍA ANTES	<i>Consumo</i>	0,18408329
		<i>Temperatura ext</i>	0,03851652
		<i>Radiación</i>	-15,292388
	<i>Tipo de día</i>	-132,902431	

Tabla 7. Coeficientes Calefacción, Estudio 3

Al tener los coeficientes, podemos obtener el desarrollo de Taylor propuesto, obteniendo:

$$x_1 = \frac{17,9885 + 0,0385}{1 - 0,184083} = 22,094$$

$$x_2 = \frac{37,299 - 15,292}{1 - 0,184083} = 26,972$$

$$x_3 = \frac{836,548 - 132,902}{1 - 0,184083} = 862,4$$

Por tanto, nos queda el desarrollo, de la siguiente forma:

$$\Delta C = 22,094 * \Delta T_{ext} + 26,972 * \Delta Rad + 862,4 * \Delta Tipodia = 889,9 \text{ kW}$$

Como nos dicen que aplicamos la opción 1, pues cogemos las desviaciones constantes, llegando a la siguiente gráfica.

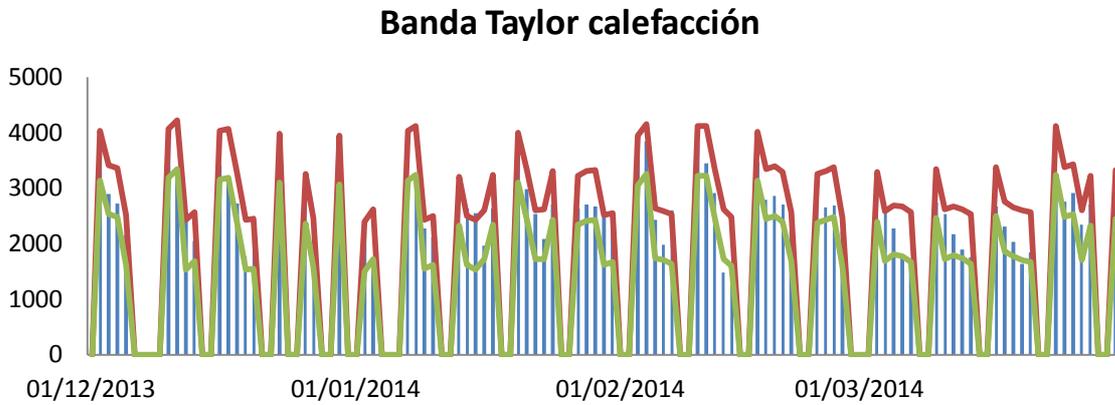


Figura 4-40. Banda 2, opción 1. Calefacción, Estudio 2

Esta banda cierra todos los puntos, hasta aquellos que considerábamos que estaba fuera de nuestra estimación.

#### 4.1.3.3 Mínimo Clima

Vamos a llevar a cabo la misma tarea que en el punto anterior.

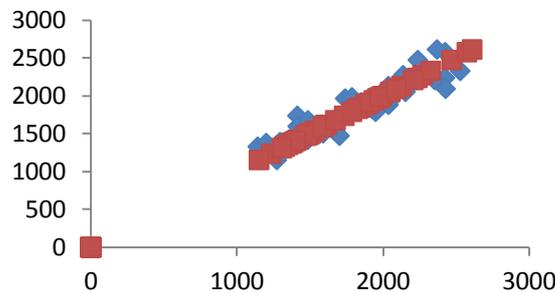


Figura 4-41. Estimación Vs Consumo, Mínimo Clima. Estudio 3

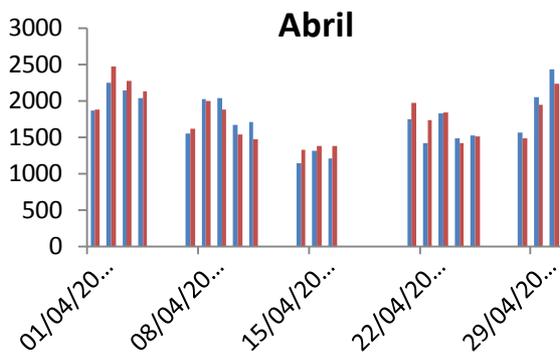


Figura 4-43. Abril, Estudio 3

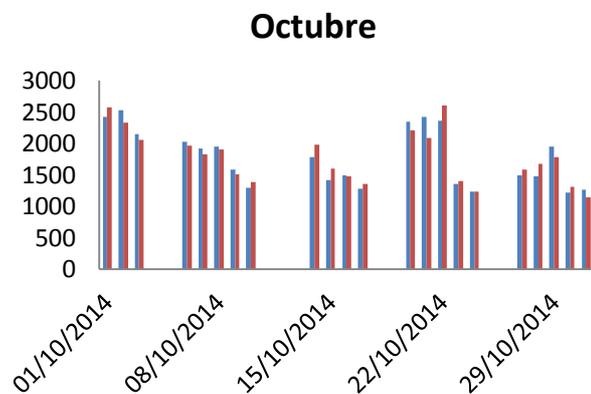


Figura 4-42. Octubre, Estudio 3

En el mes de abril prácticamente, como ocurría también en el Estudio 2, todos los días las estimaciones cuadra con el consumo real, era de esperar. Lo mismo ocurre con octubre, que además con este nuevo modelo, hemos podido llegar a obtener aquellos datos puntuales que antes se nos iban. En ambos meses al observarse una distribución muy uniforme, no realizamos un análisis específico de semanas en concretos.

Volvemos a incorporar la banda de Taylor, con la misma metodología que la propuesta en el caso anterior de calefacción, para que no permitan verificar los buenos resultados que hemos destacado a primera vista.

$$x_1 = 42$$

$$x_2 = 11,12$$

$$x_3 = 364,54$$

$$\Delta C = 42 * \Delta T_{ext} + 11,12 * \Delta R_{ad} + 364,54 * \Delta T_{ipodia} = 409$$

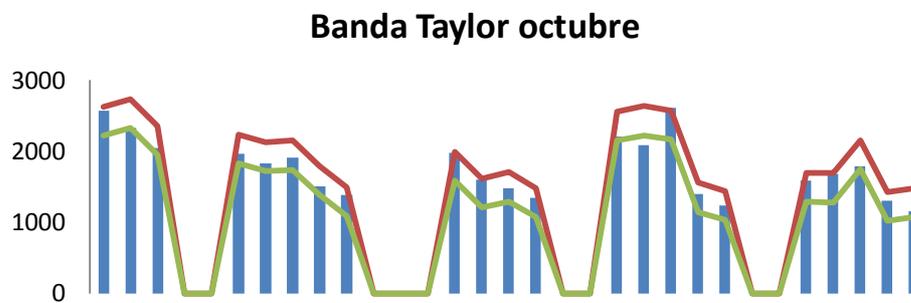


Figura 4-44. Banda 2 opción 1, Mínimo clima. Estudio 3

Los coeficientes obtenidos de nuestra fórmula de consumo usucli son los siguientes:

ESTIMACIÓN		Estimación teniendo en cuenta el día en cuestión y un día antes (Estimación 1)
DÍA	Temperatura ext	-9,88647001
	Radiación	15,9247528
	Tipo de día	368,279507
DÍA ANTES	Consumo	0,06900796
	Temperatura ext	48,9918795
	Radiación	-5,57601101
	Tipo de día	-28,8950536

Tabla 8. Coeficientes Mínimo Clima, Estudio 3

### 4.1.3.4 Refrigeración

Ahora pasamos a la estación de refrigeración, analizamos los datos con el mismo formato que todos los anteriores.

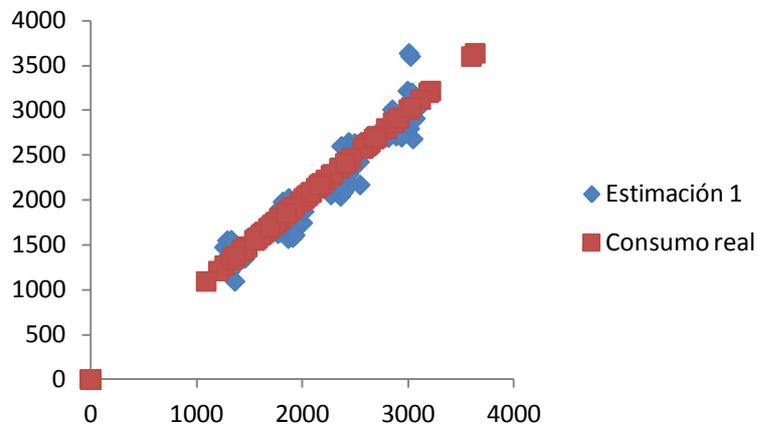


Figura 4-45. Estimación Vs Consumo Refrigeración. Estudio 3

Procedemos a observar el comportamiento ante el consumo diario de los meses elegidos de la estación.

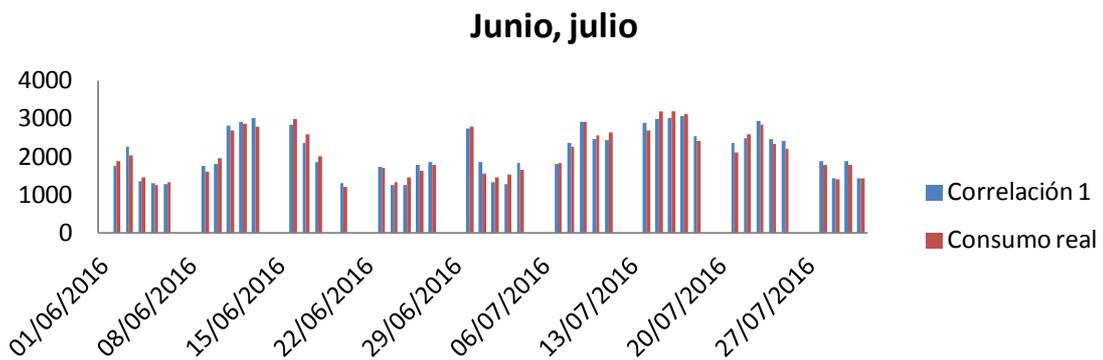


Figura 4-46. Representación Junio, julio. Estudio 3

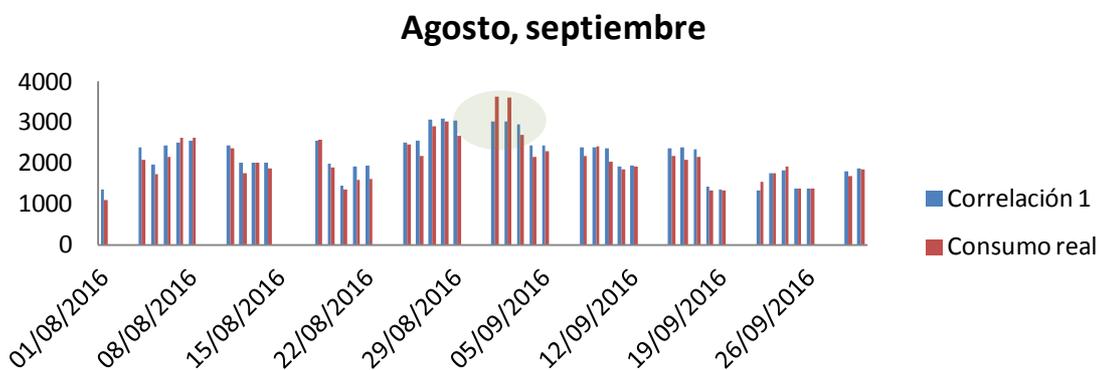


Figura 4-47. Representación Agosto, septiembre. Estudio 3

En esta estación, como también ocurría en el Estudio 2, el modelo responde perfectamente a los cambios, solo es necesario destacar datos puntuales de dos días del mes de septiembre, que coincide con el cambio entre el mes de agosto de menor operación con el inicio de septiembre, donde vuelve la rutina normal.

Procedemos a presentar los coeficientes obtenidos:

		ESTIMACIÓN	Estimación teniendo en cuenta el día en cuestión y un día antes (Estimación 1)
		COEFICIENTES	DÍA
Radiación	-14,4357283		
Tipo de día	457,463294		
DÍA ANTES	Consumo		-0,03153555
	Temperatura ext		19,0507052
	Radiación		-0,01631272
		Tipo de día	33,6810166

Tabla 9. Coeficientes Refrigeración, Estudio 3

En este caso incorporamos las bandas de error también con el desarrollo de Taylor, pero con la opción 2, explicada en apartados anteriores, donde los errores de medida que se incorporan en el polinomio, no son constantes para todo el año, sino que incorporamos uno distinto por estación, y en función de nuestros datos, no definidos previamente.

$$\Delta C = x_1 * \Delta T_{ext} + x_2 * \Delta Rad + x_3 * \Delta Tipodia$$

$$x_n = \frac{a_0 + a_1 + \dots}{1 - d_1}$$

Donde:

$x_n$  :se corresponde a la relación entre los diferentes coeficiente obtenidos.

$$\Delta T_{ext} = \frac{T_{ext_{max}} - T_{ext_{min}}}{2} = 5,45$$

$$\Delta Rad = \frac{Rad_{max} - Rad_{min}}{2} = 3,17$$

$$\Delta Tipodia = 2$$

$$x_1 = 44,2, x_2 = -13,98, x_3 = 476,14$$

$$\Delta C = 1148,85$$

### Banda de error Taylor refrigeración

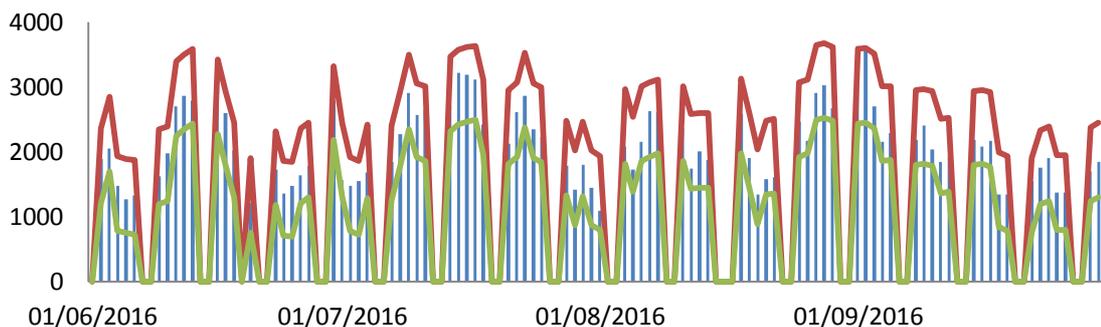


Figura 4-48. Banda 2, opción 2. Refrigeración, Estudio 3

Se corresponde a una banda mucho más amplia, que como vemos, engloba a todos los puntos, incluso aquellos picos.

4.1.3.5 Transición

Este período como ya se especificó anteriormente se corresponderá a aquellos meses donde hay una transformación de un mes de menor clima a algunas de las estaciones fuertes de climatización, lo cual puede llegar a dificultar la estimación.

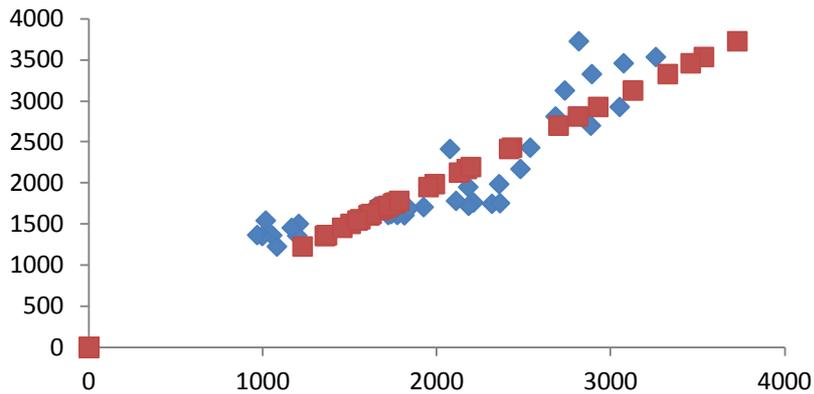


Figura 4-49. Estimación Vs Consumo Transición. Estudio 3

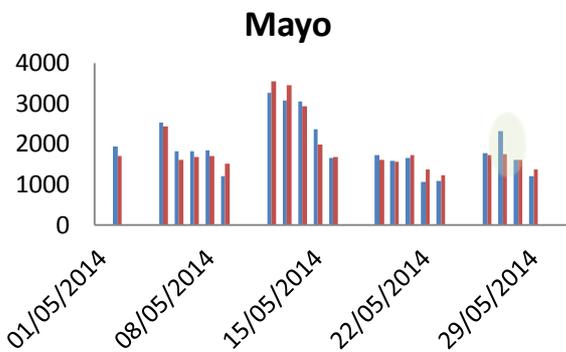


Figura 4-51. Mayo, Estudio 3

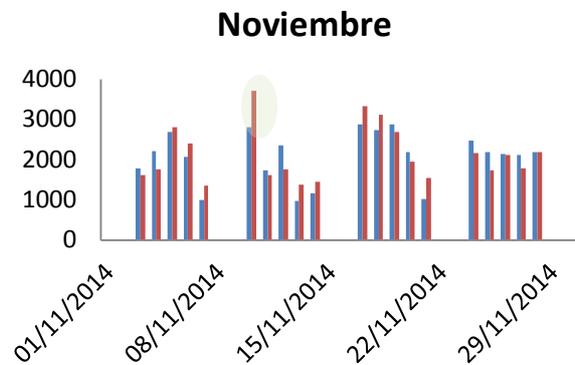


Figura 4-50. Noviembre, Estudio 3

En este período a excepción de algunos puntos, nuestro modelo queda bastante bien definido.

Los coeficientes que determinan esta evolución son los siguientes:

COEFICIENTES		ESTIMACIÓN	Estimación teniendo en cuenta el día en cuestión y un día antes ( <i>Estimación 1</i> )
		DÍA	<i>Temperatura ext</i> <i>Radiación</i> <i>Tipo de día</i>
DÍA ANTES	<i>Consumo</i> <i>Temperatura ext</i> <i>Radiación</i> <i>Tipo de día</i>	0,10046656 -17,0231812 -44,6624863 -118,119816	

En este punto proponemos una comparativa de las dos opciones de bandas de error albergadas dentro de la llamada Banda 2, con las desviaciones constantes anualmente, a excepción de la radiación que varía por el parámetro de las horas, pero levemente, y desviaciones típicas de cada estación. Los valores en régimen permanente en ambos casos son los mismos, debido a que solo depende de los coeficientes obtenidos en la estimación.

$$x_1 = 36,21, \quad x_2 = -14,29, \quad x_3 = 575,32$$

- *Opción 1*: Errores de las medidas se consideran constante.

$$\begin{aligned} \Delta T_{ext} &= 1 \\ \Delta Rad &= 0,225 \\ \Delta T_{ipodia} &= 1 \\ \Delta C &= x_1 * \Delta T_{ext} + x_2 * \Delta Rad + x_3 * \Delta T_{ipodia} = 608,31 \end{aligned}$$

**Banda Taylor opc 1 mayo**

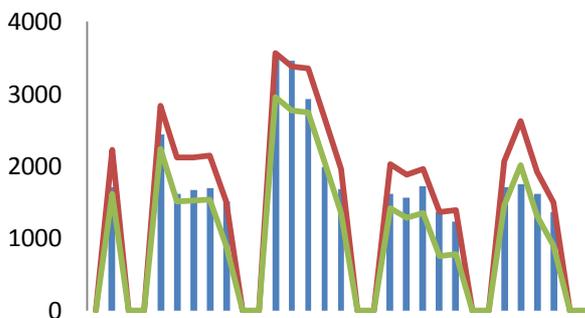


Figura 4-52. Banda 2 opción 1. Mayo, estudio 3

**Banda Taylor opc 1 noviembre**

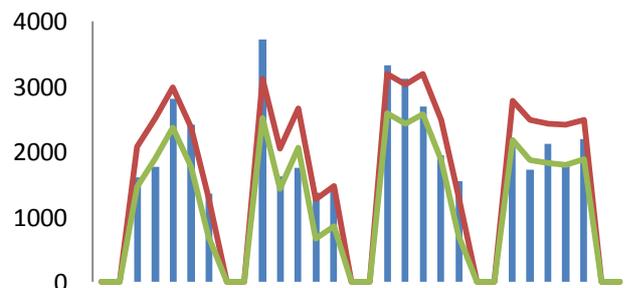


Figura 4-53. Banda 2 opc 1. Noviembre, estudio 3

Solo se queda un punto de noviembre por encima de la banda, vamos a ver si este lo mejoramos con la opción 2.

Opción 2:

$$\Delta Text = \frac{Text_{max} - Text_{min}}{2} = 7,217$$

$$\Delta Rad = \frac{Rad_{max} - Rad_{min}}{2} = 3,697$$

$$\Delta Tipodia = 2$$

$$\Delta C = x_1 * \Delta Text + x_2 * \Delta Rad + x_3 * \Delta Tipodia = 1359,14$$

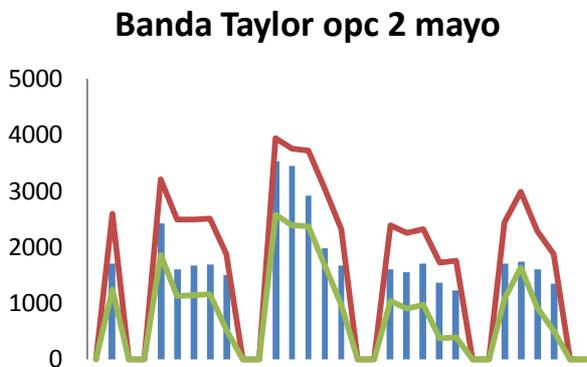


Figura 4-55. Banda 2 opción 2, mayo. Estudio 3

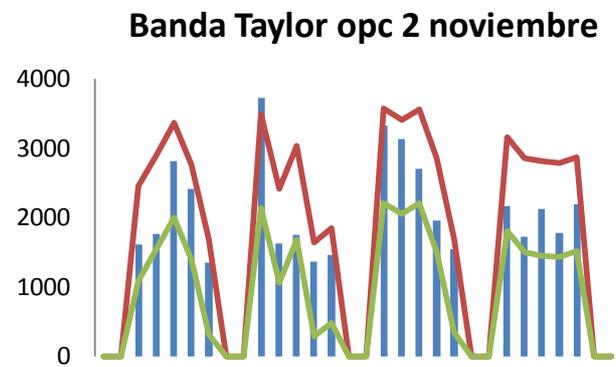


Figura 4-54. Banda 2 opción 2, noviembre. Estudio 3

Observamos entre ambas gráficas como la banda se amplifica en esta última, pero aún así no contiene el consumo del día 10 de noviembre, podríamos cuestionarnos la validez de ese dato.

#### 4.1.3.6 Resumen y conclusiones

Una vez que tenemos definido todo nuestro modelo para el año base, nos queda para cerrar este estudio ver resultados globales, así como el análisis de ambas propuestas que hemos realizado entre los Estudios 2 y 3, respectivamente, quedarnos con la opción que no solo nos proporcione un error menor sino que también no ayude a tener una evolución libre de puntos aislados.

Estación	Consumo usucli (kW)	Estimación 1(kW)	Error1 (%)
<b>Calefacción</b>	204544	208052	1,71
<b>Mínimo Clima</b>	74488	73997	0,6

<b>Refrigeración</b>	179396	183784	2,44
<b>Transición</b>	80672	80103	0,7
<b>TOTAL</b>	<b>539100</b>	<b>545936</b>	<b>1,3</b>

Tabla 10. Resumen Estudio3

A la vista de los resultados, hemos obtenido una estimación más que satisfactoria, pero con un error más elevado que en el estudio anterior. Como también comentamos anteriormente, no sólo debemos fijarnos en el error, que es verdad, que en este estudio es superior, sino también en la propia evolución diaria, que vimos que en este estudio se comportaba un poco mejor. Para comprobar finalmente que opción es la más eficiente, propongo llevarnos las dos Líneas Base y aplicarlas en 2015, para ver con cuál se adapta mejor.

## 4.2 AUDIENCIA PROVINCIAL

### 4.2.1 Estudio 4

Comenzamos el estudio del edificio de la Audiencia Provincial, en este primer caso seguimos el algoritmo general planteado, y veremos si podemos seguir cada uno de los pasos o determinará en alguna alternativa concreta.

La información de partida coincide con la del Edificio de la Agencia Andaluza de la Energía, como también comentamos en el apartado 3.2.1, consumos totales y datos meteorológicos.

En primer lugar, es necesario desglosar el consumo total, para ello seguiremos el procedimiento definido anteriormente. Sin embargo, nos encontramos que en esta ocasión el consumo de fin de semana y festivos son muy diferentes entre sí.

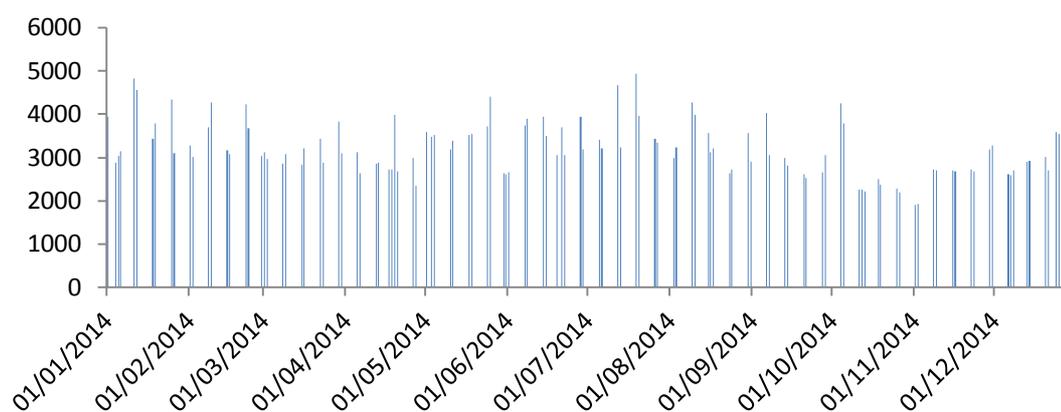


Figura 4-56. Evolución del consumo fin de semana y festivos. Estudio 4

Al encontramos tanta diferencia, albergamos la posibilidad de sacar un consumo de otros por estaciones, como vemos en la Figura 4- 57, tampoco es representativo, se obtenía errores medios que llegaban al 20%.

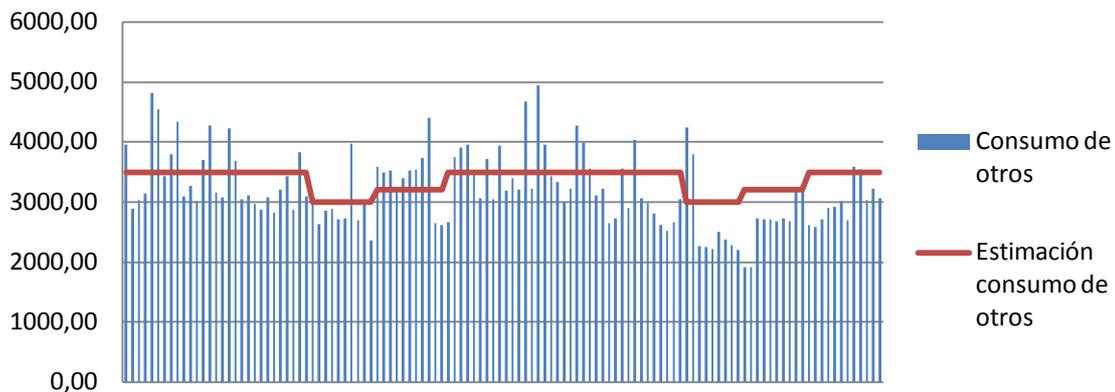


Figura 4-57. Consumo de otros estacionales, Estudio 4

Esta situación nos hace plantearnos la posibilidad de que la operación del propio edificio, de no tener un horario ni una operación fija, nos dificulta el desglose siguiendo el procedimiento general, condición que se incluye ya en el algoritmo descrito anteriormente. Por tanto, abandonamos este camino y buscamos otra alternativa, que nos permita solventar dicha dificultad.

#### 4.2.2 Estudio 5

Partimos de la dificultad de que no podemos determinar un consumo de otros, que nos permita realizar el desglose, ante esto se plantean varias posibilidades:

- ✓ *Determinar un modelo del consumo de otros:* La primera alternativa que barajamos fue la creación de un modelo de este consumo, con otras variables diferentes a las ya propuestas; sin embargo, ¿qué variables se pueden usar? ¿cómo puedes estimar que en un fin de semana haya más o menos actividades en un edificio judicial? Esta alternativa sería la más óptima pero un poco inaccesible.
- ✓ *Aplicar el modelo de Línea Base al consumo total del edificio:* Esta alternativa es verdad que se alejaba de la idea original de Línea Base del consumo de climatización, pero ante edificios de este tipo es la variable más recomendada, es muy difícil desglosar el consumo en un edificio que no tiene una rutina diaria, con un horario fijo y una operación variable.

Por tanto, nuestro estudio lo vamos a continuar con la segunda alternativa, proponemos un Línea Base del consumo total del edificio. Como en el caso del edificio de la AAE, se estimarán las líneas para cada una de las estaciones, con la misma función del Excel, y las mismas variables de entradas, con la única diferencia que incluimos la tipificación de días más compleja. El proceso completo se encuentra en el *Anexo III*

##### 4.2.2.1 Tipificación de días

Al no poder determinar como en el caso del edificio AAE los días de operación o no, planteamos una nueva alternativa, una tipificación más completa, teniendo en cuenta los percentiles del consumo total,

propuesta que también iniciamos en el Estudio 3 de AAE. Distinguimos, por tanto, 4 tipos de días, lo cual nos permite dibujar un mapa de tipificación de días, que nos ayuda a visualizar la operación del edificio.

Estos percentiles se hacen para cada una de las estaciones, teniendo en cuenta que con esta distinción se harán las estimaciones.

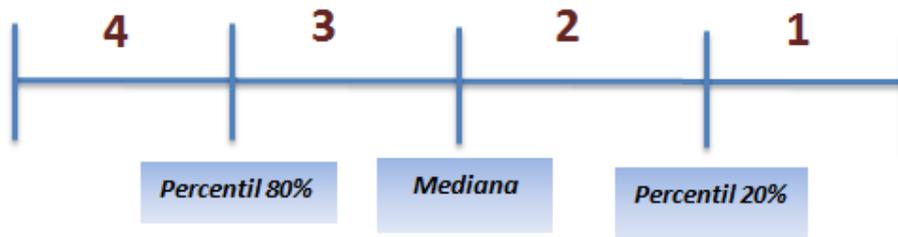


Figura 4-58. Tipificación días, Sede Judicial

		2014											
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
1	2	2	2	4	2	1	3	2	4	3	1	2	
2	3	2	2	4	3	3	3	1	4	4	1	2	
3	2	4	3	4	2	3	3	1	4	4	2	2	
4	2	4	3	4	2	3	3	2	3	2	2	2	
5	2	4	3	2	4	3	1	2	3	2	2	2	
6	2	3	2	1	4	3	1	2	2	3	3	2	
7	4	4	2	3	4	2	3	3	1	3	2	2	
8	4	2	2	3	3	2	4	3	3	3	1	2	
9	4	2	2	4	3	3	4	2	3	3	1	4	
10	3	4	3	3	1	3	4	2	3	3	3	3	
11	2	4	3	4	2	4	4	5	3	1	3	4	
12	2	4	3	2	4	4	2	3	3	1	3	3	
13	4	3	2	2	4	4	1	2	1	1	2	2	
14	4	2	2	3	4	2	4	2	1	2	2	2	
15	3	2	2	3	4	1	4	1	3	2	1	3	
16	3	2	2	3	4	4	4	1	3	2	1	3	
17	3	4	2	1	2	4	4	1	3	2	3	2	
18	2	3	2	1	2	3	4	2	3	1	3	3	
19	2	4	2	2	1	1	2	2	2	1	3	3	
20	4	4	2	1	1	2	2	2	1	3	3	2	
21	4	3	2	3	3	2	4	2	1	3	2	2	
22	4	2	2	4	3	1	4	2	2	3	1	3	
23	4	2	2	4	3	3	4	1	2	2	1	3	
24	3	4	2	4	2	3	3	1	2	2	2	2	
25	2	4	3	3	2	3	3	2	2	1	2	2	
26	2	3	3	2	4	3	1	3	2	1	3	2	
27	3	3	3	1	4	3	1	3	1	2	3	2	
28	4	2	3	3	3	2	3	3	1	2	3	2	
29	4	2	2	4	3	1	2	3	2	2	1	3	
30	3	2	2	4	1	3	2	1	2	2	2	3	
31	3	2	3	3	1	2	2	1	2	2	2	2	

Figura 4-59. Mapa tipificación de días, Estudio5

Una vez que ya tenemos la tipificación de días, tenemos todas las variables de entradas a nuestra función que nos permite obtener la estimación, explicado todo el procedimiento en su totalidad en el Anexo III

Vamos a destacar algunas semanas representativas de cada uno de los períodos, así como los coeficientes obtenidos.

4.2.2.2 Calefacción

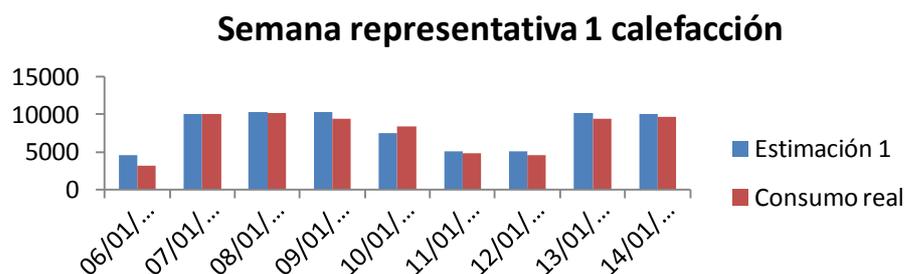


Figura 4-60. Semana representativa 1 calefacción. Estudio 5

En esta semana primera observamos la respuesta del sistema de pasar de días de menor operación a un día habitual de operación, se corresponde con el día 6 de enero que es festivo por ejemplo, a llegar a restablecerse y casi igualar la estimación con el consumo real en los días posteriores.

Sin embargo, también es necesario destacar aquellas semanas donde la estimación se aleja de la realidad, semanas que ha podido ocurrir algo fuera del alcance de las variables que tomamos de entrada, porque en las semanas próximas el sistema ha vuelto a responder con normalidad. Estos eventos nosotros no podemos controlarlos, sería recomendable que fueran conocidos y añadir otra variable donde se puede incorporar la existencia o no de operación especial.

**Semana representativa 2 calefacción**

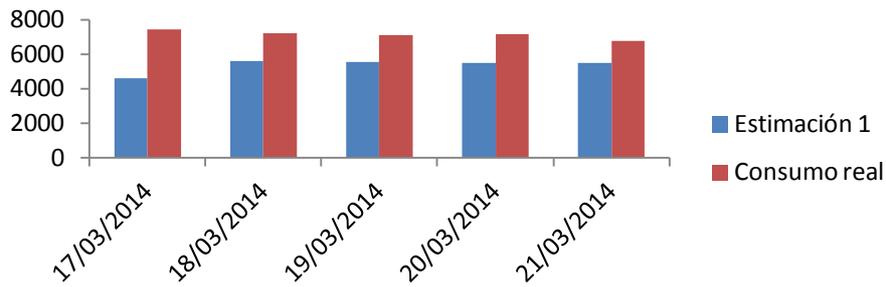


Figura 4-61. Semana representativa 2 calefacción. Estudio 5

Para controlar la existencia de esas semanas en las que la estimación se aleja un poco de la realidad, mostramos algunas bandas de error de este período.

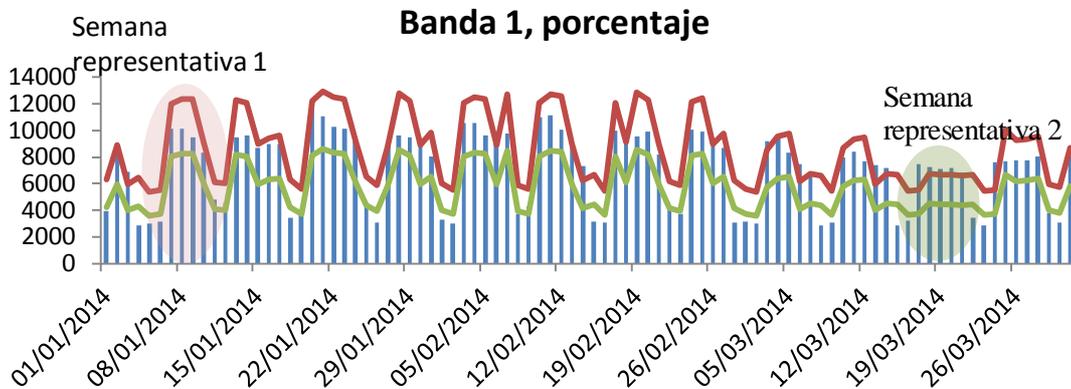


Figura 4-62. Banda 1, porcentaje. Calefacción, estudio 5

**Banda 2, desviaciones constantes**

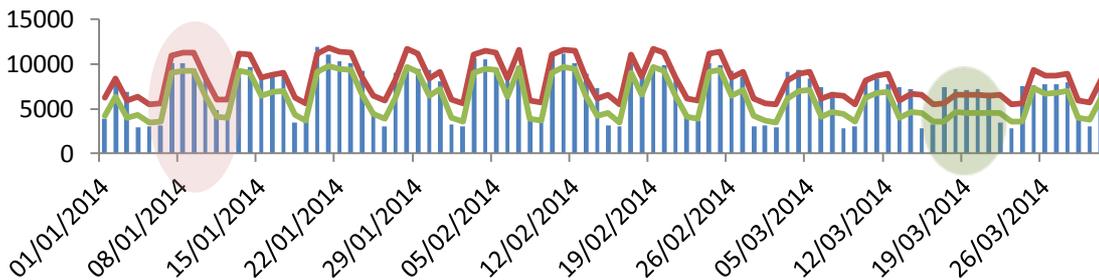


Figura 4-63. Banda 2, opción 1. Calefacción, estudio 5

Podemos observar como de forma general el modelo responde a la evolución del sistema, quizás merece la pena mencionar que ya en el mes de marzo, la estimación se aleja un poco y que en aquellos días de menor operación la estimación siempre está sobredimensionada.

COEFICIENTES		ESTIMACIÓN	Estimación teniendo en cuenta el día en cuestión y un día antes (Estimación 1)
		DÍA	<i>Temperatura ext</i> <i>Radiación</i> <i>Tipo de día</i>
DÍA ANTES	<i>Consumo</i> <i>Temperatura ext</i> <i>Radiación</i> <i>Tipo de día</i>	0,23588566 -11,9976957 52,159873 -671,690941	

Tabla 11. Coeficientes calefacción. Estudio 5

#### 4.2.2.3 Mínimo Clima

En esta estación el sistema responde correctamente a todos los cambios dentro de la operación del edificio, no cabe destacar ninguna semana para un análisis más concreto.

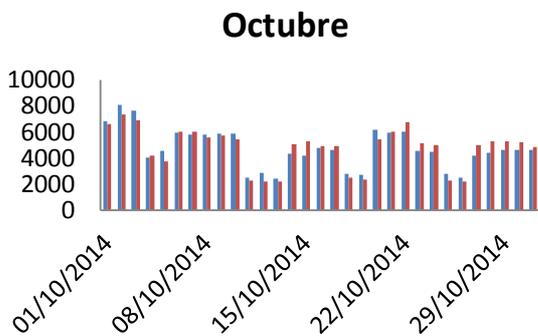


Figura 4-65. Octubre. Estudio 5

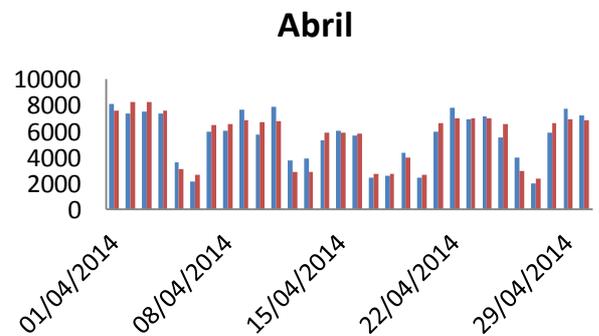


Figura 4-64. Abril. Estudio 5



Figura 4-67. Banda 1 Octubre. Estudio 5



Figura 4-66. Banda 1 Abril, Estudio 5

Como ya nos aventurábamos, la gran mayoría de datos se encuentra en la banda de error propuesta.

COEFICIENTES		ESTIMACIÓN	Estimación teniendo en cuenta el día en cuestión y un día antes (Estimación 1)
		DÍA	Temperatura ext
	Radiación	69,952257	
	Tipo de día	1700,92777	
DÍA ANTES	Consumo	0,29866455	
	Temperatura ext	62,4873566	
	Radiación	-115,661846	
	Tipo de día	-599,914409	

Tabla 12. Coeficientes Mínimo Clima. Estudio 5

#### 4.2.2.4 Refrigeración

Ahora procedemos a analizar una estación donde se produce un consumo considerable de energía. La respuesta es muy buena, a excepción de algunos picos, el sistema es capaz de reponerse a períodos de menor consumo, como el mes de agosto, frente al resto de la temporada. En el Anexo III podemos observar cada una de las estimaciones realizadas, así como las bandas de error, aquí vamos a presentar varias de ellas, basadas en el desarrollo de Taylor, Banda 2.

$$x_1 = 58,1 \quad x_2 = -63,04 \quad x_3 = 2096,72$$

- Opción 1:

$$\begin{aligned} \Delta T_{ext} &= 1 \\ \Delta R_{ad} &= 0,25 \\ \Delta T_{ipodia} &= 1 \end{aligned}$$

$$\Delta C = x_1 * \Delta T_{ext} + x_2 * \Delta R_{ad} + x_3 * \Delta T_{ipodia} = 2139,06$$

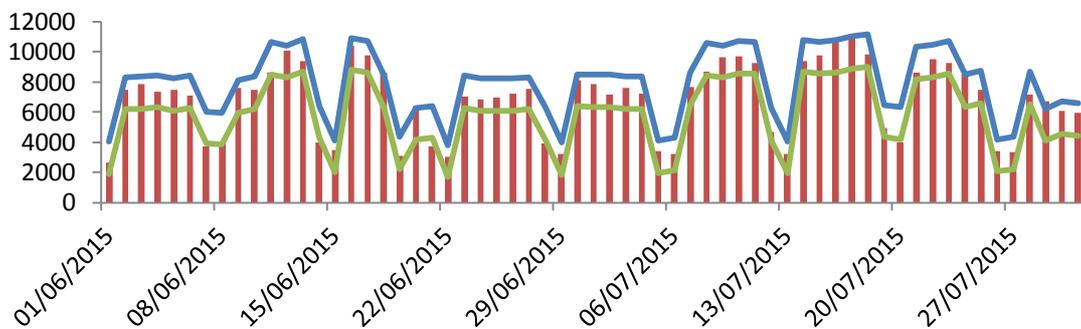


Figura 4-68. Banda 2, opción 1. Junio, julio. Estudio 5

Opción 2:

$$\Delta Text = \frac{Text_{max} - Text_{min}}{2} = 5,449$$

$$\Delta Rad = \frac{Rad_{max} - Rad_{min}}{2} = 3,168$$

$$\Delta Tipodia = 2$$

$$\Delta C = x_1 * \Delta Text + x_2 * \Delta Rad + x_3 * \Delta Tipodia = 4310,32$$

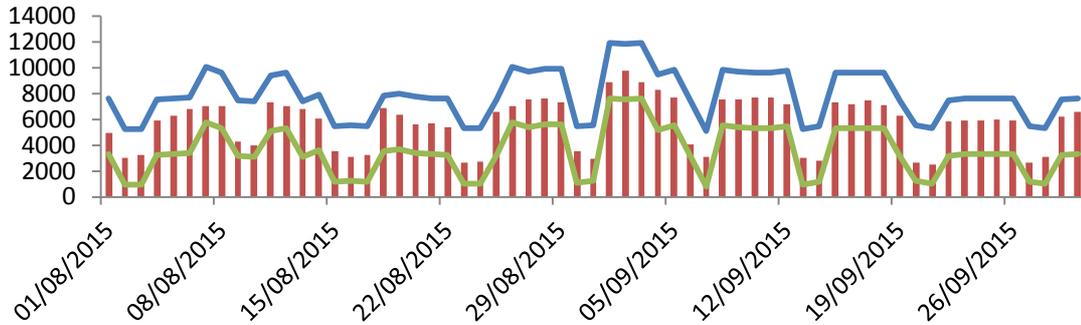


Figura 4-69. Banda 2 opción2. Agosto, septiembre. Estudio 5

		ESTIMACIÓN	Estimación teniendo en cuenta el día en cuestión y un día antes (Estimación 1)
COEFICIENTES	DÍA	Temperatura ext	-3,97383118
		Radiación	10,562112
		Tipo de día	2161,23798
	DÍA ANTES	Consumo	0,20532019
		Temperatura ext	50,1670581
		Radiación	-60,6770018
		Tipo de día	-494,341953

Tabla 13. Coeficientes Refrigeración. Estudio 5

#### 4.2.2.5 Resumen y conclusions

Una vez que tenemos definido todo nuestro modelo para el año base, nos queda para cerrar este estudio ver resultados globales, así como el análisis de la propuesta que tomamos al principio de este, de realizar la Línea Base para el consumo total del edificio.

<i>Estación</i>	<i>Consumo Total (kW)</i>	<i>Estimación 1(kW)</i>	<i>Error1 (%)</i>
<b>Calefacción</b>	826268	835856	1,16
<b>Mínimo Clima</b>	314900	313634	0,4
<b>Refrigeración</b>	768308	768116	0,025
<b>Transición</b>	326960	326697	0,08
<b>TOTAL</b>	<b>2236796</b>	<b>2244303</b>	<b>0,33</b>

Tabla 14. Resumen Estudio 5

A la vista de los resultados, hemos obtenido una estimación más que satisfactoria, donde podemos comprobar algunas de las hipótesis propuestas a lo largo del proceso:

- ❖ La clasificación de estaciones cumple lo esperado, con dos con un peso importante en el consumo, calefacción y refrigeración, mínimo clima es la de menor consumo seguido de transición.
- ❖ La tipificación de días propuesta para este estudio es correcta, nos permite determinar cambios considerables en el consumo, así como una caracterización más compleja de días, solo se escapa a la estimación aquellos picos no predecibles.
- ❖ Como hemos podido comprobar por ahora la Línea Base de un consumo total puede tener su fruto.

Con todo esto, ya tenemos cerrado nuestro estudio y, por tanto, la Línea Base para nuestro edificio de la Audiencia Provincial.

## 4.3 JUZGADOS

### 4.3.1 Estudio 6

Comenzamos el estudio del edificio del Juzgado, en este primero, como en el caso de la Audiencia Provincial, seguimos el algoritmo general planteado, y veremos si podemos seguir cada uno de los pasos o determinará en alguna alternativa concreta.

Nos volvemos a encontrar el mismo caso que la Audiencia, el consumo de otros es muy distinto entre los diferentes días, lo cual nos dificulta el desglose. En parte es lo esperado, si recurrimos a la información del propio edificio de partida, el horario ya nos dice que allí todos los días puede existir operación.

Ante esta situación, albergamos la misma posibilidad que en el edificio de la Audiencia Provincial y volvemos a centrar nuestro estudio en el consumo total, para lo cual haremos la misma tipificación que en el Estudio 4, todo el proceso detallado se encuentra en el *Anexo IV*

Una vez que tenemos definido todo nuestro modelo para el año base, nos queda para cerrar este estudios ver resultado globales, que nos permitan tomar decisiones sobre la veracidad de la línea obtenida.

<i>Estación</i>	<i>Consumo Total (kW)</i>	<i>Estimación 1(kW)</i>	<i>Error1 (%)</i>
<b>Calefacción</b>	960256	959432	0,09
<b>Mínimo Clima</b>	415424	444308	6,9
<b>Refrigeración</b>	1030876	1028406	0,24
<b>Transición</b>	418352	417084	0,3
<b>TOTAL</b>	<b>2824908</b>	<b>2849230</b>	<b>0,86</b>

*Tabla 15. Resumen Estudio 6*

A la vista de los resultados, hemos obtenido una estimación más que satisfactoria, es necesario destacar el error en la estación Mínimo Clima, ya apreciamos durante el análisis de esta estación que en aquellos valores de consumo pequeño se alejaban ambas curvas, puede deberse a estos casos el error que obtenemos. De todas formas, si analizamos el año completo, obtenemos un error global muy pequeño, lo cual nos permite seguir manteniendo esta Línea Base. Podemos comprobar algunas de las hipótesis propuestas a lo largo del proceso:

- ❖ La clasificación de estaciones cumple lo esperado, con dos con un peso importante en el consumo, calefacción y refrigeración, mínimo clima es la de menor consumo seguido de transición.
- ❖ La tipificación de días propuesta para este estudio es correcta, nos permite determinar cambios considerables en el consumo, así como una caracterización más compleja de días, solo se escapa a la estimación aquellos picos no predecibles.

Con todo esto, ya tenemos cerrado nuestro estudio y, por tanto, la Línea Base para nuestro edificio del Juzgado.



# 5 APLICACIÓN DE LAS LÍNEAS BASE OBTENIDAS

En este apartado tenemos como objetivo aplicar a 2015 las Líneas Base obtenidas para los tres edificios utilizando como año base el 2014. En primer lugar, para los tres casos debemos tener en cuenta que las hipótesis tomadas en el año de referencia se deben seguir cumpliendo en el año de aplicación.

Una vez todo comprobado, podemos aplicarlas y presentar, por tanto, los resultados obtenidos.

## 5.1 AGENCIA ANDALUZA DE LA ENERGÍA

Como ya hemos comentado, es importante que las hipótesis que hemos considerado para la obtención de las Líneas Base se sigan cumpliendo ahora. En primer lugar vemos que la distribución de estaciones es similar.

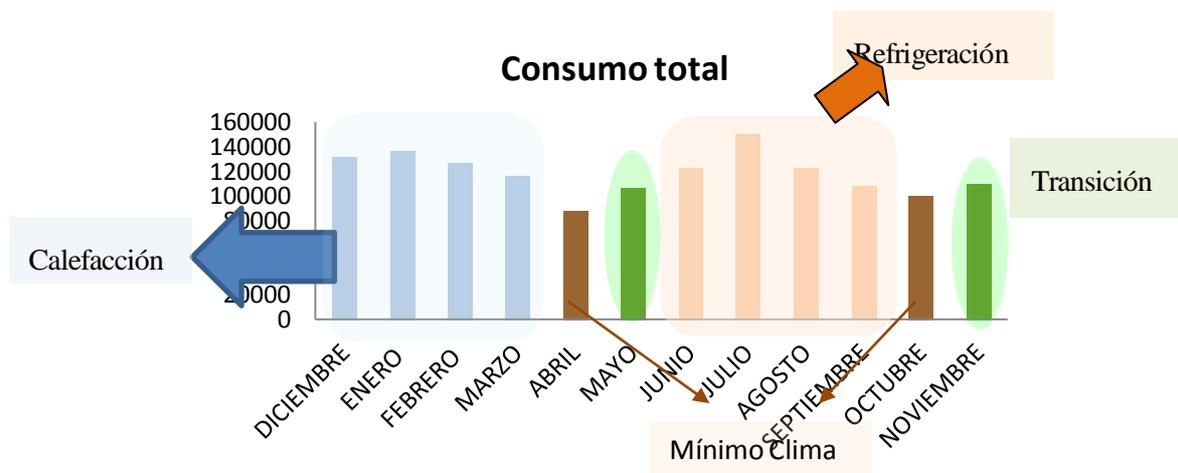


Figura 5-1. Distribución estaciones AAE 2015

Tenemos que tener en cuenta que en este caso la Línea Base está referida al consumo de usucli, definido como la suma del consumo de iluminación y usuario, junto con el de climatización, al cual llegamos como el consumo total menos el consumo de otros.

En este caso excepcionalmente, vamos a realizar la Línea Base en 2015 con las dos propuestas planteadas en los Estudios 2 y 3, respectivamente, de manera que su correspondiente aplicación, nos permita determinar cuál es la más conveniente.

### 5.1.1 Referida al Estudio 2

Esta alternativa parte de la idea de que tenemos un consumo de otros constante a lo largo de todo el año, y una tipificación de días simple, solo recogemos dos opciones, 0 si no hay operación y 1 si la hay. Por tanto no es necesario dibujar en esta ocasión el mapa de tipificación de días.

Vamos a realizar un análisis global de los resultados obtenidos, todo el procedimiento detallado se encuentra en el *Anexo V*.

	Consumo real (kW)	Consumo estimado (kW)	Error (%)
<b>Calefacción</b>	511220	479882	6,13
<b>Mínimo Clima</b>	187564	209993	11,96
<b>Refrigeración</b>	504052	508064	0,8
<b>Transición</b>	216288	218052	0,8
<b>TOTAL</b>	<b>1419124</b>	<b>1415991</b>	<b>0,22</b>

Tabla 16. Resumen Aplicación Línea Base, Estudio 2

Una vez que tenemos dichos valores, vamos a centrarnos en aquellas estaciones donde el error obtenido ha sido mayor.

- En primer lugar, observamos la estación de calefacción, en este primer período se observa una mayor diferencia que se reduce totalmente cuando llega el mes de marzo.

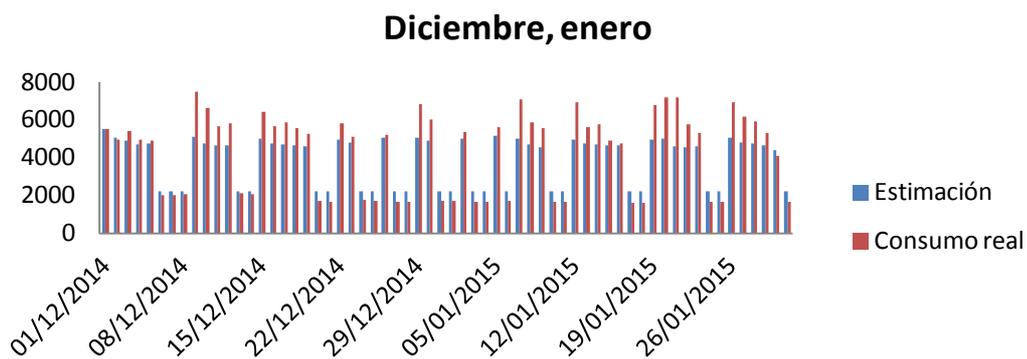


Figura 5-2. Aplicación LB Diciembre, enero. Estudio 2

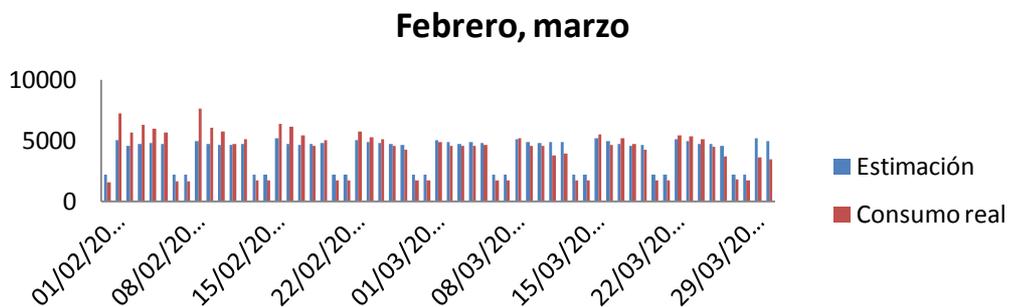


Figura 5-3. Aplicación LB Febrero, marzo. Estudio 2

Aplicamos las bandas de error definidas previamente en las estimaciones respectivas, de manera que nos ayuden al análisis más detallado, donde observamos justamente lo que acabamos de decir.

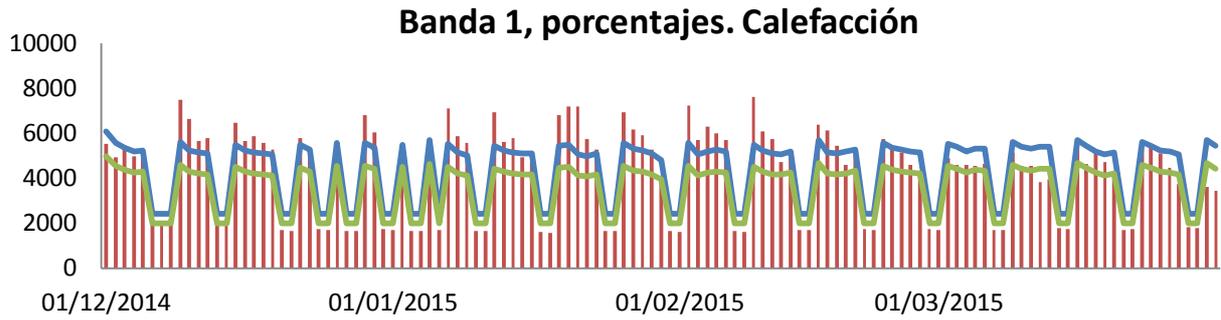


Figura 5-4. Banda 1. Calefacción aplicación LB. Estudio 2

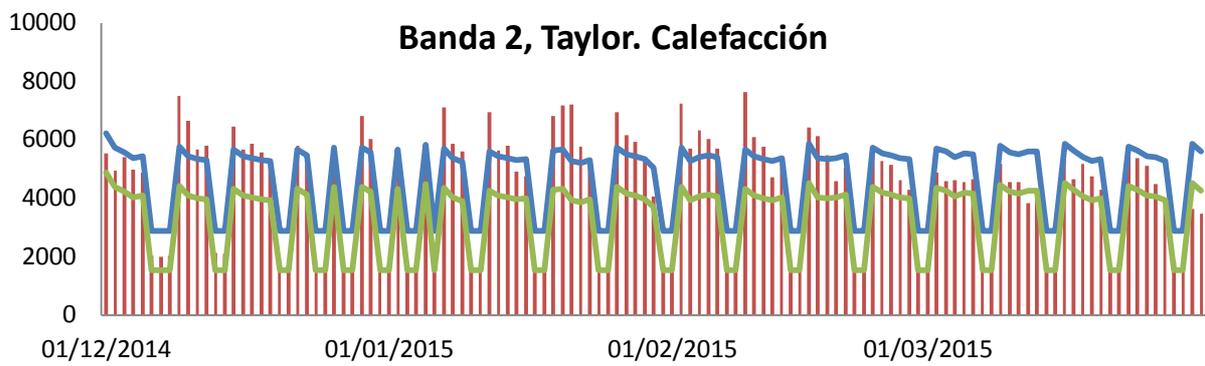


Figura 5-5. Banda 2. Calefacción aplicación LB. Estudio 2

✚ Pasamos con la siguiente estación, cuyo error es más considerable, Mínimo Clima

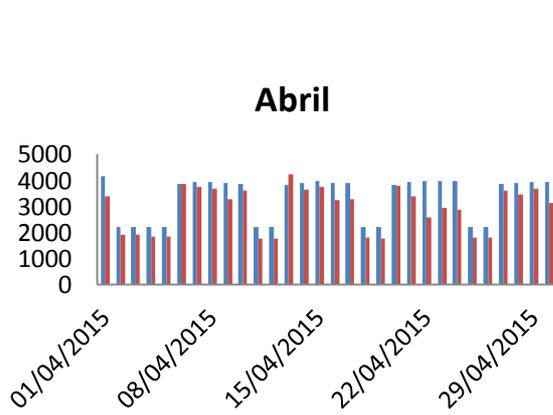


Figura 5-7. Aplicación LB Abril. Estudio 2

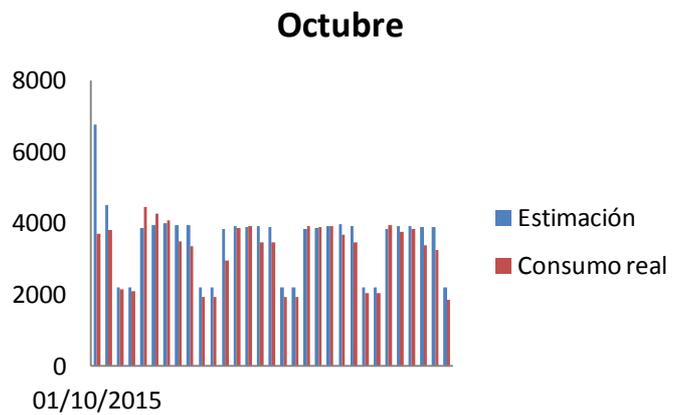


Figura 5-6. Aplicación LB Octubre. Estudio 2

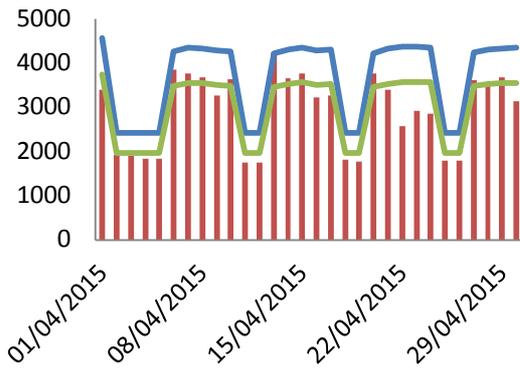


Figura 5-8. Banda Error. Aplicación Estudio 2

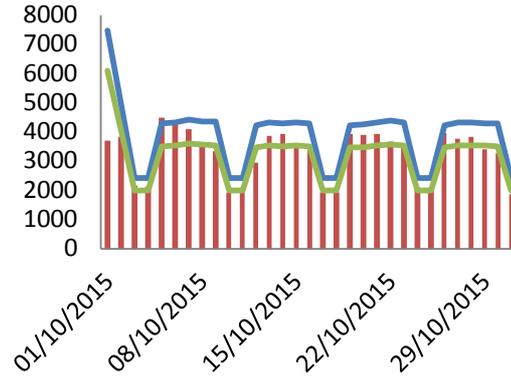


Figura 5-9. Banda Error. Aplicación Octubre E2

Algunos puntos se alejan de la Línea Base propuesta, pero en su mayoría siguen la tendencia.

En el resto de estaciones, el error global que nos sale es muy pequeño, observamos que hay puntos que están fuera de las bandas de error, pero son mínimos.

Observándose incluso períodos, donde la Línea Base se ajusta muy bien a la realidad, como observamos en la *Figura 5-11*.

**Banda 1, desviaciones. Refrigeración**

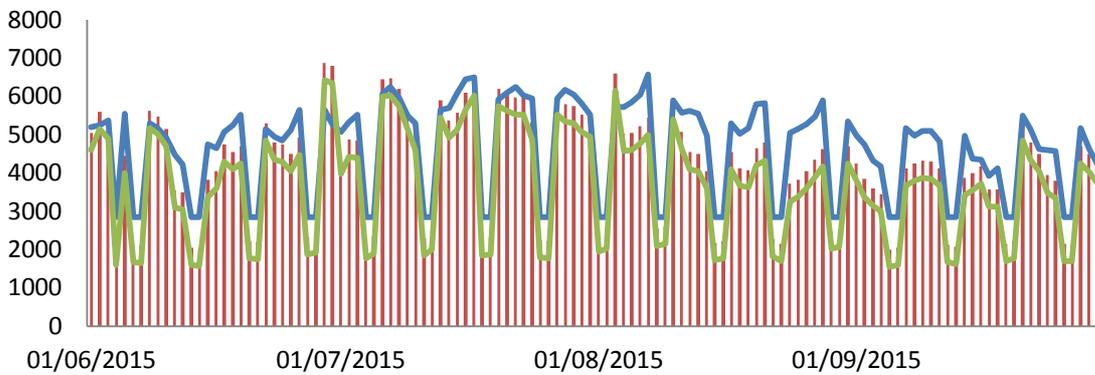


Figura 5-10. Banda 1. Aplicación LB refrigeración. Estudio 2

**Período refrigeración**

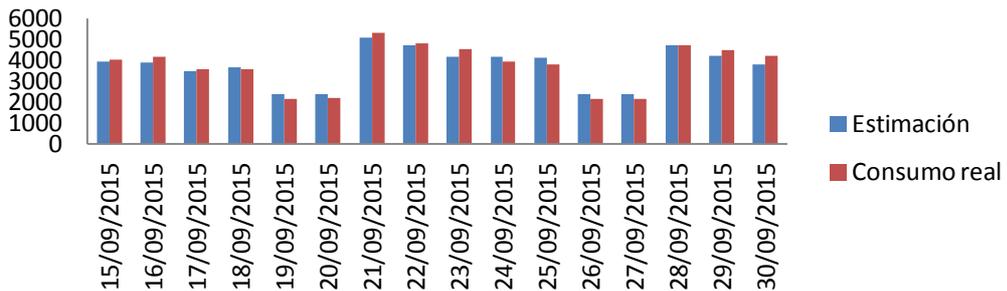


Figura 5-11. Período Aplicación LB, refrigeración. Estudio 2

### 5.1.2 Referida al Estudio 3

En esta ocasión, tenemos un consumo de otros característico de cada estación y una tipificación de días más compleja, en función de los percentiles de los consumos, como ya hemos visto previamente.

Partimos como datos conocidos, las variables meteorológicas, temperatura exterior y radiación, los consumos del día de antes, y el tipo de día.

Al tener una estimación que es capaz de mirar un día atrás, el primer valor debe ser conocido, para poder arrancar desde ahí la Línea Base. La tipificación de días, la podemos obtener del consumo total y por medio de los percentiles, es decir que debe ser una variable conocida previamente, que nos permita dibujar un mapa, de esta forma:

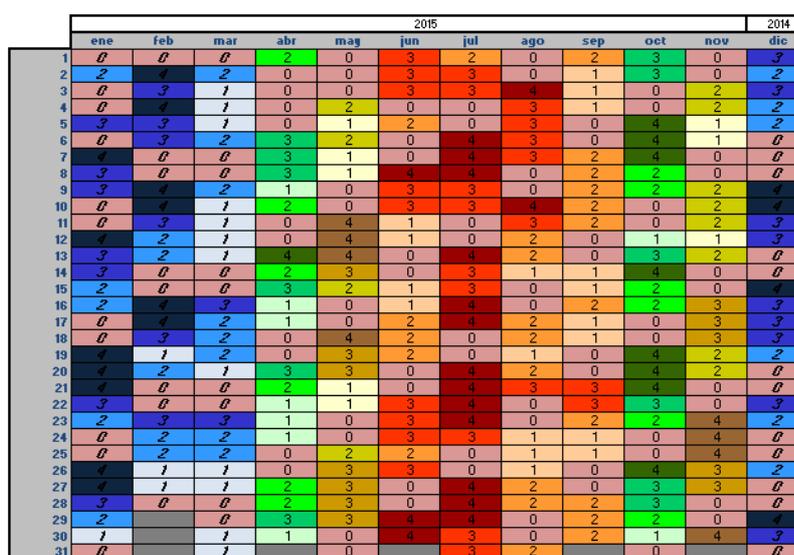


Figura 5-12. Tipificación días AAE 2015

Con este mapa, junto con las variables meteorológica, podemos llegar a dibujar la línea base, que nos permiten obtener los siguientes resultados.

	Consumo real (kW)	Consumo estimado (kW)	Error (%)
<b>Calefacción</b>	511220	466935	8,66
<b>Mínimo Clima</b>	187564	206714	10,2
<b>Refrigeración</b>	504052	483556	4,07
<b>Transición</b>	216288	214911	0,64
<b>TOTAL</b>	<b>1419124</b>	<b>1372116</b>	<b>3,3</b>

Tabla 17. Resumen Aplicación LB Estudio 3

Analizamos de nuevo, aquellas estaciones con mayor error obtenido, de manera que nos ayuden a tomar la decisión de con cual alternativa nos quedamos, la referida al Estudio 2 ó 3.

- ✓ El error obtenido en esta estación, quizás se deba al propio clima de la ciudad de Sevilla, es difícil meter en una variable el uso o no de la calefacción, también explicaría este mismo error en la alternativa de antes.

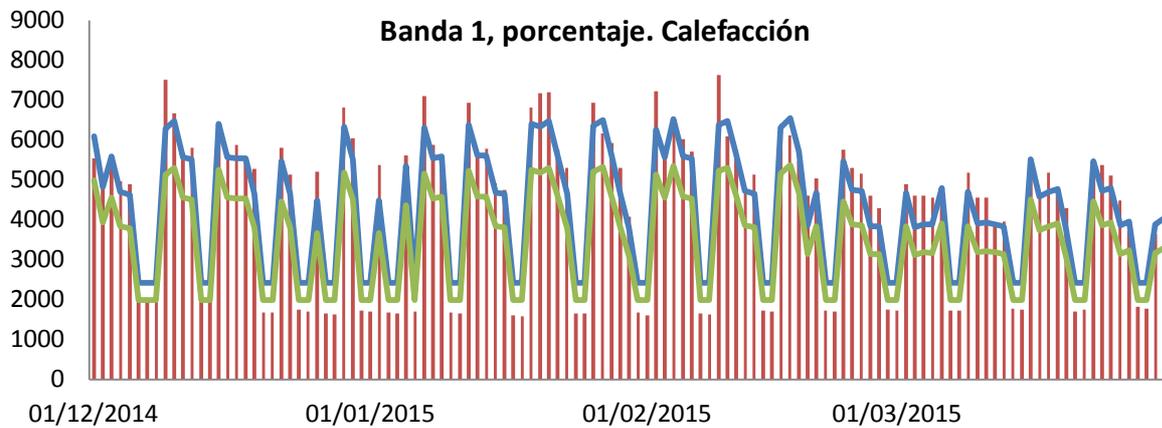


Figura 5-13. Banda 1. Aplicación LB Calefacción. Estudio 3

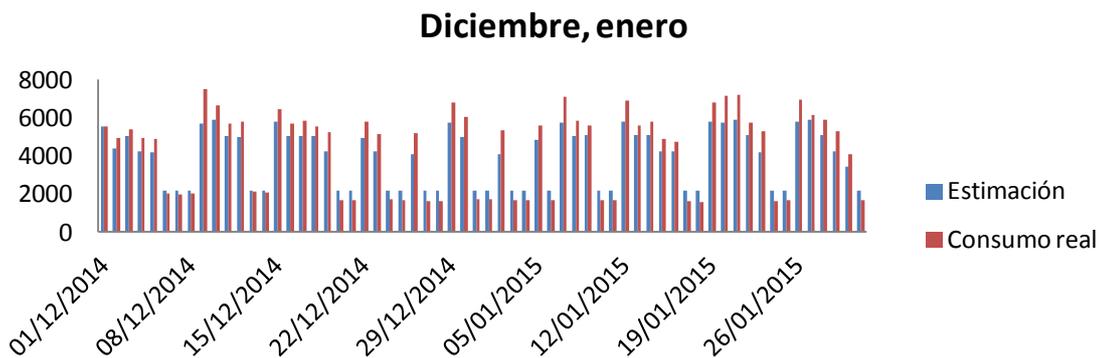


Figura 5-14. Aplicación LB Diciembre, enero. Estudio 3

Donde podemos observar que en esta estación por completo sigue la tendencia, pero siempre está por debajo del consumo real, hay alguna variable que debemos incorporar que nos muestre si existe un cambio importante en la operación del edificio de un año a otro.

- ✓ A continuación seguimos con la estación de Mínimo Clima, donde observamos una buena aproximación.

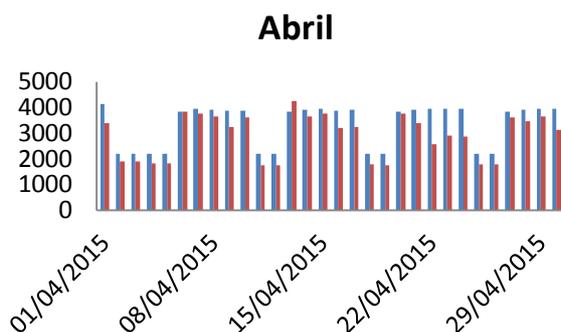


Figura 5-16. Aplicación LB Abril. Estudio 3

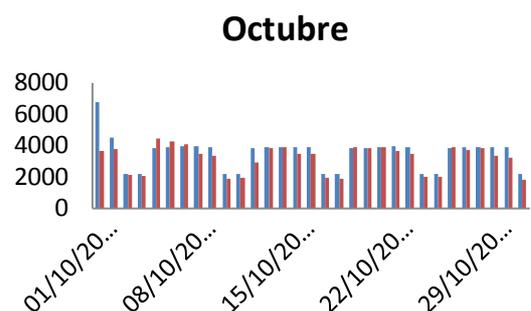


Figura 5-15. Aplicación LB Octubre. Estudio 3

- ✓ Por último, en las dos estaciones de menor error global obtenido, observamos en ambas una clara diferencia entre dos etapas.

En refrigeración, de los 4 meses, tres de ellos la Línea Base se corresponde con una muy buena aproximación; sin embargo, el mes de julio se aleja de lo esperado, algo pudo cambiar en la operación del edificio, puede que influya que sea un mes típico de vacaciones.

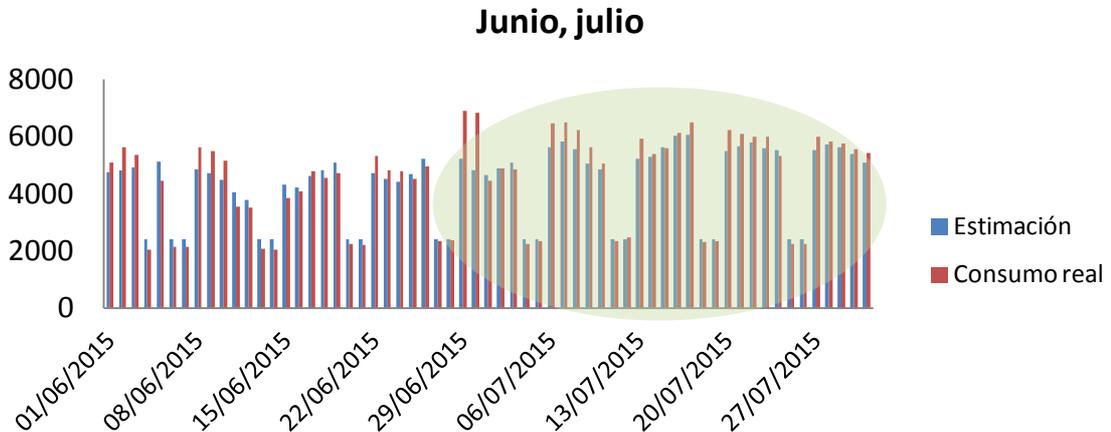


Figura 5-17. Aplicación LB Junio, julio. Estudio 3

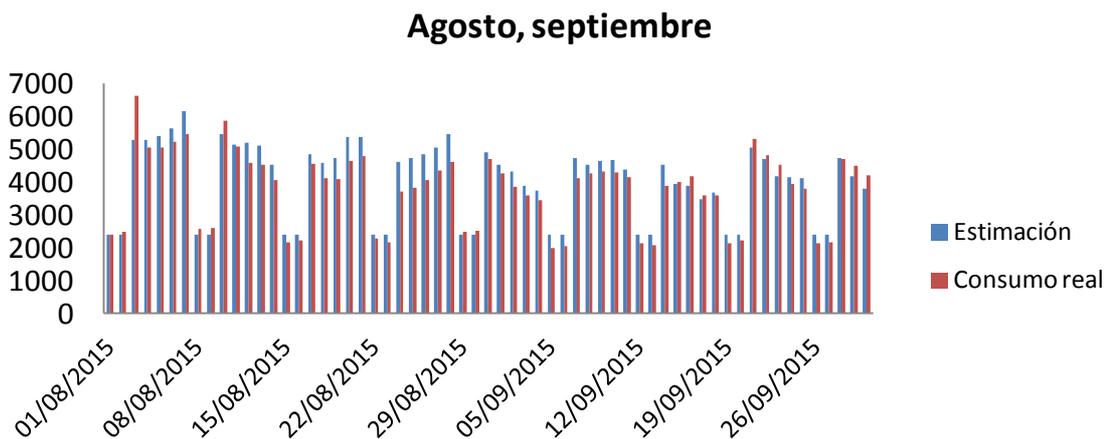


Figura 5-18. Aplicación LB Agosto, septiembre. Estudio 3

Algo similar ocurre en la estación de transición, como podemos observar en el mes de noviembre. Prácticamente llega a los valores reales, a excepción de finales de noviembre, donde esa diferencia se pueda deber a que es un período que se puede incorporar a la estación de calefacción.

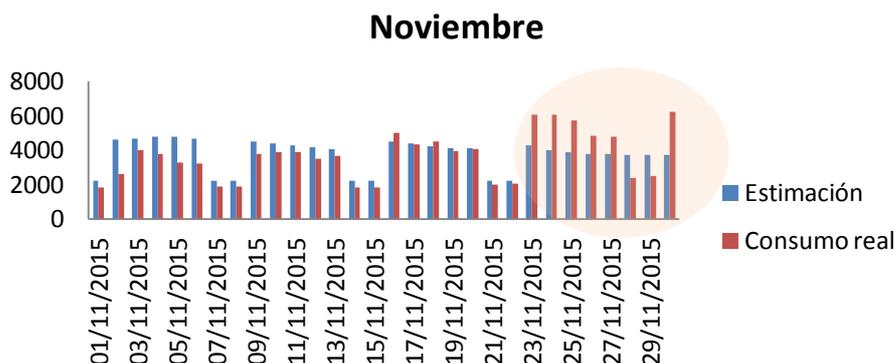


Figura 5-19. Aplicación LB Noviembre. Estudio 3

### 5.1.3 Resultados y conclusiones

A la vista de los errores globales obtenidos, observamos que el Estudio 3 es más exacto que el 4, no solo nos vamos a guiar por esos resultados. Vamos a analizar aquellas cuestiones que eran de destacar en la evolución de la Línea Base, a ver con cual opción podríamos solucionar dichos contratiempos.

- En primer lugar, destacamos los meses de calefacción desde diciembre hasta febrero, ambos incluidos, donde el consumo real era superior al estimado, excepto en los días de menos operación que ocurría al contrario.

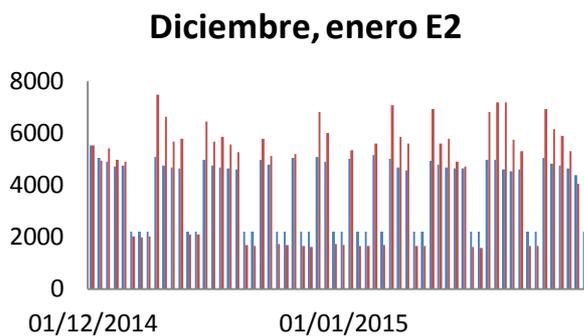


Figura 5-20. Aplicación calefacción LB E2

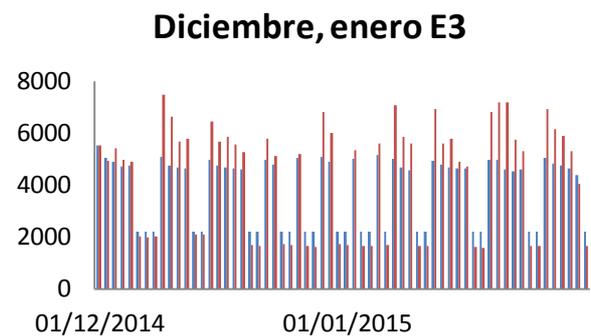


Figura 5-21. Aplicación calefacción LB E3

Ambos tiene la misma tendencia, esa opción no nos ayuda a decantarnos por una alternativa u otra.

- Pasamos al mes de Julio, donde el consumo también era superior al estimado.

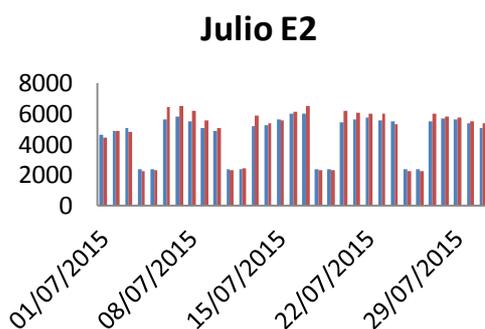


Figura 5-23. Aplicación LB Julio E2

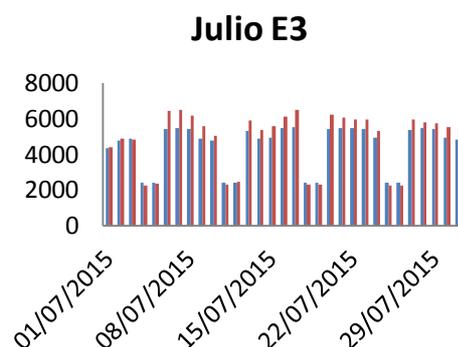


Figura 5-22. Aplicación LB Julio E3

Ocurre lo mismo que en el anterior, ninguna de las dos alternativas muestra una tendencia más exacta. Por tanto, la única diferencia que podemos observar de forma objetiva reside en los errores globales, donde es menor el de la alternativa del Estudio 2.

Como conclusión, podemos definir que en aquellos edificios donde está claro el horario, así como una operación muy rutinaria, que se pueden sacar días tipos y estos se repiten semanalmente, la opción de

un consumo de otros constante a lo largo de todo el año y una tipificación de días simple, basada únicamente en operación (1) o no operación (0), es la más conveniente, reduciendo así considerablemente el desarrollo de la Línea Base.

## 5.2 AUDIENCIA PROVINCIAL

### 5.2.1 Estudio 5

Al igual que hemos hecho con el edificio de la AAE, debemos comprobar que las hipótesis que hemos tomado en el estudio de partida se cumplan en la aplicación, dicha comprobación y posterior adjudicación de las Líneas Bases en cada una de las estaciones se realizará en el *Anexo VI*.

Los resultados finales obtenidos han sido los siguientes, donde podemos observar que los errores son considerables, comparados con los obtenidos previamente. Además en todas las estaciones, el consumo está sobredimensionado, volvemos a cuestionarnos si hay algo que haya cambiado en la operación del edificio de un año a otro, al repetirse esa tendencia en todas las estaciones, con la única diferencia de los días de menor operación, donde se invierte.

	Consumo real (kW)	Consumo estimado (kW)	Error (%)
<b>Calefacción</b>	543836	583846	7,36
<b>Mínimo Clima</b>	255608	310053	21,3
<b>Refrigeración</b>	732208	786807	7,46
<b>Transición</b>	287056	323555	12,75
<b>TOTAL</b>	<b>1818708</b>	<b>2004261</b>	<b>10,2</b>

Tabla 18. Resumen aplicación LB Audiencia Provincial

Nos falta por comprobar que al menos las bandas de errores definidas para cada una de las estaciones cerque los consumos, podamos considerarlos de confianza.

#### 5.2.1.1 Calefacción

Nuestra Línea Base sigue prácticamente la tendencia, como podemos ver en la *figura 5.24*, aunque un poco sobredimensionada, por eso comentábamos lo del supuesto cambio de un año a otro que no contemplábamos.

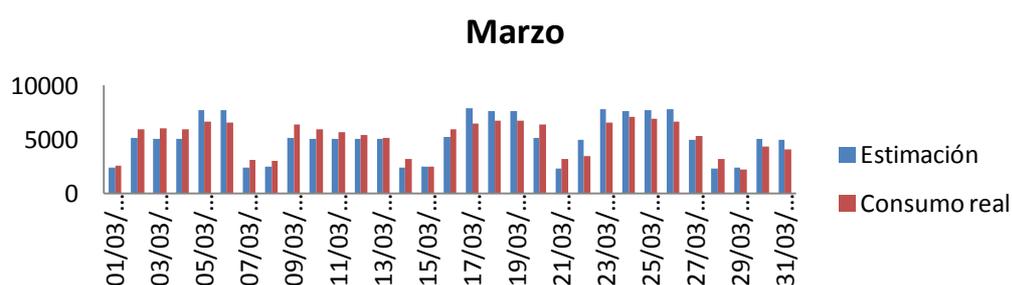


Figura 5-24. Aplicación LB marzo. Estudio 5

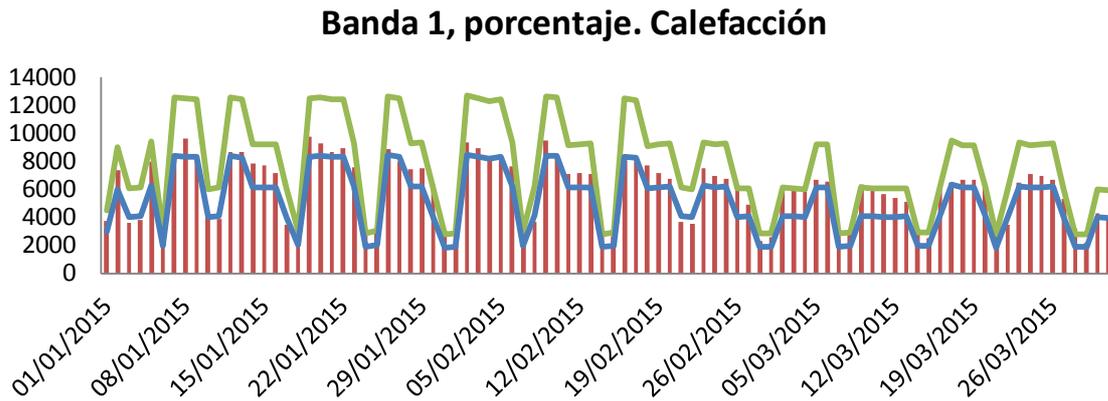


Figura 5-25. Banda 1.Calefacción, Estudio5

La banda de error definida a partir del porcentaje medio que habíamos obtenido en la misma estación pero del año de referencia, nos avala los resultados.

5.2.1.2 *Mínimo Clima y transición*

En ambas estaciones es tal la sobredimensión de la estimación que la propia banda de error no engloba el consumo real en la mayoría de los casos, como muestran las siguientes figuras.

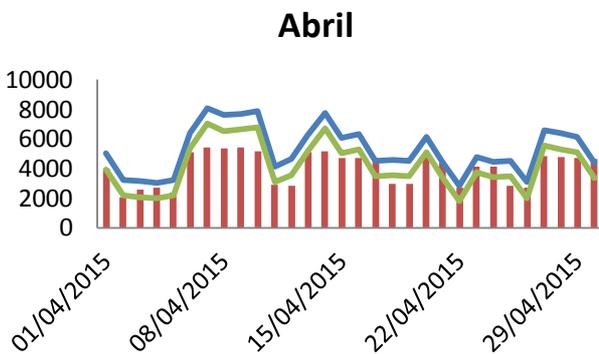


Figura 5-27. Banda 1, Aplicación Abril. Estudio 5

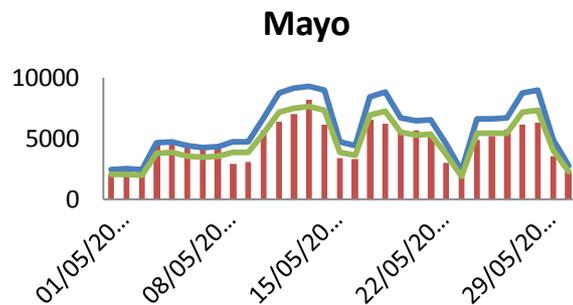


Figura 5-26. Banda 1, Aplicación Mayo. Estudio 5

Sin embargo, también existen períodos donde la Línea Base se aproxima bastante a la realidad.

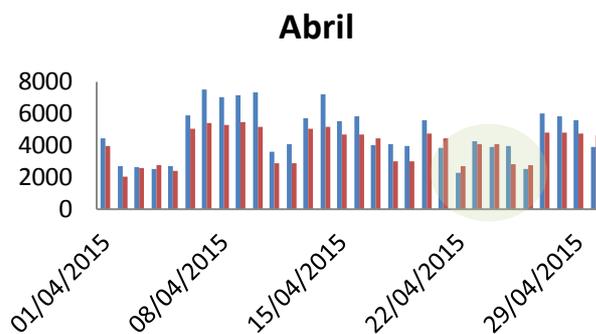


Figura 5-28. Aplicación LB Abril. Estudio 5

### 5.2.1.3 Refrigeración

En el período de refrigeración, ocurre como en el de calefacción, es verdad que está un poco sobredimensionado, pero quitando ciertos picos, el modelo responde correctamente al sistema, merece la pena destacar ciertas semanas, donde la Línea Base coincide prácticamente con el consumo real, mientras que la semana en torno a ella se alejaba un poco.

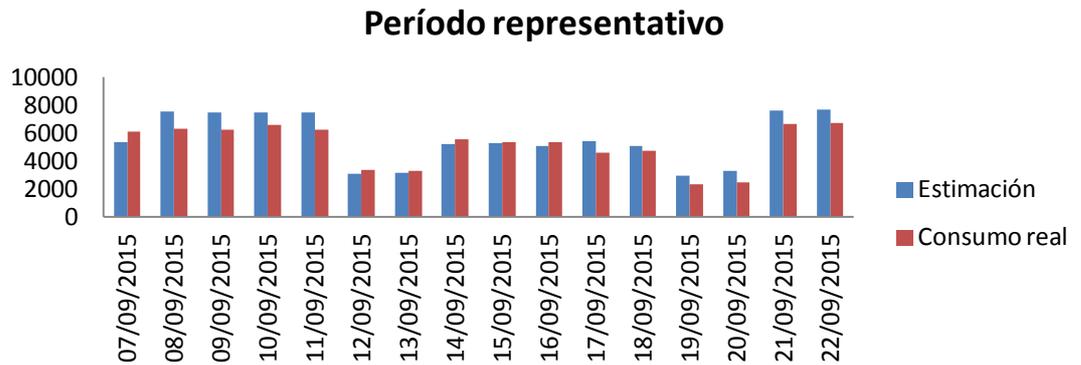


Figura 5-29. Período representativo aplicación LB refrigeración. Estudio 5

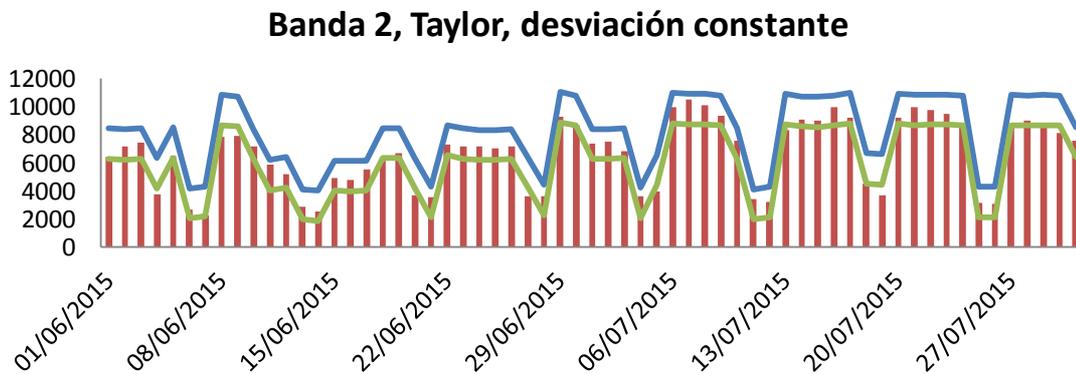


Figura 5-30. Banda 2 opción 1. Aplicación LB refrigeración. Estudio 5

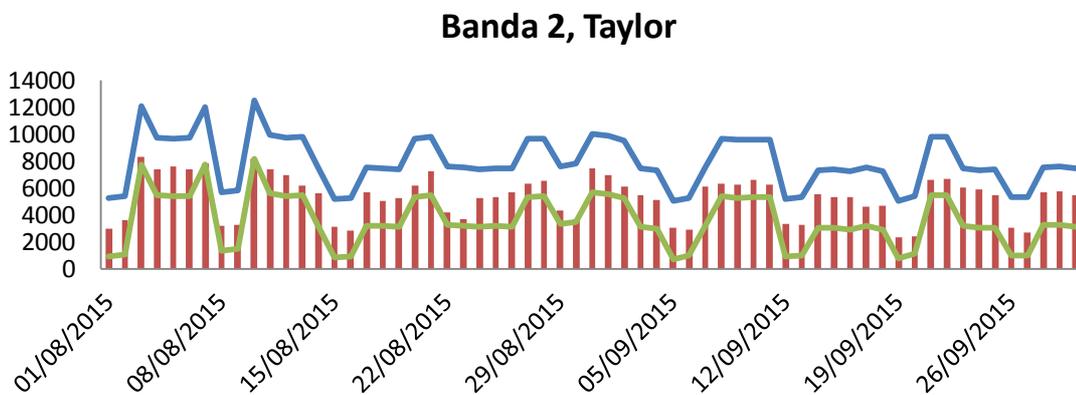


Figura 5-31. Banda 2 opción 2. Aplicación LB refrigeración. Estudio 5

Como apreciamos con ambas bandas de error aplicadas a dicho período, la Línea Base en este caso no nos ocasiona ningún problema.

De forma general, en las estaciones más prioritarias, donde el consumo es mayor, la Línea Base obtenida tiene un muy buen comportamiento, se aleja un poco en la etapas intermedias, pero aún así en estas sigue totalmente la tendencia.

### 5.3 JUZGADOS

Al igual que hemos hecho con el resto de edificios, debemos comprobar que las hipótesis que hemos tomado en el estudio de partida se cumplan en la aplicación, dicha comprobación y posterior adjudicación de las Líneas Bases en cada una de las estaciones se detallará en el *Anexo VII*, presentando aquí únicamente los resultados finales, así como las consideraciones más importantes sacadas de dicho análisis.

	Consumo real (kW)	Consumo estimado (kW)	Error (%)
<b>Calefacción</b>	808644	1020066	26,1
<b>Mínimo Clima</b>	307204	446002	45,2
<b>Refrigeración</b>	964768	1028002	7,6
<b>Transición</b>	357952	452838	26,5
<b>TOTAL</b>	<b>2438568</b>	<b>2946908</b>	<b>20</b>

Tabla 19. Resumen Aplicación LB Juzgados

Se puede observar que de los tres edificios que hemos analizado, este es el que nos ha proporcionado un mayor error; por tanto, vamos a tener que aplicar con mayor determinación las Bandas de Error definidas.

Vuelve a estar sobredimensionada Línea Base en todas las estaciones, nos cuestionamos sobre todo ésta en la estación de Mínimo Clima, la cual vamos a analizar con más detalle a continuación.

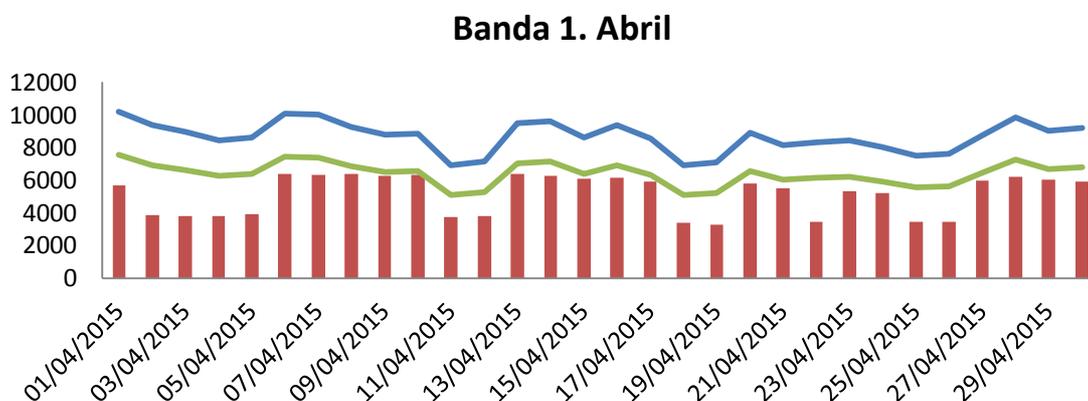


Figura 5-32. Banda 1. Aplicación LB Abril. Estudio 6

Como muestra la *Figura 5-32* no existe ningún punto dentro de la banda de error, ahí empezamos ya a cuestionarnos la Línea Base, ¿Qué ha podido cambiar de un año a otro?

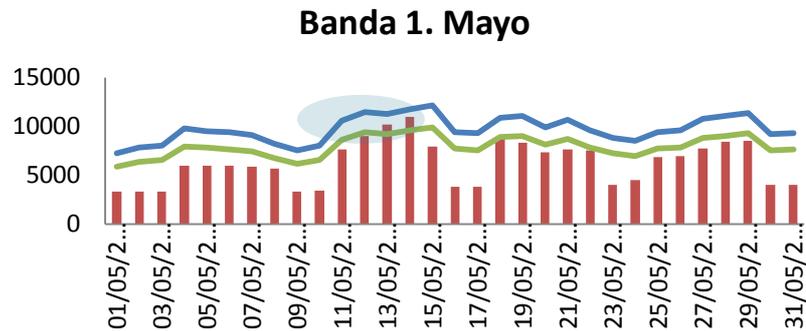


Figura 5-33. Banda 1, aplicación LB Mayo. Estudio 6

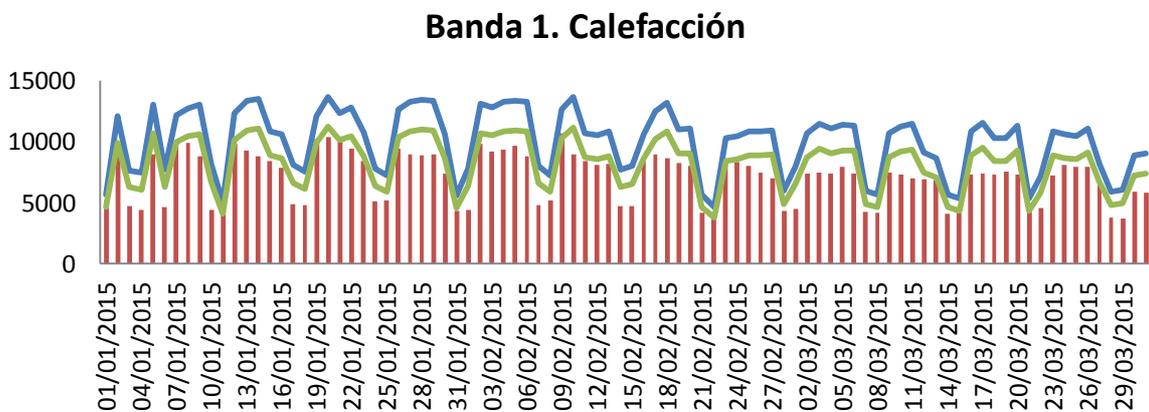


Figura 5-34. Banda 1, aplicación LB calefacción. Estudio 6

Acontecimiento que se repite en las estaciones de transición y calefacción, a excepción de algunos puntos, que hemos marcados.

En el conjunto observamos esa sobredimensión de la que hablábamos de la Línea Base, por eso nos volvemos a plantear si ha podido cambiar algo en el edificio desde el año de referencia a 2015.

No obstante, en la estación de refrigeración el modelo responde bastante mejor, cabe destacar semanas que aparecen señaladas, donde la estimación se corresponde exactamente con la realidad. En la segunda parte, ya se aprecian más diferencias, así como picos, que la estimación no es capaz de predecir.

De forma general, se corresponde con una muy buena aproximación.

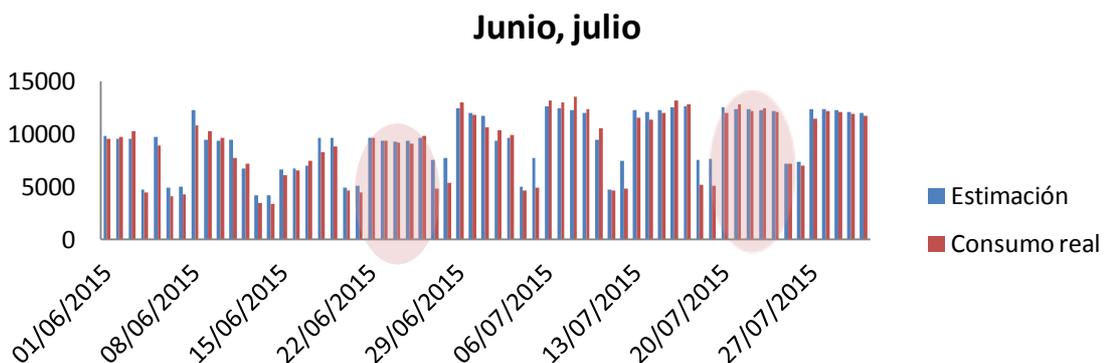


Figura 5-35. Aplicación LB Junio, julio. Estudio 6

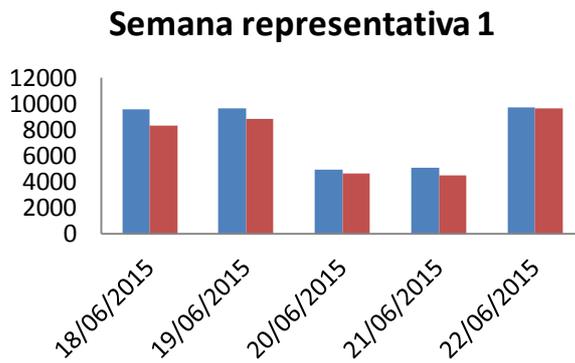


Figura 5-37. Semana representativa 1, Estudio 6

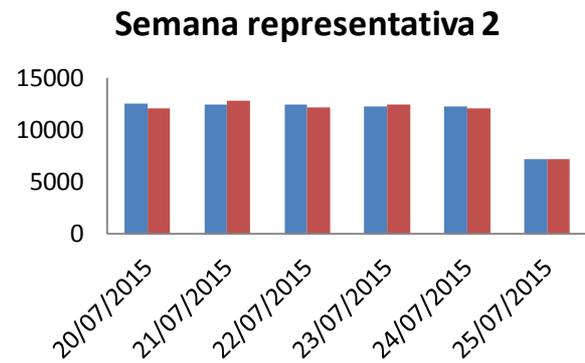


Figura 5-36. Semana representativa 2, Estudio 6

En este edificio nos hemos encontrado una situación que podría darse con mucha frecuencia en posteriores estudios, lo cual nos ayuda a plantearnos la posibilidad de que cuando un porcentaje elevado de puntos esté fuera de las bandas de error, ¿qué hacemos?.

Podríamos plantearnos varias alternativas, como desestimar la Línea Base, para esa estación en concreto y directamente recurrir al edificio y observar que cambios se ha producido en la operación de este, incluso notificarlos, o incluir una variable de entrada nueva que consistiese en aplicar un porcentaje, de manera que cuando se diesen situaciones como la que hemos visto, nos permitiese corregir la Línea Base.

## 6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Con este proyecto hemos conseguido nuestro objetivo inicial, plantear un método que nos permite la realización de Líneas Bases en edificios de oficinas y sede judicial, albergando todas las alternativas posibles.

Al principio parecían edificios muy similares, que nos permitía unirlos en un mismo tipo, como oficinas, únicamente; sin embargo a lo largo de todo el proyecto hemos ido verificando que eran totalmente diferentes, esta diferencia nos ha ayudado a poder analizar dos métodos que siguen el mismo patrón, pero con un contenido muy distinto, dando resultados similares. En primer lugar, obtuvimos la Línea Base de los tres edificios tomando como referencia el año 2014, con resultados muy buenos, obteniendo como error máximo entre la estimación y el consumo real 15%.

A continuación, aplicamos estas Líneas Base obtenidas a sus edificios, respectivamente, al año 2015. Aquí merece destacar que en el Edificio de la Agencia Andaluza, con una operación más o menos constante y rutinaria, un horario determinado, la Línea Base responde perfectamente. No obstante, en los edificios de la Sede Judicial, todo esto era una tarea más difícil, su operación depende junto con todas las variables que hemos tenido en cuenta de otros factores complicados de incorporar, número de visitas a los juzgados, delitos,.. que no suelen repetirse de un año a otro. Aún así, en las estaciones fuertes, calefacción y refrigeración, la Línea Base responde de forma más o menos satisfactoria, sobredimensionadas de forma general, lo cual no hace plantearnos que quizás pudo cambiar algo de un año a otro.

Por tanto, podemos considerar que hemos cumplido con la tarea planteada, aunque al ser un campo muy amplio y necesario, podemos determinar una serie de líneas futuras, que mejoren estos estudios:

- Facilitar el consumo desglosado, lo cual mejoraría las aproximaciones de la Línea Base.
- Posibilidad de incorporar otra variable que nos permita incluirla en el modelo, cuando se produce un cambio significativo de un año a otro, corrigiendo la Línea Base.



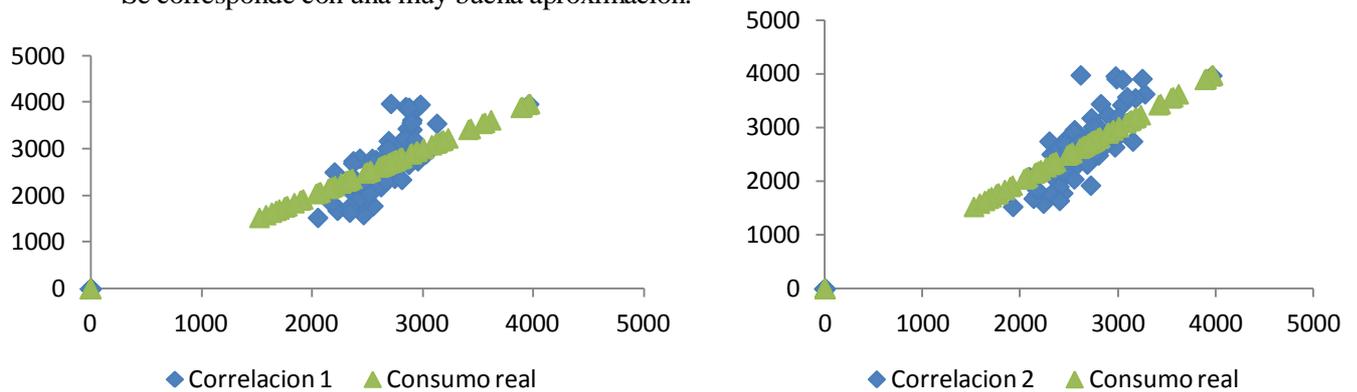
# ANEXOS

## ANEXO I. ESTUDIO 2. Edificio Agencia Andaluza de la Energía

Analizamos este estudio teniendo en cuenta las estimaciones obtenidas en cada una de las estaciones, así como bandas de error.

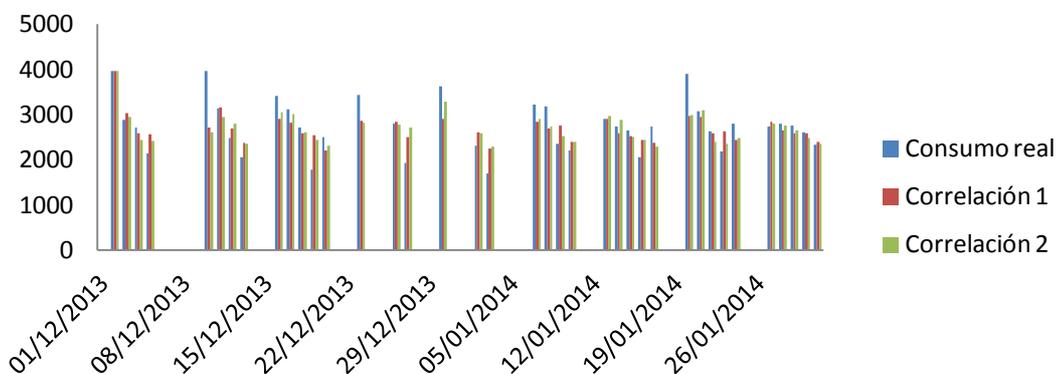
### ➤ Calefacción

Se corresponde con una muy buena aproximación.

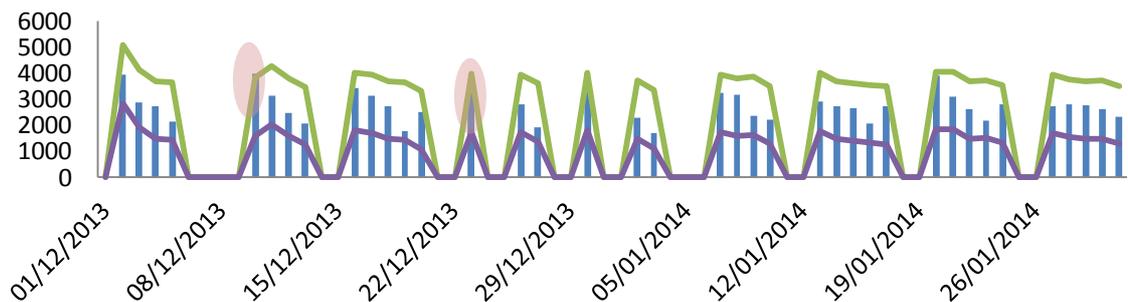


Solo cabe destacar aquellos picos, que incluso la Banda de error es capaz de encerrar.

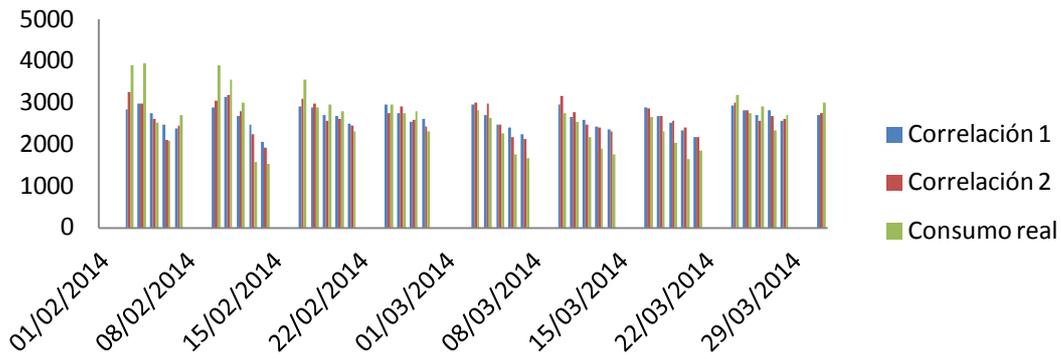
### Diciembre, enero



### Diciembre, Enero, Taylor opc1

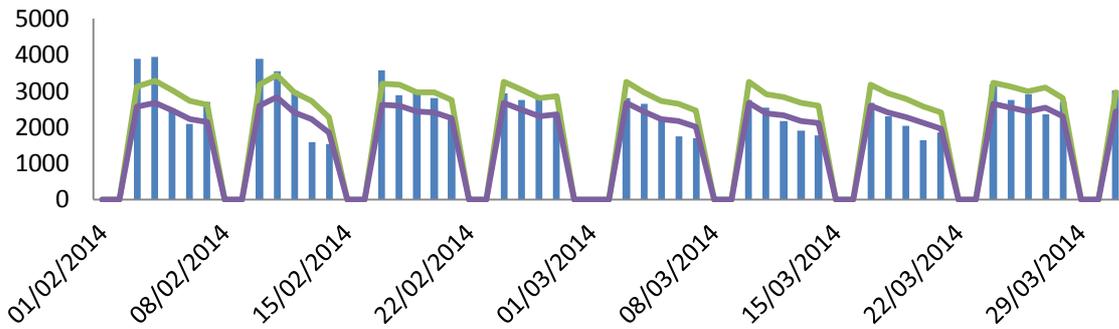


### Febrero, marzo

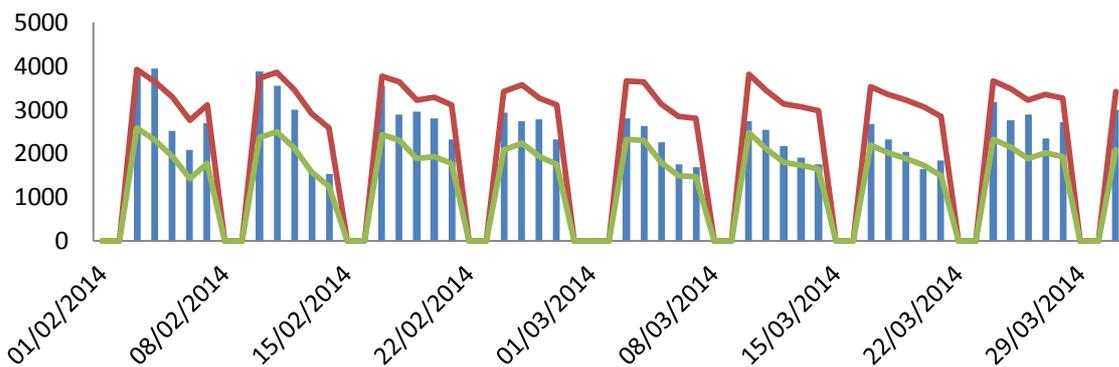


En el período de febrero y marzo, solo se aleja un poco de la estimación aquellos picos de las tres primeras semanas, pero de 2 meses que solo nos fallen 5 puntos, no nos hace perder la confianza en esta estimación.

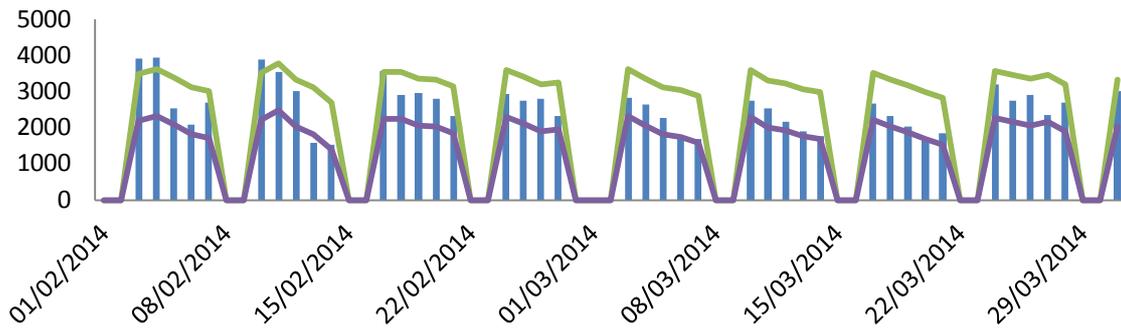
### Banda 1, porcentajes. Febrero, marzo



### Banda1, desviaciones. Febrero, Marzo

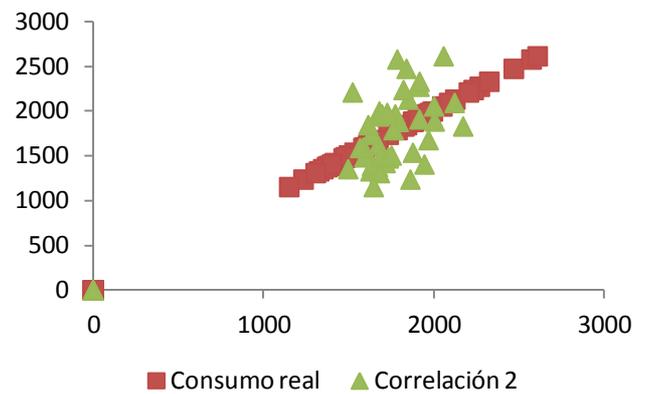
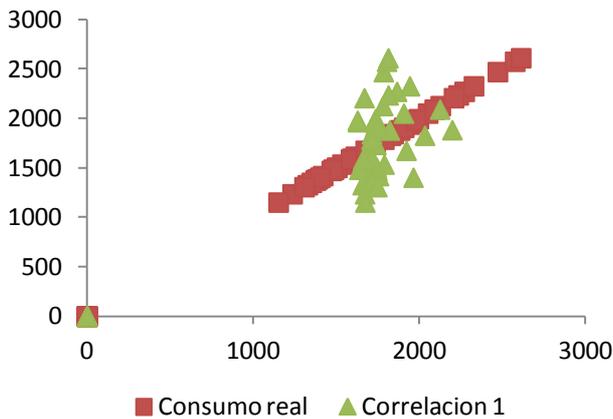


### Febrero, marzo. Taylor opc2

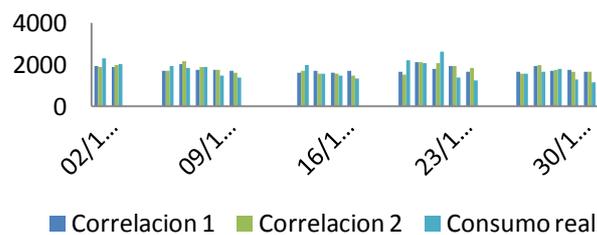


➤ **Mínimo Clima**

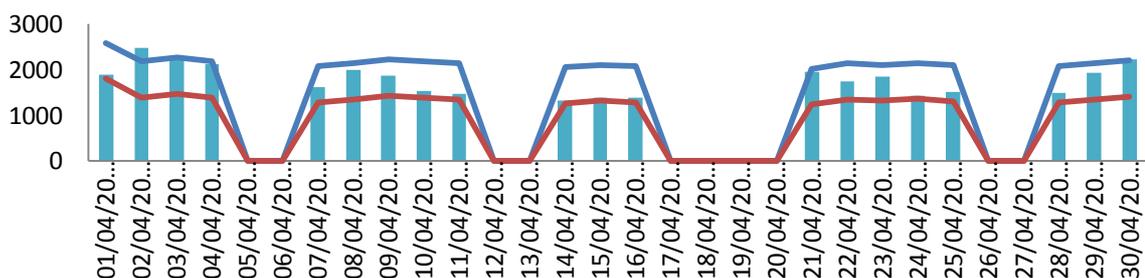
En los meses de abril y octubre, a excepción de semanas puntuales, nuestra aproximación no merece la pena un estudio en detalle.



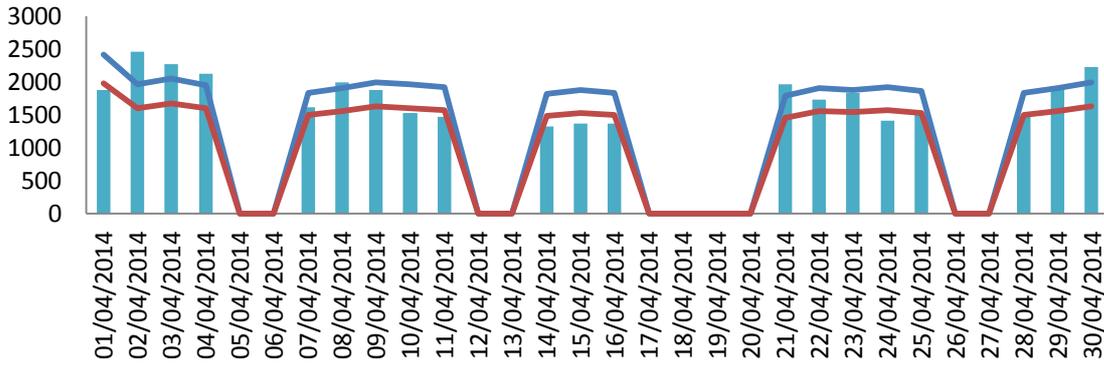
### Octubre



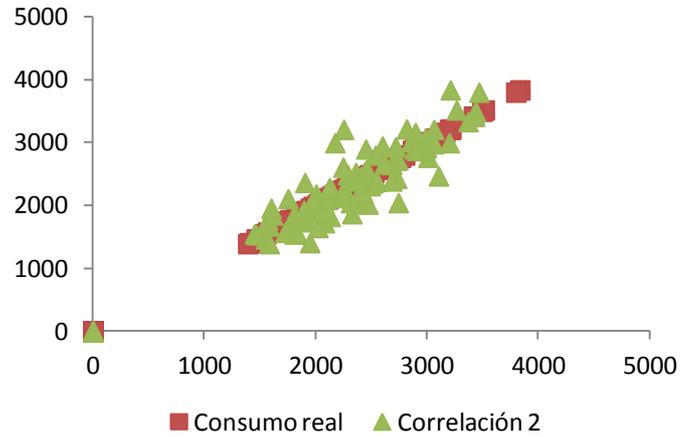
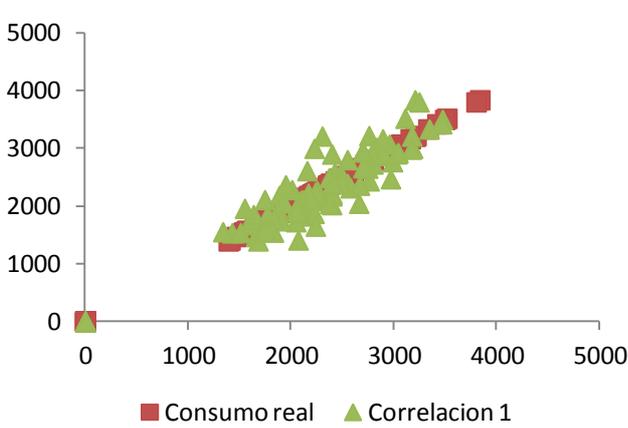
### Banda 1, desviaciones. Abril



### Banda1, porcentaje. Abril

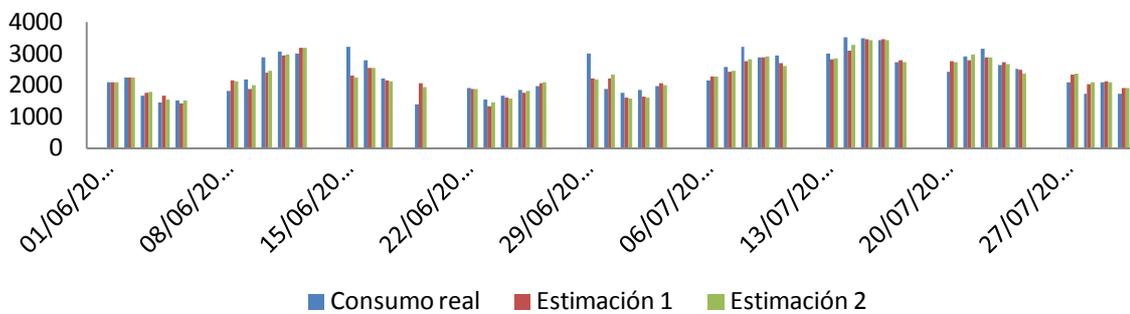


#### ➤ Refrieraación

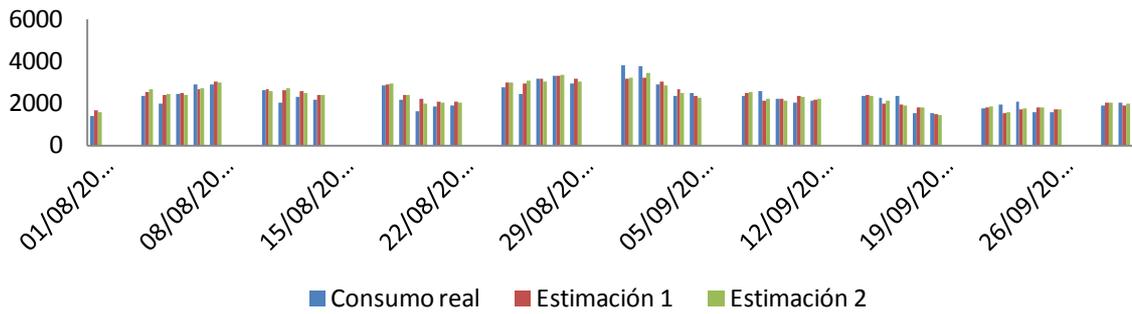


Como ha ocurrido en todos los estudios, el período de refrieraación se puede considerar como aquel cuya estimación es más satisfactoria.

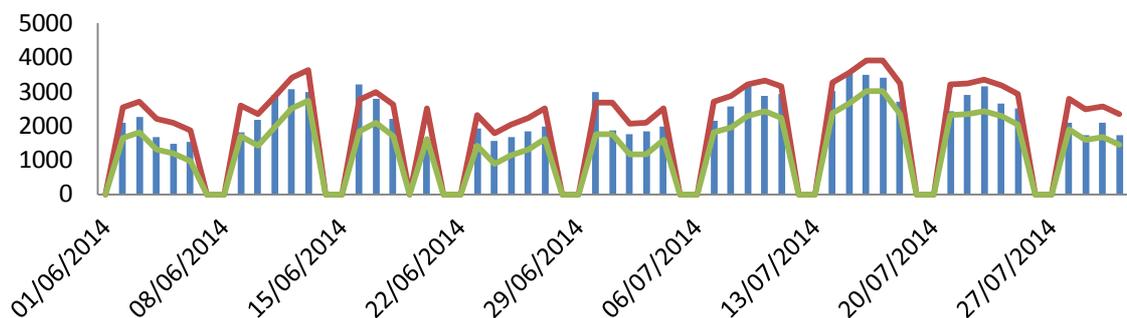
### Junio, Julio



### Agosto, Septiembre

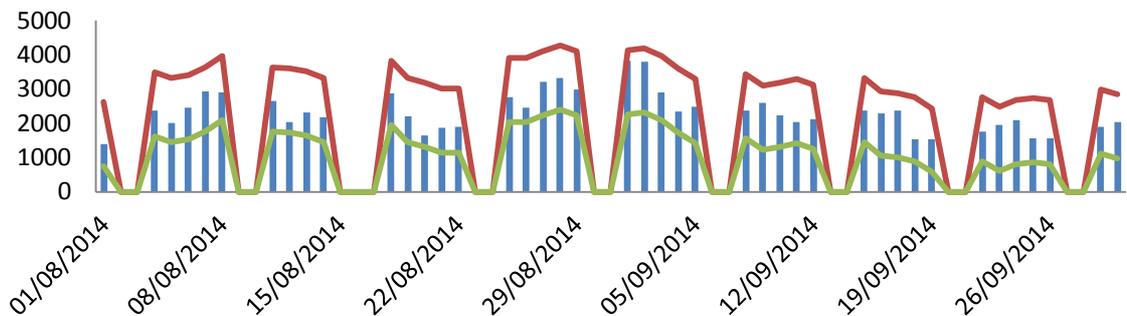


### Banda 1, desviaciones. Junio, Julio



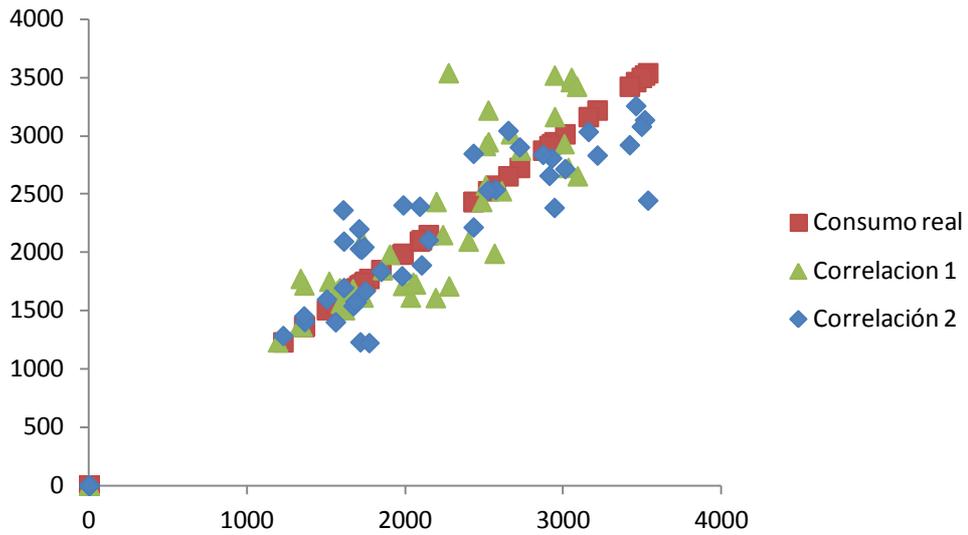
En resumen, de toda la estación tan solo unos 3 días salen de las diferentes bandas de error construidas.

### Banda 2, opc 1. Agosto, septiembre



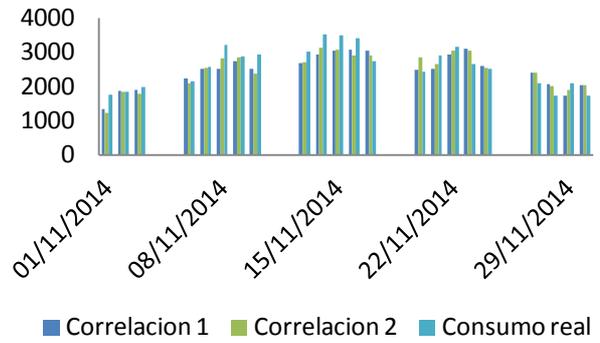
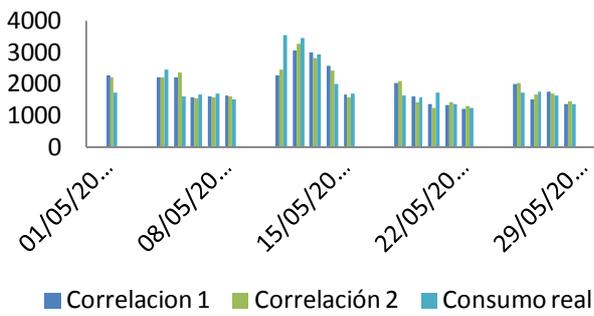
➤ **Transición**

Por último, tenemos la estación de transición, quizás por ser más difusa podríamos pensar que el consumo no sería tan representativo; sin embargo, volvemos a encontrarnos con una muy buena aproximación.

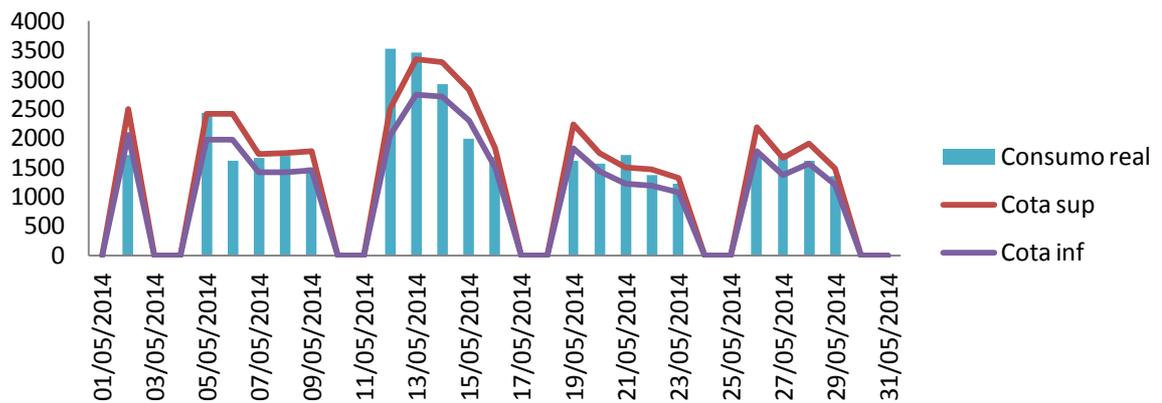


**Mayo**

**Noviembre**



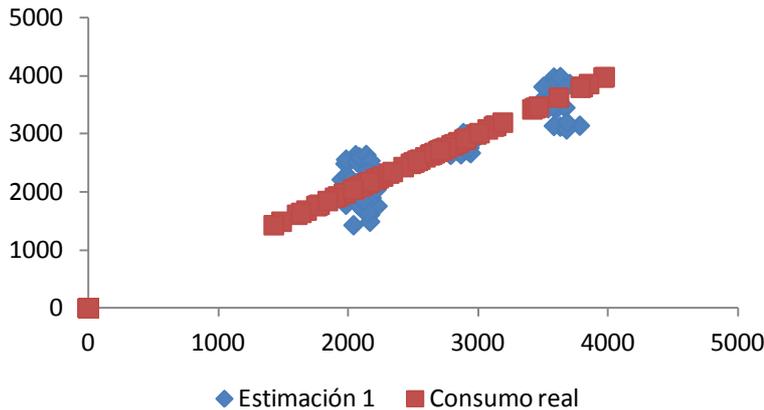
**Banda 1, porcentaje. Mayo**



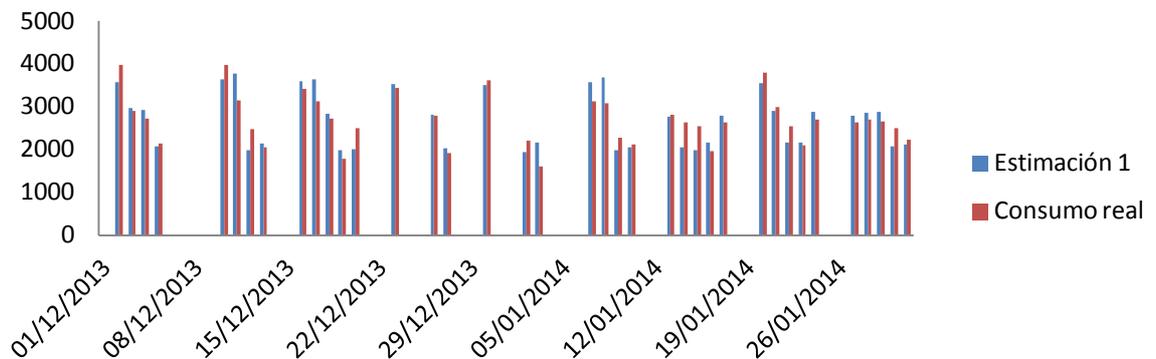
## ANEXO II. ESTUDIO 3. Agencia Andaluza de la Energía

### ➤ Calefacción

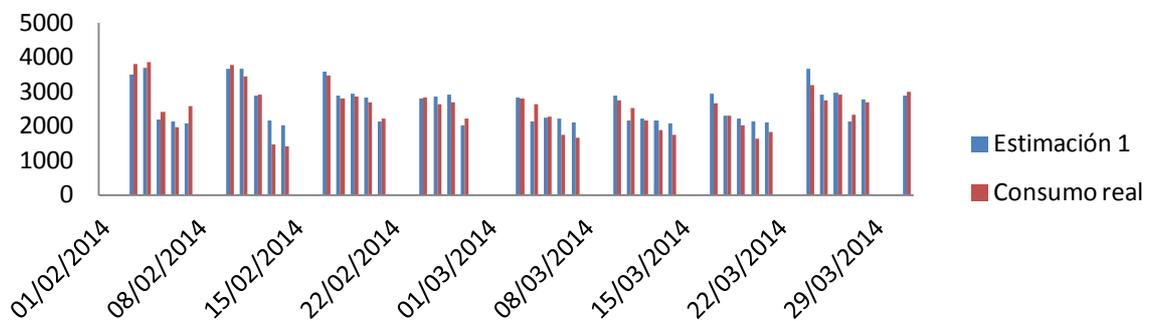
Al igual que con el estudio anterior, apreciamos muy buenos resultados, un poco más disperso respecto al real en días en concreto.



### Diciembre, Enero

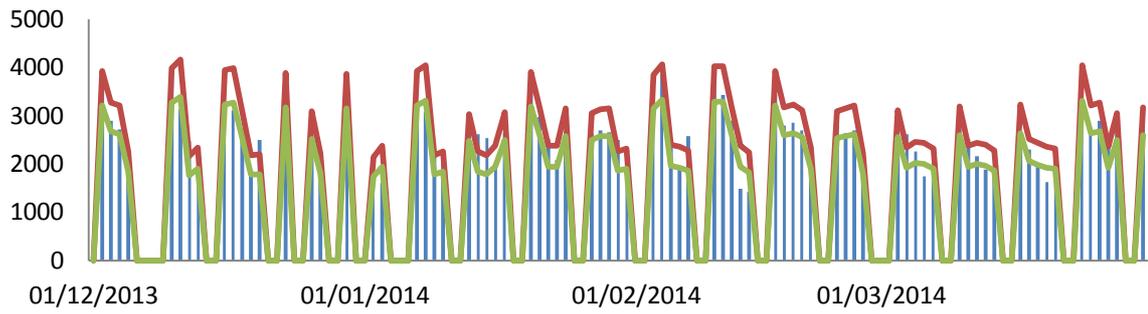


### Febrero, marzo

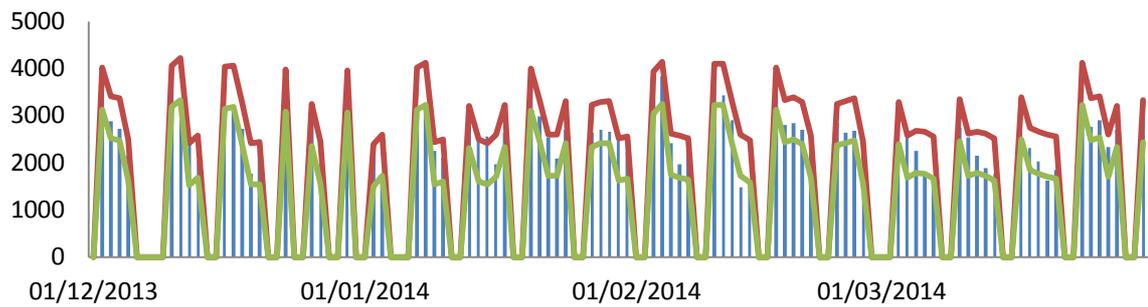


Podemos comprobar lo mismo con las bandas de error definidas.

**Banda 1, porcentaje**

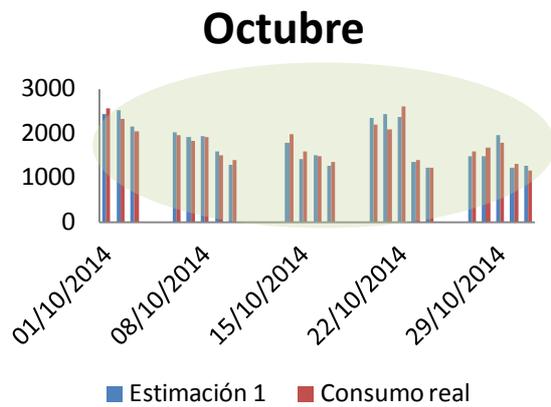
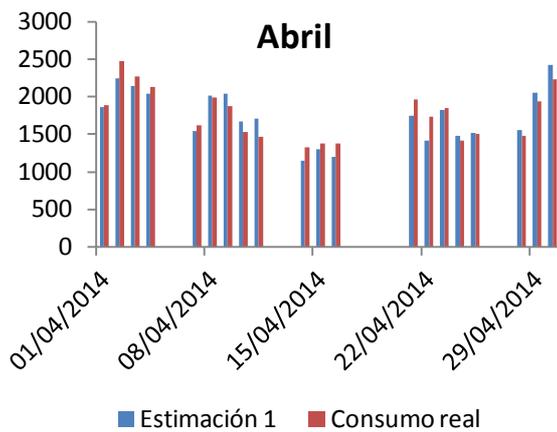


**Banda 2, opción1**



➤ **Mínimo Clima**

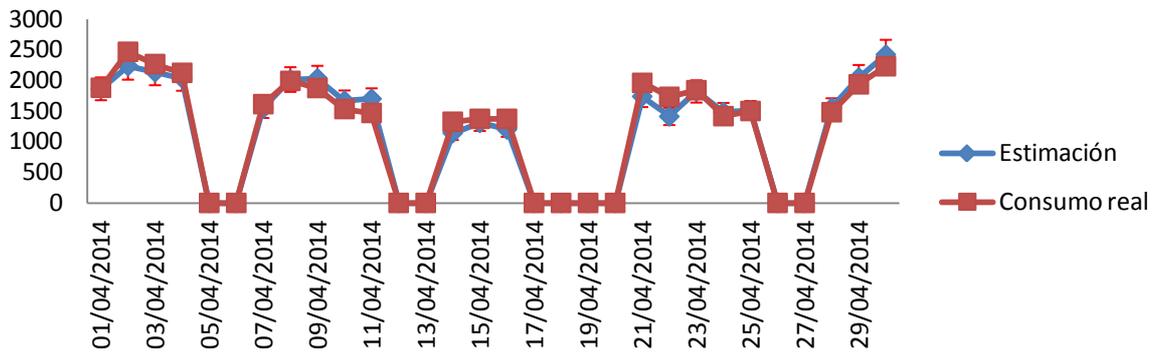
Podemos apreciar, que sigue totalmente las tendencias, cabe destacar sobre todo en el mes de octubre.



■ Estimación 1 ■ Consumo real

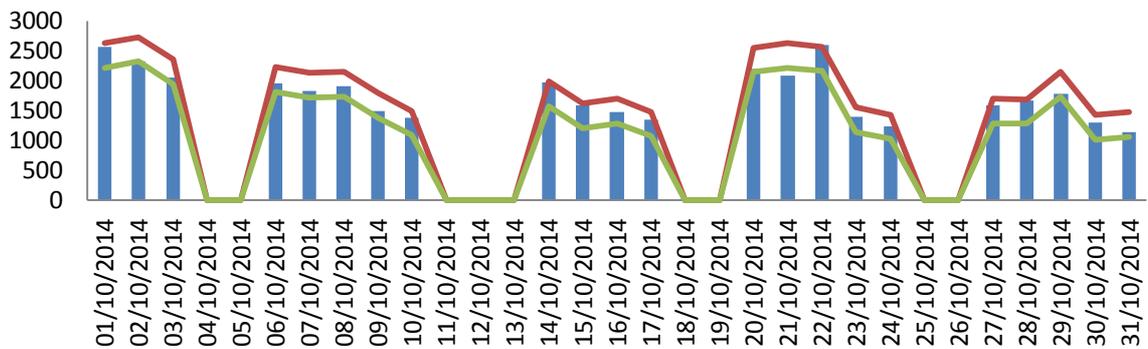
■ Estimación 1 ■ Consumo real

**Banda 1, porcentaje**



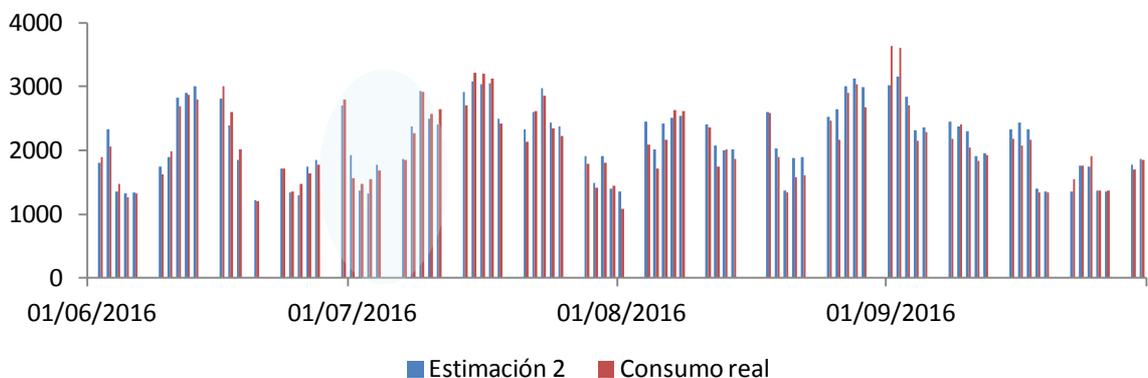
En la parte superior hemos desarrollado un nuevo formato para representar las bandas de error, donde vemos que sigue perfectamente la estimación al consumo.

**Banda 2, opción 1**

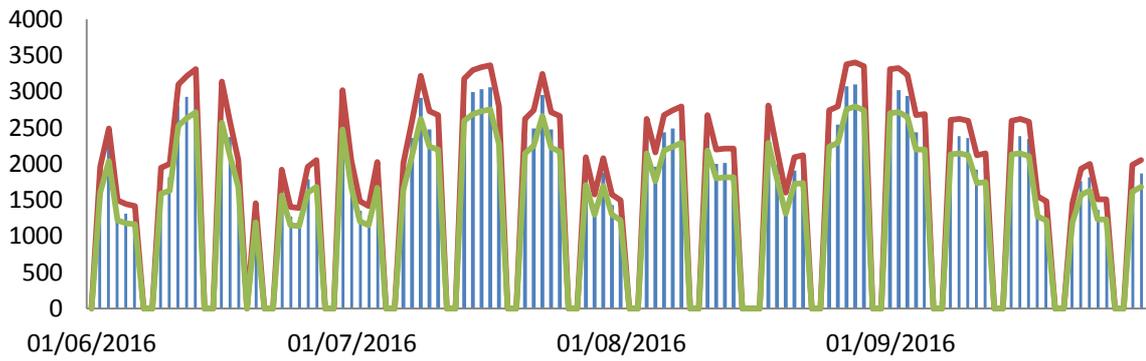


➤ **Refrigeración**

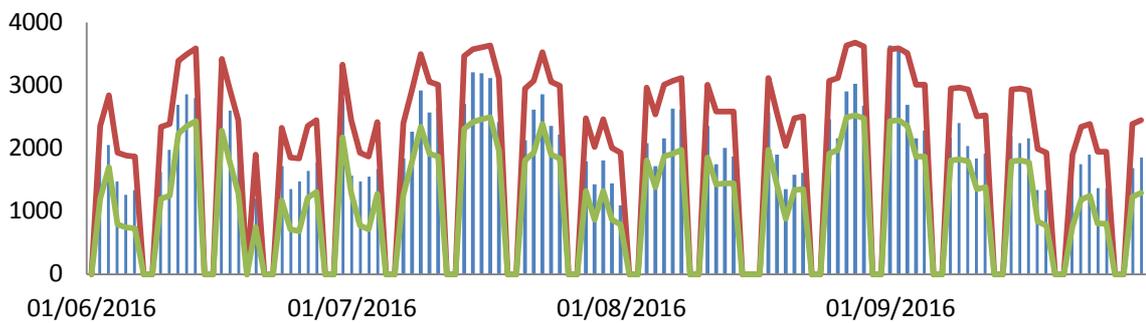
Se muestra en la siguiente figura que solo puntos en concreto son los que no verifican la estimación realizada. Aún así merece la pena destacar la respuesta del modelo al sistema, semanas perfectamente definidas con muchos cambios de operación.



**Banda 1**



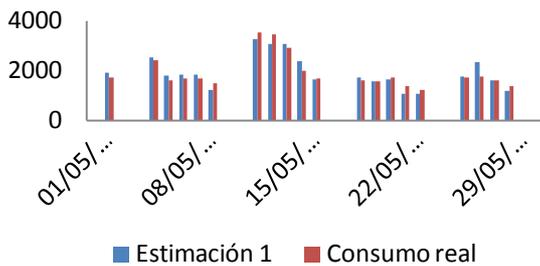
**Banda 2**



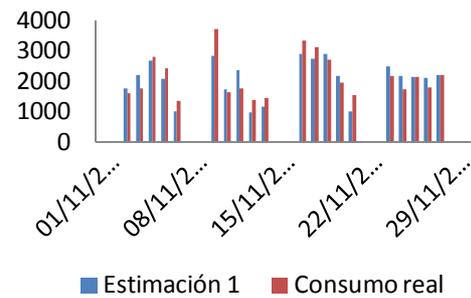
Todos estos buenos resultado podemos corroborarlo con las bandas de error.

➤ **Transición**

**Mayo**

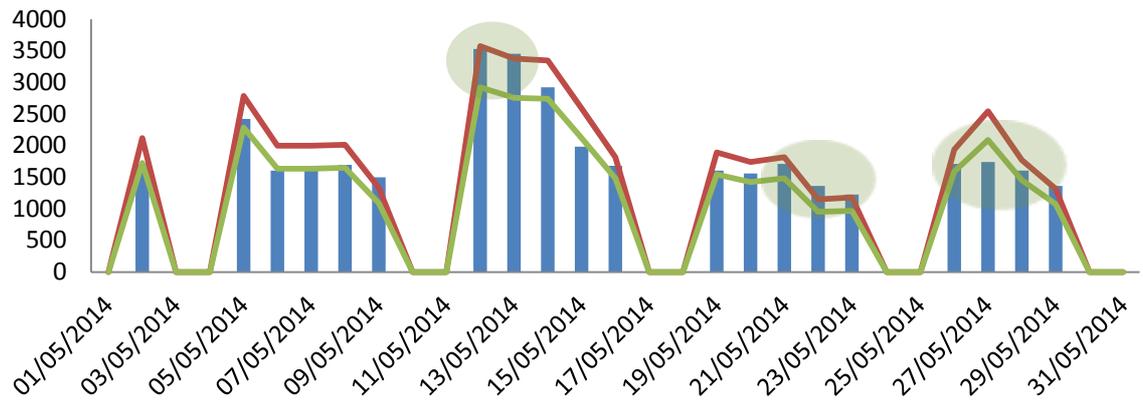


**Noviembre**



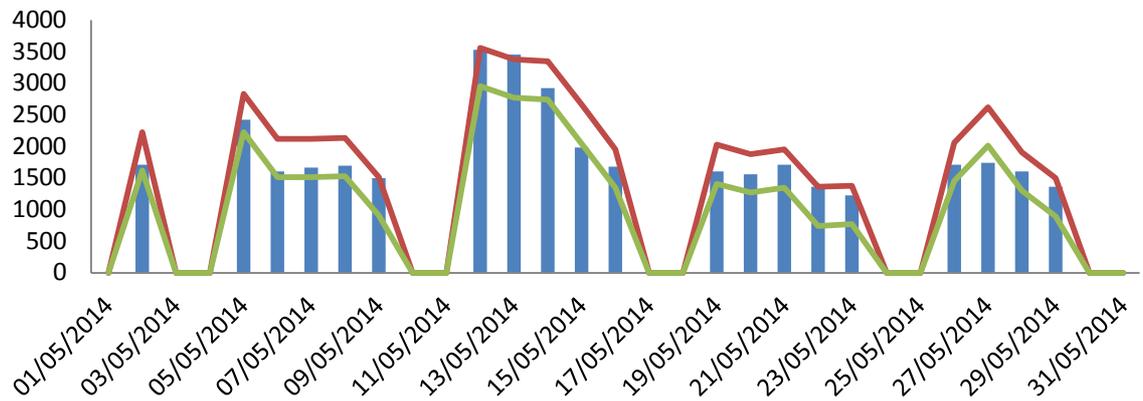
De todas las estaciones presentadas en este edificio, la época de transición, es la que se aleja la estimación más de la realidad. Esos puntos alejados se aprecian en las bandas representadas, señalados a continuación.

**Banda 1**

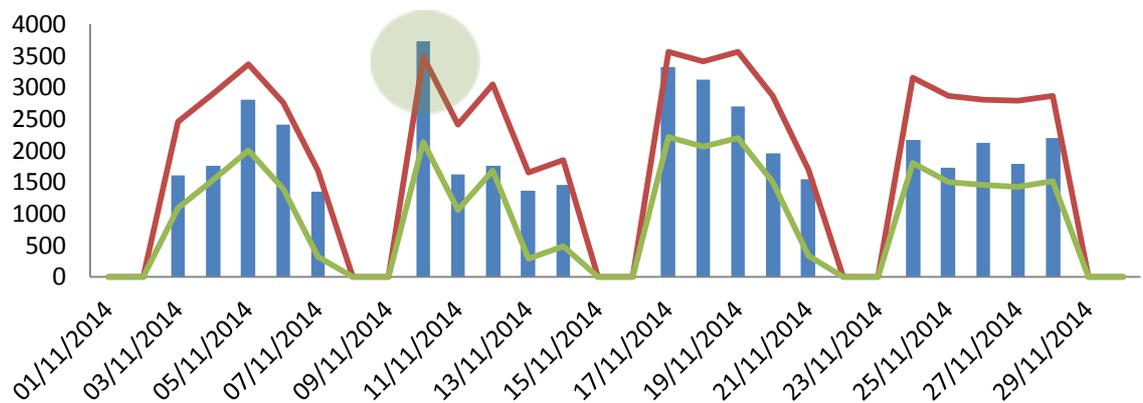


Al cambiar de bandas, se amplían estas, aún así se quedan puntos fuera.

**Banda 2 opc 1 mayo**

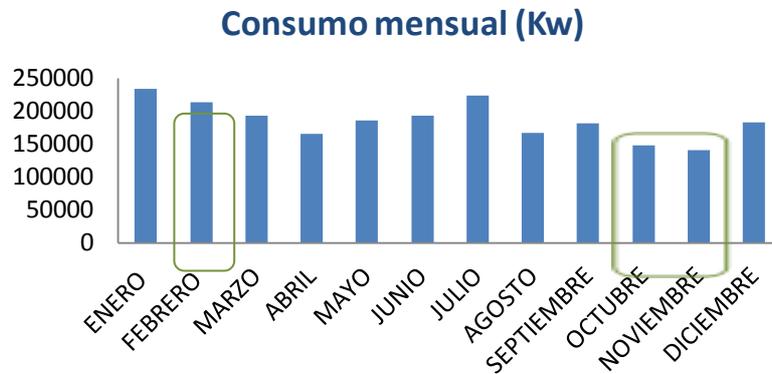


**Banda 2 opc 2 noviembre**



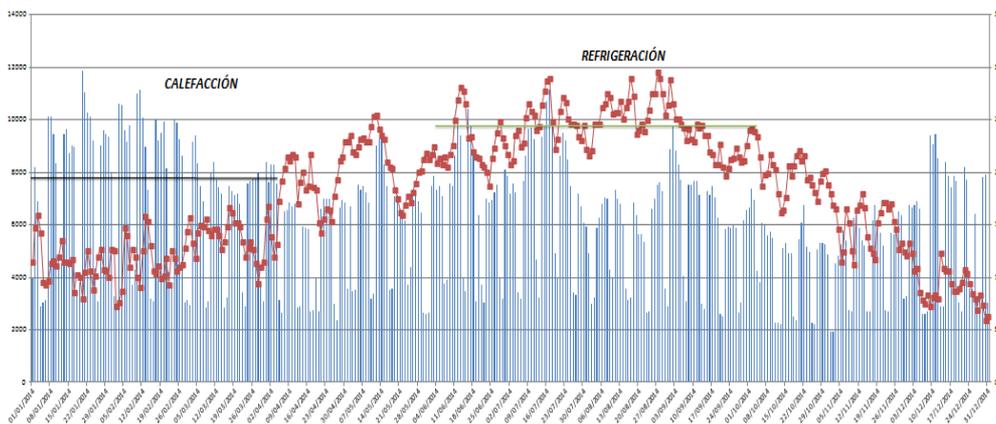
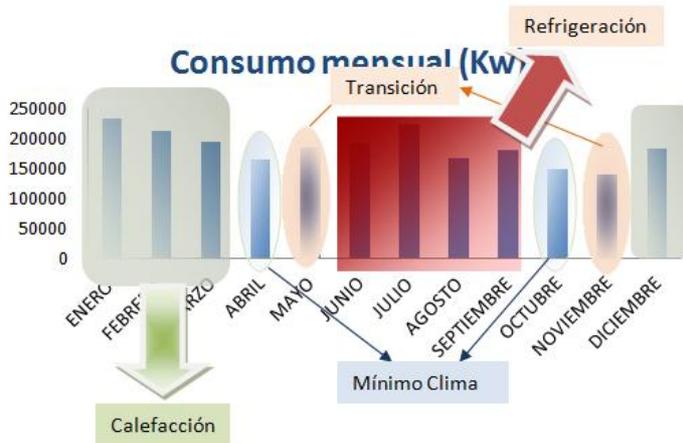
### ANEXO III. ESTUDIO 5. Audiencia Provincial

Como ya enunciamos en la presentación de la memoria, todo los detalles de este estudio se presentan en este anexo.



En esta ocasión podemos distinguir tres meses con el consumo reducido, podíamos coger cualquiera de ellos para el estudio dentro del mes de Mínimo Clima, para continuar con el procedimiento anterior, volvemos a tomar el mes de abril.

A partir de los meses de Mínimo Clima podemos distinguir las 4 estaciones diferentes, que después también comprobaremos con la distribución de temperaturas y consumos.



Comprobamos la distribución de estaciones de la misma forma que en el caso del EAA, donde distinguimos principalmente las estaciones de calefacción y refrigeración, las otras son más difusas.

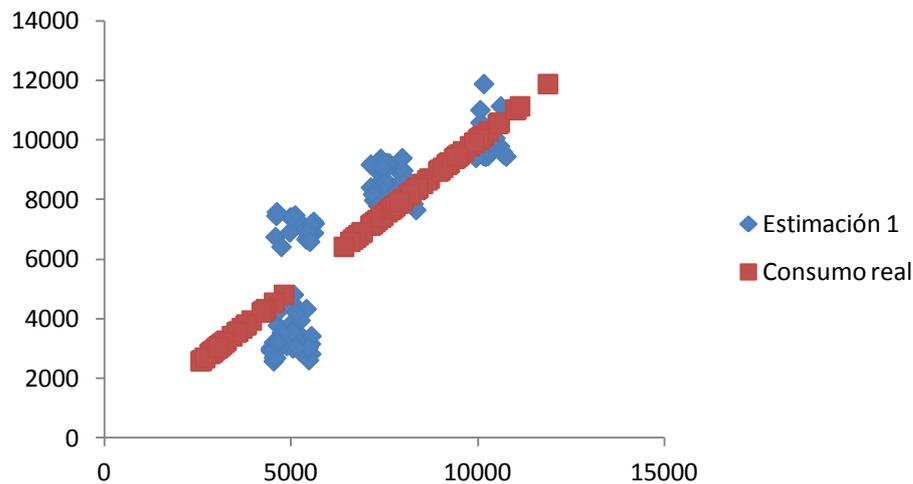
Una vez que tenemos caracterizadas cada una de las estaciones del año, nos centramos en uno de los meses de menor consumo, en este caso Abril, que nos permite obtener el consumo de otros, también como un promedio del consumo en fines de semana y festivos, suponiéndolos como días de menor consumos

➤ *Calefacción*

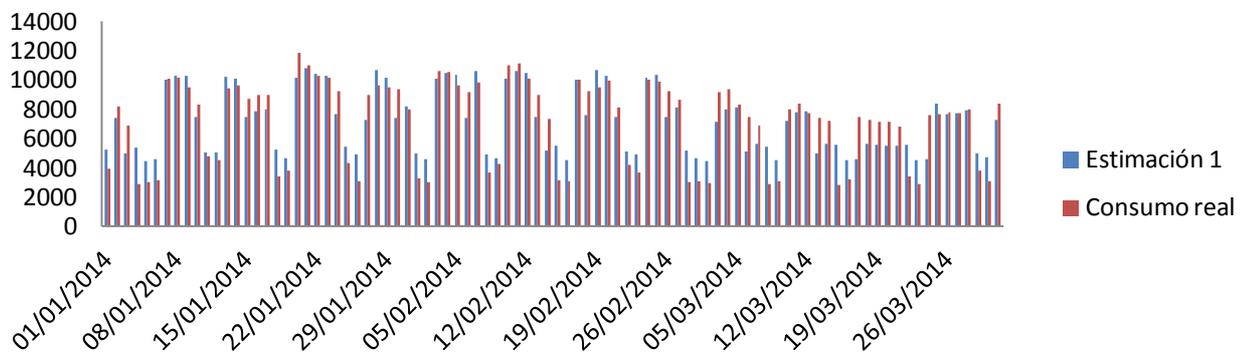
Como ya hemos comentado anteriormente en esta sección, estudiaremos la evolución del consumo en los meses desde diciembre hasta marzo, ambos incluidos.

Es necesario recordar que ya en este estudio nos centramos en una estimación teniendo en cuenta únicamente el día en cuestión y las condiciones del día anterior.

Con todas las variables de entrada y consideración anterior, obtenemos los siguientes resultados:

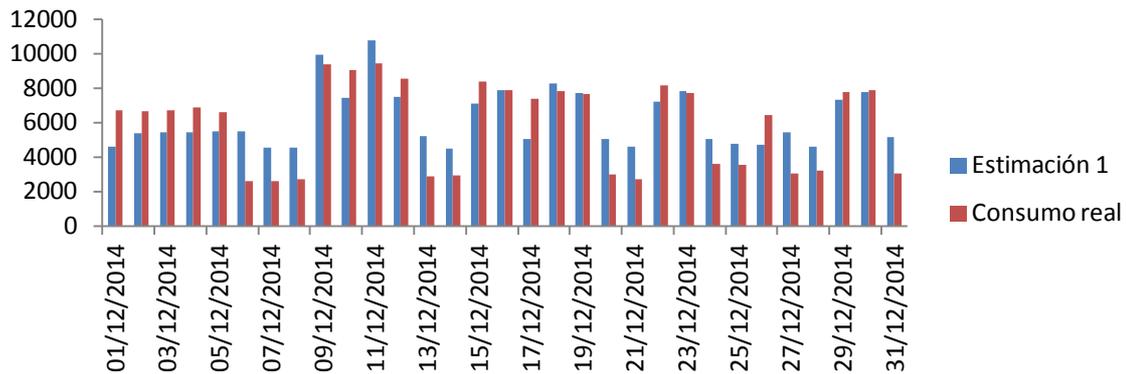


**Enero, febrero, marzo**



Volvemos a señalar una buena aproximación, alejándose en algunas semanas de marzo y diciembre. En toda la estación se aprecia una sobredimensión en los días de menor operación.

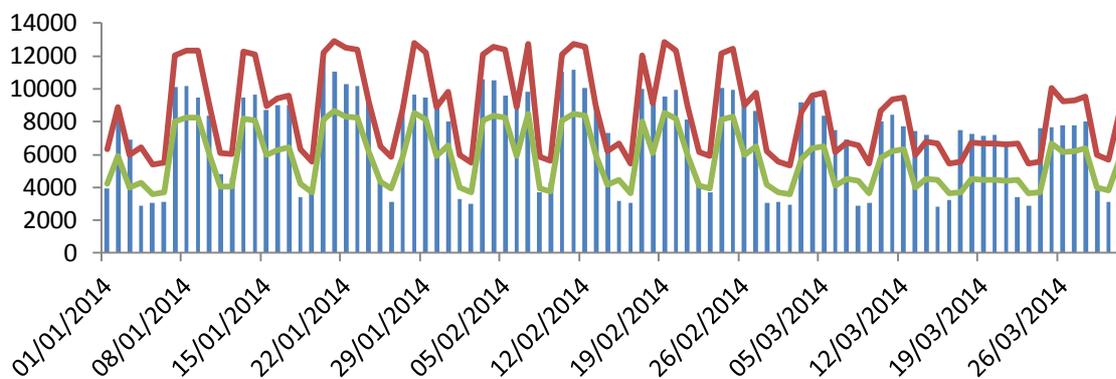
### Diciembre



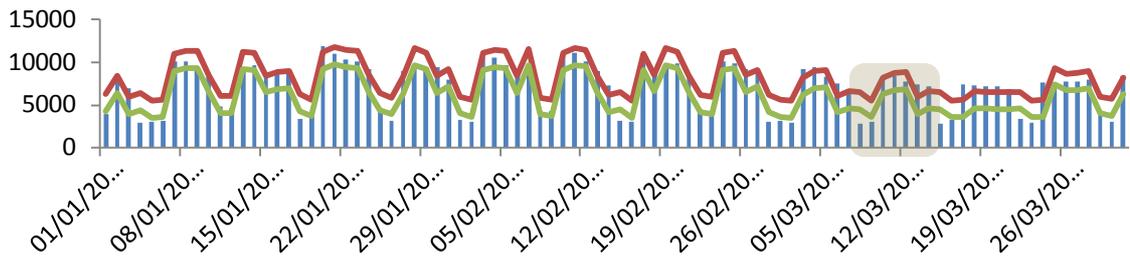
Con todo esto ya podemos presentar los coeficientes característicos que definen nuestra función para esta estación:

		ESTIMACIÓN	Estimación teniendo en cuenta el día en cuestión y un día antes ( <i>Estimación 1</i> )
COEFICIENTES	DÍA	<i>Temperatura ext</i>	-7,24838505
		<i>Radiación</i>	-28,4791034
		<i>Tipo de día</i>	2681,16508
	DÍA ANTES	<i>Consumo</i>	0,23588566
		<i>Temperatura ext</i>	-11,9976957
		<i>Radiación</i>	52,159873
	<i>Tipo de día</i>	-671,690941	

### Banda 1



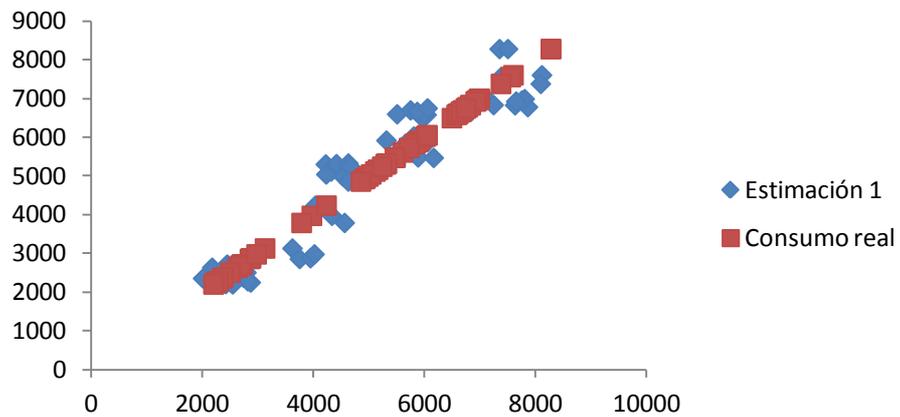
### Banda 2, opción1



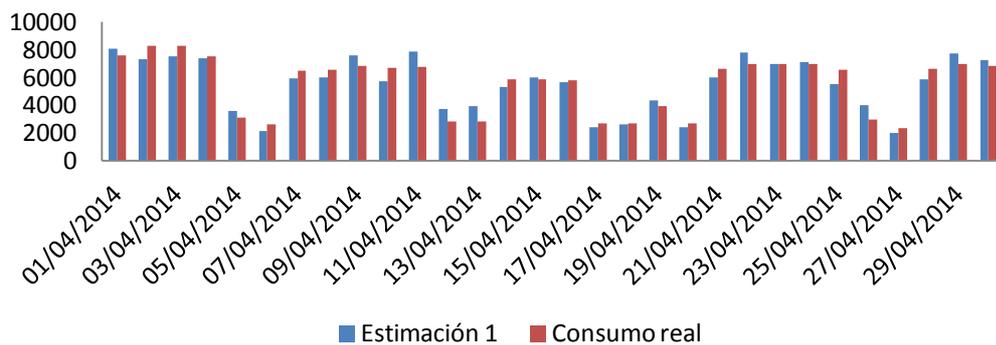
En las bandas se observa esa sobredimensión de los días de menor operación, junto con la semana de marzo que se aleja.

#### ➤ *Mínimo Clima*

Obtenemos los siguientes resultados para los meses de abril y octubre:

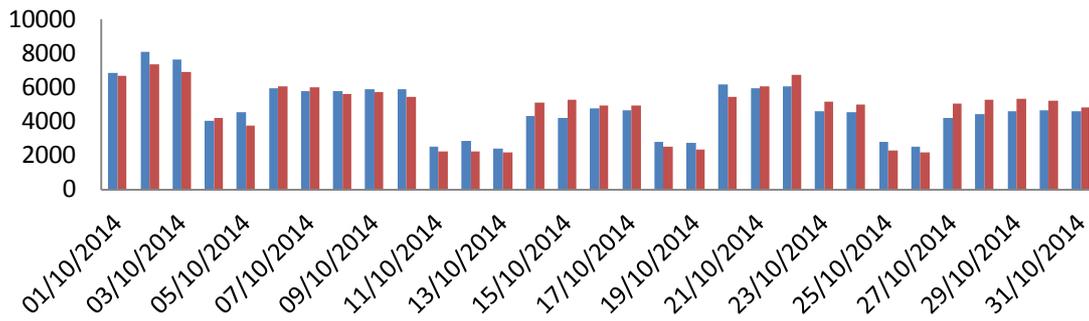


### Abril



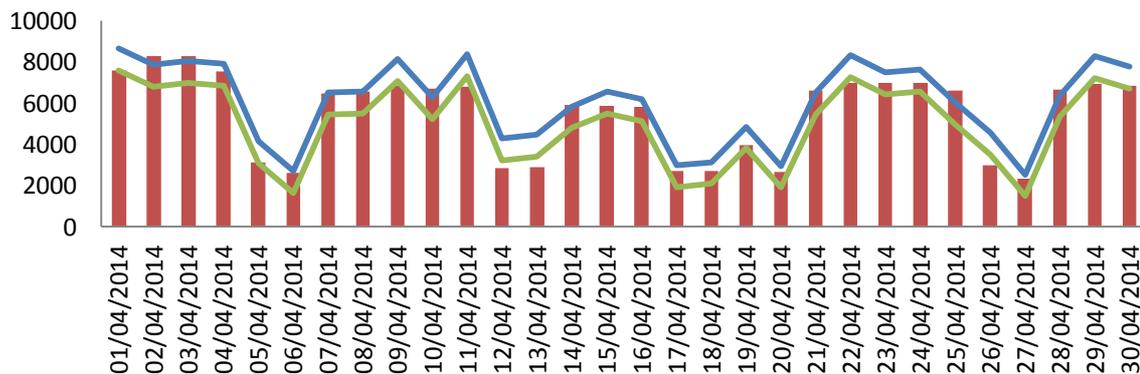
En esta estación, como podemos apreciar, el sistema responde correctamente a todos los cambios dentro de la operación del edificio, no cabe destacar ninguna semana para un análisis más concreto.

### Octubre



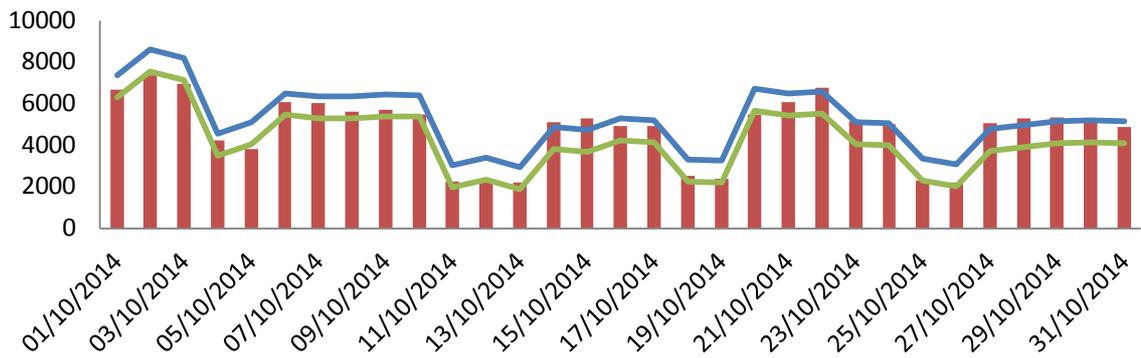
		ESTIMACIÓN	Estimación teniendo en cuenta el día en cuestión y un día antes (Estimación 1)
COEFICIENTES	DÍA	Temperatura ext	-10,1053592
		Radiación	69,952257
		Tipo de día	1700,92777
	DÍA ANTES	Consumo	0,29866455
		Temperatura ext	62,4873566
		Radiación	-115,661846
	Tipo de día	-599,914409	

### Banda 1, desviación. Abril



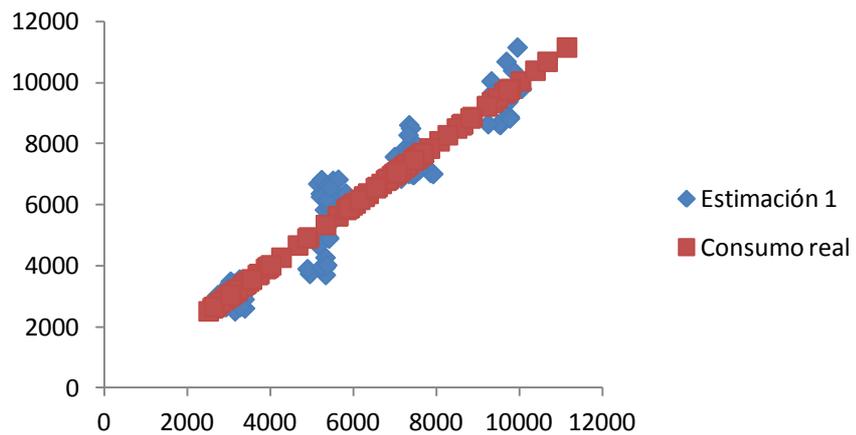
Ese buen comportamiento se observa en el desarrollo de las bandas, tanto en el mes de abril como de noviembre.

### Noviembre

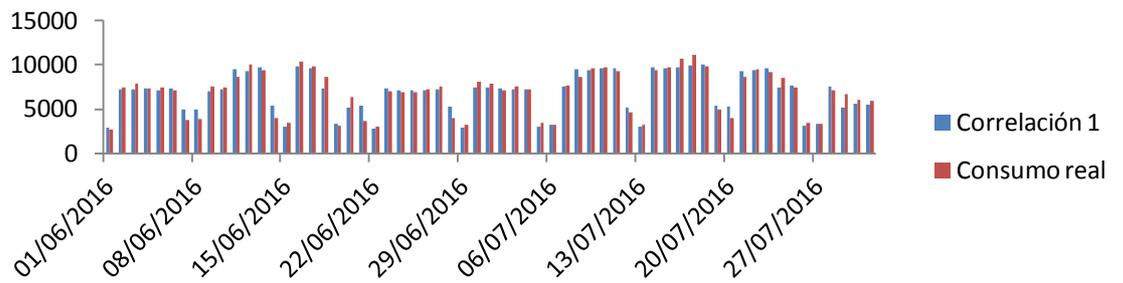


➤ *Refrigeración*

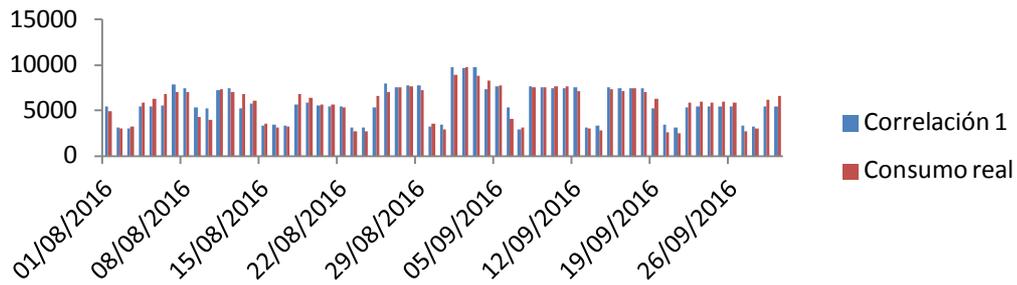
Destacamos la aproximación, de nuevo, en la etapa de refrigeración.



### Junio, julio



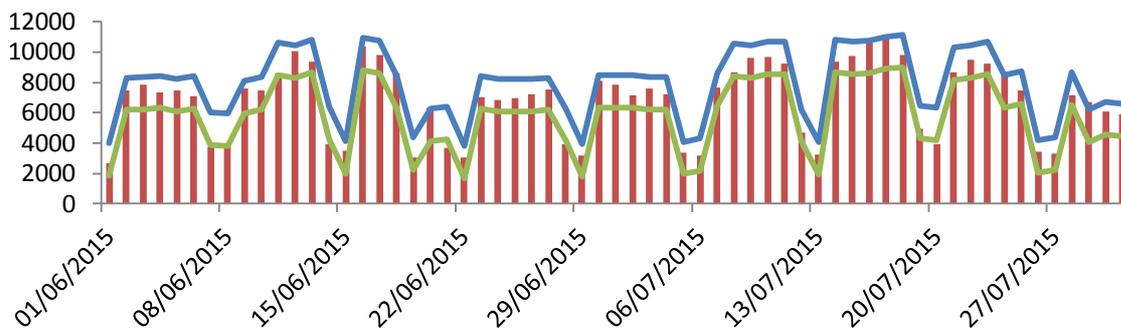
### Agosto, septiembre



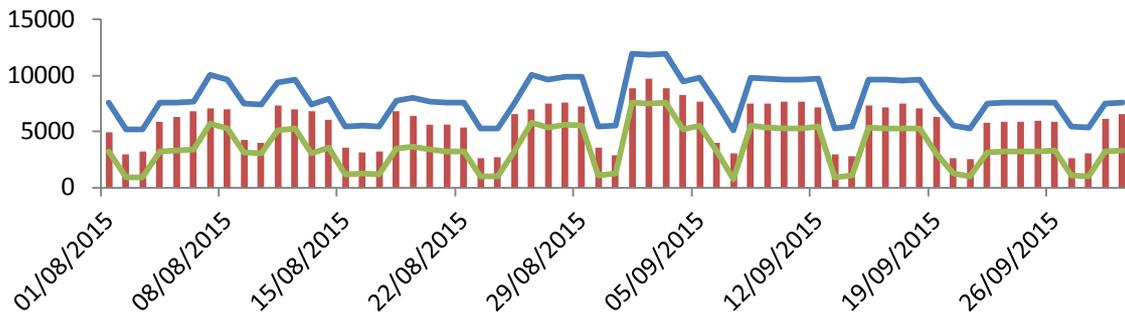
Como podemos apreciar la respuesta del sistema es bastante buena. Por lo general se corresponde con una buena aproximación, que es capaz de reponerse a períodos de menor consumo, como el mes de agosto, frente al resto de la temporada.

		ESTIMACIÓN	Estimación teniendo en cuenta el día en cuestión y un día antes ( <i>Estimación 1</i> )
COEFICIENTES	DÍA	Temperatura ext	-3,97383118
		Radiación	10,562112
		Tipo de día	2161,23798
	DÍA ANTES	Consumo	0,20532019
		Temperatura ext	50,1670581
		Tipo de día	-494,341953

### Banda 2, opción 1



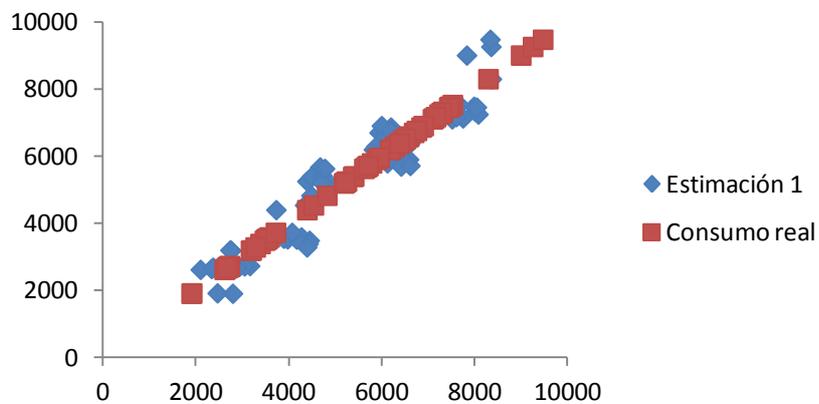
### Banda 2, opción 2



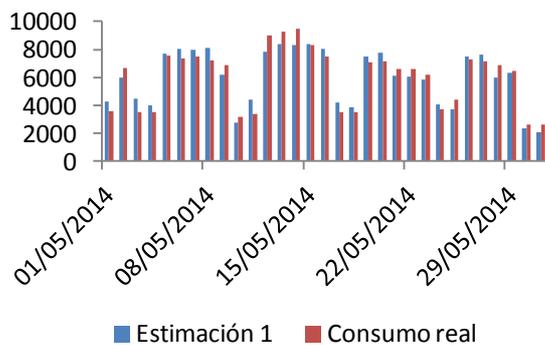
El buen comportamiento queda representado en estas bandas, donde observamos que no hay ningún punto que salga de estas. La etapa de refrigeración podemos considerarla como la determinante de la estimación, la estación mínima que al menos debe responder en la Línea Base.

#### ➤ Transición

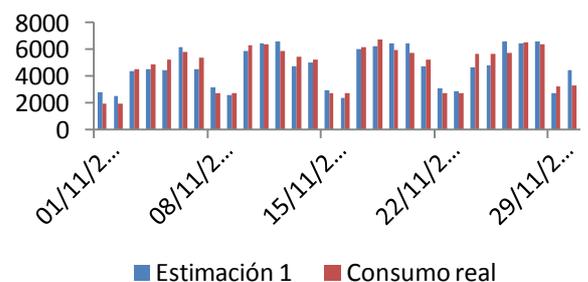
Según la gráfica mostrada a continuación, observamos que la estimación lineal responde perfectamente a nuestro modelo.



#### Mayo

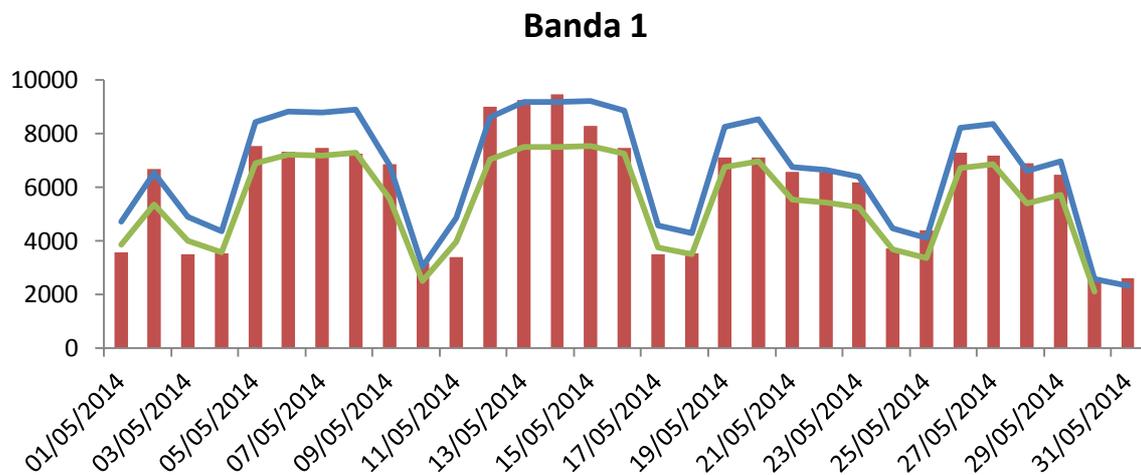
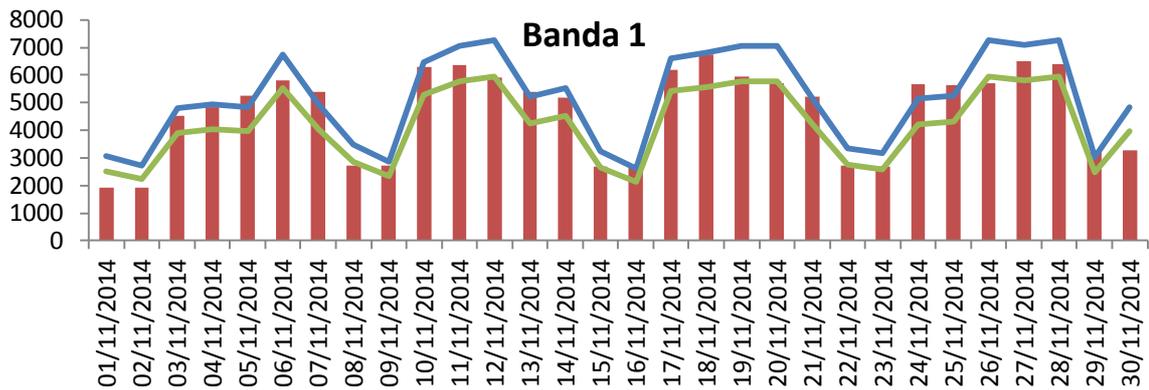


#### Noviembre



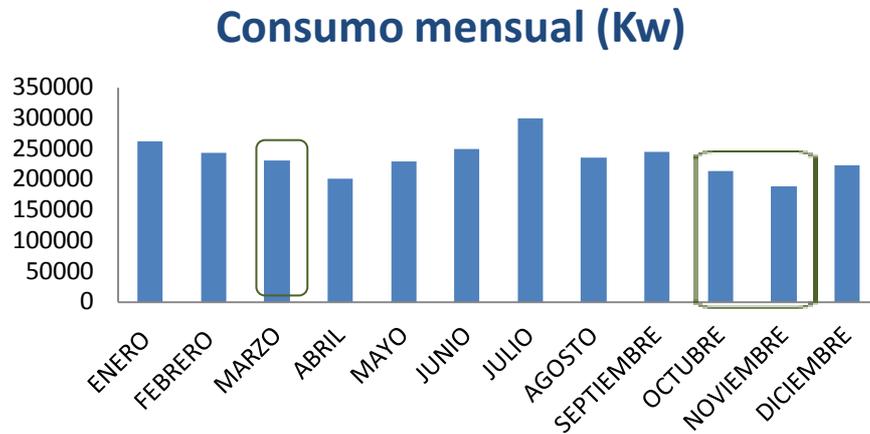
		ESTIMACIÓN	Estimación teniendo en cuenta el día en cuestión y un día antes (Estimación 1)
COEFICIENTES	DÍA	Temperatura ext	48,0906737
		Radiación	-22,2411232
		Tipo de día	1824,4157
	DÍA ANTES	Consumo	0,17928269
		Temperatura ext	14,3907005
		Radiación	-140,394392
		Tipo de día	-204,607297

Destacamos algunos puntos que se van de la banda sobre todo del mes de mayo, en el caso de noviembre son días puntuales.



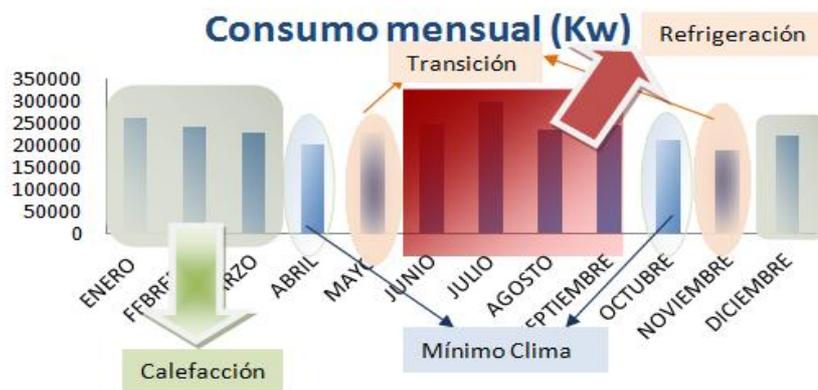
**ANEXO IV. ESTUDIO 6. Juzgados**

Volvemos a realizar un análisis mensual que nos permita determinar la estaciones.

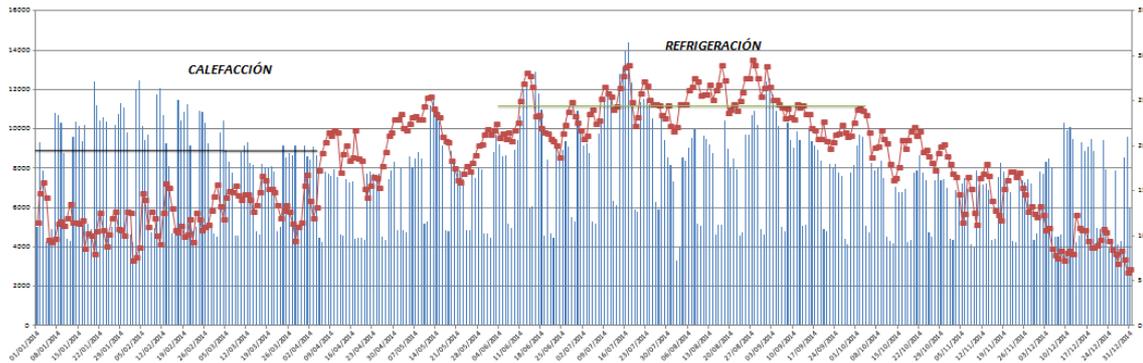


En esta ocasión volvemos a distinguir tres meses con el consumo reducido, podíamos coger cualquiera de ellos para el estudio dentro del mes de Mínimo Clima, para continuar con el procedimiento anterior, volvemos a tomar el mes de abril.

A partir de los meses de Mínimo Clima podemos distinguir las 4 estaciones diferentes, que después también comprobaremos con la distribución de temperaturas y consumos.

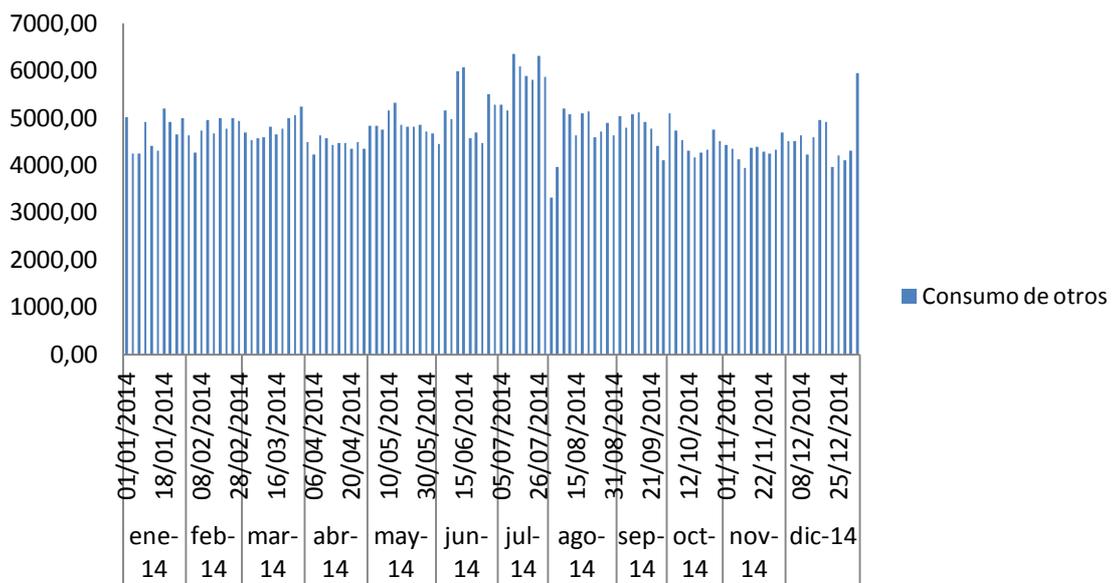


Comprobamos la distribución de estaciones de la misma forma que en el caso del EAA, donde distinguimos principalmente las estaciones de calefacción y refrigeración, las otras son más difusas, apenas existe diferencias entre ellas.



Continuamos con el algoritmo comentado anteriormente, nos volvemos a encontrar el mismo caso que la Audiencia Provincial, cuando vamos a obtener el consumo de otros, observamos que el consumo de fin de semana y festivos vuelve a ser muy diferentes entre sí. En parte es lo esperado, si recurrimos a la información del propio edificio de partida, el horario ya nos dice que allí todos los días puede existir operación.

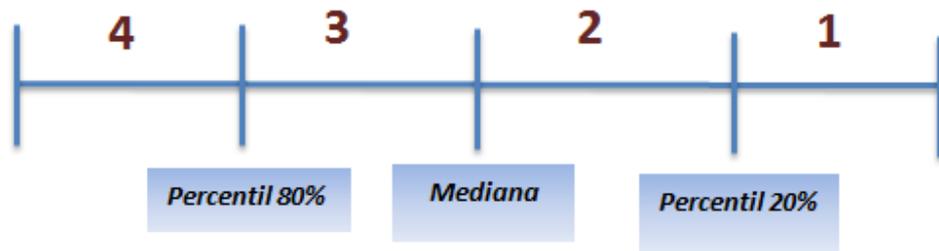
### Consumo fin de semana y festivos



Ante esta situación, albergamos la misma posibilidad que en el edificio de la Audiencia Provincial y volvemos a centrar nuestro estudio en el consumo total.

#### ➤ Tipificación de días

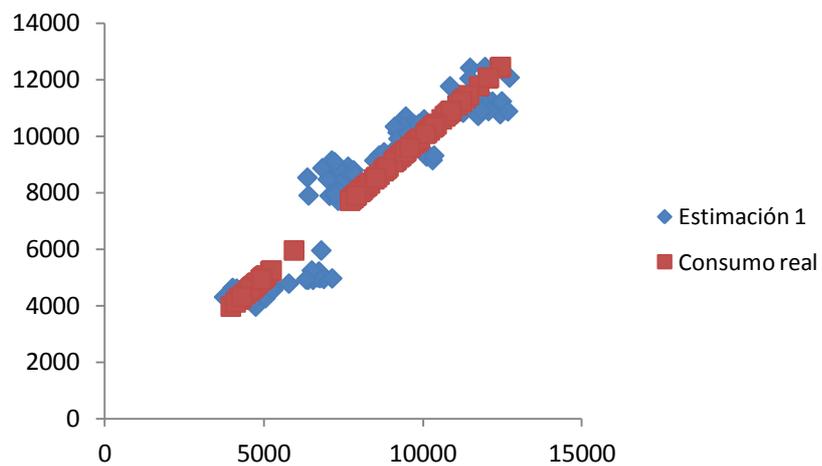
Estamos en la misma tesitura que en el edificio de la Audiencia Provincial, al no poder determinar como en el caso del edificio AAE los días de operación o no, planteamos la alternativa de la tipificación más completa. Distinguimos, por tanto, 4 tipos de días, lo cual nos permite dibujar un mapa de tipificación de días, que nos ayuda a visualizar la operación del edificio. Estos percentiles se hacen para cada una de las estaciones, teniendo en cuenta que con esta distinción se harán las estimaciones.



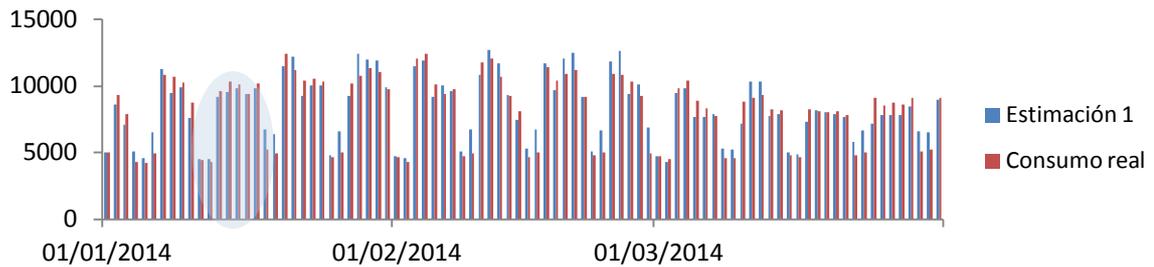
		2014											
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
1	2	1	1	4	2	1	3	2	4	4	1	2	
2	3	1	1	4	4	2	3	1	4	4	1	2	
3	2	4	3	4	2	3	3	1	4	4	2	2	
4	1	4	3	4	2	3	2	2	4	2	2	2	
5	1	3	2	1	4	2	2	2	3	2	3	2	
6	2	3	2	1	3	2	1	3	1	4	3	1	
7	4	3	2	3	4	1	3	3	1	3	2	1	
8	3	1	1	3	4	1	3	3	3	4	1	1	
9	3	2	1	3	4	3	4	2	3	4	1	3	
10	2	4	2	4	2	3	4	1	3	3	3	3	
11	1	4	3	3	2	4	4	3	3	2	2	3	
12	1	4	3	2	4	4	2	3	3	1	2	3	
13	3	3	2	2	4	4	2	3	1	1	2	1	
14	3	2	2	2	4	2	4	2	1	2	2	1	
15	3	1	1	2	4	2	4	1	3	2	1	3	
16	3	2	1	2	4	4	4	1	3	2	1	2	
17	3	4	2	1	2	4	4	1	3	2	3	2	
18	2	3	2	1	2	4	4	3	3	1	4	3	
19	2	4	2	1	4	1	2	3	2	1	3	2	
20	4	4	2	1	4	2	2	2	1	3	3	2	
21	4	3	2	3	3	1	4	2	1	3	2	2	
22	3	1	1	3	3	1	4	2	2	4	1	3	
23	3	2	2	3	3	3	4	1	2	3	1	2	
24	3	4	2	3	2	2	4	1	2	2	3	1	
25	1	4	2	3	2	3	3	3	2	2	3	1	
26	2	3	2	1	3	3	2	3	2	2	3	2	
27	3	3	2	1	3	3	2	4	1	2	3	1	
28	4	2	2	3	3	2	3	4	1	3	2	1	
29	4		2	3	3	2	3	3	2	2	1	2	
30	4		2	4	1	4	2	1	2	3	1	3	
31	3		3		1		2	1		2		2	

Una vez que ya tenemos la tipificación de días, tenemos todas las variables de entradas a nuestra función que nos permite obtener la estimación.

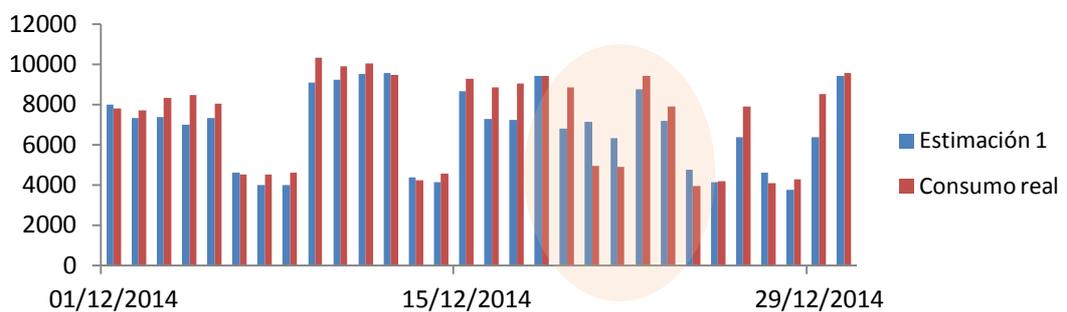
➤ *Calefacción*



### Enero, febrero, marzo

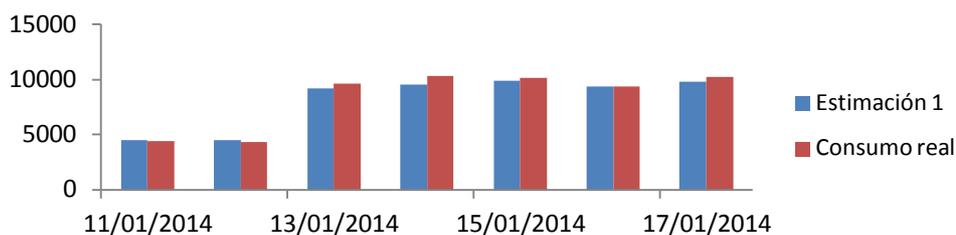


### Diciembre

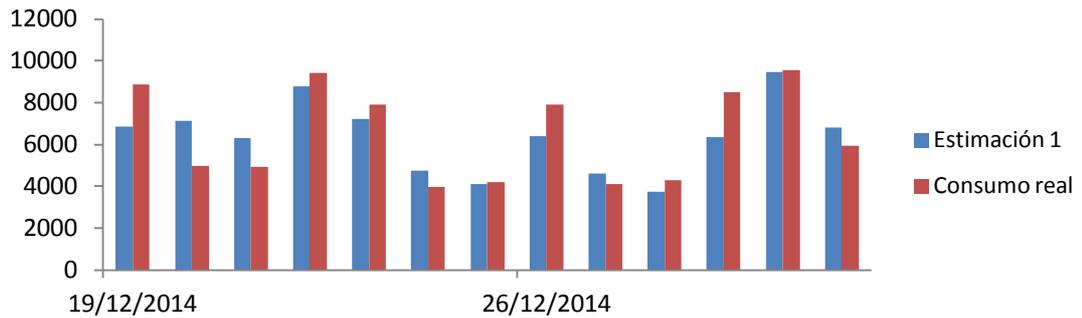


Tomamos como ejemplo de análisis del correcto funcionamiento de nuestro modelo esa semana marcada en azul, observamos la respuesta del sistema de pasar de días de menor operación, que se corresponden con un fin de semana, a la semana que le sigue con una operación habitual. Esa tendencia ocurre en la mayoría de las semanas.

### Semana representativa 1



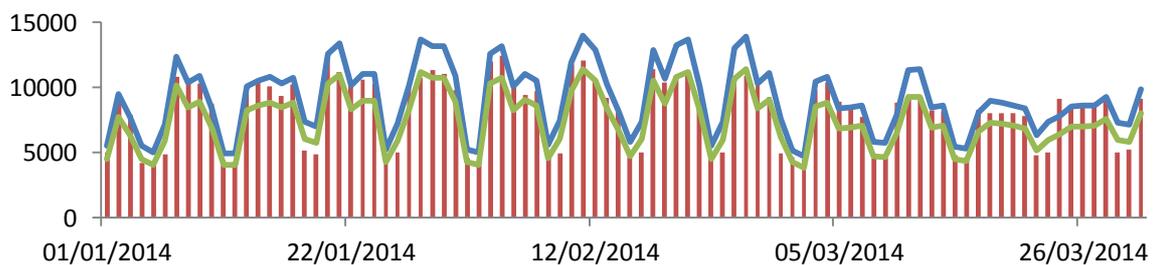
Sin embargo, también es necesario destacar aquellos períodos donde la estimación se aleja de la realidad, ejemplo marcado en naranja, semanas que ha podido ocurrir algo fuera del alcance de las variables que tomamos de entrada, porque en las semanas próximas el sistema ha vuelto a responder con normalidad e incluso días en concreto dentro de esa semana. Estos eventos nosotros no podemos controlarlos, sería recomendable que fueran conocidos y añadir otra variable donde se puede incorporar la existencia o no de operación especial, como ya expusimos en el caso de la Audiencia Provincial.



Con todo esto ya podemos presentar los coeficientes característicos que definen nuestra función para esta estación:

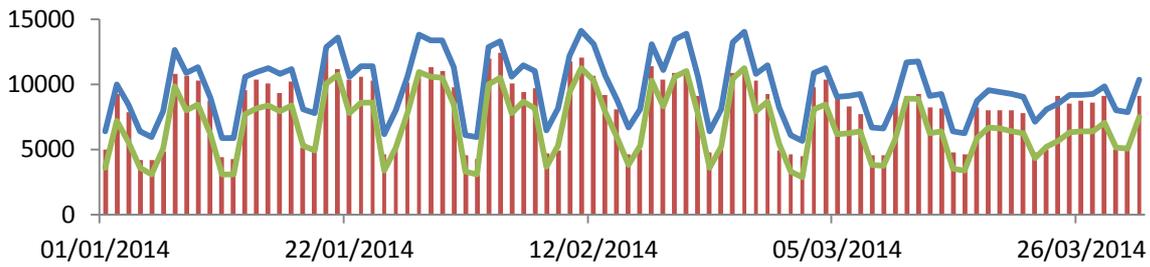
ESTIMACIÓN		Estimación teniendo en cuenta el día en cuestión y un día antes ( <i>Estimación 1</i> )	
COEFICIENTES	DÍA	<i>Temperatura ext</i>	-50,0059564
		<i>Radiación</i>	-124,7299
		<i>Tipo de día</i>	2403,96965
	DÍA ANTES	<i>Consumo</i>	0,19044664
		<i>Temperatura ext</i>	136,550119
		<i>Radiación</i>	241,906285
	<i>Tipo de día</i>	-227,072601	

### Banda 1



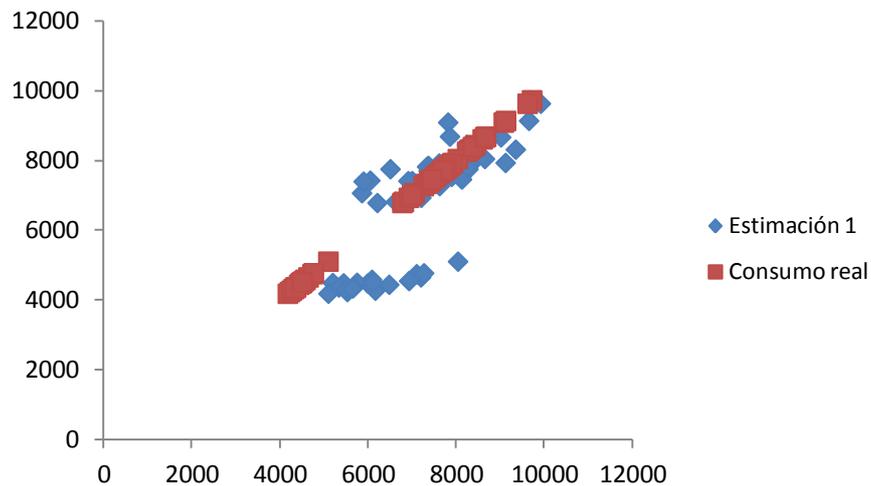
En ambas bandas se muestra, el comportamiento destacado del sistema ante los cambios operacionales. En toda la estación son solo varios puntos los que no nos dejan calificarlas como una perfecta aproximación.

### Banda 2, opcion 1



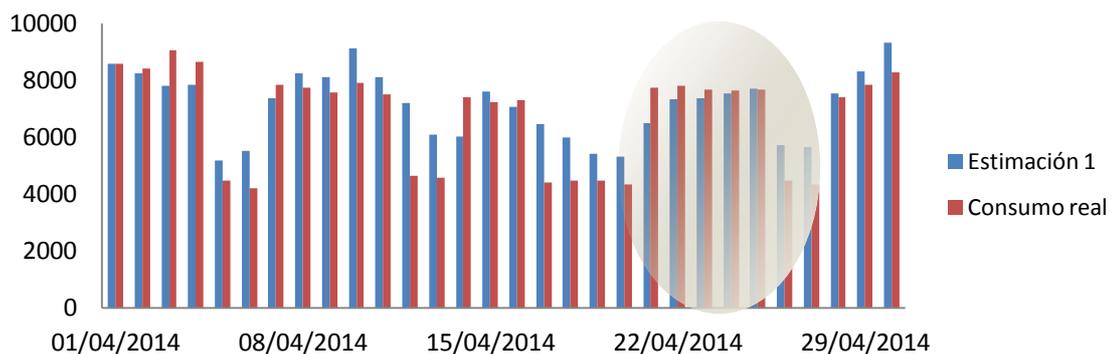
#### ➤ *Mínimo Clima*

Obtenemos los siguientes resultados para los meses de abril y octubre:

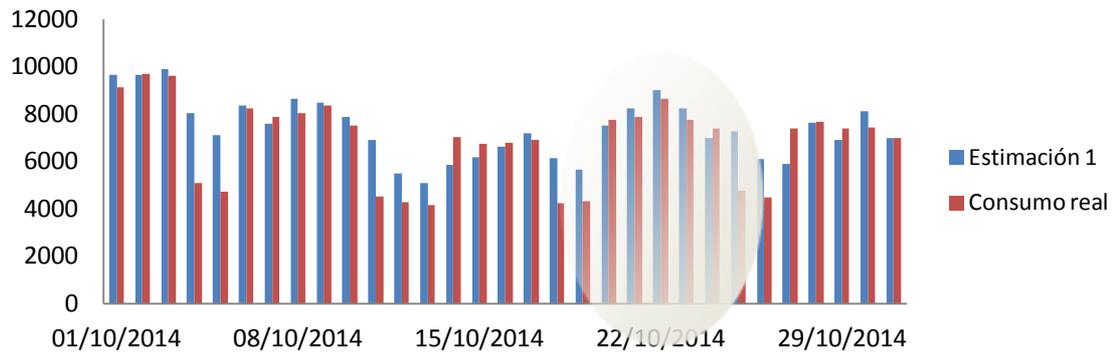


Observamos que algunos puntos se alejan de la curva, en concreto aquellos de valores más pequeños, es difícil poder relacionar las variables que nosotros usamos con la operación dentro de algunos fines de semana o festivos, donde el consumo es menor. Vamos a comprobar si ese error es muy elevado para tomar otra alternativa o podemos mantenernos por este camino.

### Abril

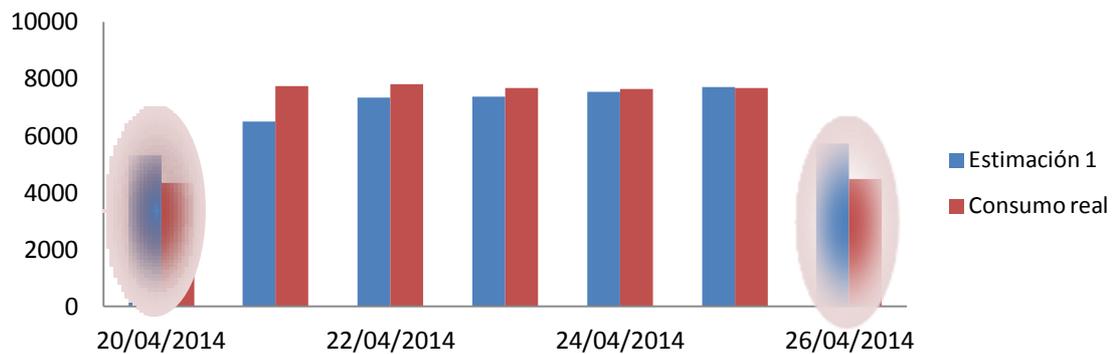


### Octubre

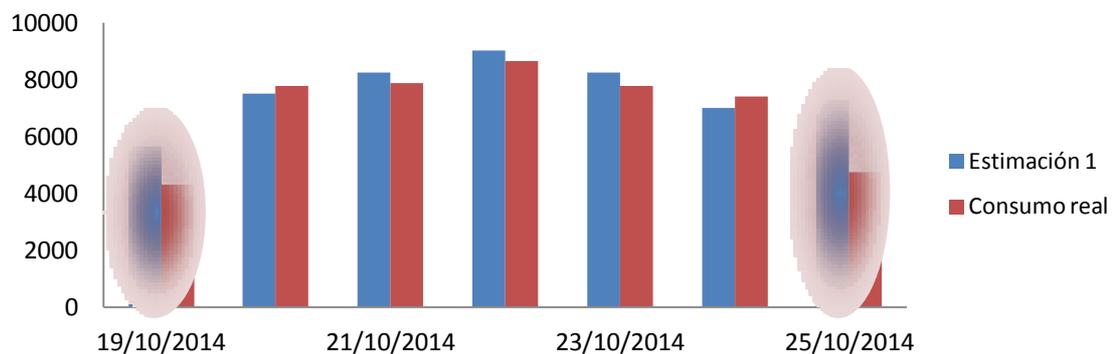


Como bien habíamos apreciado antes, el consumo de fines de semana se aleja de lo estimado, sin embargo durante la semana apenas hay diferencia entre la estimación y la realidad, si cogemos cualquier período, y de ambos meses, podemos observar lo mismo.

### Semana representativa 1



### Octubre

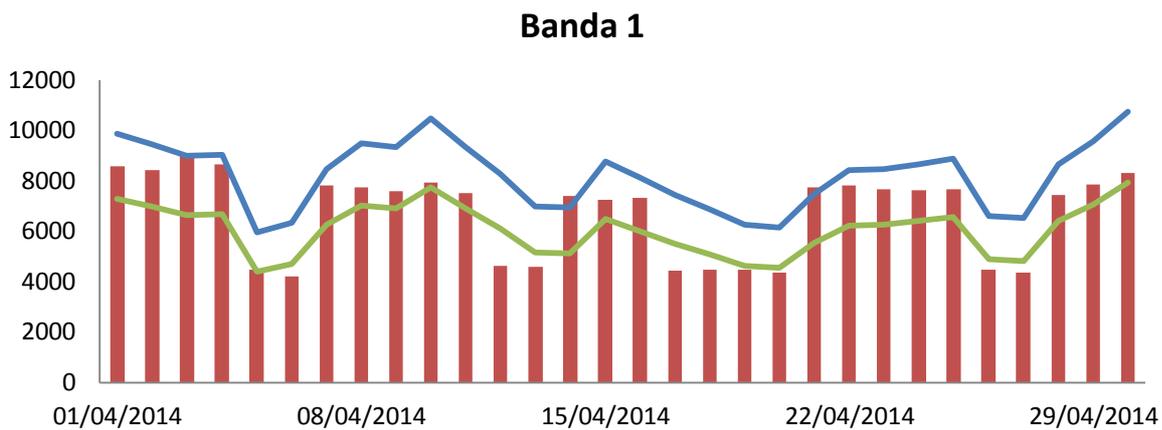


Por tanto, podemos llegar a la conclusión, que algo ha cambiado en la operación en esos días que no se refleja en ninguna de las variables que nosotros hemos tomado como representativas.

Si cuando hagamos el balance global, en ese período el error excede el 10%, podemos tomar algunas medidas, en caso contrario lo tomamos como correcto.

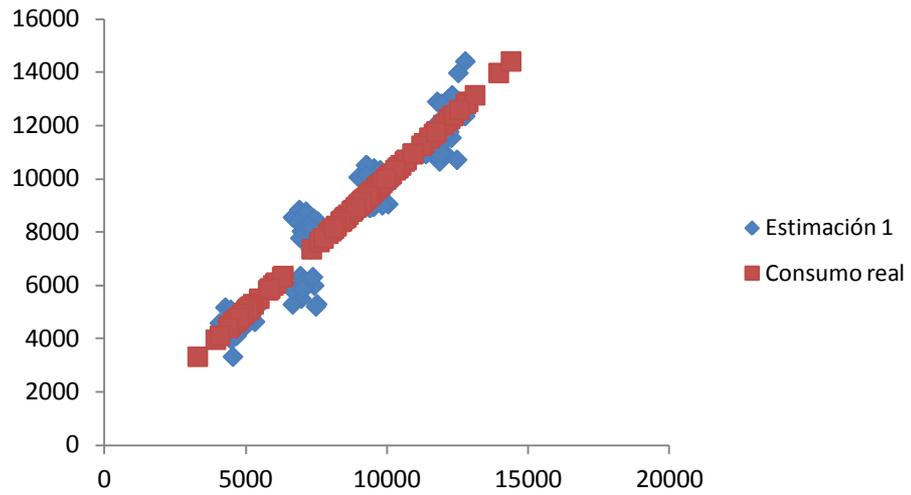
		ESTIMACIÓN	Estimación teniendo en cuenta el día en cuestión y un día antes ( <i>Estimación 1</i> )
COEFICIENTES	DÍA	<i>Temperatura ext</i>	-20,8530213
		<i>Radiación</i>	134,263911
		<i>Tipo de día</i>	844,257911
	DÍA ANTES	<i>Consumo</i>	0,37818624
		<i>Temperatura ext</i>	174,397477
		<i>Radiación</i>	-31,1510376
	<i>Tipo de día</i>	-348,820418	

El mismo hecho comentado arriba vuelve a quedar de evidencia en la banda de error, el consumo de fines de semana está sobredimensionado.

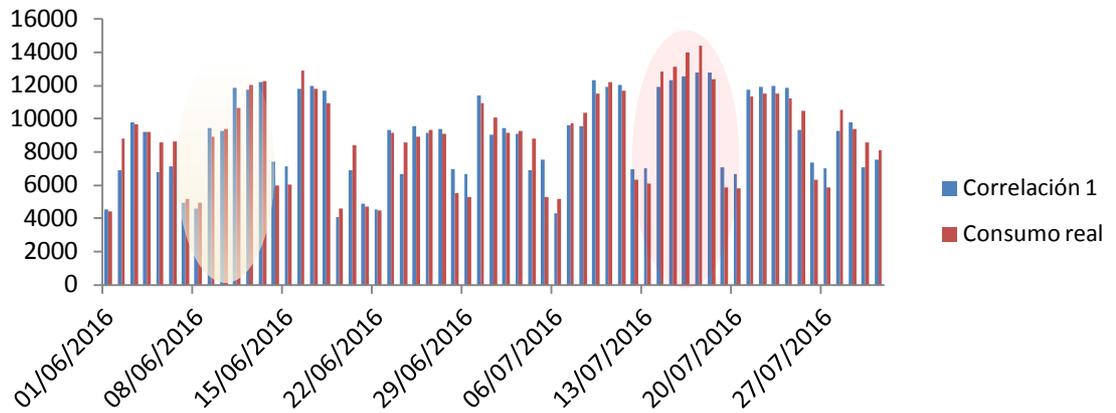


### ➤ *Refrigeración*

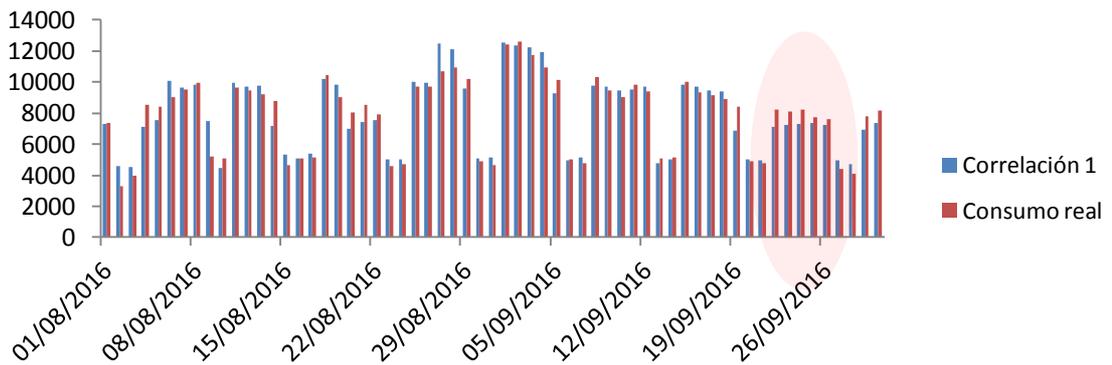
Ahora procedemos a analizar una de las estaciones más importantes, por el propio clima de Sevilla, que hace que la refrigeración supone un consumo considerable de energía, quizás con un peso menor de consumo total por el hecho de que coge ciertos meses de no operación normal.



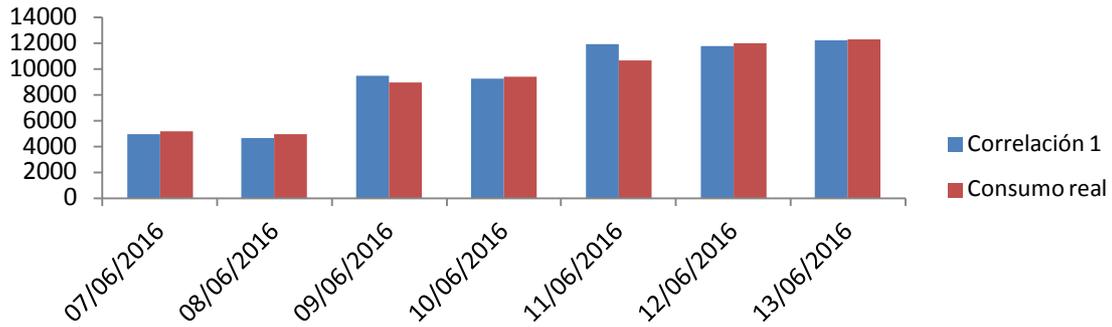
**Junio, Julio**



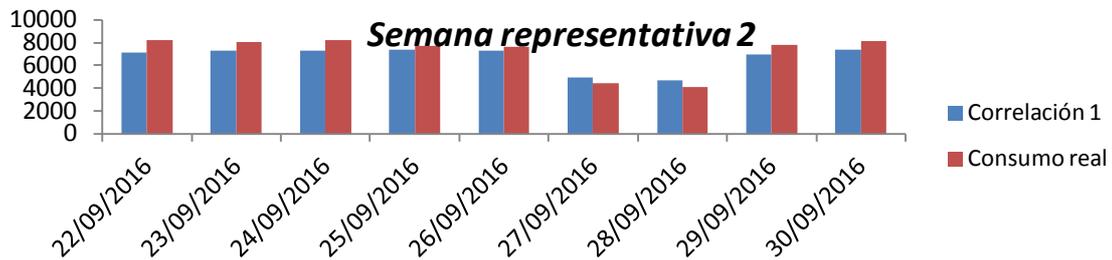
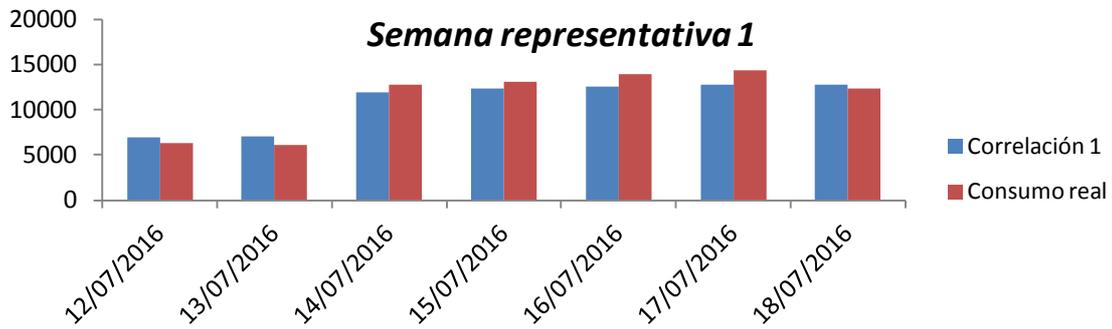
**Agosto, septiembre**



Como podemos observar la estimación es bastante cercana a la realidad, un ejemplo lo podemos ver en la siguiente semana:



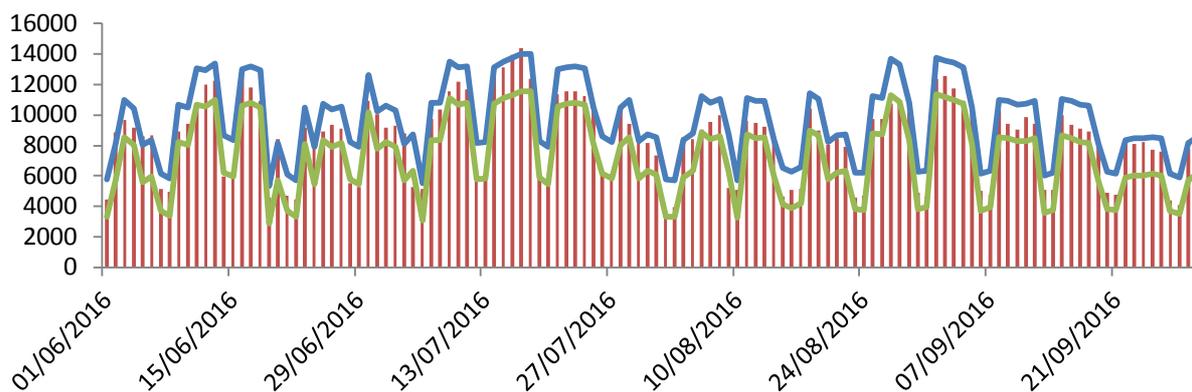
Sin embargo, podemos destacar varias semanas, señaladas de rojo, dentro de este período, donde se aleja un poco la estimación, pero como en casos anteriores, son semanas puntuales, donde después se vuelve a restablecer el sistema. Además, de algunos picos puntuales.



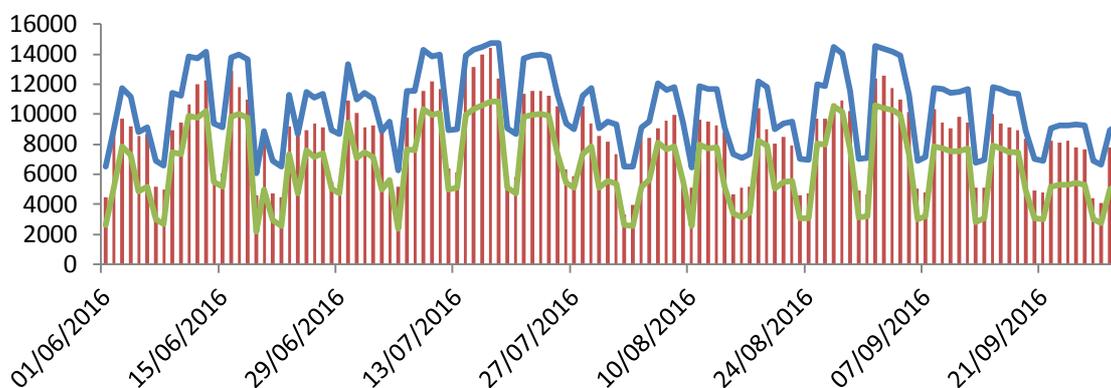
Procedemos a exponer los coeficientes obtenidos:

		ESTIMACIÓN	Estimación teniendo en cuenta el día en cuestión y un día antes (Estimación 1)
COEFICIENTES	DÍA	Temperatura ext	73,3908372
		Radiación	-76,0206999
		Tipo de día	2418,03779
	DÍA ANTES	Consumo	0,24040674
		Temperatura ext	26,2132879
		Radiación	16,5479029
		Tipo de día	-665,312196

### Banda 2, opción 1

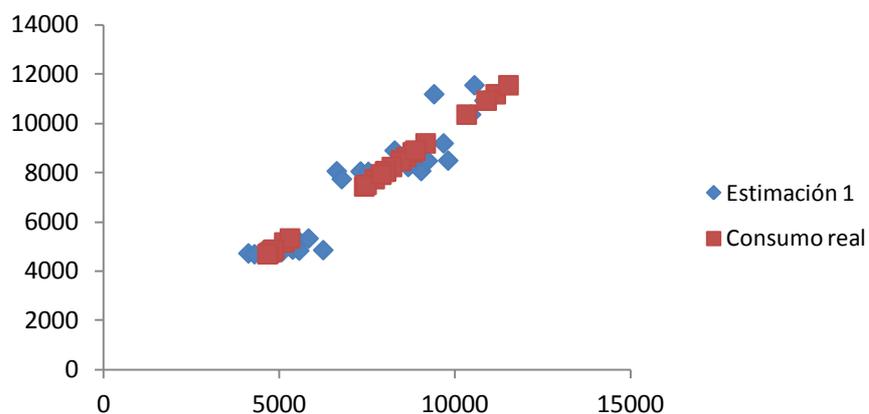


### Banda 2, opción 2

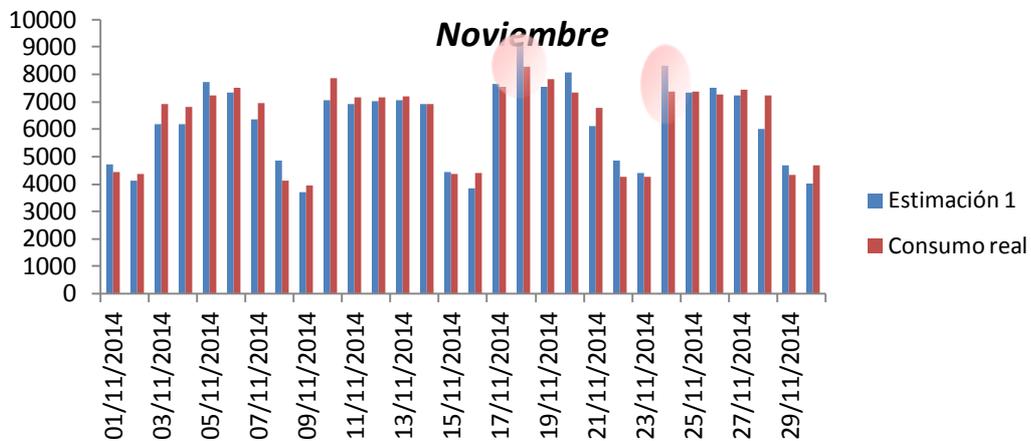
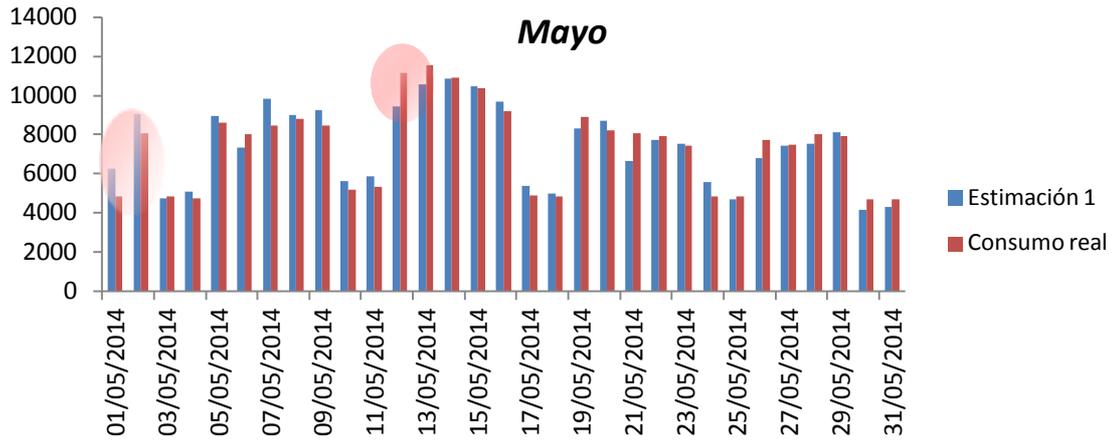


Esta banda última si que recoge todos los puntos de la estimación. De forma general, se puede calificar como un modelo que responde bastante bien a los cambios del sistema.

#### ➤ *Transición*



De forma general, nuestra estimación sigue la tendencia del consumo, no se observan diferencias claras entre una semanas y otras, a excepción de algunos picos en concreto, pero que después el sistema vuelve a restablecerse.



		ESTIMACIÓN	Estimación teniendo en cuenta el día en cuestión y un día antes (Estimación 1)
COEFICIENTES	DÍA	Temperatura ext	228,359267
		Radiación	40,3675109
		Tipo de día	1857,49751
	DÍA ANTES	Consumo	0,64150881
		Temperatura ext	-153,859641
		Radiación	-178,548833
	Tipo de día	-1138,71181	

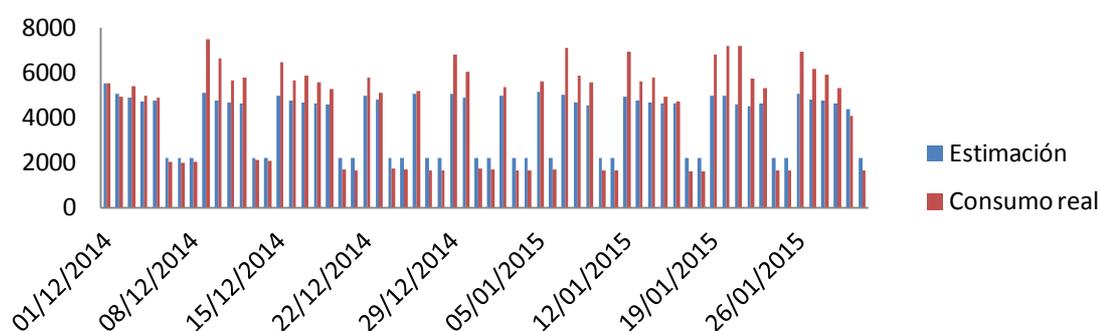
## ANEXO V. APLICACIÓN LÍNEAS BASES AL EDIFICIO DE LA AGENCIA ANDALUZA DE LA ENERGÍA. ESTUDIO 2

Ahora procedemos a aplicar cada una de las Líneas Base definidas previamente al edificio en cuestión, distinguiendo los resultados en cada una de las estaciones previamente caracterizadas.

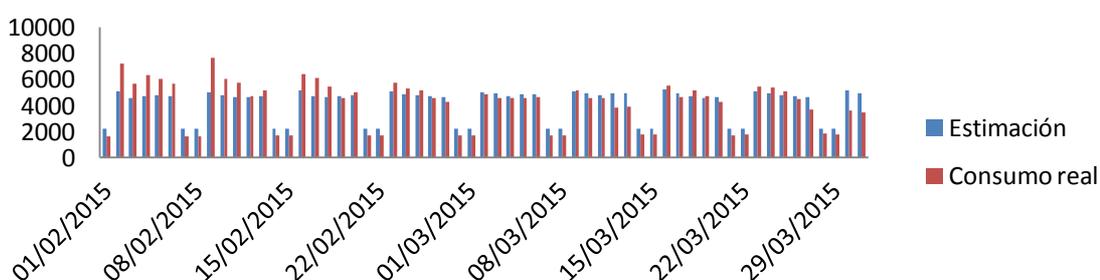
### ➤ *Calefacción*

Apreciamos claramente dos etapas, una primera donde la estimación se queda corta, excepto en los días de menor operación que está sobredimensionada, y la otra, que se corresponde con el mes de marzo, la Línea Base coincide prácticamente con el consumo real. En ambos casos el modelo definido sigue la tendencia.

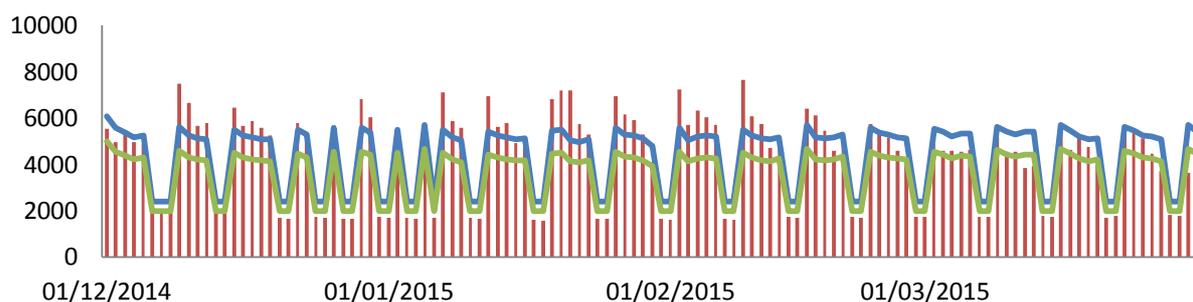
#### Diciembre, enero



#### Febrero, marzo



#### Banda 1.Calefacción

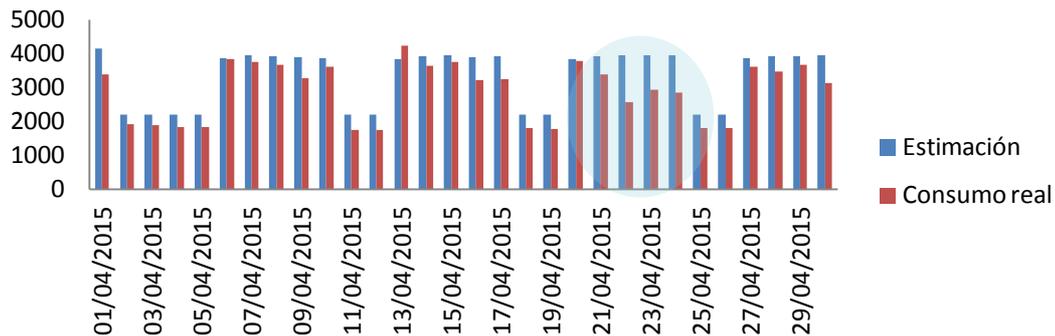


➤ **Mínimo Clima**

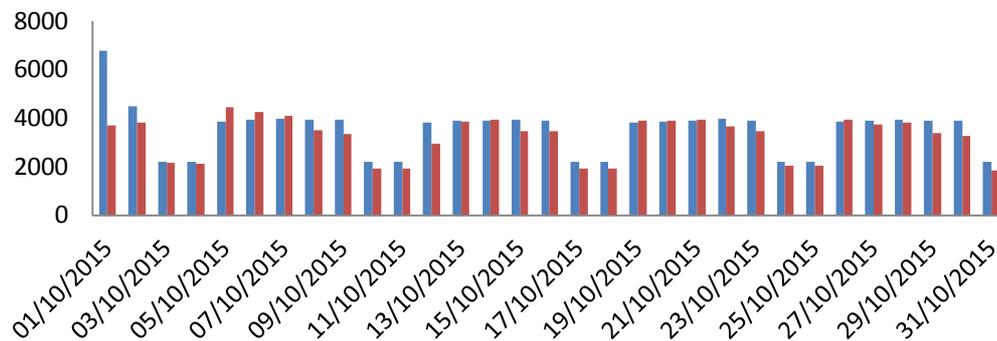
En esta estación, vuelve a estar sobredimensionado los días de menor operación; sin embargo en el resto sigue prácticamente el modelo de consumo real, sobre todo en el mes de octubre.

Es cierto que en el mes de abril si se bserve ciertas diferencias, como podemos observar en la semana señalada.

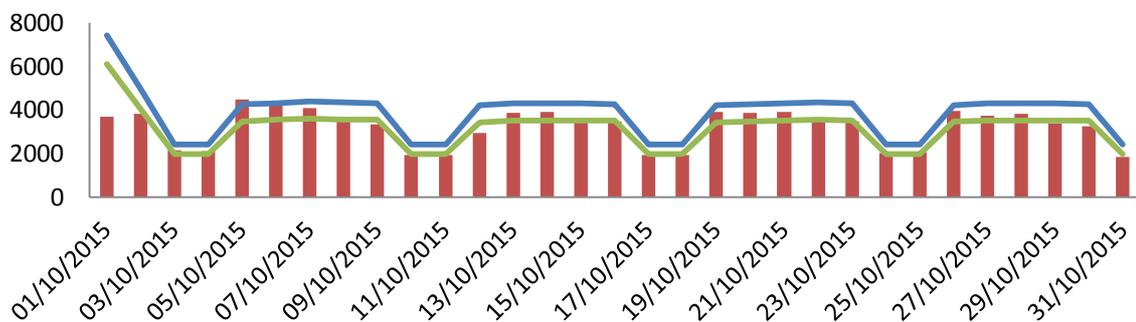
**Abril**



**Octubre**



**Octubre**

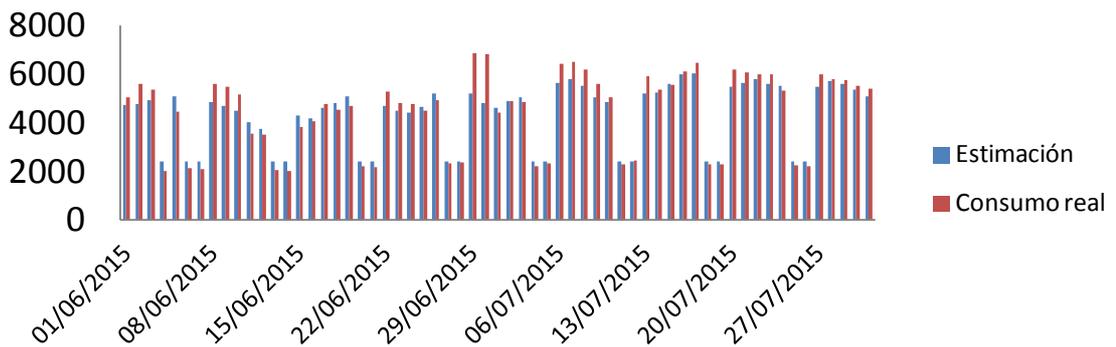


Con la banda de error corroboramos todo lo dicho anteriormente,destacando principalmente el tema de los días de menor operación.

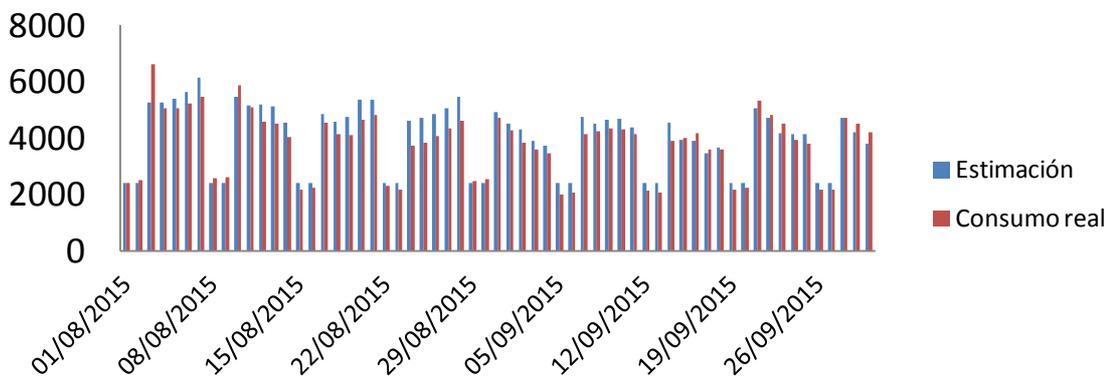
➤ **Refrigeración**

En esta etapa, la aproximación más fiel o no, va por períodos, hay meses como junio y septiembre donde prácticamente no hay diferencias, coincidente con períodos de operación más normal. No obstante, en julio y agosto nos alejamos un poco, quizás al encontrarnos en época de vacaciones es más difícil que se asemeje un año a otro, justo en esos meses pasamos de una aproximación que no llega al consumo en julio a una sobreestimación en el mes siguiente.

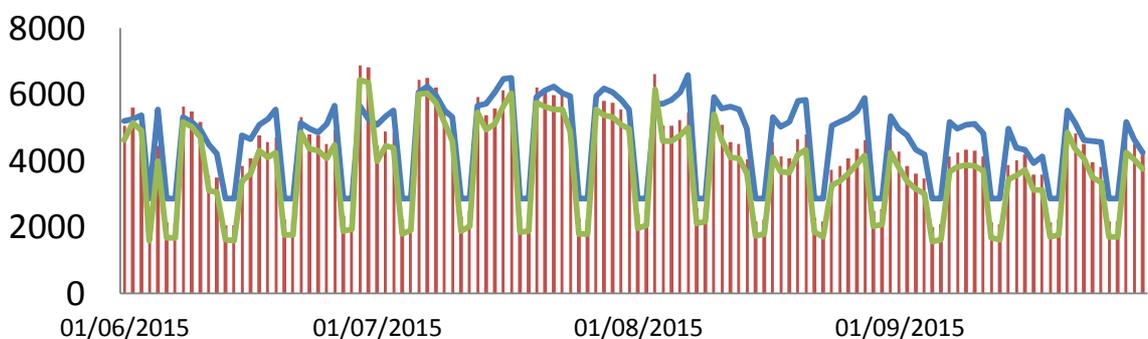
**Junio, julio**



**Agosto, septiembre**



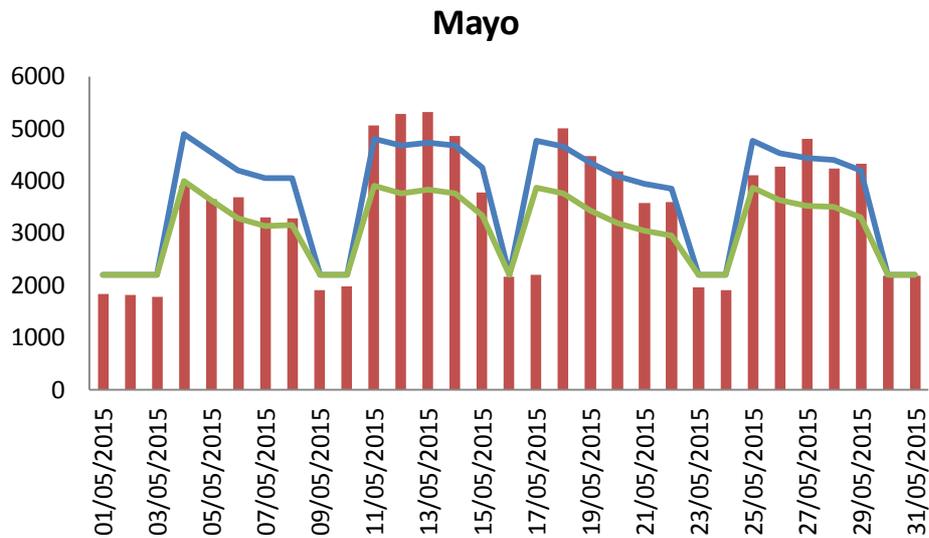
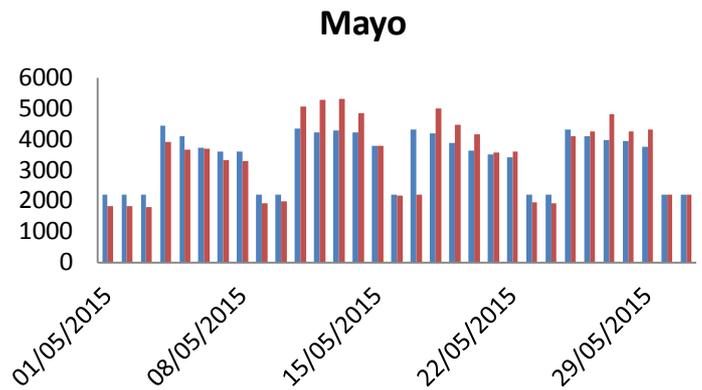
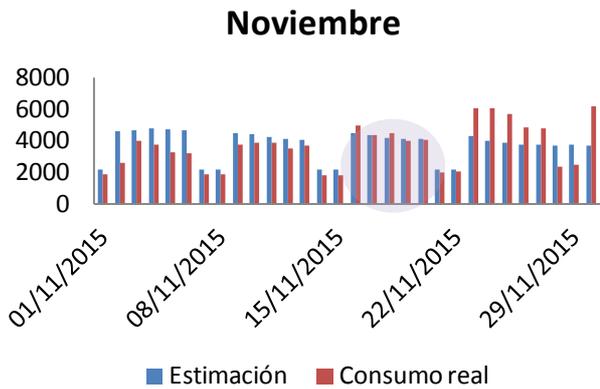
**Banda 1.Refrigeración**



Todas estas anotaciones comentadas anteriormente podemos apreciarlas en las bandas de error.

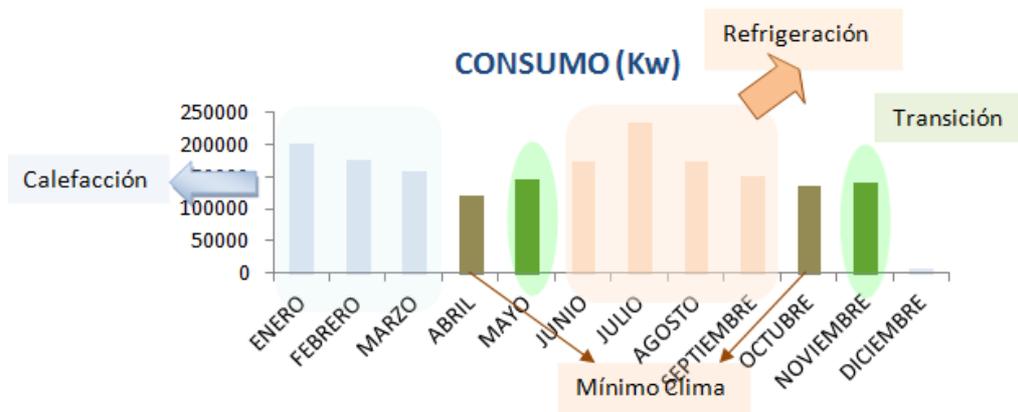
➤ **Transición**

Dentro de la aplicación de la Línea Base obtenida, puede que nos encontremos con la estación con un error superior, o lo que es equivalente una estimación más alejada de la realidad. Aún así, destacamos semanas, como la señalada, donde apenas hay diferencias.



## ANEXO VI. APLICACIÓN DE LÍNEAS BASES AUDIENCIA PROVINCIAL

En primer lugar, la distribución de las estaciones nos quedaría así:



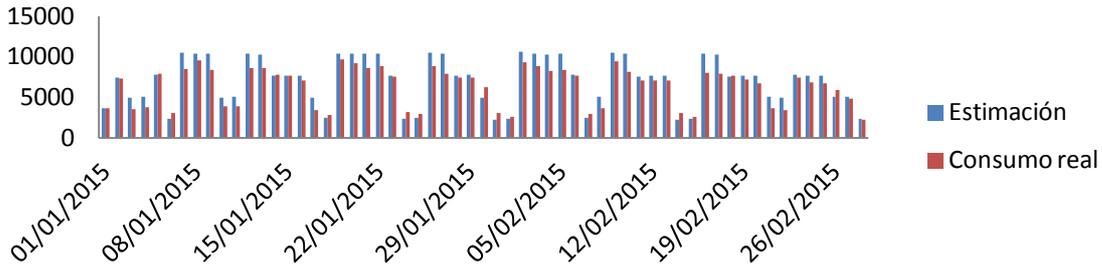
Se corresponde con la misma que en el estudio de partida, ahora procedemos a obtener cada una de las estaciones, para ello es necesario conocer el mapa de tipificación de días.

		2015											
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
1	?	?	?	?	2	1	3	3	1	3	4	1	?
2	?	?	?	1	1	3	3	1	3	4	1	?	?
3	?	?	?	1	1	3	3	1	3	2	1	3	?
4	?	?	?	1	2	2	1	3	2	1	3	?	?
5	?	?	?	1	2	3	2	3	3	1	4	3	?
6	?	?	?	3	2	1	4	3	1	4	2	?	?
7	?	?	?	4	2	1	4	4	2	4	1	?	?
8	?	?	?	4	2	4	4	1	3	4	1	?	?
9	?	?	?	4	2	4	4	1	3	3	2	?	?
10	?	?	?	4	2	3	3	4	3	2	3	?	?
11	?	?	?	2	3	2	1	3	3	2	2	?	?
12	?	?	?	2	4	2	1	3	1	2	3	?	?
13	?	?	?	3	4	1	4	3	1	3	2	?	?
14	?	?	?	4	4	1	4	2	2	4	2	?	?
15	?	?	?	3	4	2	4	1	2	4	1	?	?
16	?	?	?	3	2	2	4	1	2	3	3	?	?
17	?	?	?	2	2	2	4	2	2	1	3	?	?
18	?	?	?	2	4	3	2	2	2	1	3	?	?
19	?	?	?	2	4	3	2	2	1	2	3	?	?
20	?	?	?	3	3	2	4	3	1	3	3	?	?
21	?	?	?	2	3	1	4	3	3	3	2	?	?
22	?	?	?	1	3	3	4	2	3	3	1	?	?
23	?	?	?	2	2	3	4	2	2	2	4	?	?
24	?	?	?	2	1	3	4	2	2	1	4	?	?
25	?	?	?	2	3	3	1	2	2	1	4	?	?
26	?	?	?	1	3	3	1	2	1	3	4	?	?
27	?	?	?	3	3	2	4	3	1	3	3	?	?
28	?	?	?	3	4	1	4	3	2	3	2	?	?
29	?	?	?	3	4	4	4	2	2	3	1	?	?
30	?	?	?	2	2	4	4	2	2	3	4	?	?
31	?	?	?		1		3	3		2		?	?

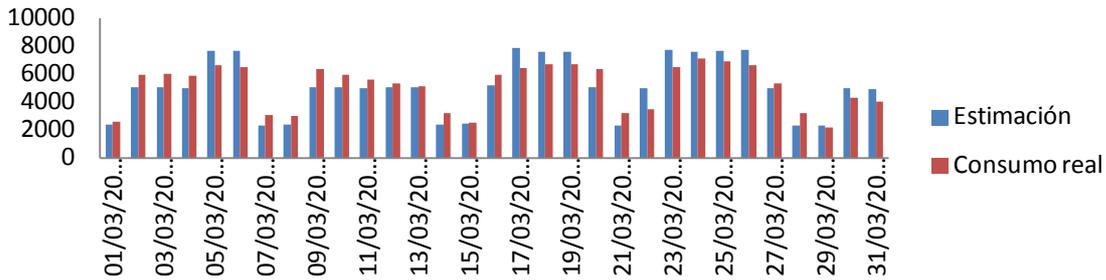
### ➤ Calefacción

De forma general podemos definir que la estimación responde muy bien en aquellos puntos donde el propio consumo no es muy elevado, o ya está dentro de la semana. Los principales puntos alejados de la aproximación se corresponden con los días del comienzo de la semana, se produce en estos una sobreestimación. Aún así, no existen puntos significativos fuera de la banda de error, como comprobamos en esta.

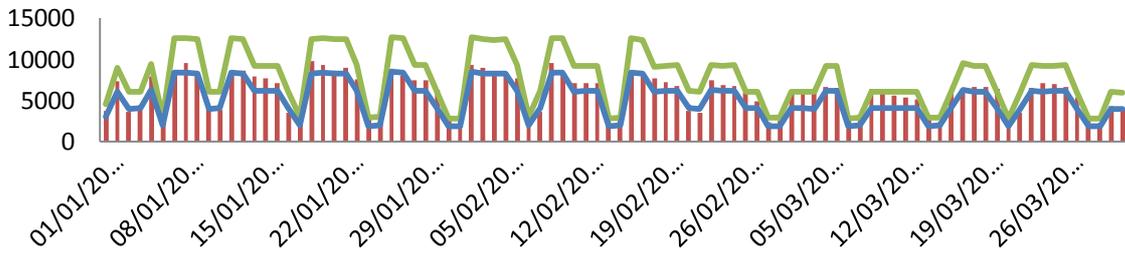
### Enero, febrero



### Marzo



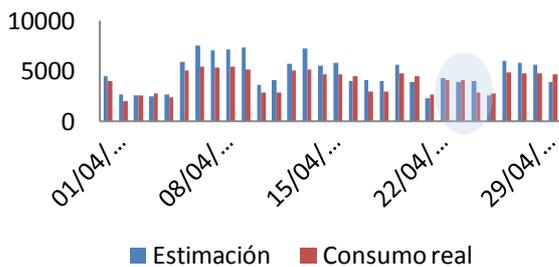
### Banda 1.Calefacción



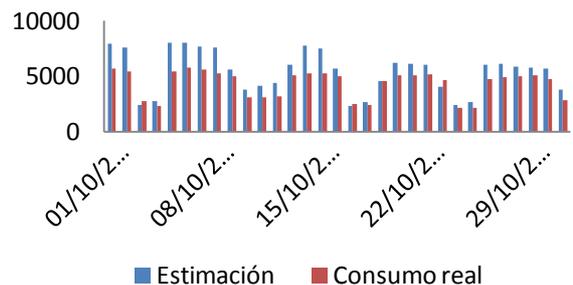
➤ **Mínimo Clima**

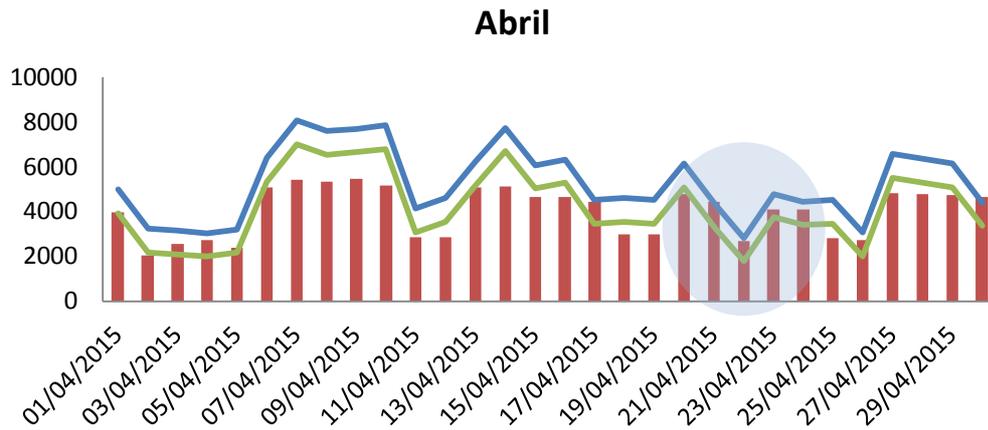
Se puede considerar como una de las estaciones de mayor error en este estudio, de los dos meses apenas varias semanas la respuesta es la esperada.

### Abril



### Octubre

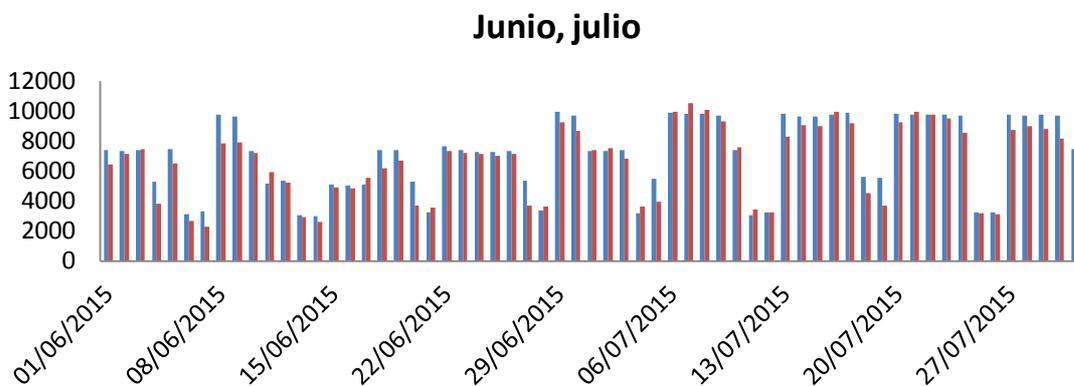




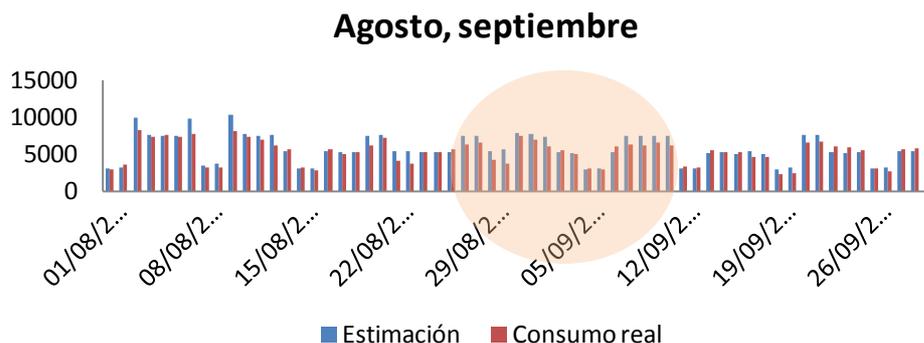
De forma general, se observa una sobreestimación, la cual es apreciable en las bandas de error, donde el límite inferior se queda por encima del consumo real.

### ➤ *Refrigeración*

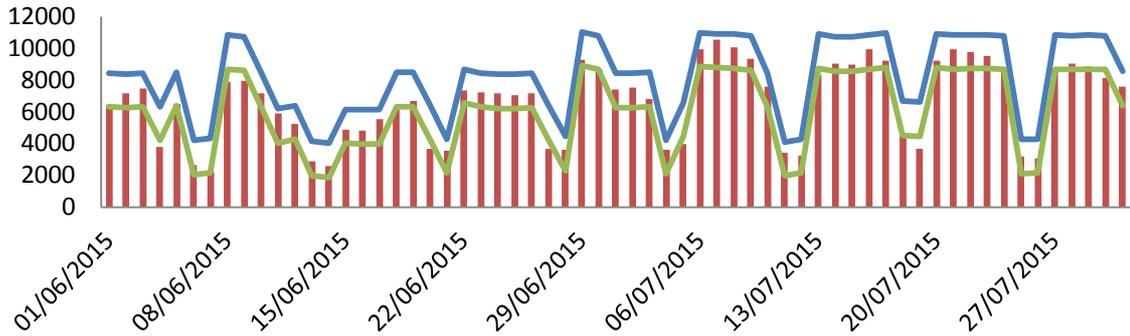
En esta estación, el modelo vuelve a responder según lo esperado, a excepción de algunos puntos, que ya en la propia obtención de la Línea Base no era capaz de dar.



Junto con estos puntos, también es destacable varias semanas del comienzo de septiembre, se corresponde con un período de adaptación del período estival de menor a operación a la vuelta a la rutina normal de septiembre.

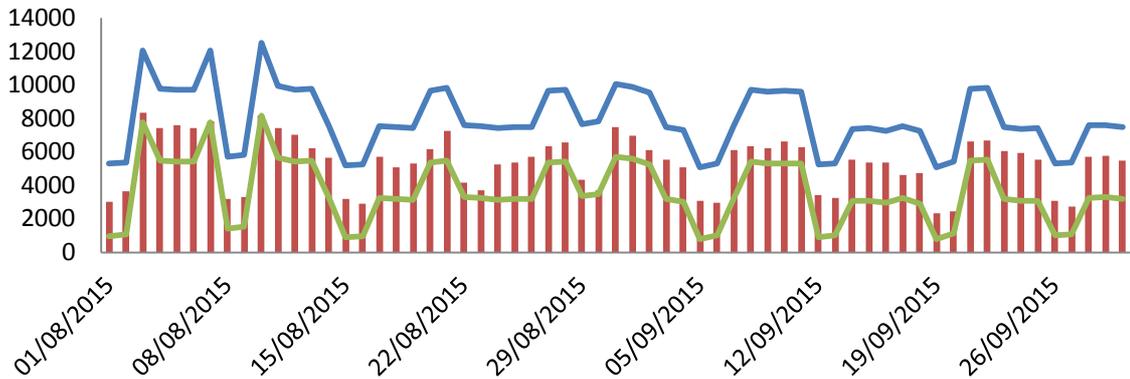


### Banda 2, opc 1.Junio, julio



En la representación de las bandas, observamos que en estas al corresponderse con aquellas donde las bandas son más amplias, apenas existen puntos fuera de ellas.

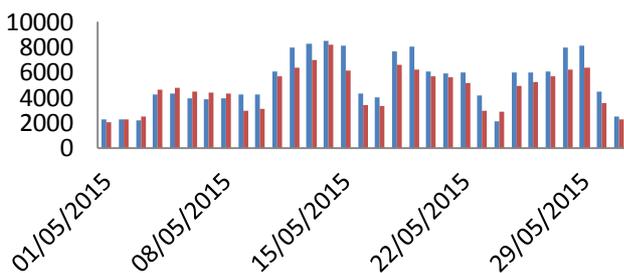
### Banda 2, opc 2.Agosto, septiembre



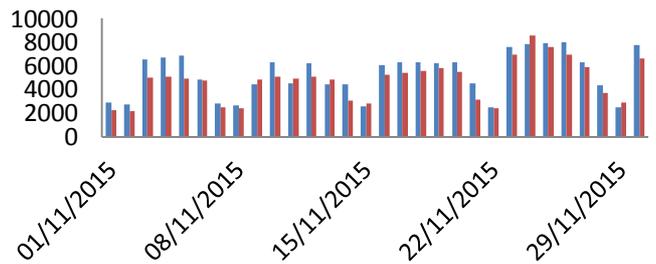
#### ➤ *Transición*

En esta época observamos que la Línea Base sigue totalmente la tendencia esperada, en muchos puntos esta sobredimensionada, en otras semanas apenas hay diferencia, como apreciamos en la segunda quincena de noviembre.

### Mayo



### Noviembre



■ Estimación ■ Consumo real

A continuación mostramos los resultados globales obtenidos en el año 2015 aplicando la Línea Base diseñada tomando como referencia el 2014.

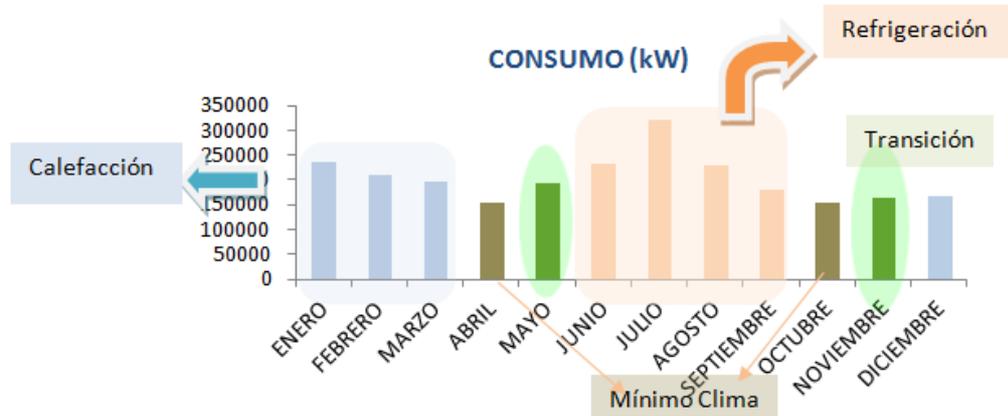
	<b>Consumo real (kW)</b>	<b>Consumo estimado (kW)</b>	<b>Error (%)</b>
<b>Calefacción</b>	543836	583846	7,36
<b>Mínimo Clima</b>	255608	310053	21,3
<b>Refrigeración</b>	732208	786807	7,46
<b>Transición</b>	287056	323555	12,75
<b>TOTAL</b>	<b>1818708</b>	<b>2004261</b>	<b>10,2</b>

En la misma tabla se observa esa sobreestimación de la que hemos hablado en numerosas ocasiones a lo largo de este estudio. Aún así el error global está en torno a 10 %, se considera aceptable dicha aplicación.

Merece la pena destacar el caso de la estación de Mínimo Clima, alcanzando un error superior al 20 %, comentada en la parte correspondiente donde las diferencias existentes en esta época entre la Línea definida y el consumo real eran elevadas. Podría deberse a algo que cambió en la operación, ya que en el resto de estaciones no se aprecia tal diferencia.

## ANEXO VII. APLICACIÓN DE LA LÍNEA BASE JUZGADOS

Como en todos los casos anteriores comprobamos que la distribución de estaciones coincide con la del estudio de partida, como es así podemos seguir con la tipificación de días, que debe ser un dato de partida.



*Determinación de días tipos*

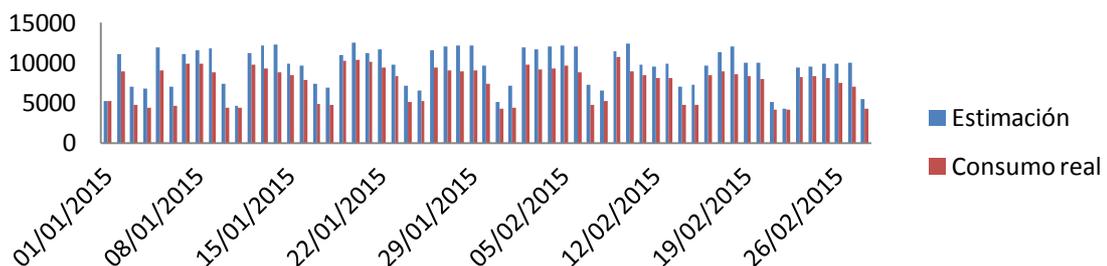
		2015											
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
1	?	?	?	3	1	3	3	2	3	4	1	?	
2	?	?	?	2	1	3	3	2	2	4	1	?	
3	?	?	?	2	1	3	3	4	2	1	3	?	
4	?	?	?	2	3	1	1	3	2	1	2	?	
5	?	?	?	2	3	3	2	3	1	4	2	?	
6	?	?	?	4	3	1	4	3	1	4	2	?	
7	?	?	?	4	3	1	4	3	3	3	1	?	
8	?	?	?	4	2	4	4	1	2	3	1	?	
9	?	?	?	4	1	3	4	1	3	2	2	?	
10	?	?	?	4	1	3	3	4	3	1	2	?	
11	?	?	?	2	3	3	1	3	2	1	3	?	
12	?	?	?	2	4	2	2	3	1	1	2	?	
13	?	?	?	4	4	1	4	3	1	2	2	?	
14	?	?	?	4	4	1	4	2	2	3	1	?	
15	?	?	?	3	4	2	4	1	2	3	1	?	
16	?	?	?	4	2	2	4	1	2	2	3	?	
17	?	?	?	3	2	2	3	3	2	1	3	?	
18	?	?	?	1	4	3	2	2	2	1	3	?	
19	?	?	?	1	4	3	2	2	1	2	3	?	
20	?	?	?	3	3	1	4	3	1	3	3	?	
21	?	?	?	2	4	1	4	3	3	3	1	?	
22	?	?	?	2	3	3	4	1	2	3	2	?	
23	?	?	?	2	2	3	4	1	2	2	4	?	
24	?	?	?	2	2	3	4	2	2	1	4	?	
25	?	?	?	2	3	3	2	2	2	1	4	?	
26	?	?	?	2	3	3	2	3	1	3	3	?	
27	?	?	?	3	4	2	4	3	1	3	3	?	
28	?	?	?	4	4	2	4	3	2	3	2	?	
29	?	?	?	3	4	4	4	1	2	3	2	?	
30	?	?	?	3	2	4	4	1	2	2	3	?	
31	?	?	?	?	2	4	4	3	?	1	?	?	

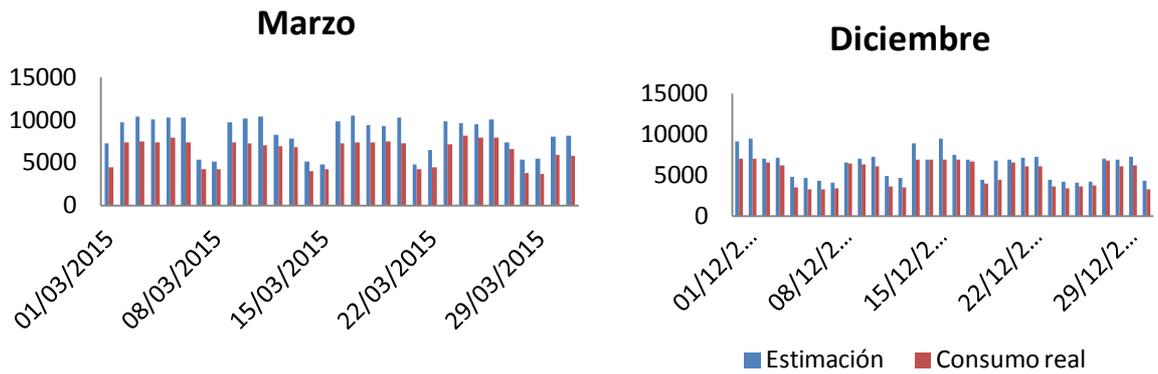
A partir de toda esta información, junto con la meteorológica, podemos aplicar las Líneas Bases.

### ➤ Calefacción

En el conjunto observamos que de forma general la estimación está sobredimensionada, no sabemos qué ha cambiado en este edificio en la operación de este, que antes no se había incluido. Sin embargo, vemos que en el mes de diciembre, la estimación es más cercana a la realidad.

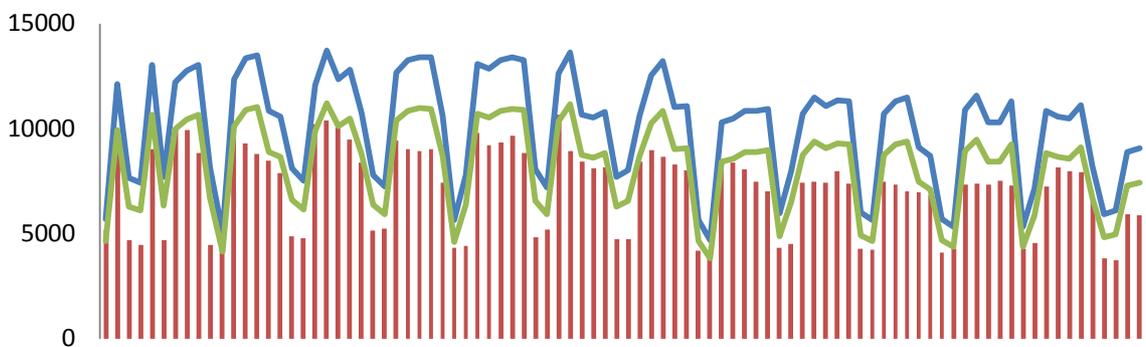
### Enero, febrero



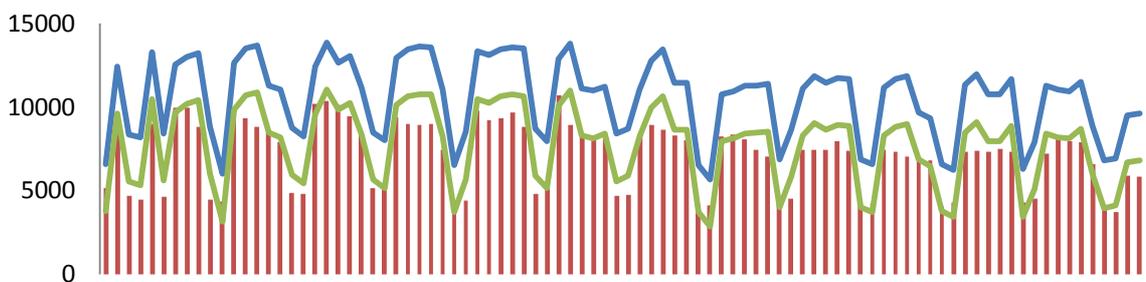


El estar sobredimensionada la Línea Base en este caso, se puede apreciar en las bandas de error siguientes, todos los puntos están fuera de ellas.

**Banda 1. Calefacción**

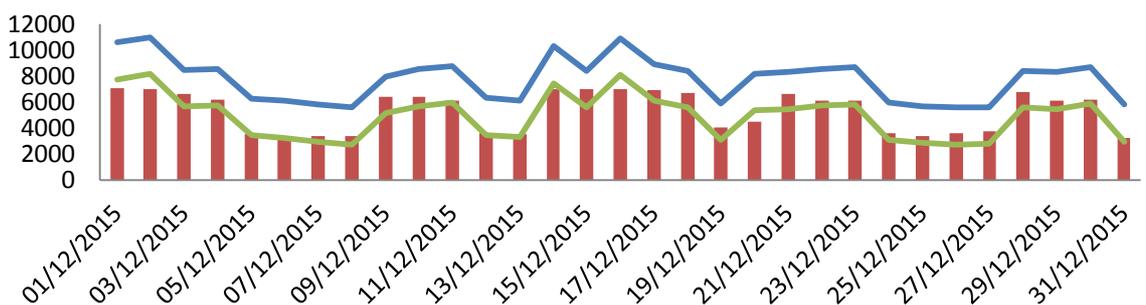


**Banda 2. Calefacción**



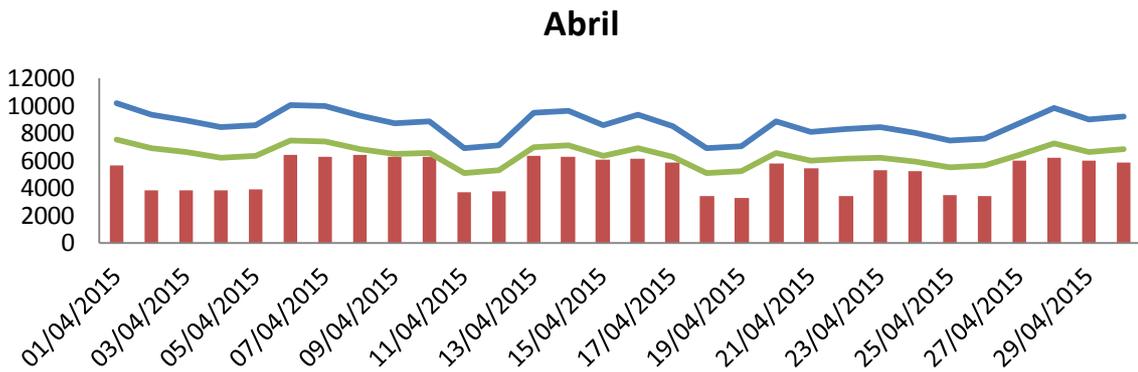
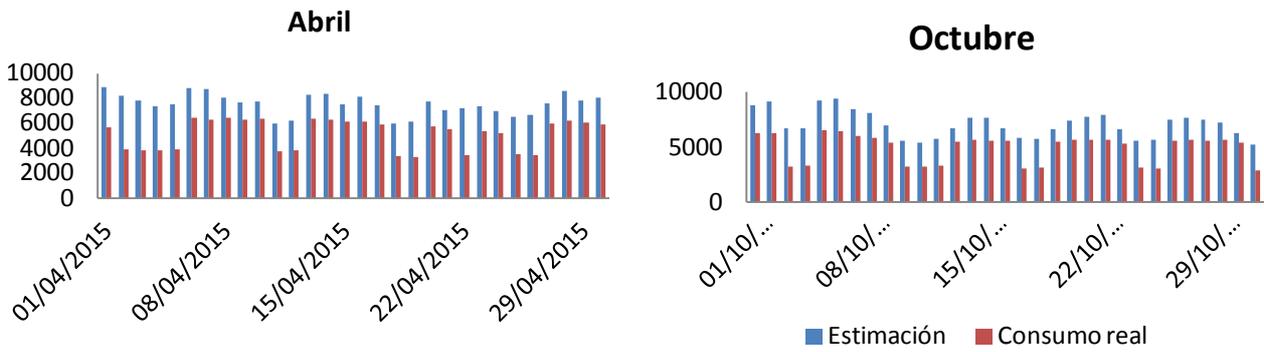
Sin embargo, en el mes de diciembre se muestra como la Línea Base se hace más a la realidad, quedando la mayoría de los días dentro de la banda.

**Diciembre**



➤ *Mínimo Clima*

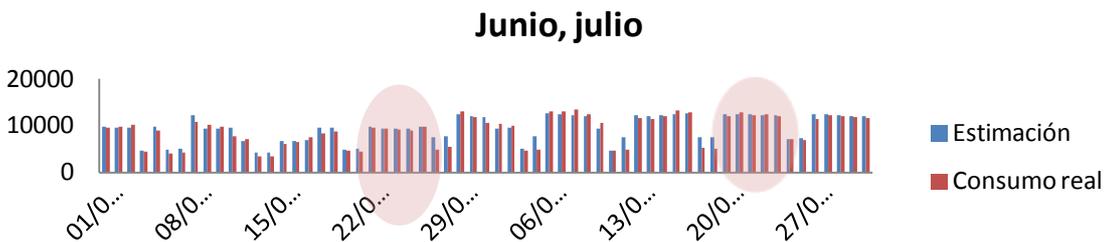
En este período, volvemos a sobredimensionar la estimación, pero vemos que la tendencia de consumo es correcta. Aquí no existe ningún punto dentro de las bandas de error definidas, el error obtenido en esta estación se sitúa en torno al 45 %, podemos descartar la utilidad de la Línea Base obtenida en esta estación.



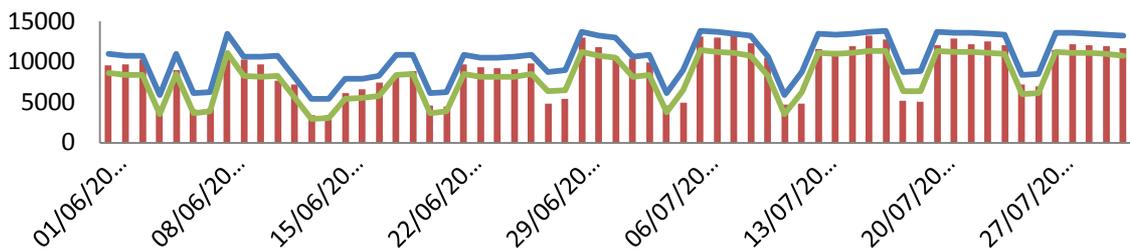
➤ *Refrigeración*

En esta estación es donde la Línea Base responde mejor, cabe destacar semanas que aparecen señaladas, donde la estimación se corresponde exactamente con la realidad.

Volvemos a distinguir dos etapas, en la primera parte la respuesta de la Línea Base es fiel a la realidad, en esta podemos apreciar semanas donde apenas hay diferencia.

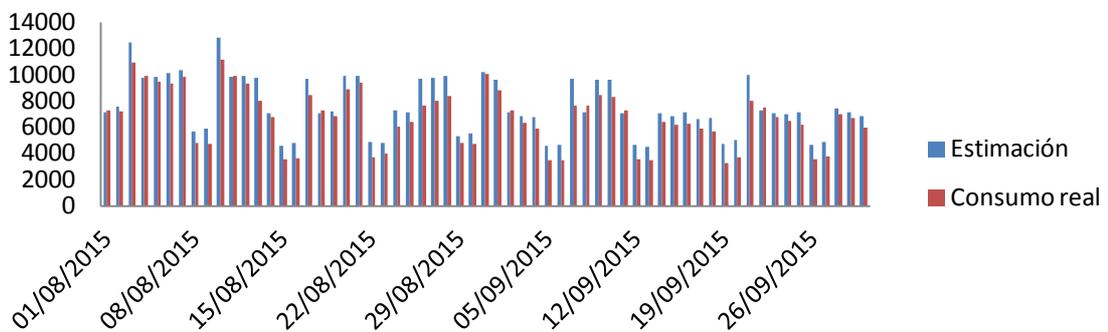


### Banda 2. Junio, julio

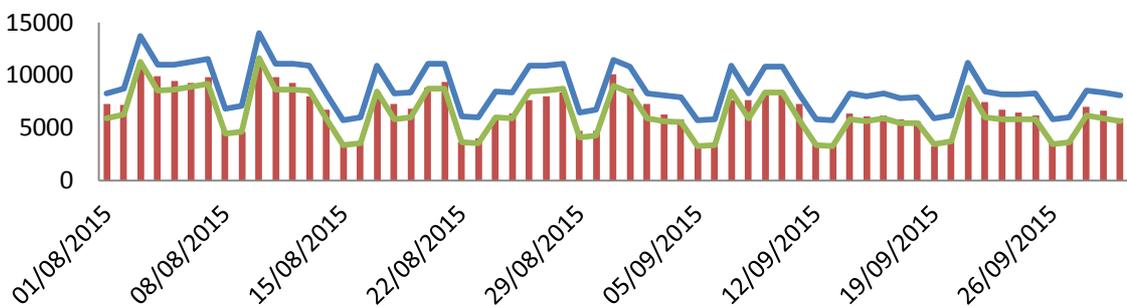


En la segunda parte, ya se aprecian más diferencias, así como picos, que la estimación no es capaz de predecir.

### Agosto, septiembre



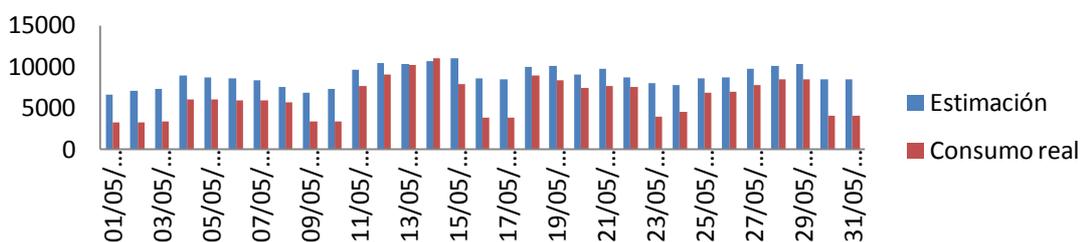
### Banda 2, opc 1



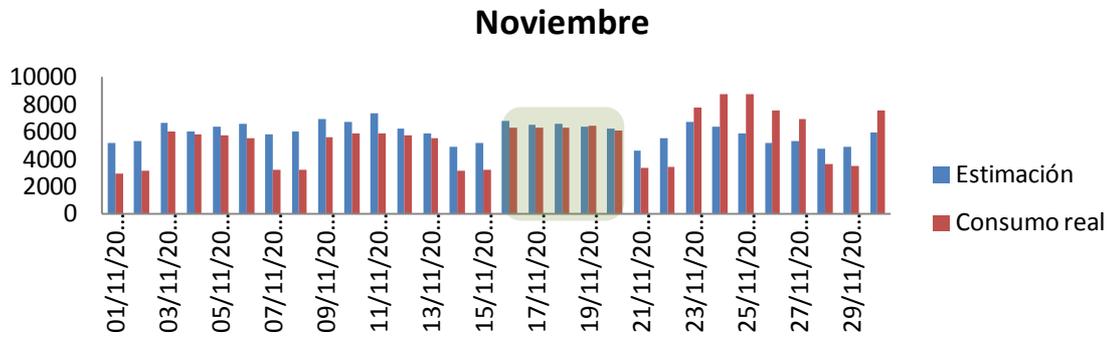
De forma general, se corresponde con una muy buena aproximación, sin lugar a duda la Línea Base que mejor responde dentro de el año y el edificio en estudio.

#### ➤ Transición

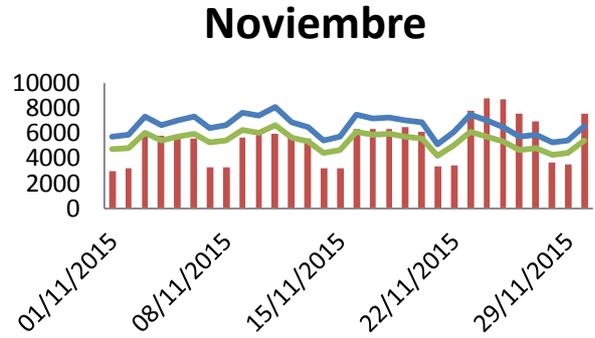
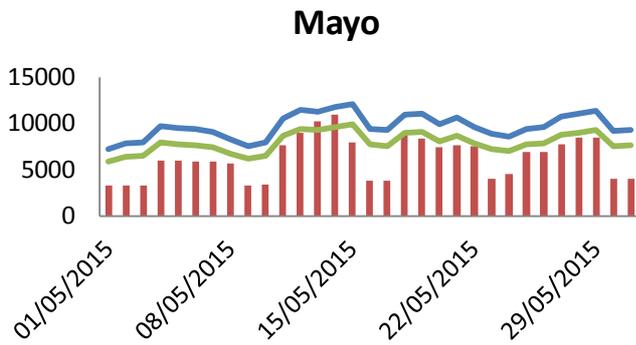
### Mayo



En esta estación se vuelve a ver las diferencias existentes entre realidad y estimación, especialmente en el mes de mayo; sin embargo, en noviembre se acerca más a la realidad, destaca la semana señalada, donde responde perfectamente.



También merece la pena destacar un cambio en el mes de noviembre, pasamos de una estimación sobredimensionada a una que se queda por debajo, puede deberse a la inclusión de este período ya como dentro de la estación de calefacción.



# REFERENCIAS

---

- [1] 2012. [En línea]. Available: [http://www.aipex.es/eficiencia\\_es.php?s=2](http://www.aipex.es/eficiencia_es.php?s=2).
- [2] C. Collaborative, «Guidelines for verifying existing building commissioning project saving,» 2008.
- [3] [En línea]. Available: [http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/..](http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/)
- [4] «Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo (refundición)».
- [5] [En línea]. Available: <https://www.iea.org/>.
- [6] [En línea]. Available: <http://www.codigotecnico.org/>.
- [7] IDAE, «Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-202».
- [8] «Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios,» 2013.
- [9] «Estrategia Energética de Andalucía,» [En línea]. Available: [www.agenciaandaluzadelaenergia.es/administracion/estrategia-energetica-de-andalucia-2020](http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/administracion/estrategia-energetica-de-andalucia-2020).
- [10] S. Ramos, Metodología Aplicada de Caracterización Térmica Inversa para edificios, 2015.
- [11] «REDEJA,» [En línea]. Available: [www.agenciaandaluzadelaenergia.es/administracion/redeja](http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/administracion/redeja).
- [12] «SIAR,» [En línea]. Available: <http://eportal.magrama.gob.es/websiar/SeleccionParametrosMap.aspx?dst=1>.